

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

#### TRABAJO EXPERIMENTAL

#### PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

#### TEMA:

---

“CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTES TERMOFORMADAS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA LA FABRICACIÓN DE GUARDACHOQUES CON POLIPROPILENO DE ALTO IMPACTO EN LA EMPRESA CARROCERA CONSTRUCCIONES MECÁNICAS ALBÁN EN LA CIUDAD DE LATACUNGA”.

---

**AUTOR:** José Fernando Ortiz Naranjo

**TUTOR:** Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

**AMBATO - ECUADOR**

**2018**

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema **“CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTES TERMOFORMADAS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA LA FABRICACIÓN DE GUARDACHOQUES CON POLIPROPILENO DE ALTO IMPACTO EN LA EMPRESA CARROCERA CONSTRUCCIONES MECÁNICAS ALBÁN EN LA CIUDAD DE LATACUNGA”** elaborado por el Sr. José Fernando Ortiz Naranjo, portador de la cedula de ciudadanía 180520127-2, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- El presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, marzo del 2018

-----  
Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

**TUTOR**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

Yo, José Fernando Ortiz Naranjo con CI. 180520127-2 declaro que las opiniones, comentarios, criterios e ideas emitidos en este trabajo experimental con el tema **“CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTES TERMOFORMADAS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA LA FABRICACIÓN DE GUARDACHOQUES CON POLIPROPILENO DE ALTO IMPACTO EN LA EMPRESA CARROCERA CONSTRUCCIONES MECÁNICAS ALBÁN EN LA CIUDAD DE LATACUNGA”** así como también los contenidos, ensayos realizados, análisis, conclusiones y recomendaciones son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor del presente trabajo experimental.

Ambato, marzo del 2018

-----  
José Fernando Ortiz Naranjo

C.I. 180520127-2

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, marzo del 2018

---

José Fernando Ortiz Naranjo

C.I. 180520127-2

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por el estudiante José Fernando Ortiz Naranjo de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el Tema: “CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTES TERMOFORMADAS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA LA FABRICACIÓN DE GUARDACHOQUES CON POLIPROPILENO DE ALTO IMPACTO EN LA EMPRESA CARROCERA CONSTRUCCIONES MECÁNICAS ALBÁN EN LA CIUDAD DE LATACUNGA”

Ambato, abril del 2018

Para constancia firman:

.....  
Ing. Mg. Segundo Espín

.....  
Ing. Mg. Christian Castro

## **DEDICATORIA**

*Dedico el presente trabajo de titulación, principalmente a Dios el creador de mi vida, quien me ha brindado la sabiduría e inteligencia y por quien seguiré construyendo mi futuro. A mis padres Rodrigo Ortiz y Tomasa Naranjo quienes han sido mi soporte inspirándome para siempre salir adelante, demostrándome cada día su trabajo y lucha constante por apoyarme siempre y guiar mi camino, quienes me inculcaron valores para la vida, para transformarme en una persona de bien, así también a mis hermanos Guillermo y Patricia quienes me han brindado su apoyo siempre, acompañándome y aconsejándome a través de toda mi vida, especialmente cuando he tenido problemas.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por brindarme la fuerza, sabiduría y el deseo de estudiar para lograr culminar esta etapa tan importante de mi vida, logrando superarme y buscar un mejor futuro.*

*A mis padres, Rodrigo Ortiz y Tomasa Naranjo por el apoyo y el esfuerzo que siempre realizaron, haciendo posible llegar a este momento al brindarme su apoyo incondicional.*

*A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por darme la apertura de estudiar, permitiéndome ser parte de sus alumnos, acogiéndome para así superarme académicamente y salir a la vida profesional.*

*A mi tutor, al Ing. Mg. Cristian Pérez, por brindarme su apoyo y guiarme durante todo el proceso para la ejecución de mi proyecto de titulación.*

*A la empresa carrocera Construcciones Mecánicas “Albán, por las facilidades y la prestación de sus instalaciones y conocimientos necesarios para el desarrollo de mi proyecto.*

*A mis hermanos, mis amigos y compañeros de clases, quienes me brindaron su apoyo, ayudándome así durante el transcurso de mi vida estudiantil, impulsándome para culminar mi carrera, demostrándome así su cariño, amistad y lealtad en mi vida.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### PAGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN .....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XV
EXECUTIVE SUMMARY.....	XVI
CAPITULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Tema del Trabajo Experimental .....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación .....	3
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos .....	5
CAPITULO II .....	7
FUNDAMENTACIÓN .....	7
2.1 Fundamentación Teórica .....	7
2.1.1 Polímeros .....	7
2.1.1.1 Definición .....	7



2.1.1.2	Clasificación de los Polímeros: .....	8
2.1.2	Polipropileno.....	10
2.1.2.1	Copolímeros de polipropileno .....	11
2.1.2.2	Polipropileno de Alto Impacto .....	12
2.1.3	Proceso de Conformado de Plásticos.....	13
2.1.3.1	Termoformado .....	14
2.1.3.1.1	Termoformado al Vacío .....	15
2.1.3.1.2	Termoformado a Presión .....	16
2.1.3.1.3	Termoformado Mecánico .....	17
2.1.4	Propiedades Mecánicas en Polímeros.....	18
2.1.5	Ensayo de Materiales .....	20
2.1.5.1	Ensayo de Tracción .....	20
2.1.5.2	Ensayo de Flexión .....	21
2.1.5.3	Ensayo de Impacto .....	21
2.1.6	Carrocerías Metalmecánicas .....	23
2.1.6.1	Plan de Producción de Carrocerías.....	24
2.1.7	Guardachoques .....	25
2.1.7.1	Funciones del Guardachoque .....	25
2.1.7.2	Especificaciones para la aplicación de guardachoques .....	26
2.2	Hipótesis .....	27
2.3	Señalamiento de Variables de la Hipótesis.....	27
2.3.1	Variable Independiente .....	27
2.3.2	Variable Dependiente .....	27
CAPÍTULO III.....		28
METODOLOGÍA .....		28
3.1	Nivel O Tipo De Investigación.....	28

3.1.1 Descriptivo.....	28
3.1.2 Experimental.....	28
3.1.3 Bibliográfica .....	28
3.1.4 Aplicada.....	28
3.1.5 Explicativo.....	28
3.2 Población y muestra.....	30
3.2.1 Población .....	30
3.2.2 Muestra .....	30
3.3 Operacionalización de variables .....	31
3.3.1 Variable Dependiente .....	31
3.3.2 Variable Independiente .....	32
3.4 Plan de recolección de información.....	33
3.5 Plan Procesamiento y análisis.....	33
3.5.1 Análisis e Interpretación de Resultados.....	33
3.5.2 Proceso Diseño Experimental.....	36
3.5.2.1 Selección del Diseño .....	36
3.5.2.1.1 Diseño Factorial .....	36
3.5.2.1.2 Diseño Factorial $2^k$ .....	37
3.5.2.2 Parámetros de entrada .....	37
3.5.2.3 Modelo del Experimento .....	38
3.5.3 Proceso de Elaboración de Probetas .....	38
3.5.4 Dimensionamiento de las probetas para ensayos .....	43
3.5.5 Realización de los Ensayos.....	47
3.5.5.1 Ensayo de Tracción .....	47
3.5.5.2 Ensayo de Flexión .....	49
3.5.5.3 Ensayo de Impacto tipo dardo .....	52

CAPÍTULO IV .....	55
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	55
4.1 Recolección De Datos.....	55
4.1.1 Fichas de reporte Ensayo de Tracción .....	55
4.1.2 Fichas de reporte Ensayo de Flexión .....	72
4.1.3 Fichas de reporte Ensayo de Impacto .....	89
4.2 Análisis de los Resultados .....	98
4.2.1 Análisis del Esfuerzo Máximo de Tracción ( $\sigma_{max}$ ) de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto. ....	99
4.2.2 Análisis del Módulo de Elasticidad ( $E$ ) de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto. ....	101
4.2.3 Análisis del Esfuerzo Máximo de Flexión ( $\sigma_{max f}$ ) de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto. ....	103
4.2.4 Análisis del Módulo de Flexión ( $E_f$ ) de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto. ....	106
4.2.5 Análisis de la Resistencia Máxima al Impacto ( $MEF$ ) de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto. ....	108
4.2.6 Interpretación y selección de los resultados .....	110
4.3 Verificación de Hipótesis .....	111
CAPÍTULO V .....	114
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
5.1 Conclusiones.....	114
5.2 Recomendaciones .....	115
MATERIALES DE REFERENCIA .....	116
BIBLIOGRAFÍA .....	116
ANEXOS .....	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Estructura química del poliestireno .....	7
<b>Figura 2.2</b> Distribución de cadena moléculas de polímeros termoplásticos y termoestables .....	10
<b>Figura 2.3</b> Estructura química del polipropileno .....	10
<b>Figura 2.4</b> Configuración sindiotáctica del polipropileno .....	12
<b>Figura 2.5</b> Configuración atáctica del polipropileno .....	12
<b>Figura 2.6</b> Proceso de termoformado .....	15
<b>Figura 2.7</b> Proceso de termoformado al vacío .....	16
<b>Figura 2.8</b> Proceso termoformado a presión utilizando molde negativo .....	17
<b>Figura 2.9</b> Proceso termoformado a presión utilizando molde positivo .....	17
<b>Figura 2.10</b> Proceso de termoformado mecánico aplicando dos moldes a presión.....	18
<b>Figura 2.11.</b> Curva esfuerzo- deformación de materiales plásticos .....	19
<b>Figura 2.12</b> Máquina Universal para ensayo de tracción.....	21
<b>Figura 2.13</b> Esquema de las cargas aplicadas en el esfuerzo de flexión.....	21
<b>Figura 2.14</b> Máquina para ensayo de impacto tipo péndulo .....	22
<b>Figura 2.15</b> Equipo para ensayo tipo dardo y esquema de probetas .....	23
<b>Figura 2. 16</b> Chasis y carrocería de un vehículo .....	24
<b>Figura 2.17</b> Producción nacional de carrocerías para buses en la zona 3 del Ecuador .....	24
<b>Figura 2.18</b> Partes principales de un guardachoque.....	26
<b>Figura 3.1</b> Diagrama de Flujo para la realización del estudio .....	36
<b>Figura 3.2</b> Proceso de termoformado al vacío y obtención de probetas para los ensayos.....	40
<b>Figura 3.3</b> Corte de la lámina de polipropileno. ....	41
<b>Figura 3.4</b> Molde ubicado sobre la mesa de termoformado.....	41
<b>Figura 3.5</b> Ajuste del material para elevarlo a las niquelinas para ser calentado. 41	
<b>Figura 3.6</b> Panel de control de temperatura. ....	42
<b>Figura 3.7</b> Dilatación del material para termoformado.....	42
<b>Figura 3.8</b> Manómetro de control de presión de vacío. ....	42
<b>Figura 3.9</b> Probetas para ensayo de tracción.....	44

<b>Figura 3.10</b> Probetas para ensayo de flexión. ....	44
<b>Figura 3.11</b> Probetas para ensayo de tracción tipo dardo. ....	44
<b>Figura 3.12.</b> Máquina universal para polímeros METROTEC MTE-50 .....	47
<b>Figura 3.13</b> Probetas ubicadas en la máquina para realizar el ensayo. ....	48
<b>Figura 3.14</b> Distancia entre apoyos para el ensayo de flexión.....	50
<b>Figura 3.15</b> Ubicación de la probeta en el puente de flexión.....	51
<b>Figura 3.16</b> Máquina para ensayo de impacto tipo dardo laboratorio FICM – UTA. ....	52
<b>Figura 3.17</b> Dardos para ensayo de impacto. ....	52
<b>Figura 3.18</b> Masa utilizada en el ensayo de impacto tipo dardo. ....	54
<b>Figura 4.1</b> Efectos Principales del Esfuerzo Máximo de Tracción.....	100
<b>Figura 4.2</b> Interacción para el Esfuerzo Máximo de Tracción.....	101
<b>Figura 4.3</b> Efectos Principales del Módulo de Elasticidad .....	102
<b>Figura 4.4</b> Interacción para el Modulo de Elasticidad .....	103
<b>Figura 4.5</b> Efectos Principales del Esfuerzo Máximo de Flexión.....	105
<b>Figura 4.6</b> Interacción para el Esfuerzo Máximo de Flexión.....	105
<b>Figura 4.7</b> Efectos Principales del Esfuerzo Máximo de Flexión.....	107
<b>Figura 4.8</b> Interacción para el Modulo de Flexión.....	108
<b>Figura 4.9</b> Efectos Principales de la Resistencia Máxima al Impacto .....	109
<b>Figura 4.10</b> Interacción para la Resistencia Máxima al Impacto. ....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Distribución de cadena moléculas de polímeros termoplásticos y f termoestables .....	8
<b>Tabla 2.2</b> Propiedades polímeros termoplásticos .....	9
<b>Tabla 2.3</b> Propiedades del Polipropileno .....	11
<b>Tabla 2.4</b> Métodos de conformado para materiales plásticos .....	13
<b>Tabla 3.1</b> Variable Dependiente.....	31
<b>Tabla 3.2</b> Variable Independiente. ....	32
<b>Tabla 3.3</b> Tabla Ejemplo del modelo experimental de tres factores pero a dos niveles.....	37
<b>Tabla 3.4</b> Parámetros, variables y niveles de ensayo. ....	38
<b>Tabla 3.5</b> Caracterización de factores y niveles para el ensayo. ....	38
<b>Tabla 3.6</b> Número de probetas para el ensayo. ....	38
<b>Tabla 3.7</b> Dimensionamiento de las probetas según la normativa ASTM para los ensayos. ....	43
<b>Tabla 3.8</b> Descripción de condiciones y parámetros de las probetas de ensayo....	45
<b>Tabla 3.9</b> Características de las probetas de Polipropileno de Alto Impacto para los ensayos. ....	46
<b>Tabla 3.11</b> Características dardo tipo FC para ensayo de impacto. ....	53
<b>Tabla 4.1</b> Resultados de Ensayos de determinación de propiedades mecánicas...110	
<b>Tabla 4.2</b> Verificación de hipótesis mediante análisis de varianza valor p.....	112

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTES TERMOFORMADAS Y SU  
INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA LA  
FABRICACIÓN DE GUARDACHOQUES CON POLIPROPILENO DE ALTO  
IMPACTO EN LA EMPRESA CARROCERA CONSTRUCCIONES  
MECÁNICAS ALBÁN EN LA CIUDAD DE LATACUNGA.

**Autor:** José Fernando Ortiz Naranjo

**Tutor:** Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

**RESUMEN EJECUTIVO**

El presente proyecto experimental se basó en el análisis y en la determinación de las propiedades mecánicas de partes termoformadas de polipropileno de alto impacto, bajo la variación de los parámetros en el proceso de termoformado; espesor, temperatura y presión de vacío, a fin de establecer los parámetros más idóneos del proceso de termoformado que brinden las mejores propiedades mecánicas de las piezas termoformadas para su aplicación en la fabricación de guardachoques. Los ensayos de tracción, flexión e impacto se desarrollaron bajo las normas ASTM D638, ASTM D790 y ASTM D1709 respectivamente. Las probetas se las fabricó sometiendo el polipropileno al proceso de termoformado al vacío variando los diferentes parámetros de termoformado, obteniendo 8 grupos de probetas, y el dimensionamiento de las probetas se lo realizó según lo establecido en la norma. De los ensayos realizados se pudo determinar las propiedades mecánicas, los datos fueron tabulados, procediendo a la selección de la mejor y óptima combinación de los parámetros en el proceso de termoformado, siendo la mejor combinación un espesor de 4mm, temperatura de 200°C y una presión de vacío de 50 Psi, presentando buenas propiedades mecánicas, una aceptable absorción de energía al impacto, y además de una buena distribución de esfuerzos en el material.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**  
**FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING**  
**CAREER OF MECHANICAL ENGINEERING**

CHARACTERIZATION OF THE THERMOFORMED PARTS AND THEIR  
INCIDENCE IN THE MECHANICAL PROPERTIES FOR THE  
MANUFACTURE OF GUARDACHOQUES WITH HIGH IMPACT  
POLYPROPYLENE IN THE MECHANICAL CONSTRUCTION BODY  
COMPANY ALBÁN IN THE CITY OF LATACUNGA.

**Author:** José Fernando Ortiz Naranjo

**Tutor:** Ing. Mg Cristian Fabián Pérez Salinas

**EXECUTIVE SUMMARY**

The present experimental project was based on the analysis and determination of the mechanical properties of thermoformed pieces of high impact polypropylene, under the variation of the parameters in the thermoforming process; thickness, temperature and vacuum pressure, in order to establish the most suitable parameters of the thermoforming process that provide the best mechanical properties of the thermoformed parts for its application in the manufacture of bumpers. The tensile, bending and impact tests were developed under the standards ASTM D638, ASTM D790 and ASTM D1709 respectively. The specimens were manufactured by subjecting the polypropylene to the vacuum thermoforming process by varying the different parameters of thermoforming, obtaining 8 groups of specimens, and the sizing of the specimens was carried out as established in the standard. From the tests carried out it was possible to determine the mechanical properties, the data were tabulated, proceeding to the selection of the best and optimum combination of the parameters in the thermoforming process, the best combination being a thickness of 4mm, temperature of 200°C and a pressure vacuum of 50 Psi, presenting good mechanical properties, an acceptable absorption of energy at impact, and in addition to a good distribution of stresses in the material.



## **CAPITULO I**

### **ANTECEDENTES**

#### **1.1 Tema del Trabajo Experimental**

“CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTES TERMOFORMADAS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA LA FABRICACIÓN DE GUARDACHOQUES CON POLIPROPILENO DE ALTO IMPACTO EN LA EMPRESA CARROCERA CONSTRUCCIONES MECÁNICAS ALBÁN EN LA CIUDAD DE LATACUNGA”

#### **1.2 Antecedentes**

Durante más de 50 años la industria de los polímeros ha sufrido una evolución sustancial de una manera continua, suponiendo un crecimiento alrededor de un 9% por año. La producción de los polímeros aumento, especialmente el polipropileno (PP) el cual empezó a comercializarse convirtiéndose en el termoplástico con mayor producción mundial, reemplazando poco a poco a los metales y actualmente utilizando el PP para la fabricación de fibras, cajas, juguetes, tuberías y hasta parachoques de un auto, haciendo que el estudio de sus mecanismos de falla se vuelva más importante. Determinando la gran versatilidad del material debido a sus excelentes propiedades mecánicas, eléctricas y químicas. También posee algunas desventajas en algunas aplicaciones debido a la fractura y baja resistencia al impacto, las cuales son solucionadas con la adición de partículas elasomericas las cuales mejoran estas propiedades [1].

Letty Alejandra Castillo Reyna en su trabajo de graduación bajo el tema: “Optimización de las variables de presión y temperatura en el proceso de moldeo por inyección de polipropileno en la fabricación de tapas para mejorar los índices de calidad” determino que el moldeo de plástico tiene dos parámetros de control principales: la temperatura y la presión de inyección; los cuales deben ser optimizados y monitoreados durante el proceso permitiendo mejorar los índices de calidad, debido que influyen de manera directa en el manejo del material, eliminando defectos en el producto, reduciendo tiempos muertos de producción,

manteniendo constante la calidad del proceso y maximizando recursos en el moldeo de la pieza y en la calidad final de la misma [2].

Cristian Martí Buades en su trabajo de fin de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Tecnologías Industriales bajo el tema: “Caracterización del polipropileno de alto impacto con refuerzos de diferente naturaleza para aplicaciones en automoción” describe las propiedades físicas y la competitividad del polipropileno, el cual al igual que el polietileno poseen una estructura semicristalina, sin embargo, sus propiedades mecánicas son superiores. El polipropileno por sus propiedades lo conforman como un material idóneo para muchas aplicaciones debido a su baja densidad, alta dureza y resistencia a la abrasión, alta rigidez, buena resistencia al calor y una excelente versatilidad y resistencia química, además de que su densidad y costo son bajos que otros plásticos, sin embargo la desventaja es que tiende a envejecer rápidamente debido a su sensibilidad a bajas temperaturas y luz ultravioleta. Por esta razón, poseía muy poco uso en aplicaciones industriales hasta que se descubrieron nuevos aditivos estabilizantes a la luz para mejorar la resistencia al frío y la luz ultravioleta [3].

Alejandro Valle Lázaro en su trabajo final de grado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia con el tema: “Caracterización de las Propiedades térmicas y mecánicas de polipropilenos para aplicaciones en electrodomésticos” expone que el polipropileno de alto impacto se utiliza en varias aplicaciones, como su uso en la fabricación de componentes de electrodomésticos y en el sector industrial en el sector de la automoción o la industria carrocería considerando los plásticos como materiales para el diseño de cualquier artículo, por lo que es importante conocer el comportamiento del polipropileno frente a los diferentes agentes externos (acciones mecánicas, temperatura, tiempo, etc.). Debido a que para fabricación de materiales poliméricos la temperatura, la presión y el tiempo tienen un papel fundamental que influye en las propiedades mecánicas de los mismos. Razón por la que el estudio de las propiedades mecánicas es imprescindible cuando estos materiales son utilizados en elementos estructurales. Determinando y conociendo si un determinado tipo de polímero es lo suficiente resistente o cumple con las

características de empleo o si cumple con la suficiente tenacidad para aguantar determinados golpes sin fracturarse ni romperse [4].

Julián Fabra y María Amparo en su trabajo final de grado en Ingeniería Química bajo el tema: “Caracterización de polipropilenos Técnicos modificados con talco para su uso en parachoques” concluye que dadas las especificaciones para la aplicación de parachoques, es muy importante conocer si el parachoques va a ser pintado después de proceso o no, ya que se presentara atención a distintos aspectos. En la actualidad los parachoques son pintados y cumpliendo con características requeridas para el polipropileno de alto impacto el que al ser utilizado en esta aplicación debe cumplir con las siguientes características de fabricación ya que al optimizar las velocidad del flujo del material procesado estableciendo parámetros para evitar la aparición de defectos, una adecuada relación entre modulo elasticidad y la resistencia al impacto, excelente estabilidad dimensional térmica y mecánica, bajo coeficiente de expansión térmica lineal, y una excelente adherencia de la pintura factores importantes con los que debe cumplir el parachoques para el servicio [5].

La empresa STANDOTHEK en su artículo de pintado de plásticos expone las ventajas y los motivos para utilizar materiales plásticos en los automóviles, ya que contribuyen principalmente a reducir el peso del vehículo sin comprometer la seguridad en el mismo, por lo que los plásticos juegan un importante papel en la forma y el diseño del automóvil al ser aspectos puramente funcionales. Para la fabricación de piezas de carrocería el polipropileno se puede utilizar con la adición o mezclas debido que la composición específica del polipropileno no imprimidas suelen presentar problemas de adherencia de la pintura, y para que una producción sea rentable, es necesario realizarlo en grandes cantidades como es requerido en la industria del automóvil. Los plásticos en la industria del automovilismo ofrece grandes ventajas; por ejemplo, debido a la gran elasticidad de los materiales los daños se reducen, además posee una mayor comodidad para los ocupantes, una menor emisión de ruido y en general alargar la vida útil del vehículo [6].

### **1.3 Justificación**

La importancia del presente tema es analizar el comportamiento de partes termoformadas de polipropileno de alto impacto, y su incidencia en las propiedades mecánicas de un guardachoque, a fin de comprobar cada uno de los parámetros requeridos para la obtención de un producto de calidad, así como también optimizar los tiempos de producción de autopartes en la empresa carrocera construcciones mecánicas Albán en la ciudad de Latacunga.

El interés por el desarrollo del tema es tecnológico debido a que hoy en día los productos plásticos son en su mayor parte utilizados por los sectores de la industria en general. Es difícil encontrar un lugar en donde de alguna forma no estén presentes. Debido a sus grandiosas cualidades, este material ha ido reemplazando en muchas aplicaciones a materiales antes comúnmente usados como la fibra de vidrio. El plástico es ideal para la producción de muchos productos como por ejemplo: empaques, tinas, tanques de agua, juguetes, moldes, partes de maquinaria, contenedores de alimentos, por citar a los más comunes.

La innovación de la investigación, radica en analizar las propiedades mecánicas de las partes termoformadas de un guardachoque por medio de muestras tomadas del material en producción, de modo que permitan determinar la calidad del producto y la factibilidad de reemplazar la fibra de vidrio por el material termoformado.

Los beneficiarios serán los obreros, trabajadores y empleador, de la empresa carrocera Construcciones Mecánicas Albán en la ciudad de Latacunga, así como los clientes al ser referentes primordiales para que la empresa siga creciendo de modo que el producto sea de mayor demanda. El impacto del tema es significativo debido a que ayuda al desarrollo de la empresa, mejorando los tiempos de producción así como también la obtención de productos de mejor calidad y acabado fino, al ser un proceso más sencillo y económico.

La factibilidad es relevante debido a que para el presente tema existe la predisposición de la gerencia de Construcciones Mecánicas Albán, sino también del investigador que contribuirá con los conocimientos necesarios para llevar a cabo la solución al problema identificado.

Es importante resaltar que se cuentan con el talento humano, recursos materiales y económicos necesarios para llevar a cabo el estudio técnico con miras a una adecuada ejecución del proceso para la obtención de partes termoformadas.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Caracterizar las partes termoformadas y su incidencia en las propiedades mecánicas para la fabricación de guardachoques con polipropileno de alto impacto en la empresa carrocera Construcciones Mecánicas Albán en la ciudad de Latacunga.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros principales que influyen en la fabricación de partes termoformadas con polipropileno de alto impacto.
- Determinar las propiedades mecánicas (tracción, flexión, impacto) de las combinaciones para la fabricación de guardachoques con polipropileno de alto impacto.
- Buscar la pieza termoformada que presente la mejor combinación de propiedades mecánicas para determinar la mejor combinación de parámetros en el proceso de termoformado.



## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN

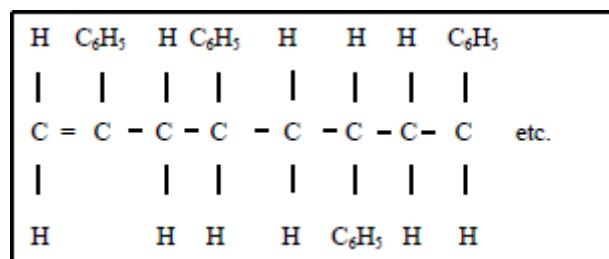
#### 2.1 Fundamentación Teórica

##### 2.1.1 Polímeros

##### 2.1.1.1 Definición

Un polímero es una gran molécula llamada macromolécula que resulta de la unión de un gran número de pequeñas unidades químicas simples o estructurales a las que se denominan monómeros, las cuales se unen a través de enlaces primarios, covalentes, lineales que se repiten a lo largo formando enormes cadenas de diferentes formas; siendo también posible encontrar arreglos tridimensionales [7].

Un polímero puede tener entre 10000 a 1000000 unidades manométricas. Esta cadena generalmente está constituida de átomos de carbono englobando una gran variedad de materiales tanto naturales como el almidón, la celulosa, el algodón, las pieles y lana; sintéticos como fibras sintéticas que popularmente son conocidos como plásticos, cauchos, pinturas, adhesivos, etc. Entre los polímeros más comunes y de mayor fabricación tenemos al poliestireno y el polipropileno que resulta de la polimerización del estireno, sacrificando el doble enlace dando lugar a la siguiente cadena [8]:



*Figura 2.1 Estructura química del poliestireno [7].*

Debido a sus múltiples propiedades únicas y variadas, los polímeros se han tornado a reemplazar a los componentes metálicos en diversas aplicaciones como en la automoción, aeronáutica, artículos deportivos, electrodomésticos, juguetes, etc. Los polímeros en la fabricación de automóviles reducen el peso del mismo en un 10 a 15%, mejorando el rendimiento y reduciendo el consumo de energía [9].

Esta sustitución es debida a las propiedades o características que poseen los polímeros como [9]:

- Resistencia a la corrosión y productos químicos.
- Baja conductividad eléctrica y térmica.
- Baja densidad.
- Resistencia a la tracción, especialmente cuando es reforzado.
- Facilidad de moldeado y simplicidad de manufactura.
- Reducción de ruido.
- Menor o bajo costo.
- Resistencia y rigidez al impacto limitada.
- Elevado coeficiente de dilatación térmica.

*Tabla 2.1 Distribución de cadena moléculas de polímeros termoplásticos y termoestables [9].*

<b>Polímero</b>	<b>Aplicaciones</b>
PEBD	Film agrícola, bolsas, juguetes, recubrimientos, contenedores
PEAD	Contenedores, juguetes, film, embalajes industriales, tubería
PP	Film, contenedores, cajas, partes de automóviles, componentes eléctricos
PVC	Marcos de ventana, tuberías, suelos, botellas, film transparente, juguetes, canalizaciones, aislamientos
PS	Electrodomésticos, aislamientos, tazas, platos, juguetes
PET	Botellas, fibras textiles, embalaje de alimentos
Polimetilmetacrilato	Aislamientos eléctricos, partes de automóvil
Poliamidas	Film para embalaje de alimentos que requieran alta temperatura, fibras textiles
Polímeros Fenólicos	Adhesivos, partes de automóvil, componentes eléctricos
Resinas epoxi	Adhesivos, componentes de automóvil, equipos deportivos, barcos
Poliuretano	Recubrimientos, acabados, colchones, asientos de vehículos

### 2.1.1.2 Clasificación de los Polímeros:

Una forma de clasificar a los polímeros es por su habilidad a reconformarse o refucionarse. Se clasifican en dos sub divisiones que son: los polímeros termoplásticos y los termoestables [10].



### 2.1.1.2.1 Termoplásticos

Los plásticos termoplásticos se emblandecen al calentarse, a temperaturas elevadas se funden y se transforman en líquidos viscosos, mientras que se endurecen al enfriarlos pudiendo repetir o revertir los procesos ya que son fácilmente recalentables [11].

Estos materiales se fabrican y moldean aplicando calor y presión simultáneamente, debido que al aumentar la temperatura debilita la fuerza en los enlaces secundarios facilitando el movimiento relativo de las cadenas adyacentes y permitiendo el moldeo al aplicar un esfuerzo. Los termoplásticos poseen una capacidad de plasticidad por lo que la mayoría de los polímeros lineales son termoplásticos, ya que la estructura ramificada de sus cadenas es flexible [12].

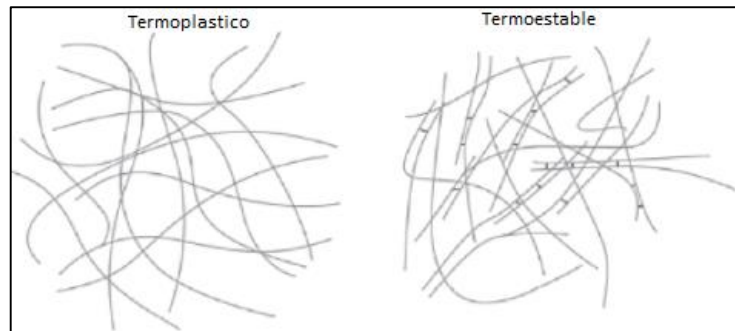
*Tabla 2.2 Propiedades polímeros termoplásticos [10].*

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la tensión (×1 000 psi)*	Resistencia al impacto, Izod (pie · lb/pulg)†	Resistencia dieléctrica (V/mil)‡	Temp. máx. de uso (sin carga)	
					°F	°C
Poliétileno:						
Baja densidad	0.92-0.93	0.9-2.5		480	180-212	82-100
Alta densidad	0.95-0.96	2.9-5.4	0.4-14	480	175-250	80-120
PVC clorado, rígido	1.49-1.58	7.5-9	1.0-5.6		230	110
Polipropileno, uso general	0.90-0.91	4.8-5.5	0.4-2.2	650	225-300	107-150
Estireno-acrilonitrilo (SAN)	1.08	10-12	0.4-0.5	1775	140-220	60-104
ABS, uso general	1.05-1.07	5.9	6	385	160-200	71-93
Acrílico, uso general	1.11-1.19	11.0	2.3	450-500	130-230	54-110
Acetatos celulósicos	1.2-1.3	3-8	1.1-6.8	250-600	140-220	60-104
Politetrafluoroetileno	2.1-2.3	1-4	2.5-4.0	400-500	550	288

### 2.1.1.2.2 Termoestables

A diferencia de los materiales termoplásticos, los termoestables no tienen la propiedad de plasticidad por lo que al calentarnos no se ablandan más bien se endurecen y una vez endurecidos estos materiales no se pueden re fusionar o reconformar al continuar calentando; esto ocurre debido que al calentarlos sus enlaces pasan por un entrecruzamiento químico irreversible enlazando entre si las cadenas y dificultando los movimientos de vibración o rotación de las cadenas, provocando que el polímero en estado líquido se transforme en una masa sólida [11].

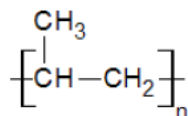
La fabricación o la reacción de polimerización se realiza en un molde o un dispositivo hilador, por lo que generalmente los polímeros termoestables son más duros, más resistentes a degradación química y más frágiles que los termoplásticos, haciendo que los polímeros termo estables sean difíciles de reciclar [12].



*Figura 2.2 Distribución de cadena moléculas de polímeros termoplásticos y termoestables [9].*

### 2.1.2 Polipropileno

El polipropileno (PP) es un polímero termoplástico semicristalino lineal y el segundo más común en la familia de las poliolefinas, el cual empezó a comercializarse a finales de la década de los 50 y es fabricado por procesos de polimerización obteniendo cadenas estructurales muy regulares aplicando un catalizador tipo “Ziegler-natta” que apareció en 1955. El PP tiene una gran resistencia a la tracción, pero baja resistencia al impacto y trabaja a elevadas temperaturas. Su estructura química se muestra en la figura 2.3 [11].



*Figura 2.3 Estructura química del polipropileno [11].*

El PP representa un 90% de la producción total de materiales plásticos formando parte de los materiales termoplásticos de mayor consumo en aplicaciones muy versátiles, inyectándose en la fabricación de tableros de autos, bolsas, empaques y guardachoques; además a través de procesos de extrusión es posible fabricar tuberías, perfiles y láminas, debido a su gran versatilidad el PP permite adaptarse y se modifica cubriendo las necesidades en la industria y el mercado [9].

Las cualidades de este polímero son su baja densidad, excelente resistencia química, dureza superficial, alta estabilidad térmica, resistencia eléctrica, fácil procesamiento para la fabricación y es reciclable; propiedades que permiten su uso en múltiples aplicaciones en el sector industrial y la automoción [12].

*Tabla 2.3 Propiedades del Polipropileno [9].*

Propiedades del PP	
Propiedad	
Coefficiente de expansión térmica (0°C) (/K)	10.5 x 10 <sup>-5</sup>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
Isotáctico amorfo	0.850-0.854
Isotáctico cristalino	0.932-0.943
Sindiotáctico amorfo	0,856
Sindiotáctico cristalino	0.959-0.910
Atáctico	0.850-0.900
Constante dieléctrica (1 kHz)	2.2-2.3
Alargamiento de rotura (%)	100-600
Transición vítrea (°C)	
Isotáctico	-7
Sindiotáctico	-9
Atáctico	-10
Resistencia al impacto (Mpa)	2.8-6.9
Punto de fusión (°C)	
Isotáctico	186
Sindiotáctico	138
Índice de refracción	1,49
Resistencia a la tracción (Mpa)	29.3-38.6
Módulo de tracción (Mpa)	1032-1720

### 2.1.2.1 Copolímeros de polipropileno

El polipropileno PP posee ciertas limitaciones para la aplicación en algunos campos de la industria debido a las desventajas del PP como su baja tenacidad a la fractura, principalmente a bajas temperaturas y cuando es sometida a impacto. Usando el método de copolimerización para mejorar las propiedades mecánicas del PP y reducir sus limitaciones, al proporcionar al material menor cristalinidad, rigidez y fragilidad y aumentando a su vez la flexibilidad, la elasticidad y la resistencia al impacto [13].

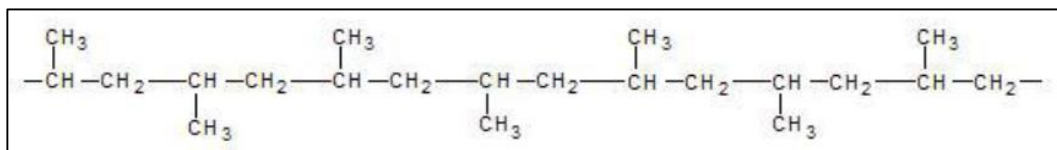
La mezcla de los polímeros constituye un parámetro importante que distingue a los materiales en función del grupo que los constituye como las poliolefinas, otro grupo está integrado por polímeros no olefinicos los cuales pueden ser mezclados con poliamidas como el nylon, el poliéster, el polietilentereftalato PET, el policloruro de vinilo PVC y el etilenvinil acetato EVA [14].

Los copolímeros y terpolímeros de polipropileno, dependiendo del contenido de materiales elastómeros o termoplásticos también la cantidad de comonomero determina su consideración e importancia comercial debido al aumento de tenacidad a la fractura, su reducción de cristalinidad, reducir el punto de fusión, haciendo que los copolímeros de polipropileno obtengan un amplio campo de aplicación en la industria [13].

### 2.1.2.2 Polipropileno de Alto Impacto

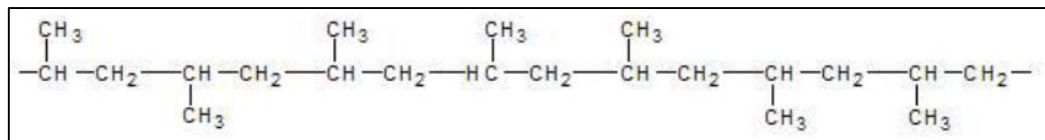
El polipropileno de alto impacto (HIPP) es una importante poliolefina comercial, el cual es generalmente fabricado bajo un proceso de múltiples etapas de polimerización:

**Primera etapa:** Las partículas isostáticas de polipropileno son polimerizadas, dado que el polímero isostático IPP posee grandes propiedades mecánicas como alta rigidez y resistencia química, pero limitando sus aplicaciones debido a su baja resistencia al impacto a bajas temperaturas [15].



*Figura 2.4 Configuración sindiotáctica del polipropileno [16].*

**Segunda etapa:** Las limitaciones del IPP requieren ser sometido a una segunda etapa de polimerización añadiendo un elastómero o copolímero de etileno, mejorando las propiedades y costo de producción al formarse una matriz polimérica etileno-propileno dentro de la matriz isostática preformada del polipropileno [15].



*Figura 2.5 Configuración atáctica del polipropileno [16].*

**Tercera etapa:** Etapa en donde se añade un aditivo o refuerzo buscando mejorar las propiedades del material principalmente dotando al material con una mayor

rigidez. El aditivo a usarse es importante dependiendo las propiedades a mejorar [15].

**Cuarta etapa:** Última etapa del proceso en la cual se añaden o adicionan una serie de varios aditivos y colorantes de naturaleza desconocida y son utilizados para una mayor estabilidad en el polímero, etapas de síntesis del polipropileno de alto impacto [15].

### **2.1.3 Proceso de Conformado de Plásticos**

Los plásticos a través de procesos de conformado pueden ser fabricados en una amplia variedad de productos como por ejemplo: partes moldeadas, recubrimientos o aislantes de alambres eléctricos, secciones extruidas, hojas, láminas y películas, y también fibras textiles. Frecuentemente los plásticos son componentes importantes de otros materiales como pintura, adhesivos, compuestos con matriz polimérica y barnices; por lo que es importante el proceso de conformado de estos materiales [17].

*Tabla 2.4 Métodos de conformado para materiales plásticos [18].*

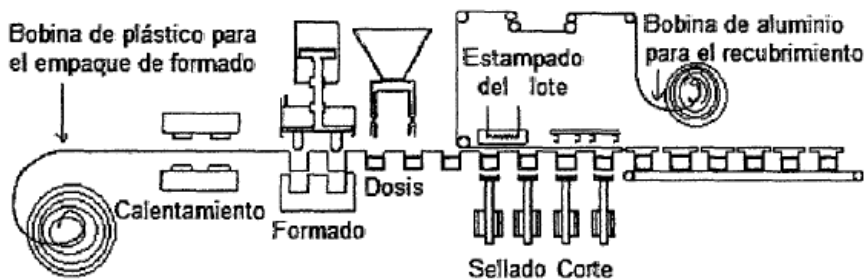
<b>MÉTODO DE CONFORMADO</b>	<b>PRODUCTOS</b>
<i>Extrusión</i>	Semiacabados, productos intermedios para calandrado, soplado o hilado.
<i>Calandrado</i>	Hojas de materiales, tiras revestidas.
<i>Inflado</i>	Hojas y cuerpos huecos.
<i>Colada por inyección</i>	Piezas a partir de masas de colada por inyección.
<i>Conformado en caliente</i>	Piezas moldeadas a partir de semiacabados.
<i>Prensado inyección-prensado.</i>	Piezas de resinas sintéticas y masas prensables.
<i>Prensado en capas (estratificación)</i>	Productos estratificados a partir de rollos impregnados con resinas sintéticas.
<i>Lienzo de caucho con presión o vacío</i>	Productos estratificados a partir de rollos soporte impregnados con resinas baja presión.
<i>Colada</i>	Modelos, inclusiones, piezas moldeadas.
<i>Centrifugado</i>	Cuerpos huecos con simetría axial o huecos cerrados
<i>Inmersión</i>	Cuerpos huecos o revestimientos
<i>Recubrimiento</i>	Plastificados sobre rollo de papel o tejido
<i>Arranque de viruta</i>	Transformación de semiacabados, acabados y limpieza de piezas moldeadas.
<i>Inyección por llama</i>	Revestimientos sobre base fija.
<i>Soldadura y encolado</i>	Unión de semiacabados y piezas a partir de los mismos mediante conformado en caliente o arranque de viruta.

Los procesos de conformado se derivan de la cantidad de materiales que son procesados y la importancia tecnológica y comercial en la industria, debido al incremento de aplicación de materiales plásticos reemplazando a los metales y cerámicos. De ahí la consideración de identificar varios procesos de conformado del plástico permitiendo la facilidad de procesamiento de los polímeros y formado de piezas. En función o de acuerdo a la forma del producto resultante del proceso de conformado del plástico estos se clasifican en: proceso de extrusión, producción de láminas continuas películas, producción de filamentos, películas y fibras, partes moldeadas sólidas y huecas, moldeo por inyección, moldeo por compresión y transferencia, moldeo por soplado y moldeo rotacional, termoformado, fundición y colado y finalmente procesos de conformado de espumas de polímero [17].

### **2.1.3.1 Termoformado**

Es un proceso en el cual se transforma el plástico calentándolo y reblandeciéndolo para dar la forma deseada al material mediante el uso de una lámina plana de material termoplástico. Se calienta la lámina en un determinado rango de temperatura para reblandecer el material, deformando a este al contacto con el molde obteniendo el producto y recortando el exceso. Es un proceso muy utilizado para fabricación de empaques de alimentos, fabricar artículos de baño, revestimientos y elementos en la automoción [19].

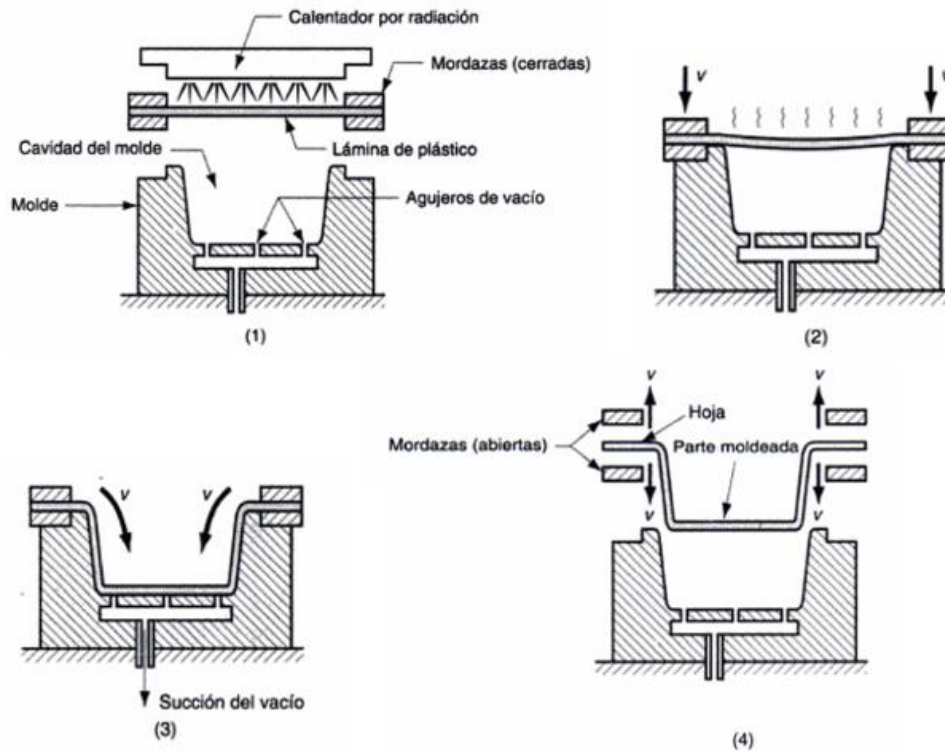
El proceso de termoformado consiste de dos principales pasos como son: precalentamiento y conformado del material. Generalmente el calentamiento se lo realiza empleando radiadores eléctricos a una cierta distancia. El calentamiento dura lo necesario hasta ablandar la lámina, y esto depende del tipo de polímero y su espesor. Estos métodos son clasificados en: Termoformado al vacío, Termoformado a presión y termoformado mecánico. Siendo materiales para formado de material laminar, debido que en la industria del empaque el proceso se realiza con películas delgadas en las operaciones de termoformado [17].



*Figura 2.6 Proceso de termoformado [19].*

### **2.1.3.1.1 Termoformado al Vacío**

Este método es el más antiguo proceso de conformado de piezas por termoformado, proceso que a sus inicios se conocía como formado al vacío, en este proceso se aplica una presión negativa, al aplicar una fuerza de vacío o succión para remover el aire atrapado en el molde produciendo la presión negativa la cual permite la adherencia de la lámina precalentada a la cavidad del molde. El proceso se interpreta en la figura donde los agujeros en el molde para realizar el vacío son de diámetro de 0.8 mm (1/32 pulg), para que sus efectos sean menores en la superficie de la lámina [19].



*Figura 2.7 Proceso de termoformado al vacío [17].*

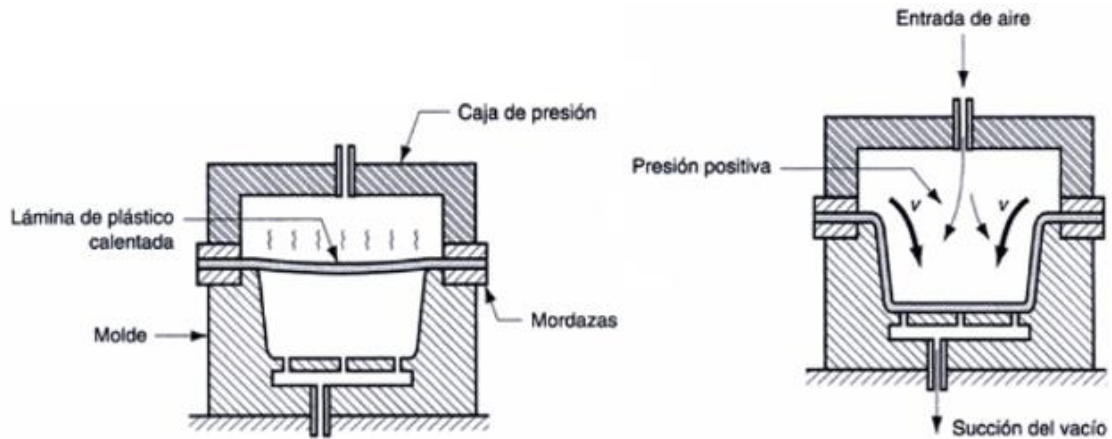
En imagen 1 se calienta la lámina plana de plástico para suavizarla, en la imagen 2 se coloca la lámina sobre la cavidad del molde cóncavo, aplicando el vacío en la imagen 3 atrae la lámina hacia la cavidad del molde y finalmente en la figura 4 el plástico al permanecer en contacto con la superficie fría del molde este se enfría y se endurece, se procede a retirar la pieza conformada del molde para luego proceder a recortar el material sobrante [17].

### **2.1.3.1.2 Termoformado a Presión**

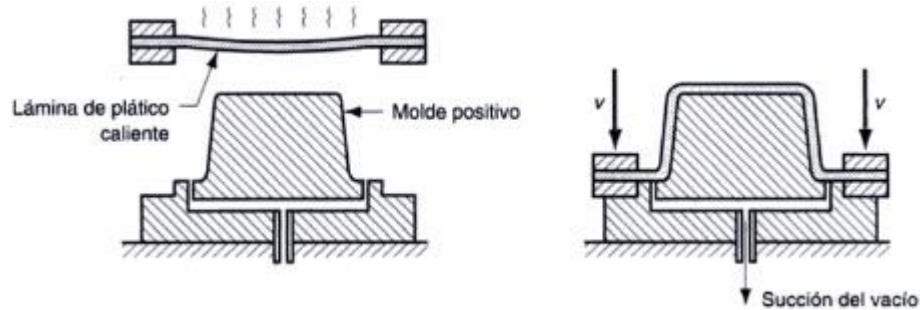
Es un proceso similar al de termoformado al vacío pero a diferencia del proceso de termoformado al vacío este aplica presión positiva al aplicar aire comprimido sobre la lámina del material termoplástico forzando al plástico para moldearlo cuando este está caliente dentro de una cavidad, este proceso se lo conoce también como termoformado por soplado, siendo su ventaja que permiten trabajar con presiones elevadas en comparación al termoformado al vacío proceso que se limita a un máximo teórico de una atmósfera, mientras se debería trabajar con presiones de 3 – 4 atmósferas [19].



El proceso es similar al anterior, su diferencia radica en el moldeado ya que la lámina es presionada hacia el molde los cuales pueden ser negativos o positivos dependiendo de sus cavidades cóncavas. En el molde negativo se aplica presión para que el plástico tome la forma de la cavidad del molde, mientras que el molde positivo la lámina cubre la forma convexa del molde y a su vez se utiliza presión negativa [17].



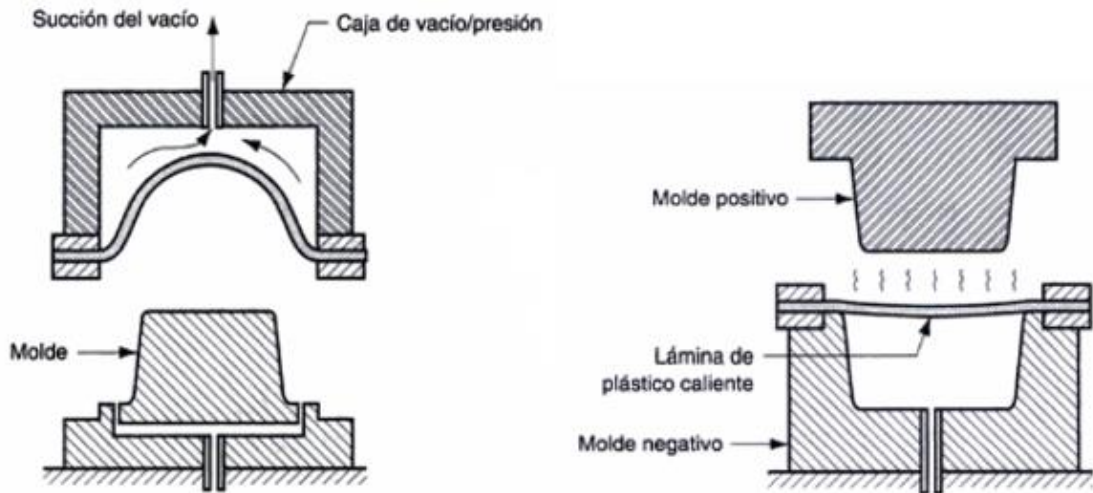
*Figura 2.8 Proceso termoformado a presión utilizando molde negativo [17].*



*Figura 2.9 Proceso termoformado a presión utilizando molde positivo [17].*

### 2.1.3.1.3 Termoformado Mecánico

Este tercer proceso de termoformado denominado mecánico emplea un par de moldes cavidades positivas y negativas (macho-hembra), los cuales son aplicados a una lámina de plástico caliente, que cuando se unen las cavidades del molde, forzan a que el material termoplástico tome la forma esperada del molde. La desventaja de este método es el costo debido a que necesita la adquisición de dos moldes a diferencia de los dos anteriores métodos que trabajan con un solo molde [19].



*Figura 2.10 Proceso de termoformado mecánico aplicando dos moldes a presión. [17]*

El termoformado es un proceso en el cual solo se pueden termoformar termoplásticos debido al proceso en el cual se debe calentar el material además que el termoformado es un proceso secundario debido que el plástico debe ser sometido a un proceso primario para formar la lámina. Los plásticos más comunes sometidos al proceso de termoformado son el poliestireno (PS), ABS, PVC, polipropileno (PP), polietileno (PE) y el acrílico [17].

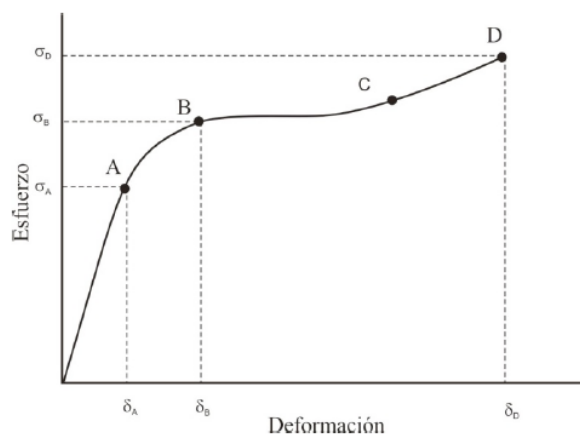
#### **2.1.4 Propiedades Mecánicas en Polímeros**

La medición y evaluación de las propiedades mecánicas de un determinado material es esencial para determinar la factibilidad de un material para cumplir con una función específica. Para que no existan inconsistencias al momento de medir e interpretar los resultados de las propiedades del material, se establecen normas para realizar los ensayos, medir los datos y la interpretación de los mismos [11].

Los polímeros generalmente muestran diferentes comportamientos, son frágiles -elásticos a bajas temperaturas, y viscosos, gomosos, visco elásticos a altas temperaturas en el proceso de fabricación. En sus distintas aplicaciones los polímeros son sometidos a distintos tipos de carga, por lo que son importantes las propiedades mecánicas para seleccionar el adecuado material para una aplicación determinada. Las propiedades mecánicas de los polímeros fundamentalmente dependen de su estructura, composición química y proceso de conformado; así

como también influyen otros factores como la temperatura y la velocidad de aplicación de los esfuerzos sometidos [19].

Debido a la velocidad elevada con la que se aplica una carga durante tiempos prolongados el comportamiento en una aplicación puede extrapolarse a través de ensayos. En estos ensayos estudiamos el comportamiento y la deformación que sufre un material bajo la aplicación de cargas o esfuerzos en función del tiempo, variando la respuesta del material dependiendo del tipo de esfuerzo al que el material es sometido. Es importante estudiar el comportamiento del material ante el esfuerzo al que será sometido caracterizando al material en una aplicación determinada. Estudiando el comportamiento de los materiales cuando son sometidos a esfuerzos realizando ensayos a corto plazo como: Ensayos de tracción, flexión e impacto [20].



**Figura 2.11.** Curva esfuerzo- deformación de materiales plásticos [20].

La grafica nos muestra como el material se deforma al estar sometido a esfuerzos. La pendiente en el tramo AO se conoce como el módulo de Young. Las deformaciones ubicadas bajo el punto A son relativamente pequeñas, entre los puntos A y B existe una mayor deformación debido al estiramiento de las moléculas pero siendo aún deformaciones elásticas, pero en el punto B las deformaciones son plásticas dejando de ser elásticas siendo este punto conocido como límite elástico o punto de fluencia siendo el esfuerzo limite o deformación limite debido que las deformaciones son irreversibles a partir de este punto, lo que ocurre por el deslizamiento de las moléculas que no pueden retornar a su posición inicial. El tramo BC es relativamente horizontal debido que el material se vuelve dúctil fluyendo en función del aumento del esfuerzo aplicado, a partir del punto C

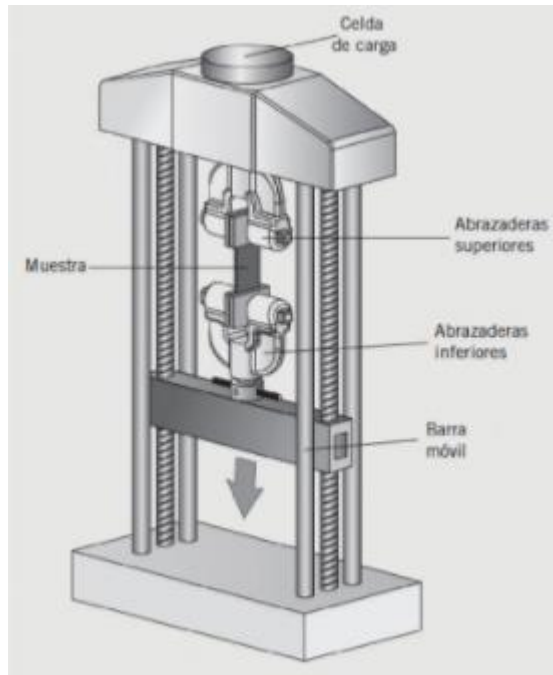
el esfuerzo debe ser mayor para que el material continúe deformándose ya que el material sufre un ligero reforzamiento. El punto D es la máxima resistencia que tiene el material antes de romperse recibiendo el nombre de resistencia a la rotura y la deformación en ese punto es el alargamiento de rotura [20].

### **2.1.5 Ensayo de Materiales**

En la caracterización de los materiales poliméricos se determinan las propiedades mecánicas utilizando ensayos destructivos. Para el proceso de ensayo se analizan las características y el comportamiento del material tomando una determinada cantidad de muestras. Los ensayos son realizados con el uso de equipos adecuados y normalizados bajo la aplicación de normas como la ASTM (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales), desarrolladas para la caracterización de materiales a través de ensayos [21].

#### **2.1.5.1 Ensayo de Tracción**

El ensayo de tracción permite conocer una gran información respecto al material, su respuesta cuando una fuerza tiende a estirarlo, su resistencia a la tracción, la elongación y su módulo de Young. Para realizar el ensayo de tracción el material es asegurado a dos brazos con mordazas una fina y otra móvil, también se conecta a una celda de carga. El brazo móvil se mueve hacia abajo a velocidad constante, empujando el material mientras se determina la carga máxima aplicable y la deformación máxima antes de romperse. La norma técnica que se aplica en este ensayo es la norma ASTM D638 Ensayos de Tracción de Plásticos y Coeficiente de Poisson, especificando las dimensiones de las probetas a ensayar las cuales deben estar libres de defectos superficiales visibles, fisuras o imperfecciones [20].

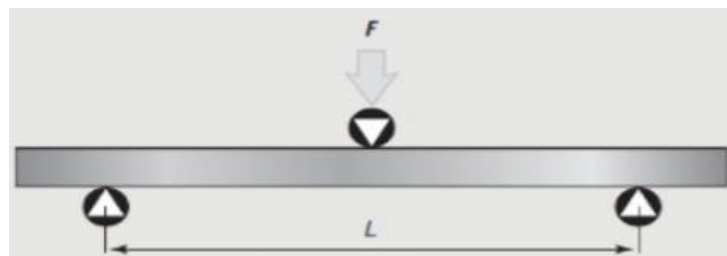


*Figura 2.12 Máquina Universal para ensayo de tracción [11].*

### **2.1.5.2 Ensayo de Flexión**

Este ensayo se utiliza para probar la fragilidad del material aplicando la norma ASTM D790 Propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados y materiales de aislamiento [11].

Este ensayo mide la resistencia a la flexión del material y su capacidad de soportar cargas que se aplican en su eje longitudinal, siendo el esfuerzo sometido una combinación de esfuerzos, tracción, compresión y cortante al aplicar la carga de flexión. Las deformaciones en la superficie externa de la probeta donde se miden las propiedades de flexión [20].



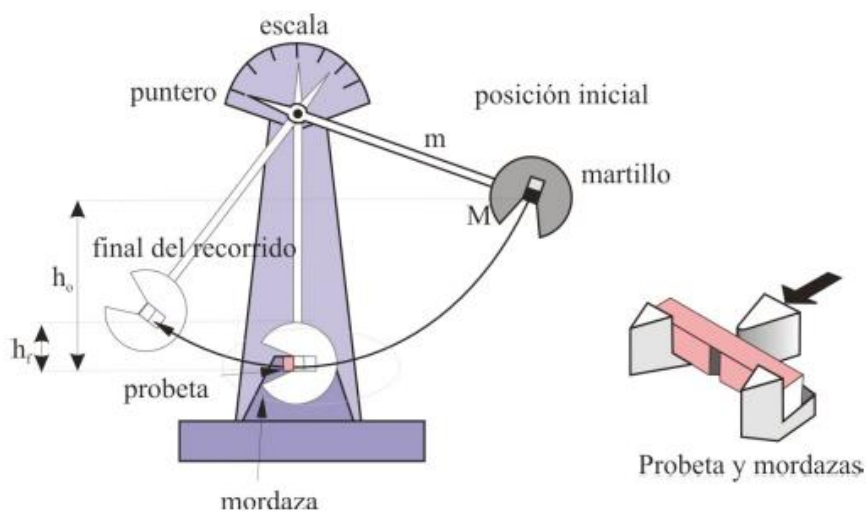
*Figura 2.13 Esquema de las cargas aplicadas en el esfuerzo de flexión [11].*

### **2.1.5.3 Ensayo de Impacto**

Este ensayo se encarga en medir la cantidad de la energía absorbida por el material en un área determinada de impacto. Los plásticos son más susceptibles a sufrir fallos al ser sometidos al impacto, debido que el fallo en este ensayo depende el tipo de material, tamaño, forma, espesor, etc. Los ensayos de impacto comúnmente usados son el de tipo dardo así como también el de tipo péndulo [20].

### 2.1.5.3.1 Ensayo Tipo Péndulo

Es un ensayo de impacto que mide la tenacidad de material a un impacto de golpe, el cual es realizado por un martillo asegurado a un péndulo a una respectiva altura y se libera sometiendo a un impacto brusco al material, la orientación de la probeta varía en función de las especificaciones del ensayo. La norma aplicada a este ensayo es ASTM D6110 Determinación de propiedades de impacto Charpy [11].

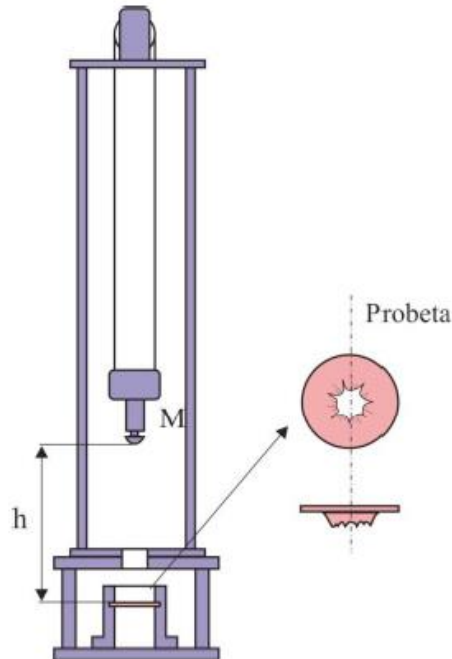


*Figura 2.14 Máquina para ensayo de impacto tipo péndulo [20].*

### 2.1.5.3.2 Ensayo Tipo Dardo

En este ensayo la probeta se encuentra sometida al impacto de carga conocida en forma de dardo que cae desde una determinada altura. La norma aplicada a este ensayo es ASTM D 1709 Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method. Para proceder al ensayo se coloca una probeta en un soporte, el dardo se eleva hasta una determinada altura por un sistema de ejes guía graduados haciendo que el dardo caiga por gravedad. La energía de impacto puede variarse en el ensayo, variando la masa del dardo o

variando la altura de la que cae el dardo. La energía de impacto es calculada con la siguiente ecuación  $E = m \cdot g \cdot h$ , considerando un 50% de probabilidad de fallo para el cálculo de  $h$  consideraciones que se realizan estadísticamente [21].



*Figura 2.15 Equipo para ensayo tipo dardo y esquema de probetas [20].*

### **2.1.5.3.3 Ensayo de Impacto con Equipos Instrumentados**

Existe una versión instrumentada para realizar los ensayos tanto de péndulo como el de tipo dardo, equipos que cuentan con un traductor ubicado en el cabezal del instrumento de impacto (martillo o dardo), el cual mide la fuerza producida durante el impacto formada por la resistencia de la probeta, registrando un gran número de puntos durante el proceso de impacto, permitiendo determinar las curvas fuerza deformación en función del tiempo, y calcular la energía de impacto, a partir del área encerrada la curva, la fuerza máxima y el espesor de la probeta [20].

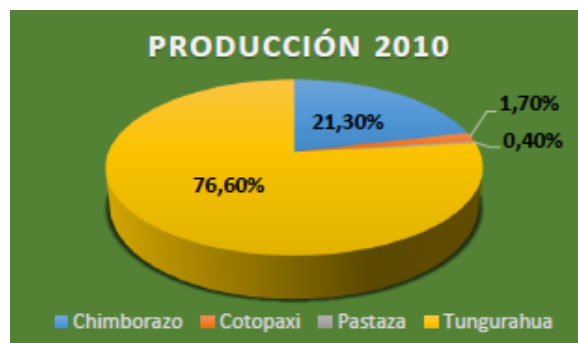
### **2.1.6 Carrocerías Metalmecánicas**

La carrocería es la encargada de cubrir totalmente el exterior de un vehículo para proteger y cubrir todos los elementos del interior como el motor, los diferentes elementos mecánicos y también los pasajeros, como se observa en la figura 2.16 [22].



**Figura 2. 16** Chasis y carrocería de un vehículo [22].

Los autobuses en la actualidad y en función del crecimiento de la industria carrocera, que debido a la necesidad de una constante movilidad por distintos aspectos en la vida, obligando a los carroceros a mejorar sus procesos de producción para la reducción de costos y mejorar los modelos. Debido a la alta demanda de carrocerías para el mercado nacional, la producción de carrocerías metalmecánicas se ha incrementado notablemente principalmente en el cantón Ambato provincia de Tungurahua donde se encuentra el mayor número de empresas carroceras como se detalla en la figura [23].



**Figura 2.17** Producción nacional de carrocerías para buses en la zona 3 del Ecuador. [24]

### 2.1.6.1 Plan de Producción de Carrocerías

El proceso de producción y construcción de carrocerías metalmecánicas se realiza mediante los siguientes procesos:

- Adquisición y preparación de materiales.
- Estructura y proceso de forrado.
- Forrado interior de la carrocería.
- Acabados, pintado y terminado [23].



### **2.1.7 Guardachoques**

Los guardachoques o parachoques nacieron con la finalidad de evitar daños en el vehículo al momento de una colisión. Evidentemente la evolución de los automóviles y el incremento de la velocidad que lograba alcanzar el mismo, haciendo necesario la aplicación de piezas de acero pero a su vez elevando el peso del vehículo lo que es una desventaja. La solución a este problema fue la implementación de guardachoques de plástico reemplazando al metálico, siendo capaz de soportar impactos a baja velocidad sin dañarse, cambiando su función inicial de protección colisión a una protección de golpes a bajas velocidades teniendo la tenacidad del material como la exigencia más importante [25].

El guardachoque está compuesto de materiales plásticos que deben cumplir con las especificaciones para la aplicación de guardachoques que van ubicados en la parte frontal como en la trasera del automóvil, utilizando en su fabricación procesos de alta tecnología cumpliendo así las especificaciones generales para la fabricación:

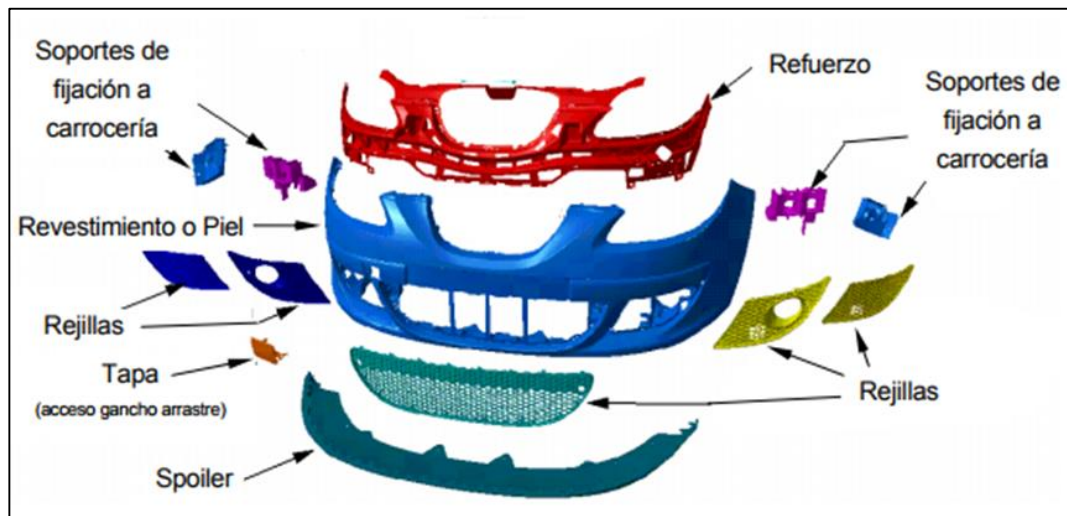
- Material de baja densidad.
- No ser agresivo para las máquinas y poseer una adecuada velocidad de flujo fundido.
- Ser un aislante térmico como también acústico.
- Alta resistencia UV.
- Bajo impacto ambiental y no ser higroscópicos.
- Buena posibilidad de reciclado [25].

Para reducir el peso del material es importante utilizar fibras de refuerzos, aditivos y otro tipo de modificaciones reduciendo así la densidad del material e incrementando la resistencia mecánica del material en función del peso [25].

#### **2.1.7.1 Funciones del Guardachoque**

El guardachoque no es únicamente una pieza ubicada en la parte frontal o posterior del vehículo encargada de absorber la energía de impacto al momento de un choque o colisión, a pesar de su nombre existen otros elementos encargados de esta función debido a la evolución de la industria, por lo que el guardachoque

constituye también una parte importante de imagen del vehículo, dando una imagen familiar, deportiva, agresiva al automotor en la parte frontal [18].



*Figura 2.18 Partes principales de un guardachoque [26].*

La principal función de un guardachoque es proteger el vehículo de pequeños golpes en los elementos que conforman la parte frontal sean estos el radiador, faros bocinas, depósitos, etc.; pero es importante destacar que el guardachoque posee baja o nula fluencia en una colisión a velocidades altas o medias. También el guardachoque tiene como función sostener otros elementos sean estos los faros, sistemas de lavafaros, la placa o matrícula, rejillas, sensores de parqueo, etc. [26].

Los guardachoques son responsables de funciones así como permitir el ingreso de aire hacia los sistemas de refrigeración tanto del motor como el de frenado, facilitar la salida de los haces de luz de los faros, marca también la longitud del vehículo y también define el ángulo de ataque de rampa [18].

### **2.1.7.2 Especificaciones para la aplicación de guardachoques**

Los guardachoques deben ser sometidos y analizados bajo distintos aspectos dependiendo si el guardachoque va a ser pintado posteriormente o no, proponiendo así las características requeridas para el Polipropileno de Alto Impacto en la fabricación y aplicación del guardachoque el cual generalmente es pintado:

- Ausencia de defectos.
- Adecuada relación entre el modulo elástico y resistencia al impacto.

- Gran estabilidad dimensional térmica y mecánica.
- Bajo coeficiente de expansión térmica lineal.
- Excelente adherencia de pintura [25].

## **2.2 Hipótesis**

El análisis de las partes termoformadas y la determinación de sus propiedades mecánicas optimizara el proceso de fabricación de guardachoques de polipropileno de alto impacto.

## **2.3 Señalamiento de Variables de la Hipótesis**

### **2.3.1 Variable Independiente**

Partes termoformadas de polipropileno de alto impacto.

### **2.3.2 Variable Dependiente**

Propiedades Mecánicas.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Nivel O Tipo De Investigación**

##### **3.1.1 Descriptivo**

Se utilizó este tipo de investigación ya que se describe el análisis que se realizó al material polipropileno utilizado en la fabricación de guardacoches. Además describir el proceso de determinación y la obtención de sus propiedades mecánicas.

##### **3.1.2 Experimental**

La investigación es de manera experimental, debido a que los resultados obtenidos de los ensayos luego de las respectivas pruebas realizadas permitirán determinar las propiedades mecánicas del material y generando así un estándar experimental para su futura aplicación en la industria carrocera.

##### **3.1.3 Bibliográfica**

El presente estudio por su contextualización requirió la aplicación de una investigación bibliográfica, debido a la necesidad de utilizar fuentes como libros, artículos técnicos, tesis, investigaciones previas, normas y otras fuentes de investigación importantes para la obtención de parámetros de investigación adecuados buscando obtener mejores resultados.

##### **3.1.4 Aplicada**

Ya que la pretensión de la caracterización del polipropileno de alto impacto fue que a través de los resultados obtenidos de esta investigación sea considerado como material alternativo utilizado en la fabricación de guardachoques.

##### **3.1.5 Explicativo**

El estudio realizado es explicativo debido que los resultados obtenidos permiten dar una explicación a la industria carrocera respecto a las ventajas mecánicas y económicas al poder aplicar materiales alternativos en la producción.



## **3.2 Población y muestra**

### **3.2.1 Población**

La población para esta investigación es:

Piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto, que van a ser utilizadas en la producción actual de guardachoques de buses, para la empresa Carrocera Construcciones Mecánicas Albán la que se encuentra ubicada en la ciudad de Latacunga, bajo los diferentes parámetros propuestos de estudio para el proceso de termoformado (espesor, temperatura y presión de vacío), obteniendo elementos de análisis mediante moldes y caracterizados mecánicamente bajo las diferentes normativas de tracción, flexión e impacto en las distintas maquinas correspondientes especificadas para los ensayos con un numero de réplicas de 3 dando un total de 24 probetas para cada ensayo.

### **3.2.2 Muestra**

En nuestro caso la muestra es:

Las diferentes probetas se realizaron con un mínimo de tres por cada tipo de ensayo, y todo bajo lo establecido en las especificaciones de las normas correspondientes (Tracción ASTM D638, Flexión ASTM D790 e Impacto ASTM D 1709) en función de las variables del proceso de termoformado (Espesor, temperatura, presión de vacío) mediante moldes y probetas, para luego del análisis correspondiente determinar las mejores condiciones en el proceso de termoformado que presentes la mejor combinación de propiedades mecánicas en el material para su aplicación.

### 3.3 Operacionalización de variables

#### 3.3.1 Variable Dependiente

Partes termoformadas de polipropileno de alto impacto.

*Tabla 3.1 Variable Dependiente.*

<b>Contextualización</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Items</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
El polipropileno (PP) es un polímero termoplástico semicristalino lineal y el segundo más común en la familia de las poliolefinas, posee una gran resistencia a la tracción, pero baja resistencia al impacto y trabaja a elevadas temperaturas; propiedades que permiten su uso en múltiples aplicaciones en el sector industrial y la automoción.	Termoformado al Vacío	Espesor	( 4 – 5 ) [mm]	Observación directa Bibliográfica Fichas de datos Registro de datos Investigación de campo
		Presión de Vacío	( 30 – 50 ) [Psi]	
		Temperatura	( 200 - 270 ) [°C]	

**Fuente:** Autor

### 3.3.2 Variable Independiente

Propiedades Mecánicas.

*Tabla 3.2 Variable Independiente.*

<b>Contextualización</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Items</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
Las propiedades mecánicas indican el comportamiento de un material cuando es sometido a fuerzas, reflejando la relación entre la fuerza aplicada y la deformación en respuesta por el material, debido que los materiales al ser usados en la industria o diferentes aplicaciones se encuentran sometidos a fuerzas y cargas.	Ensayo de Tracción	Esfuerzo de Tracción	(25 – 40) [MPa]	Investigación Bibliográfica
		Módulo de elasticidad	(0.5 – 3) [GPa]	Observación
	Ensayo de Flexión	Esfuerzo de Flexión	( 6 – 10 ) [MPa]	Normas ASTM
		Módulo de flexión	(0.5 - 4.5) [GPa]	Ensayos
	Ensayo de Impacto	Energía de Impacto	(1.5 – 4.0) [J]	Toma de datos

**Fuente:** Autor



### **3.4 Plan de recolección de información**

En el desarrollo para la recolección de datos se lo realizó de acuerdo al desarrollo de la operacionalización de variables recolectando la información mediante las siguientes técnicas y bajo los respectivos instrumentos como:

#### **3.4.1 Observación**

Mediante la observación directa se llevó un registro detallado, tomando notas de lo que consideramos necesario para detallar los ensayos (tracción, flexión e impacto), describir y analizar los datos que permiten obtener una base informativa de significación especial.

#### **3.4.2 Documental**

La recolección de la información se realizó de libros, artículos técnicos, publicaciones, estudios, fichas técnicas y la aplicación de la normativa ASTM para el dimensionamiento de las probetas y la realización de ensayos a los que serán sometidas las diferentes probetas obtenidas de las diferentes configuraciones y estratificaciones propuestas. Se realizó una tabulación e interpretación de los datos obtenidos del resultado de los ensayos para determinar las propiedades mecánicas del polipropileno de alto impacto.

### **3.5 Plan Procesamiento y análisis**

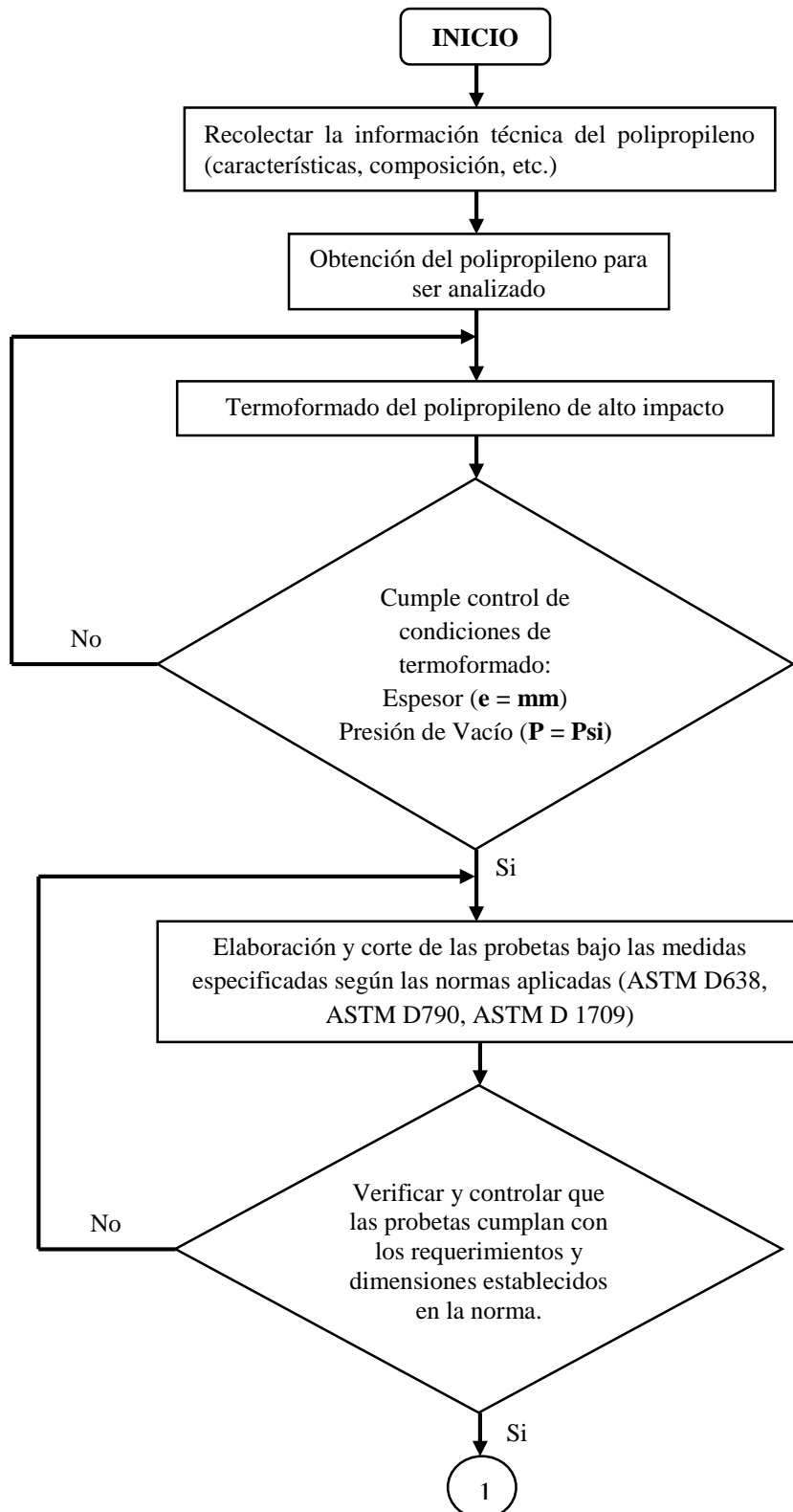
Los datos que se obtuvieron de los ensayos de las probetas del material termoformado de polipropileno de alto impacto fueron analizados y procesados, para lo que se empleó tablas, fichas técnicas, fotografías, etc., lo que permitió la tabulación de los datos mediante el uso de graficas estadísticas y curvas de acuerdo a los parámetros establecidos y facilitando interpretar la relación con las variables de la hipótesis y permitir identificar las propiedades mecánicas del material.

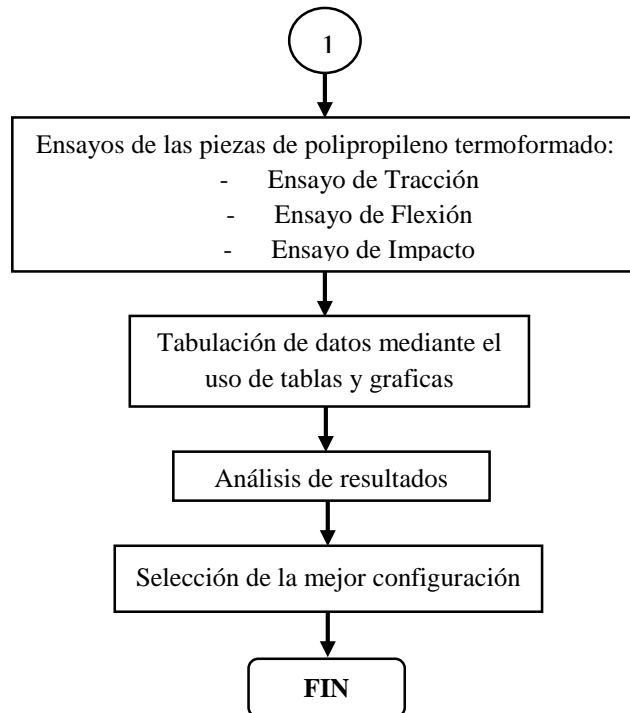
#### **3.5.1 Análisis e Interpretación de Resultados**

Para proceder a la interpretación de los resultados obtenidos al culminar el trabajo y los diferentes tipos de ensayos (tracción, flexión e impacto), determinando la mejor configuración y las mejores especificaciones para el proceso de

termoformado, así como los principales parámetros y la que diera la mejor combinación de resultados, mediante también la realización de la tabulación de los resultados generados a través del análisis. Para describir el proceso de ejecución del estudio se procedió a realizarlo mediante el uso de un diagrama de

flujo del proceso completo el que se describe a continuación, para su respectivo análisis.





*Figura 3.1 Diagrama de Flujo para la realización del estudio*

**Fuente:** Autor

### **3.5.2 Proceso Diseño Experimental**

#### **Máquina de Termoformado**

La empresa carrocera “Construcciones Mecánicas Albán” en la ciudad de Latacunga cuenta con una máquina de termoformado misma que cuenta con las siguientes características:

- Es de uso manual.
- Posee 24 resistencias de níquelina de 650 Watts.
- Una bomba de vacío con un motor de 1.5 Hp y presión de vacío de 50 KPa.
- Posee dos tanques de compensación de 24 L.

#### **3.5.2.1 Selección del Diseño**

##### **3.5.2.1.1 Diseño Factorial**

Un diseño factorial tiene como objetivo estudiar el efecto de una o varias respuestas en un experimento en función de varios factores de entrada, teniendo un mismo interés sobre todos los factores. Estos factores pueden ser de tipo cualitativo (materiales, máquinas, operadores, automatización, etc.), o cuantitativo

(presión, temperatura, voltaje, velocidad, humedad, etc.), estudiando la manera como estos parámetros sobre las variables de respuesta en el experimento es necesario elegir un diseño con al menos dos niveles para prueba o realización de los ensayos [27].

### 3.5.2.1.2 Diseño Factorial $2^k$

Este tipo de diseño consiste en la utilización de un número de  $k$  factores, todos con dos niveles de prueba, siendo así uno de los diseños de mayor impacto en la industria en proyectos de investigación, debido a su gran versatilidad y eficacia en sus resultados. Estos factoriales son recomendables en su utilización cuando el número de factores a estudiar se encuentra entre 3 y 5 como se muestra en la tabla 3.3 [27].

### 3.5.2.1.3 Diseño factorial $2^3$

Este diseño factorial aplica una consideración de dos niveles  $2^3$  para el estudio de dos factores y la optimización del proyecto. Para las combinaciones o tratamientos que se pueden realizar en este experimento se considera un diseño que consiste en un sistema de  $2 \times 2 \times 2 = 8$  tratamientos diferentes para cada réplica del experimento. El interés de este experimento se enfoca principalmente en estudiar los principales efectos y las iteraciones como se observa en la tabla 3.3 [27].

*Tabla 3.3 Tabla Ejemplo del modelo experimental de tres factores pero a dos niveles [27].*

Factor	U. originales			U. codificadas		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
A: Tipo de suspensión	$A_1$	$A_2$	$A_3$	-1	0	1
B: Abertura de malla	40	-	60	-1	-	1
C: Temperatura	0	-	30	-1	-	1

### 3.5.2.2 Parámetros de entrada

Los parámetros de entrada se describen en la tabla 3.4. El espesor del material el polipropileno de alto impacto fue tomado como referente el utilizado para la construcción de guardachoques de las empresas reconocidas en el campo carroceros; parámetro que varía de una manera importante también debido al proceso de conformado, la medida se la tomó de la medición varias muestras para determinar un espesor promedio. Para la toma de medidas del espesor la

utilización del calibrador pie de rey es muy importante para determinar para dichas mediciones, los parámetros de variación para el proceso se muestran en la tabla 3.4 [28].

*Tabla 3.4 Parámetros, variables y niveles de ensayo.*

Variables	Símbolo	Unidades	Niveles	
			Bajo	Alto
A: Espesor	e	mm	3	5
B: Presión de Vacío	P	Psi	30	50
C: Temperatura	T	°C	200	270

Fuente: El Autor

### 3.5.2.3 Modelo del Experimento

Para la realización del modelo experimental fueron seleccionados los siguientes datos: número de réplicas ( $m=3$ ), espesor ( $A=2$ ), presión de vacío ( $B=2$ ), temperatura ( $C=2$ ) como se describe en la tabla 3.5 y 3.6.

**Dónde:** El número total de pruebas ( $n$ ) de ensayo para este caso es igual a:

$$n = m * A * B * C = 3 * 2 * 2 * 2 = 24$$

*Tabla 3.5 Caracterización de factores y niveles para el ensayo.*

A: Espesor (mm)	Niveles	Código	B: Presión de Vacío (Psi)	Niveles	Código	C: Temperatura (°C)	Niveles	Código
3	A1	Bajo (-1)	30	B1	Bajo (-1)	200	C1	Bajo (-1)
5	A2	Alto (1)	50	B2	Alto (1)	270	C2	Alto (1)

Fuente: El Autor

*Tabla 3.6 Número de probetas para el ensayo.*

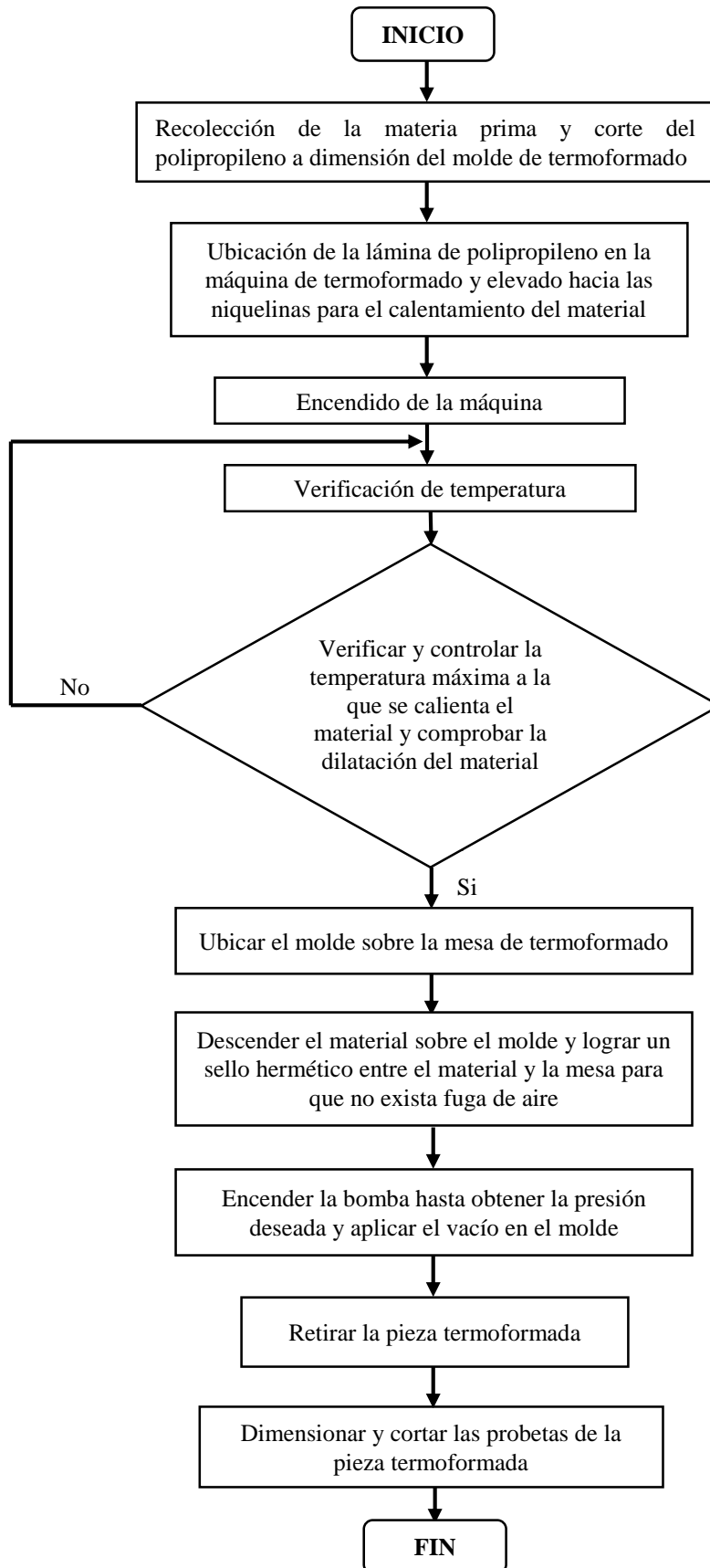
	A1		A2		Total Número de Probetas
	B1	B2	B1	B2	
C1	1	1	1	1	4
C2	1	1	1	1	4
	<b>Total</b>				<b>8</b>

Fuente: El Autor

### 3.5.3 Proceso de Elaboración de Probetas

Las probetas para el ensayo son obtenidas de piezas termoformadas, describiendo el proceso de elaboración y fabricación de las probetas se detallando las

actividades a cumplir para su elaboración mediante el proceso como se muestra en la figura 3.2.



*Figura 3.2* Proceso de termoformado al vacío y obtención de probetas para los ensayos.

**Fuente:** Autor



Para la elaboración de las probetas se siguió el siguiente procedimiento:

- Cortar la lámina de polipropileno de alto impacto en función de las dimensiones del molde y dimensión de la mesa ilustrada en la figura 3.3.



*Figura 3.3 Corte de la lámina de polipropileno.*

**Fuente:** El Autor

- Seleccionar del molde para la parte termoformada y ubicar el mismo sobre la mesa de vacío como se puede observar en la figura 3.4.



*Figura 3.4 Molde ubicado sobre la mesa de termoformado.*

**Fuente:** El Autor

- Ubicar el material sobre la mesa como se muestra en la figura 3.5, realizando un correcto ajuste del material para no se suelte al dilatarse, y elevarlo hasta la altura donde se encuentran ubicadas las niquelinas.



*Figura 3.5 Ajuste del material para elevarlo a las niquelinas para ser calentado.*

**Fuente:** El Autor

- Controlar la temperatura de termoformado en los parámetros indicados como se observa en la figura 3.6.



*Figura 3.6 Panel de control de temperatura.*

**Fuente:** El Autor

- Verificar la correcta dilatación del material como se ilustra en la figura 3.7, para proceder a descender el mismo sobre el molde ubicado en la mesa.



*Figura 3.7 Dilatación del material para termoformado.*

**Fuente:** El Autor

- Cargar la bomba controlando la presión como se observa en la figura 3.8, procediendo luego a aplicar el vacío al material dilatado para la succión y así adoptar la forma del molde de termoformado.



*Figura 3.8 Manómetro de control de presión de vacío.*

Fuente: El Autor

### 3.5.4 Dimensionamiento de las probetas para ensayos

Para la realización de los ensayos se obtuvieron las probetas de las piezas termoformadas bajo las diferentes condiciones y parámetros (espesor, presión de vacío y temperatura) mismas que serán utilizadas en la fabricación de guardacoches y piezas de carrocerías con polipropileno de alto impacto, para obtener probetas para el análisis bajo las distintas condiciones y parámetros obtenidos a partir de dichos materiales. Para el dimensionamiento de las probetas que serán utilizadas en la realización de los ensayos una vez recolectada la información preliminar, las probetas serán dimensionadas en función de las siguientes normas:

- ASTM D638-02 Ensayo de tracción
- ASTM D790-03 Ensayo de flexión
- ASTM D1709-15 Ensayo de impacto

Según lo establecido en la norma aplicada en los ensayos se debe realizar un mínimo de 3 réplicas para cada condición de ensayo, obteniendo un número de probetas de 24 para cada ensayo bajo las diferentes condiciones y parámetros de dimensionamiento de las probetas para los ensayos de tracción, flexión e impacto. Además las dimensiones de las probetas en función de la normativa aplicada se encuentran descritas en la en la tabla 3.7.

*Tabla 3.7 Dimensionamiento de las probetas según la normativa ASTM para los ensayos.*

ENSAYO	DIMENSIONES (mm)			NORMA A UTILIZAR	NÚMERO DE PROBETAS
	Largo	Ancho	Espesor		
Tracción	165	19	Espesor	ASTM D638	24
Flexión	80	13	Espesor	ASTM D790	24
Impacto	80	80	Espesor	ASTM D 1709	24

Fuente: El Autor

Las dimensiones de las probetas son determinadas bajo la norma ASTM (largo, ancho y espesor), pero en este caso el espesor es variable debido que este parámetro se encuentra en función del proceso de termoformado variando entre 3 – 5 mm dependiendo de los parámetros aplicados en el proceso como son la temperatura y la presión de vacío.

### Corte de Probetas

El proceso de corte y obtención de probetas se lo realizo mediante corte en frio con una caladora, y para obtener un buen acabado se procedió a lijar los bordes de las probetas. A continuación se muestra las probetas obtenidas para la realización de los ensayos de tracción en la figura 3.9, flexión en la figura 3.10, e impacto en la figura 3.11 respectivamente.



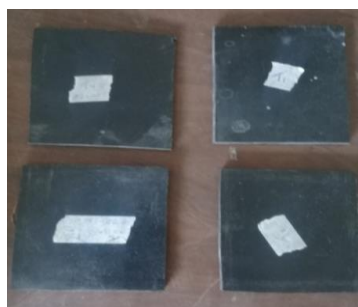
*Figura 3.9* Probetas para ensayo de tracción.

**Fuente:** Autor



*Figura 3.10* Probetas para ensayo de flexión.

**Fuente:** Autor



*Figura 3.11* Probetas para ensayo de tracción tipo dardo.

Fuente: Autor

### Codificación de probetas

La tabla 3.8 muestra la codificación que se realizó a las probetas, para facilitar la descripción de las condiciones y parámetros del proceso de termoformado al que fue sometido el polipropileno de alto impacto, para la obtención de las probetas por lo cual se codifico de la siguiente manera:

*Tabla 3.8 Descripción de condiciones y parámetros de las probetas de ensayo.*

Numero de Grupo	Identificación del Grupo	Configuración de Probetas			Probetas a Ensayar
		Temperatura (°C)	Presión de Vacío (Psi)	Espesor (mm)	
1	T1	200	50	4	3
2	T2	200	30	4	3
3	T3	270	50	4	3
4	T4	270	30	4	3
5	T5	200	50	5	3
6	T6	270	50	5	3
7	T7	270	30	5	3
8	T8	200	30	5	3
<b>Total</b>					<b>24</b>

Fuente: El Autor

### Determinación de características y dimensiones de las probetas

Para la realización de los cálculos respectivos en los ensayos de tracción y flexión es importante y necesario conocer y determinar las dimensiones de las probetas como el ancho y el espesor. Para la determinación de las dimensiones de las probetas, se obtuvieron mediante el uso de un calibrador pie de rey electrónico, dichas dimensiones son descritas en la tabla 3.9 con la respectiva codificación de cada uno de los grupos de ensayo.

Determinado las dimensiones de las probetas según la norma ASTM aplicada para los ensayos de polímeros:

- Las dimensiones de las probetas de tracción se establecieron bajo las condiciones de espécimen TIPO I descrito en la norma ASTM D 638-02a

y así seleccionando las correctas dimensiones para las probetas con un largo de la probeta de 165 mm y un ancho de 19 mm.

- Para el ensayo de flexión las dimensiones se determinaron según la norma ASTM D 790-03, para materiales moldeables (Termoplásticos y termoestables) donde establece un ancho de 12,7 mm, además que el largo se determina al multiplicar por 16 el espesor del material con un aumento mínimo del 10% de esa distancia estableciendo una longitud de probeta de 80 mm.
- Las dimensiones de las probetas de impacto se establecen según su geometría circular o cuadrada, donde en la norma ASTM D 1709-03 se establece una probeta cuadrada de 80 mm para el ensayo.

**Tabla 3.9** Características de las probetas de Polipropileno de Alto Impacto para los ensayos.

<b>Polipropileno de Alto Impacto</b>			
<b>Probetas para Ensayo de Tracción</b>			
<b>N° Probeta</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho(mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>
T1	165	17,40	4,23
T2	165	18,53	4,90
T3	165	17,97	3,95
T4	165	18,35	4,88
T5	165	18,17	3,96
T6	165	17,41	2,93
T7	165	17,52	3,86
T8	165	16,87	4,24
<b>Promedio</b>	<b>165</b>	<b>17,78</b>	<b>4,12</b>
<b>Probetas para Ensayo de Flexión</b>			
<b>N° Probeta</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho(mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>
T1	80	13,45	4,19
T2	80	13,79	4,95
T3	80	13,83	3,92
T4	80	13,99	4,84
T5	80	13,91	3,94
T6	80	13,30	3,00
T7	80	13,61	3,87
T8	80	13,52	4,27
<b>Promedio</b>	<b>80</b>	<b>13,67</b>	<b>4,12</b>
<b>Probetas para Ensayo de Impacto</b>			

Nº Probeta	Largo (mm)	Ancho(mm)	Espesor (mm)
T1	80	80	4,21
T2	80	80	4,93
T3	80	80	3,93
T4	80	80	4,86
T5	80	80	3,95
T6	80	80	2,97
T7	80	80	3,86
T8	80	80	4,26
<b>Promedio</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>4,12</b>

Fuente: El Autor

### 3.5.5 Realización de los Ensayos

Para el análisis y caracterización de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto se realizó los ensayos de tracción, flexión e impacto; para determinar las propiedades mecánicas de este material el cual es sujeto a un proceso de termoformado.

#### 3.5.5.1 Ensayo de Tracción

Este ensayo se realizó con la maquina universal para ensayos en polímeros, máquina con la que cuenta el laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Consejo Provincial de Tungurahua. La marca de la máquina es METROTEC modelo MTE-50, DE 50 KN de capacidad de carga como se muestra a continuación en la figura 3.12.

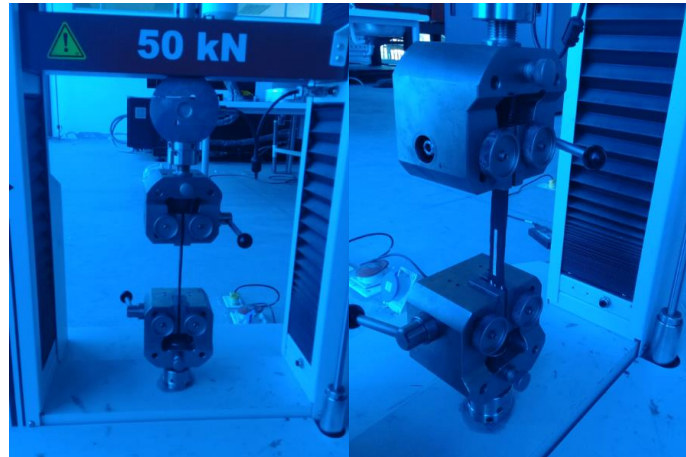


*Figura 3.12. Máquina universal para polímeros METROTEC MTE-50*

*Fuente: Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero*

## Procedimiento de Ensayo

Para el procedimiento y realización correcta del ensayo es importante mantener una correcta sujeción entre las abrazaderas de la máquina y las probetas y debido a la rugosidad de la superficie de las probetas, se necesitó adherir en los bordes extremos de cada probeta un pedazo de lija número 60. Para la realización del ensayo se coloca la probeta de tracción en la máquina universal para polímeros sujetando bien a la misma con las abrazaderas como se muestra en la figura 3.11, luego se aplica una carga la cual va incrementando a una velocidad constante de 10 mm/min a lo largo de su eje longitudinal según lo establecido en la norma, hasta el punto en el cual la probeta falla y se fractura. Determinando una carga máxima para los cálculos.



*Figura 3.13* Probetas ubicadas en la máquina para realizar el ensayo.

**Fuente:** El Autor

## Esfuerzo Máximo ( $\sigma_{max}$ )

Es el máximo esfuerzo al cual un material resiste al ser sometido a una fuerza máxima de carga de tracción sin fallar y fracturarse el material, el cual se calcula con la aplicación de la siguiente formula:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

- $\sigma_{max}$  = Esfuerzo máximo de tracción (MPa)



- $F_{\max}$  = Carga máxima o fuerza máxima aplicada para producir la fractura (N)
- $A$  = Área sección transversal probeta ( $\text{mm}^2$ )

### Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )

Es el porcentaje de elongación de la probeta calculado de la relación que existe entre la longitud inicial y final de las probetas al finalizar el ensayo, es decir es la deformación que sufre la probeta. La ecuación para el cálculo es la siguiente:

$$\epsilon_{(elongación)} = \frac{l_f - l_o}{l_f} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

$$\% n = \frac{l_f - l_o}{l_f} * 100\% \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde:

- $\epsilon$  = Elongación de la probeta (mm/mm) [24]
- % n = Porcentaje elongación o deformación sufrido por la probeta (%) [29]
- $l_o$  = Longitud inicial (mm)
- $l_f$  = Longitud final (mm)

### Módulo de Elasticidad (E)

$$E = \frac{\sigma_{\max}}{\epsilon} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde:

- $E$  = Módulo de elasticidad (MPa)
- $\sigma_{\max}$  = Esfuerzo máximo de tracción (MPa)
- $\epsilon$  = Elongación de la probeta (mm/mm)

#### 3.5.5.2 Ensayo de Flexión

Para realización de este ensayo se aplicó el uso de la misma maquina universal para ensayo de polímeros METROTEC MTE-50 usada en el ensayo de tracción

como ya se explicó anteriormente. Aplicando lo establecido en la norma ASTM D790-03 utilizando el procedimiento A el cual consta de un sistema de carga de tres puntos y las condiciones de distancia entre apoyos de para materiales moldeados (termoplásticos y termoestables de la siguiente manera.

$$d = e_{pro} * 16$$

Donde:

- $d$  = distancia entre apoyos (mm) [30]
- $e_{prom}$  = espesor promedio de las probetas (mm)

El espesor promedio determinado de las probetas es de 4 mm mismo que al ser multiplicado por 16 como lo establece la norma se obtiene una distancia entre apoyos de 64 mm ubicando a cada apoyo a 32mm del centro como se muestra en la figura 3.14 para proceder al ensayo.



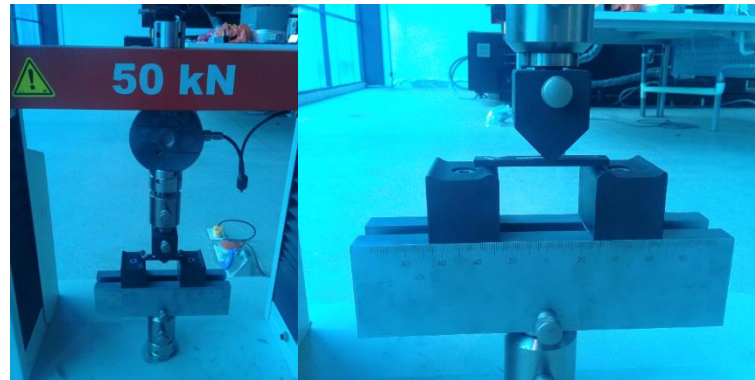
*Figura 3.14* Distancia entre apoyos para el ensayo de flexión.

**Fuente:** El Autor

### **Procedimiento del Ensayo**

Al determinar la distancia entre apoyos según lo que establece en la norma en el puente de flexión se procede a ubicar el mismo en la máquina, colocando a su vez el péndulo R5 para la carga, seguidamente se procede a colocar la probeta sobre los apoyos y la aplicación de la carga como de observa en la figura 3.15, misma que tiene un incremento constante a una velocidad de 10 mm/min, carga que se aplica sobre la sección transversal de la probeta hasta que esta sufra su máxima deflexión, falla o rotura. Determinando la fuerza máxima que soporta la probeta

como también su máxima deflexión para el cálculo del máximo esfuerzo de flexión así como también el módulo de flexión.



*Figura 3.15 Ubicación de la probeta en el puente de flexión.*

**Fuente:** El Autor

### **Esfuerzo máximo de Flexión ( $\sigma_{max f}$ )**

En un determinado material su esfuerzo máximo de flexión en el máximo esfuerzo que soporta dicho material antes de fallar o sufrir una rotura, cuando el material es sometido a una máxima deflexión, por lo que este esfuerzo se calcula en función de la deflexión y carga aplicada.

$$\sigma_{max f} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde:

- $\sigma_{max f}$  = Esfuerzo máximo de flexión (MPa)
- P = Fuerza máxima aplicada (N)
- L = Distancia entre apoyos (mm)
- b = Ancho de la probeta (mm)
- h = Espesor de la probeta (mm)

### **Módulo de flexión ( $E_f$ )**

El módulo de flexión en un material es la relación que existe entre el esfuerzo máximo de flexión que soporta el material en función de la máxima deflexión del material en la zona elástica del mismo, y la que se procede a calcular con la siguiente ecuación:

$$E_f = \frac{L^3 F}{4bh^3 \delta}$$

Donde:

- $E_f$  = Modulo de flexión (MPa)
- F = Fuerza máxima aplicada (N)
- L = Distancia entre apoyos (mm)
- b = Ancho de la probeta (mm)
- e = Espesor de la probeta (mm)
- $\delta$  = Deflexión máxima de la probeta (mm) [24]

### 3.5.5.3 Ensayo de Impacto tipo dardo

Para la realización de este ensayo de impacto tipo dardo se procedió mediante la utilización de la máquina de ensayos de impacto con a que cuenta el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato, dicha máquina se muestra en la figura 3.16.



*Figura 3.16* Máquina para ensayo de impacto tipo dardo laboratorio FICM – UTA.

**Fuente:** El Autor



*Figura 3.17* Dardos para ensayo de impacto.


Fuente: El Autor

### Procedimiento de Ensayo

Para la realización del ensayo es importante primero seleccionar el dardo según establece la norma ASTM D1709-15, para las probetas cuadradas de 80 mm y utilizando el método de A de ensayo, determina la utilización de un dardo de 58 mm, por lo se selecciona el dardo FC para realizar el ensayo, describiendo las características del mismo en la tabla 3.11.

*Tabla 3.10 Características dardo tipo FC para ensayo de impacto.*

Geometría del Dardo tipo FC	
Peso (gr)	137,4
Diámetro menor (mm)	13
Diámetro mayor (mm)	58



Fuente: Autor

Para realizar el ensayo se coloca la probeta en las abrazaderas de la máquina iniciando con una carga de 135 gr y aumentando la carga en 15 gr como lo establece la norma hasta que la probeta sufra una falla siendo esta masa adicional pesada en la balanza digital como se muestra en la figura 3.18, debido a la longitud de dardo el mismo puede llegar a una carga máxima de 174,8 gr, por lo cual se procedió a incrementar la altura iniciando a 660 mm como lo establece la norma.



**Figura 3.18** Masa utilizada en el ensayo de impacto tipo dardo.

**Fuente:** El Autor

Para calcular la energía de impacto absorbida por las probetas hasta que las mismas fallan, se determinan al variar la altura e incrementar la energía potencial, la energía se calcula con la siguiente ecuación:

$$MEF = hwf \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde:



- MEF = Energía potencial de impacto (J) [24]
- m = Masa de impacto (Kg)
- h = Altura máxima de falla (m)
- f = Factor de conversión a (J) ( $9,80665 \times 10^{-3}$ ) [29]

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

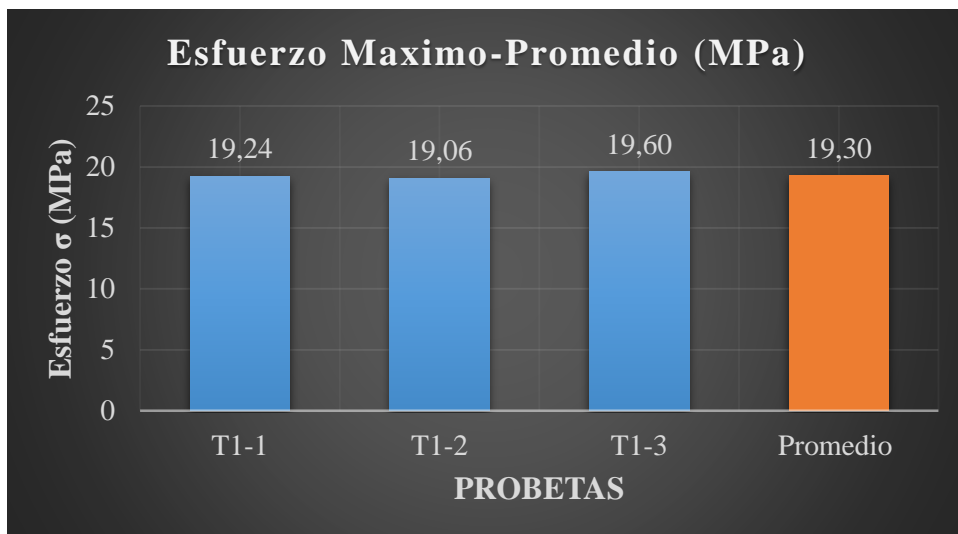
#### 4.1 Recolección De Datos

##### 4.1.1 Fichas de reporte Ensayo de Tracción

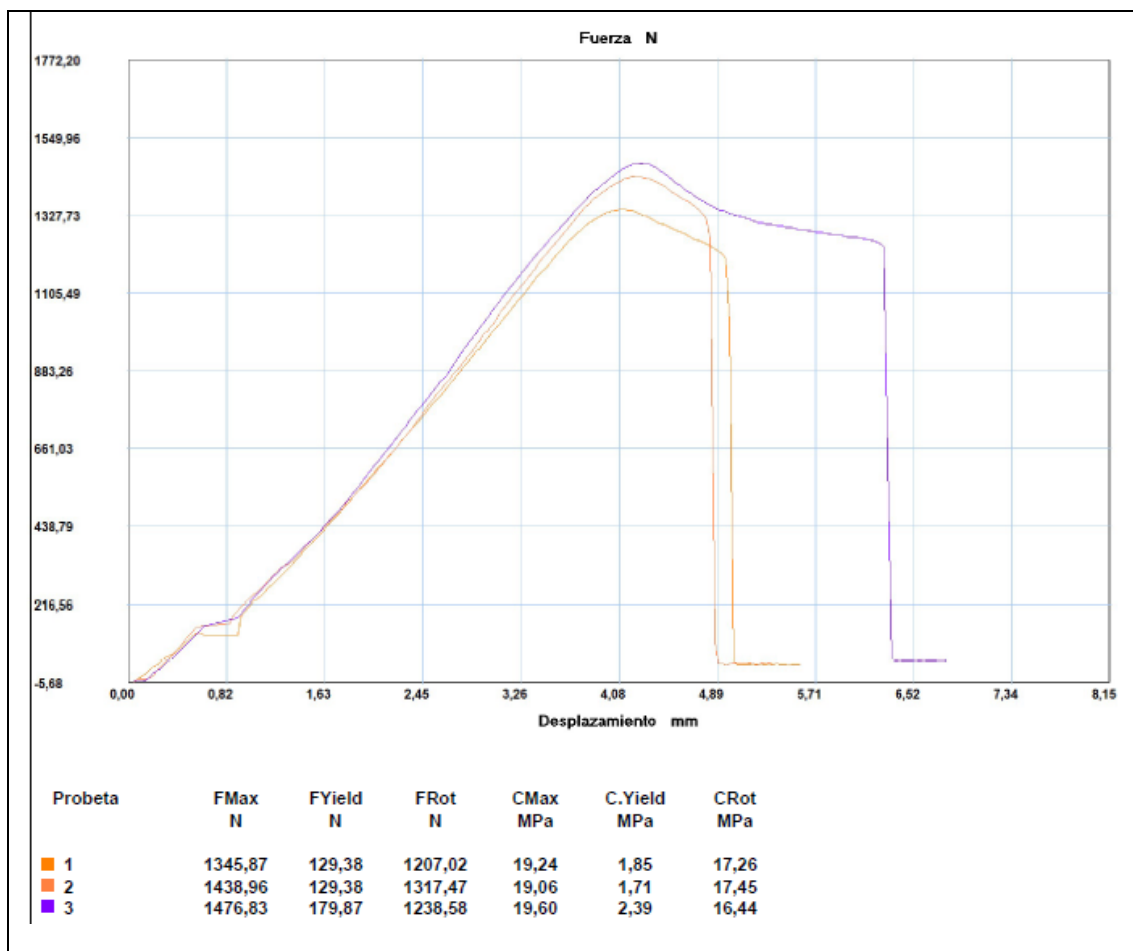
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b></p> <p><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b></p> <p><b>INGENIERÍA MECÁNICA</b></p> </div>  </div>					
DATOS INFORMATIVOS:					
Fecha:	10-01-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50				
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D638		
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío				
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 1 (T1)				
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	50 Psi		
Dimensiones (mm):	165 x 19 x e	Numero de probetas:	3		
Espesor :	5 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min		
Humedad :	46,30%	Temperatura ensayo:	22,2 °C		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
T1 - 1	1345,87	5,16	19,24	1,98	869,74
T1 - 2	1438,96	4,89	19,06	1,92	908,71
T1 - 3	1476,83	6,32	19,60	2,51	655,12
Promedio:	1420,55	5,46	19,30	2,14	811,19
Des. Estándar:	67,39	0,62	0,27	0,32	136,56
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					



## GRAFICAS








### EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES


Esfuerzo Máximo Promedio:	19,30 MPa
Módulo de Elasticidad Promedio:	811,19 MPa
Espesor Real Promedio:	4,23 mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**



### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	10-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

### PARÁMETROS DE ENSAYO

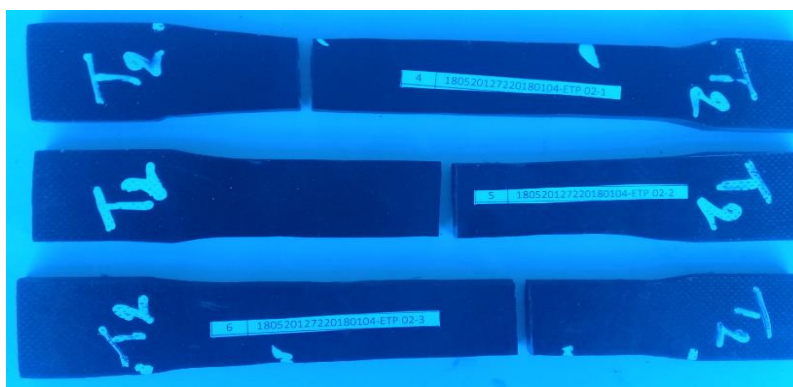
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D638
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 2 (T2)		
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	30 Psi
Dimensiones (mm):	165 x 19 x e	Numero de probetas:	3

Espesor :	5 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	46,30%	Temperatura ensayo:	22,2 °C

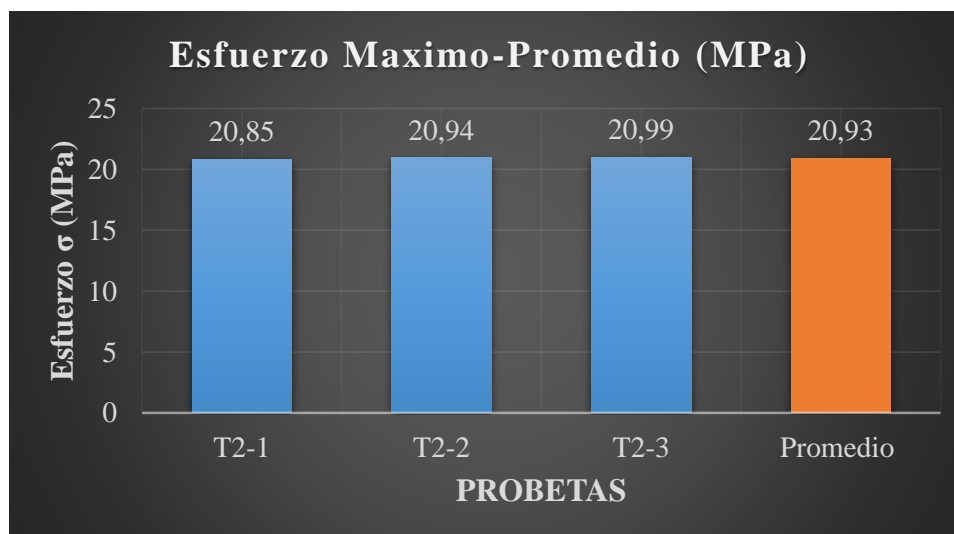
### RESULTADOS

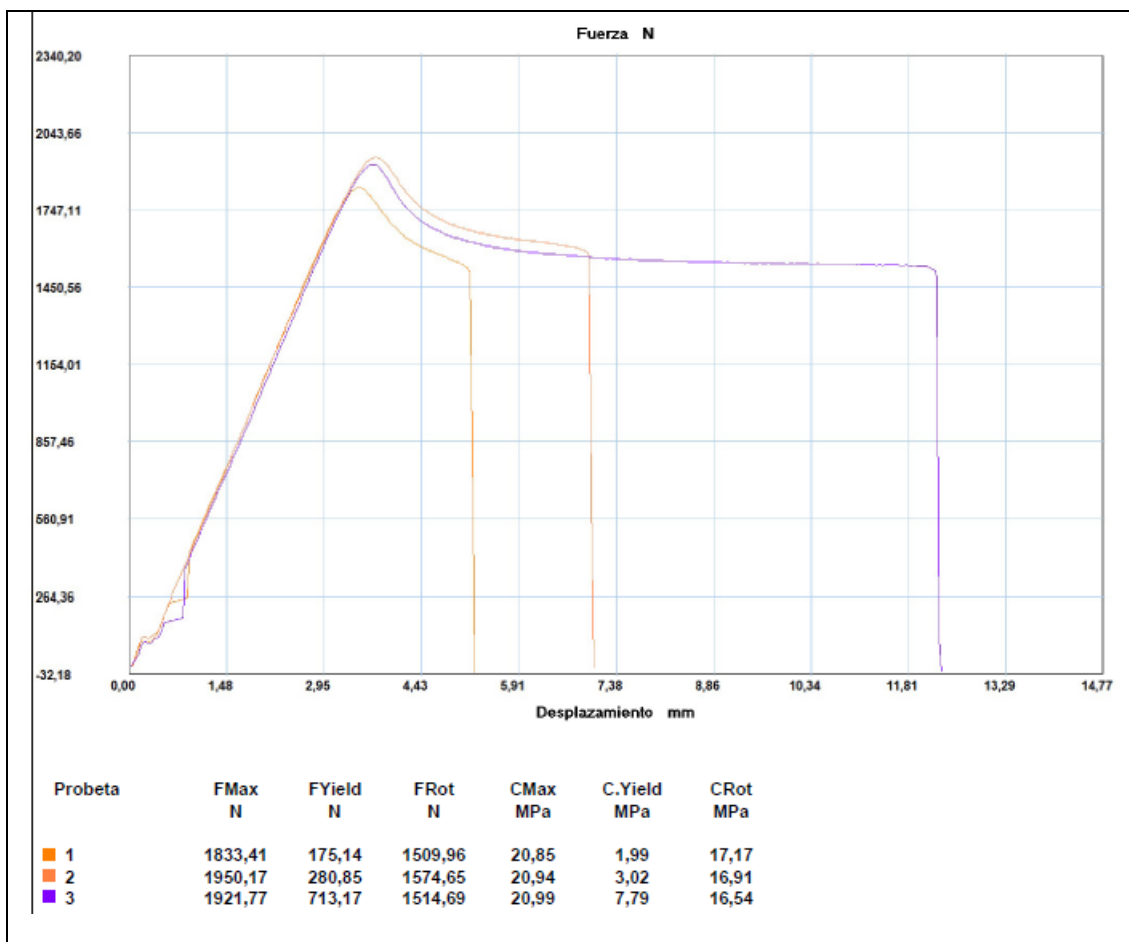
Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
T2 - 1	1833,41	5,51	20,85	2,07	830,82
T2 - 2	1950,17	7,18	20,94	2,79	606,65
T2 - 3	1921,77	12,06	20,99	4,88	338,76
Promedio:	1901,78	8,25	20,93	3,25	592,08
Des. Estándar:	60,89	2,78	0,07	1,46	256,32

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



### GRAFICAS





### EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	20,93 MPa
Módulo de Elasticidad Promedio:	592,08 MPa
Espesor Real Promedio:	4,90 mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**



**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	10-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D638
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		

Condiciones Termoformado:		Grupo numero 3 (T3)	
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	50 Psi
Dimensiones (mm):	165 x 19 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	5 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	44,5 %	Temperatura ensayo:	22,3 °C

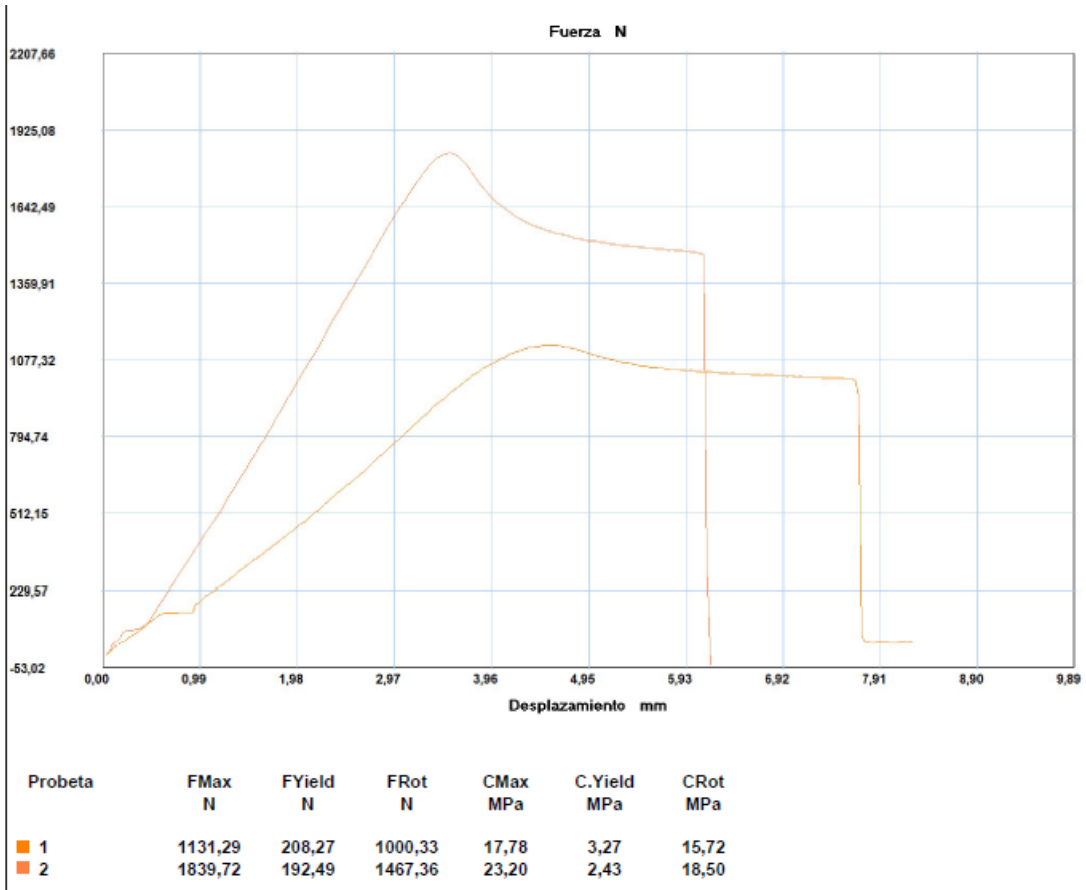
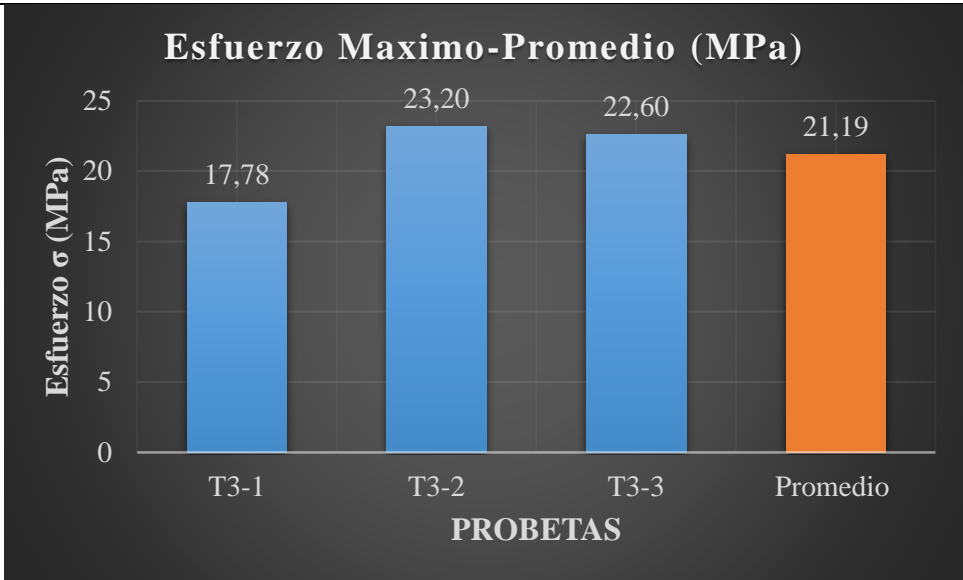
### RESULTADOS

Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
T3 - 1	1131,29	6,13	17,78	3,06	513,71
T3 - 2	1839,72	8,20	23,20	2,45	756,66
T3 - 3	1576,83	7,76	22,60	3,52	545,68
Promedio:	1515,95	7,36	21,19	3,01	605,35
Des. Estándar:	358,12	0,89	2,97	0,54	132,01

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



### GRAFICAS



EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES	
Esfuerzo Máximo Promedio:	21,19 MPa
Módulo de Elasticidad Promedio:	605,35 MPa
Espesor Real Promedio:	3,95 mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**



**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

**DATOS INFORMATIVOS:**

Fecha:	10-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

**PARÁMETROS DE ENSAYO**

Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D638
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 4 (T4)		
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	30 Psi
Dimensiones (mm):	165 x 19 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	5 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	43,3 %	Temperatura ensayo:	22,9 °C

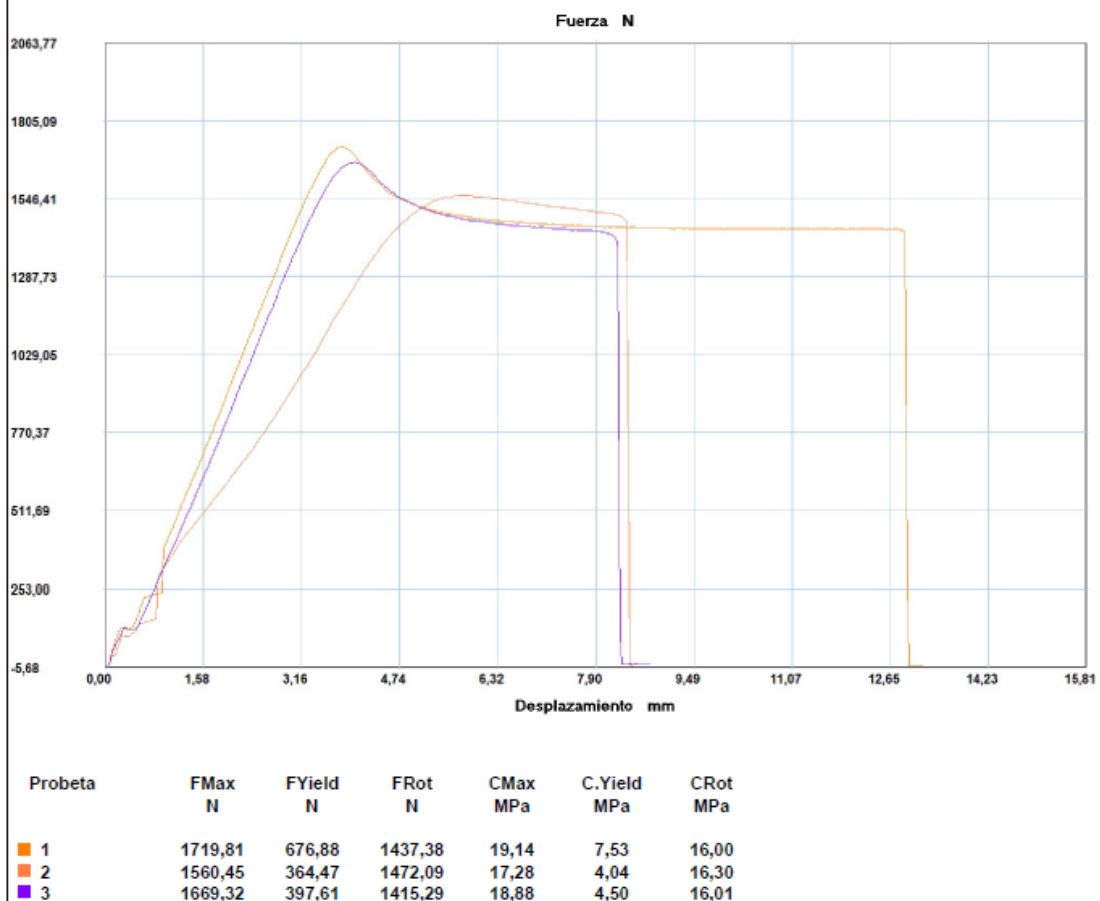
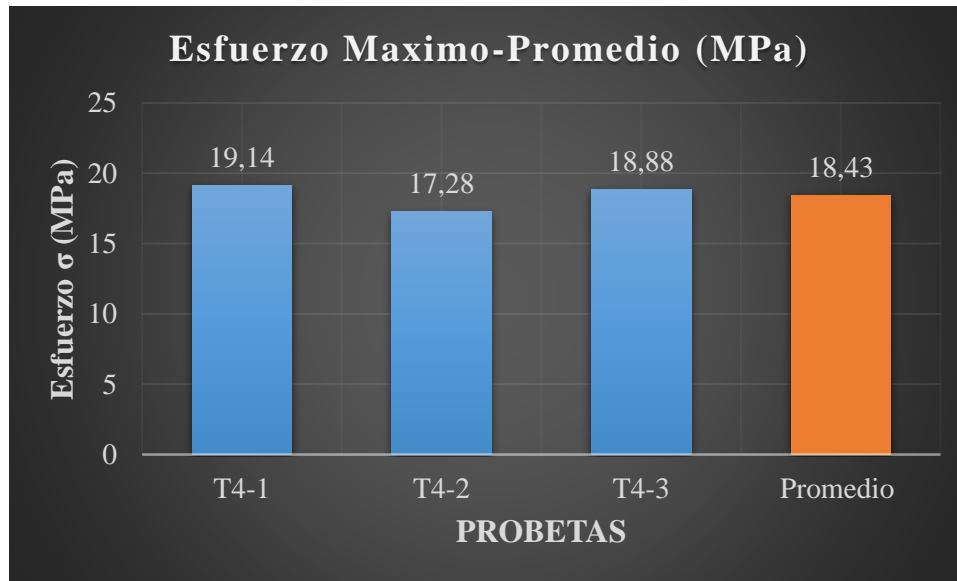
**RESULTADOS**

Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
T4 - 1	1719,81	12,75	19,14	5,15	310,48
T4 - 2	1560,45	8,30	17,28	3,36	485,85
T4 - 3	1669,32	8,23	18,88	3,51	455,70
Promedio:	1649,86	9,76	18,43	4,01	417,3
Des. Estándar:	81,84	2,10	1,01	0,99	93,77

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO**



## GRAFICAS



## EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	18,43 MPa
Módulo de Elasticidad Promedio:	417,3 MPa
Espesor Real Promedio:	4,88 mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**



**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

**DATOS INFORMATIVOS:**

Fecha:	10-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina :	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

**PARÁMETROS DE ENSAYO**

Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D638
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 5 (T5)		
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	50 Psi
Dimensiones (mm):	165 x 19 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	4 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	44,2 %	Temperatura ensayo:	22,2 °C

**RESULTADOS**

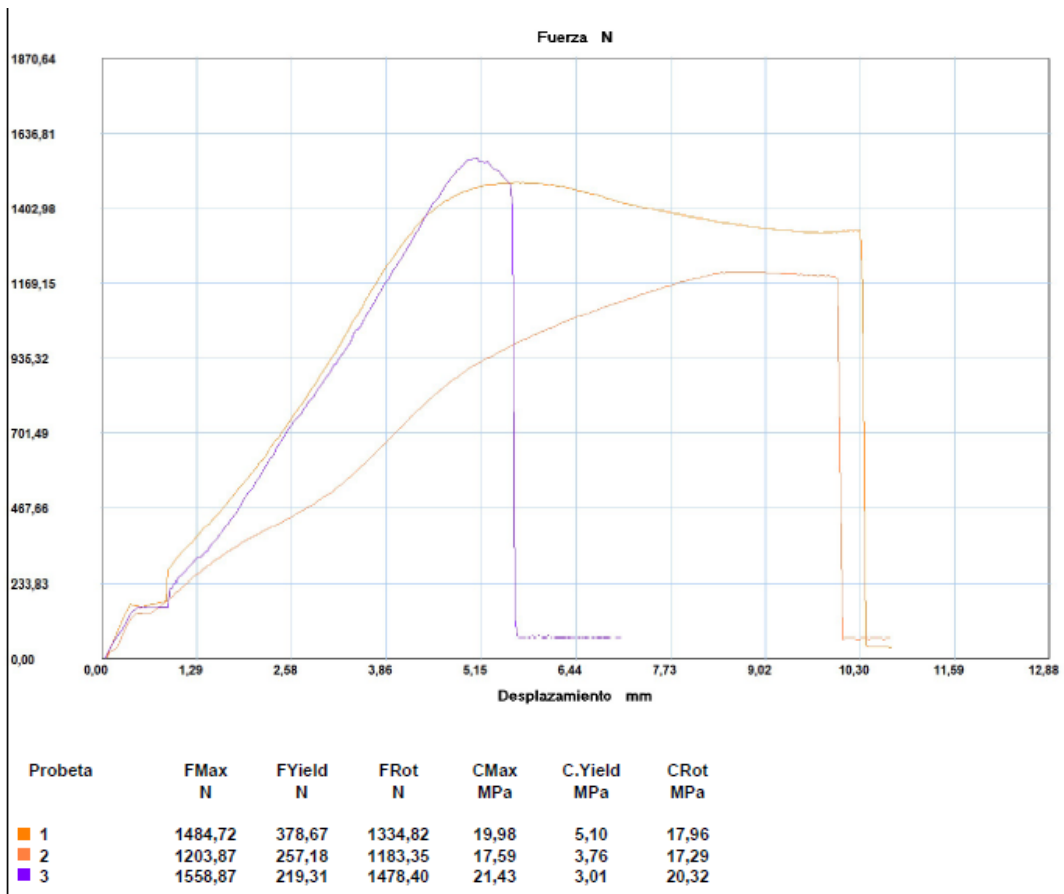
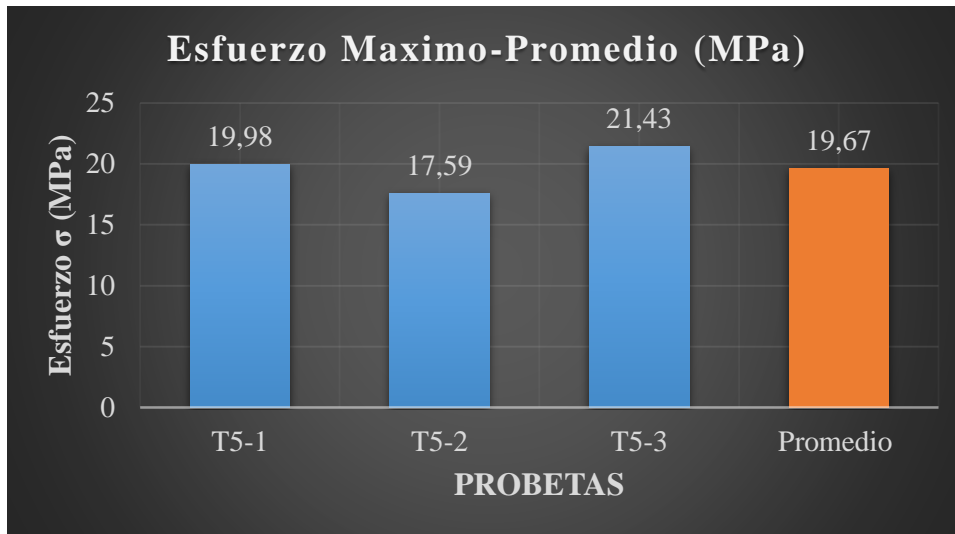
Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
T5 - 1	1484,72	10,31	19,98	4,12	435,63
T5 - 2	1203,87	10,23	17,59	4,00	432,46
T5 - 3	1558,87	5,54	21,43	2,22	915,00
Promedio:	1415,82	8,69	19,67	3,45	594,36
Des. Estándar:	187,26	2,23	1,94	1,06	277,69

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO**





## GRAFICAS



## EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	19,67 MPa
Módulo de Elasticidad Promedio:	594,36 MPa
Espesor Real Promedio:	3,96 mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**



**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

**DATOS INFORMATIVOS:**

Fecha:	10-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

**PARÁMETROS DE ENSAYO**

Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D638
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 6 (T6)		
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	50 Psi
Dimensiones (mm):	165 x 19 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	4 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	46,30%	Temperatura ensayo:	22,2 °C

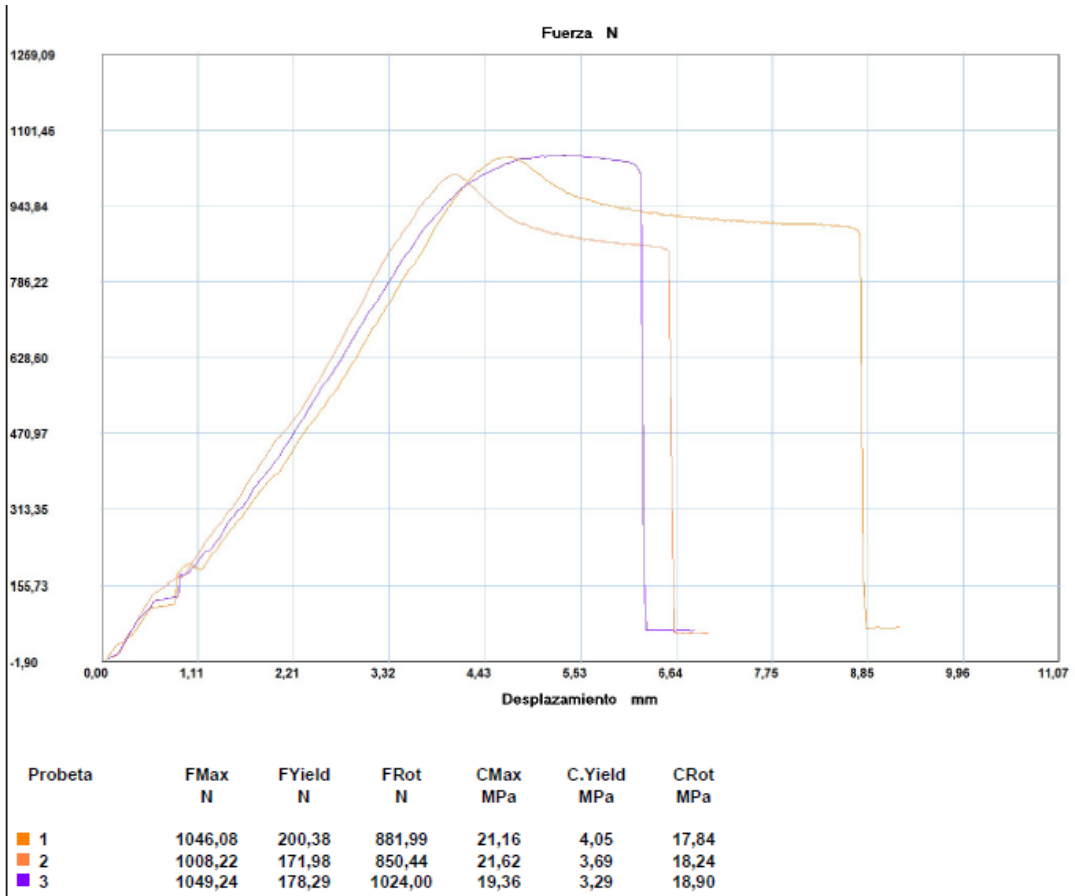
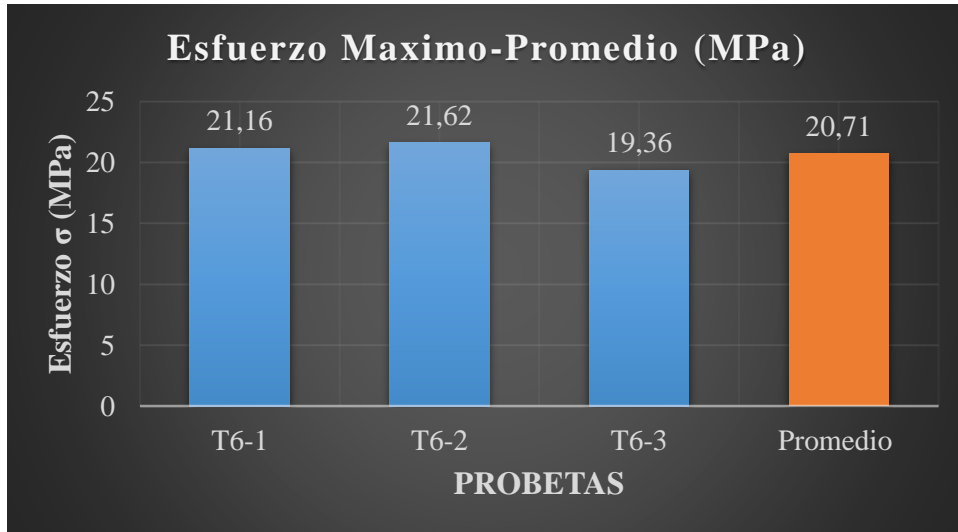
**RESULTADOS**

Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
T6 - 1	1046,08	8,85	21,16	3,51	508,78
T6 - 2	1008,22	6,64	21,62	2,62	695,86
T6 - 3	1049,24	5,92	19,36	2,49	758,68
Promedio:	1034,51	7,14	20,71	2,87	654,44
Des. Estándar:	22,83	1,25	1,19	0,55	130,00

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO**



## GRAFICAS



## EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:

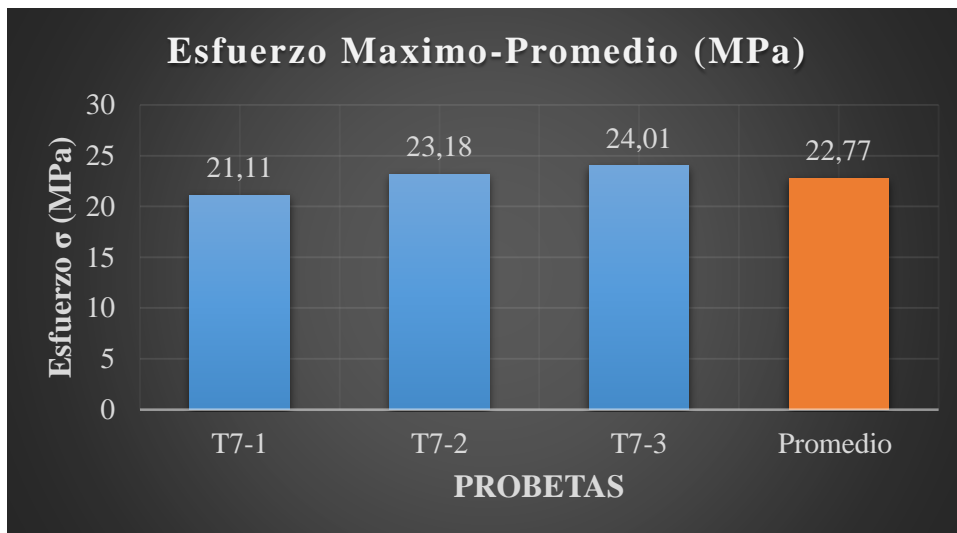
20,71 MPa

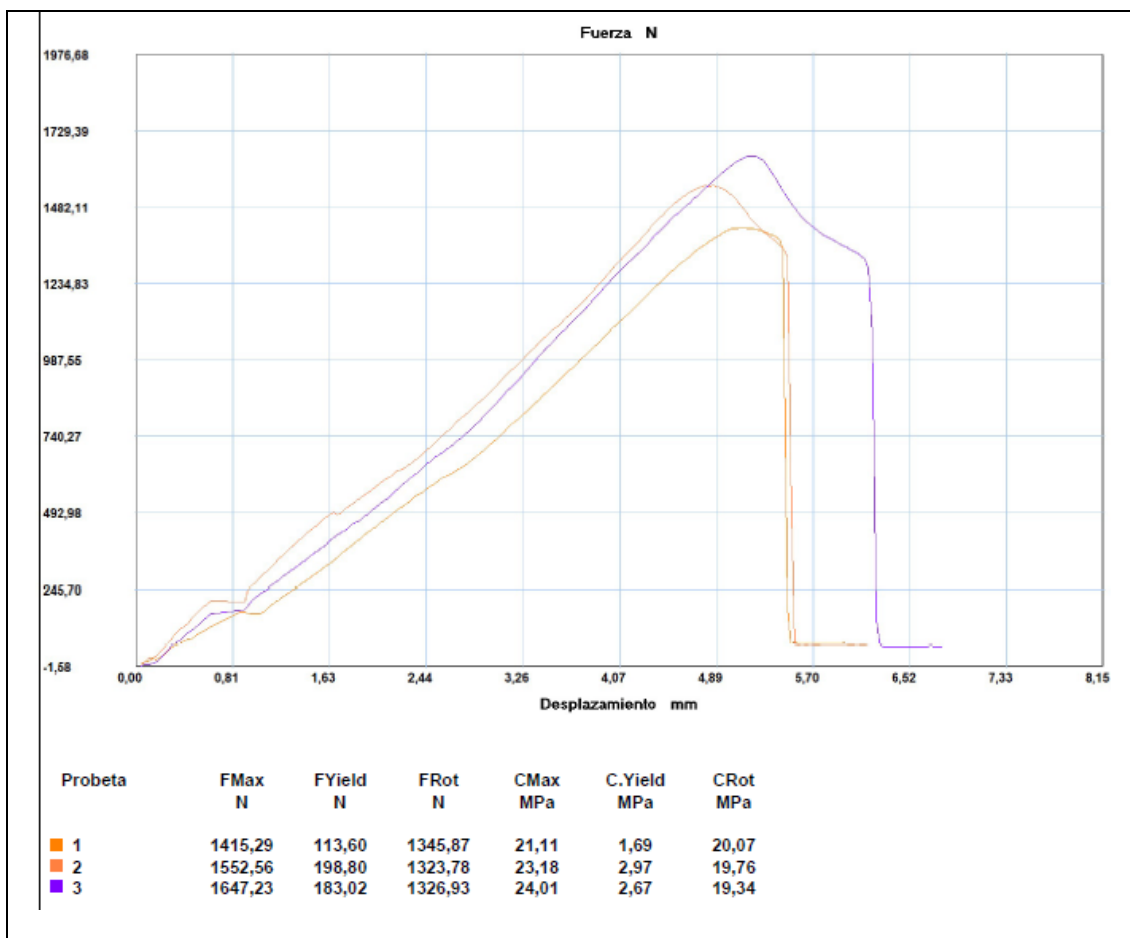
Módulo de Elasticidad Promedio:	654,44 MPa
Espesor Real Promedio:	2,93 mm

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>					
Fecha:	10-01-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50				
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D638		
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío				
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 7 (T7)				
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	30 Psi		
Dimensiones (mm):	165 x 19 x e	Numero de probetas:	3		
Espesor :	4 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min		
Humedad :	47,2 %	Temperatura ensayo:	23,7 °C		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
T7 - 1	1415,29	5,38	21,11	2,18	921,02
T7 - 2	1552,56	5,41	23,18	2,19	901,33
T7 - 3	1647,23	6,29	24,01	2,44	792,28
Promedio:	1538,36	5,69	22,77	2,27	871,54
Des. Estándar:	116,62	0,42	1,50	0,15	69,35
<b>FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO</b>					




### GRAFICAS





### EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES


Esfuerzo Máximo Promedio:	22,77 MPa
Módulo de Elasticidad Promedio:	871,54 MPa
Espesor Real Promedio:	3,86 mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**



### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	10-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

#### PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D638
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 8 (T8)		
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	30 Psi

Dimensiones (mm):	165 x 19 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	4 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	48,8 %	Temperatura ensayo:	23,4°C

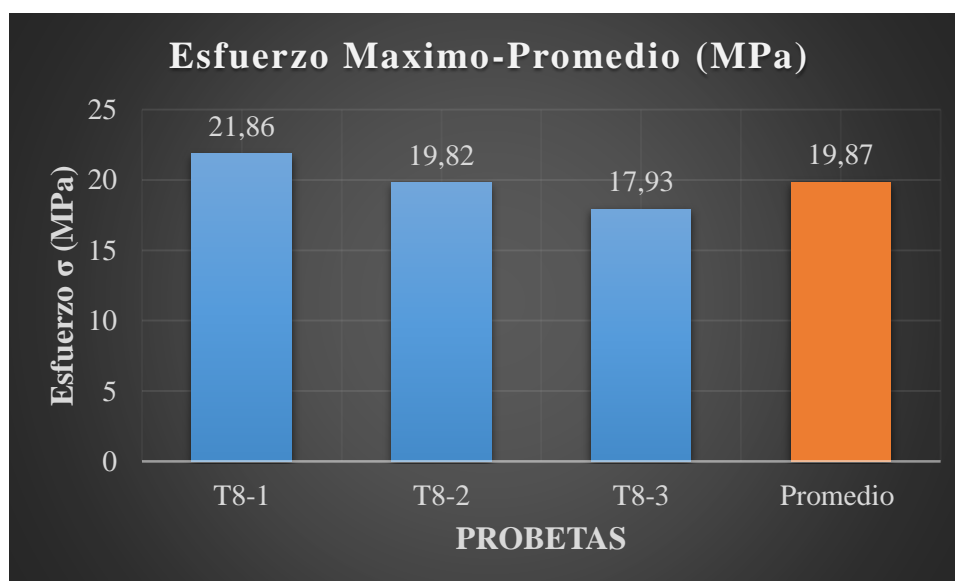
### RESULTADOS

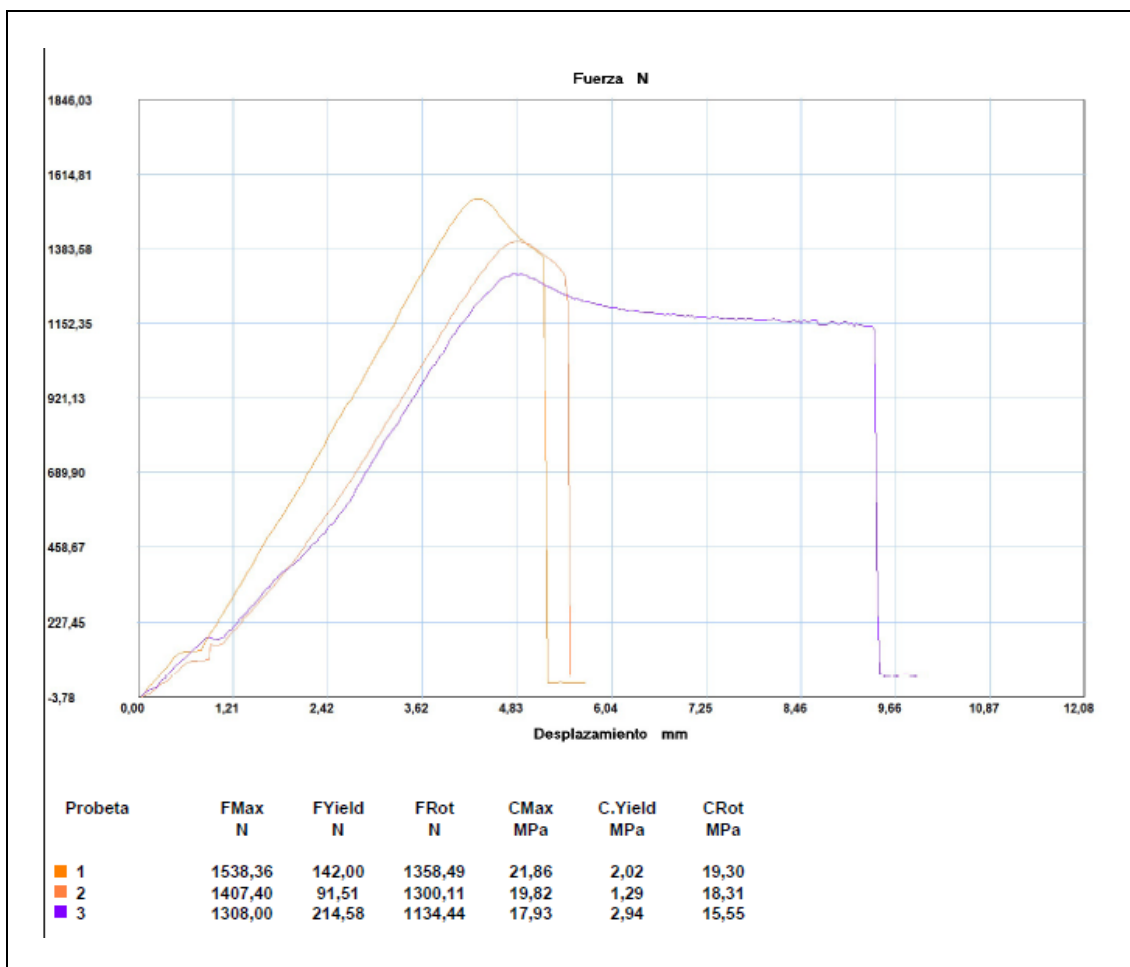
Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (MPa)											
T8 - 1	1538,36	5,23	21,86	2,07	931,13											
T8 - 2	1407,40	5,44	19,82	2,18	840,88											
T8 - 3	1308,00	9,45	3,76	414,15	Promedio:	1417,92	6,71	19,87	2,67	728,72	Des. Estándar:	115,54	1,94	1,96	0,94	276,14
Promedio:	1417,92	6,71	19,87	2,67	728,72											
Des. Estándar:	115,54	1,94	1,96	0,94	276,14											

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



### GRAFICAS





EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES	
Esfuerzo Máximo Promedio:	19,87 MPa
Módulo de Elasticidad Promedio:	728,72 MPa
Espesor Real Promedio:	4,24 mm

#### 4.1.2 Fichas de reporte Ensayo de Flexión

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	15-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D790
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		



Condiciones Termoformado:		Grupo numero 1 (T1)	
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	50 Psi
Dimensiones (mm):	80 x 12,7 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	5 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	62,4 %	Temperatura ensayo:	19,6 °C

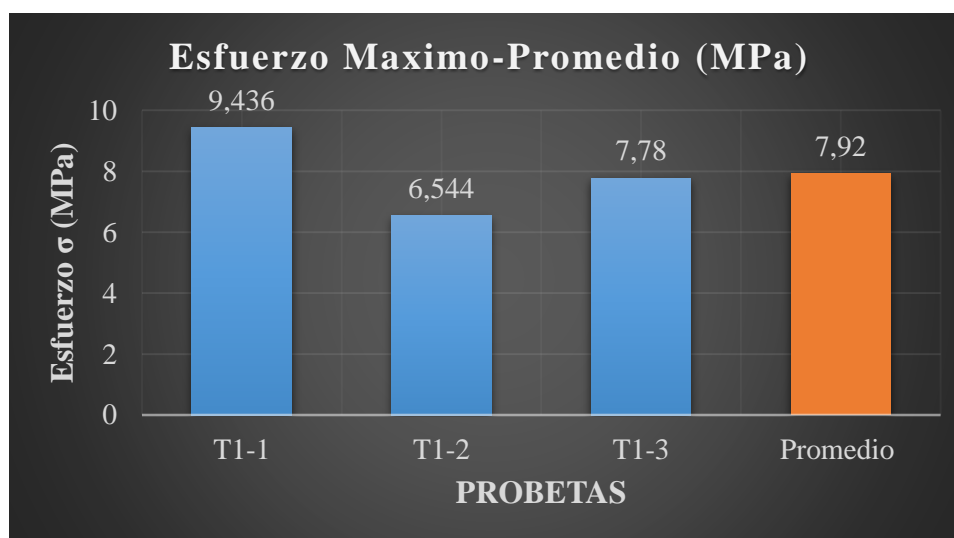
### RESULTADOS

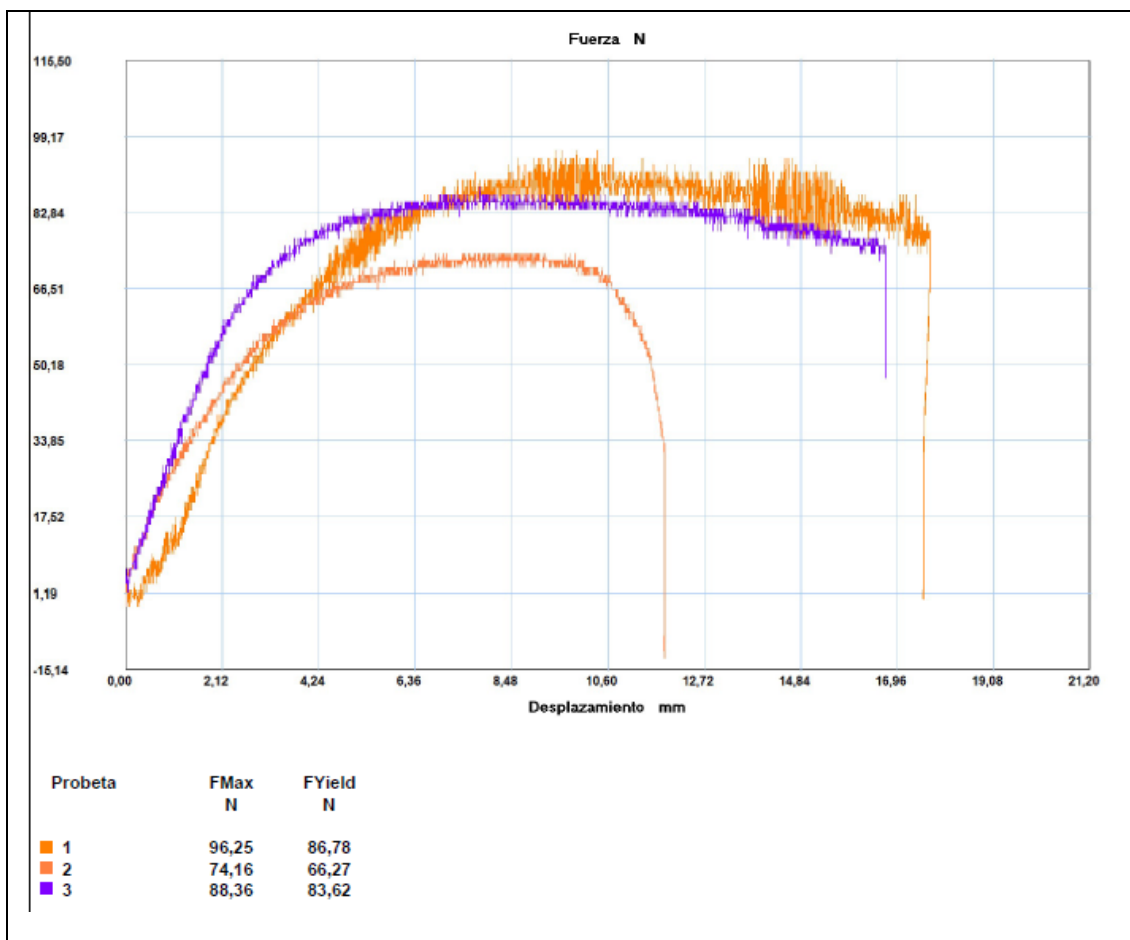
Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de Flexión (MPa)
T1 - 1	96,25	17,49	9,436	5,68	686,66
T1 - 2	74,16	11,44	6,544	3,89	785,81
T1 - 3	88,36	16,76	7,78	4,56	819,74
Promedio:	86,26	15,33	7,92	4,71	764,07
Des. Estándar:	11,19	2,70	1,45	0,90	69,15

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO




### GRAFICAS





### EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	7,92 MPa
Módulo de Flexión Promedio:	764,07 MPa
Espesor Real Promedio:	4,19 mm

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
Fecha:	15-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>			
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D790
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 2 (T2)		
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	30 Psi

Dimensiones (mm):	80 x 12,7 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	5 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	61,5 %	Temperatura ensayo:	20,2 °C

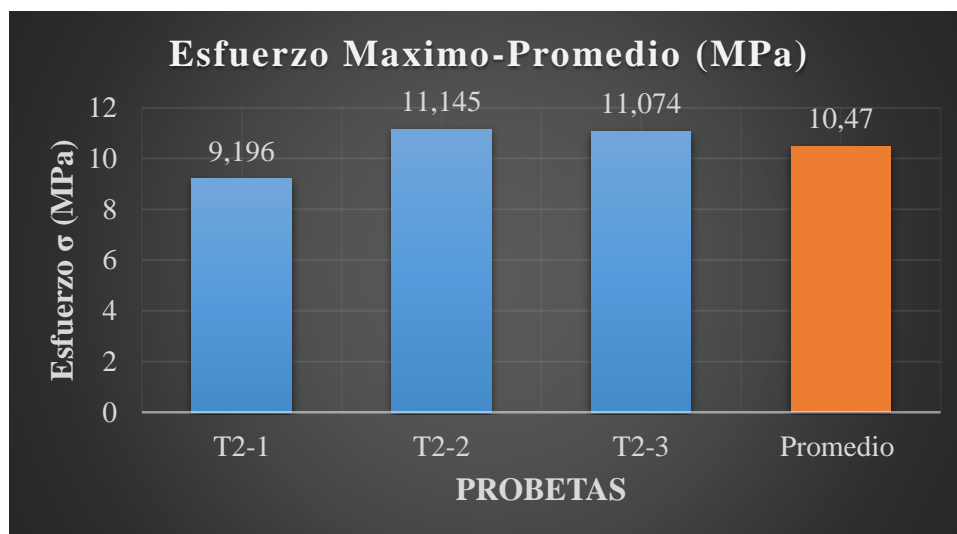
### RESULTADOS

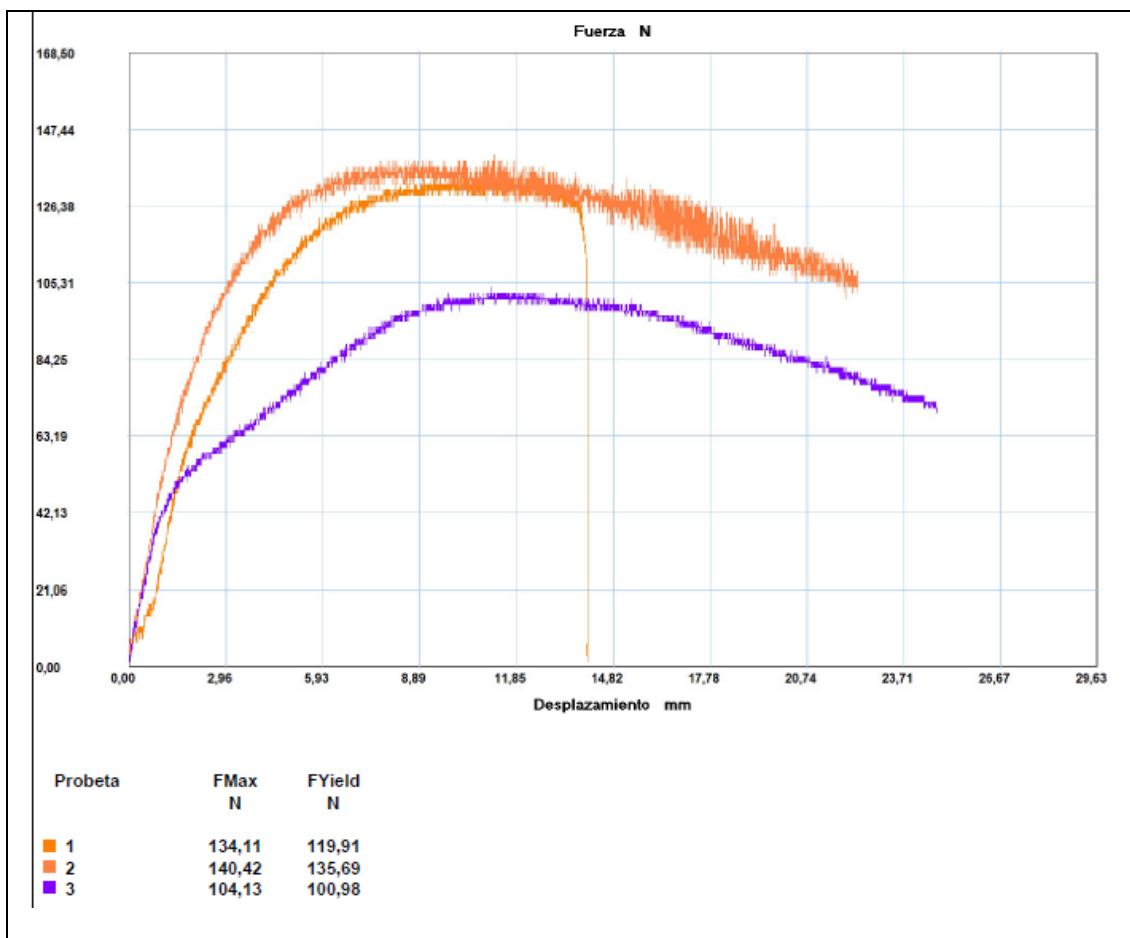
Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de Flexión (MPa)
T2 - 1	134,11	22,22	9,196	6,33	618,06
T2 - 2	140,42	14,08	11,145	7,87	498,68
T2 - 3	104,13	24,69	11,074	7,89	391,65
Promedio:	126,22	20,33	10,47	7,36	502,80
Des. Estándar:	19,39	4,53	1,11	0,89	113,26

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO




### GRAFICAS





### EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES


Esfuerzo Máximo Promedio:	10,47 MPa
Módulo de Flexión Promedio:	502,80 MPa
Espesor Real Promedio:	4,95 mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**



### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	15-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

### PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D790
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 3 (T3)		
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	50 Psi

Dimensiones (mm):	80 x 12,7 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	5 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	61,8 %	Temperatura ensayo:	20,8 °C

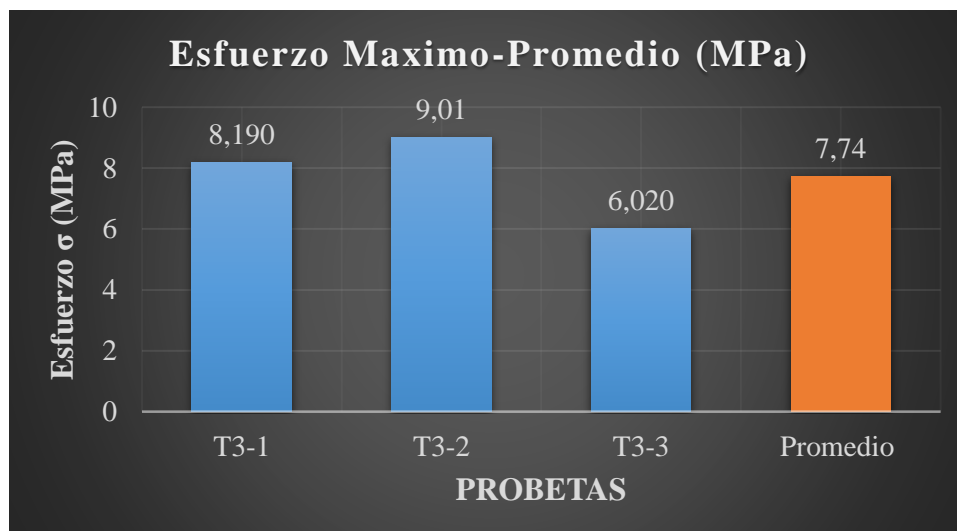
### RESULTADOS

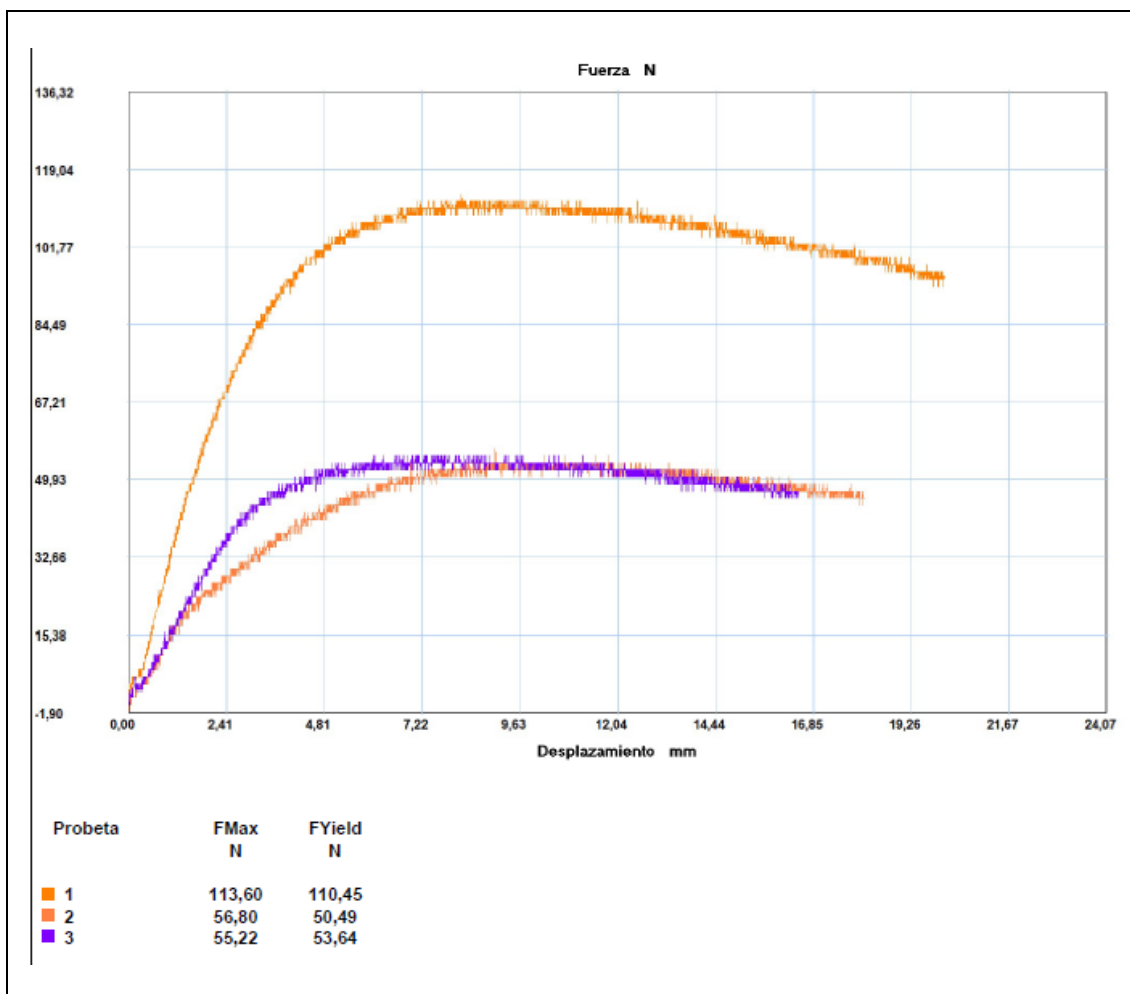
Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de Flexión (MPa)
T3 - 1	113,60	20,06	8,190	5,29	762,42
T3 - 2	56,80	18,06	9,01	4,69	609,04
T3 - 3	55,22	16,37	6,020	3,03	1025,73
Promedio:	75,21	18,16	7,74	4,34	799,06
Des. Estándar:	33,26	1,51	1,54	1,17	210,75

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO




### GRAFICAS






### EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	7,74 MPa
Módulo de Flexión Promedio:	799,06 MPa
Espesor Real Promedio:	3,92 mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**



### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	15-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

#### PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D790
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		

Condiciones Termoformado:		Grupo numero 4 (T4)	
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	30 Psi
Dimensiones (mm):	80 x 12,7 x e	Numero de probetas:	3
Espesor Promedio:	5 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	60,5 %	Temperatura ensayo:	22,5 °C

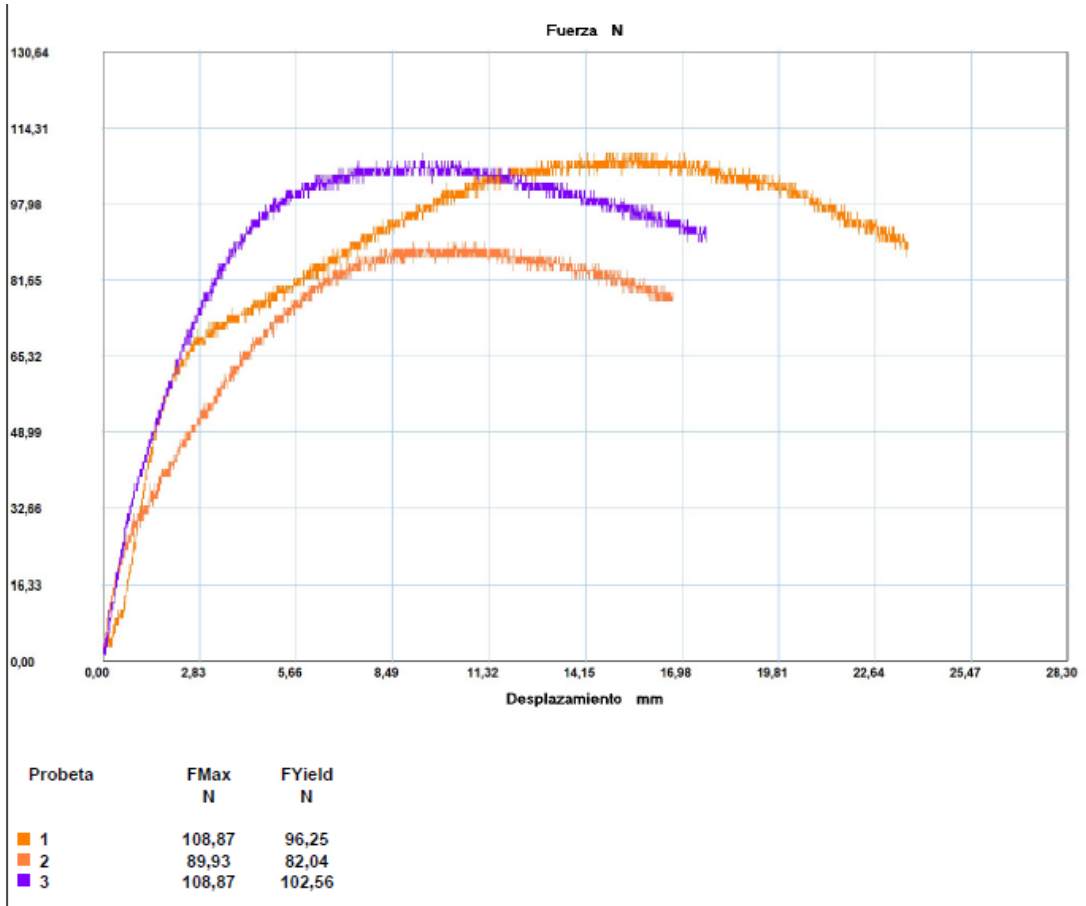
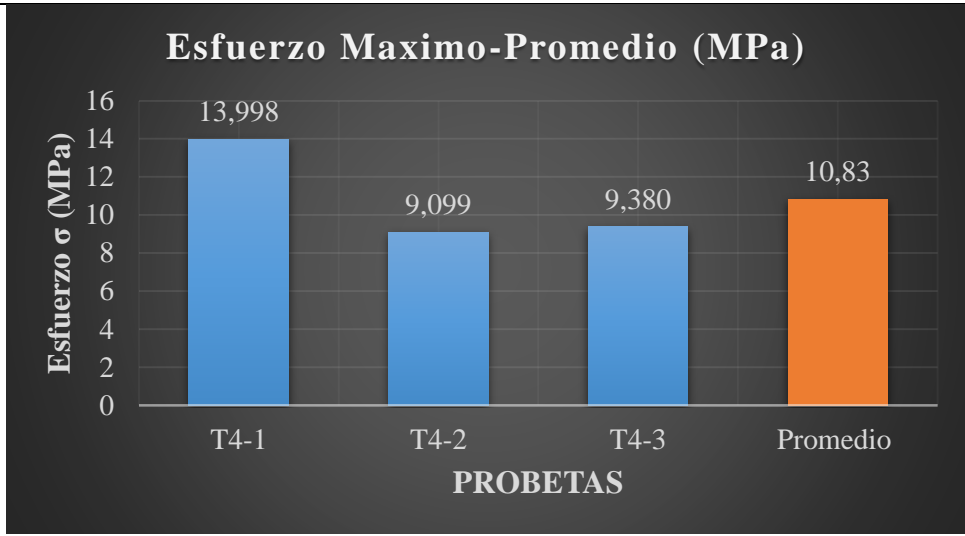
### RESULTADOS

Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de Flexión (MPa)
T4 - 1	108,87	23,58	13,998	9,64	337,95
T4 - 2	89,93	16,63	9,099	6,29	417,25
T4 - 3	108,87	17,79	9,380	6,38	516,06
Promedio:	102,56	19,33	10,83	7,44	423,75
Des. Estándar:	10,94	3,04	2,75	1,91	89,24

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



### GRAFICAS



EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES	
Esfuerzo Máximo Promedio:	10,83 MPa
Módulo de Flexión Promedio:	423,75 MPa
Espesor Real Promedio:	4,84 mm





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**



**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

**DATOS INFORMATIVOS:**

Fecha:	15-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

**PARÁMETROS DE ENSAYO**

Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D790
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 5 (T5)		
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	50 Psi
Dimensiones (mm):	80 x 12,7 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	4 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	50,5 %	Temperatura ensayo:	23,4 °C

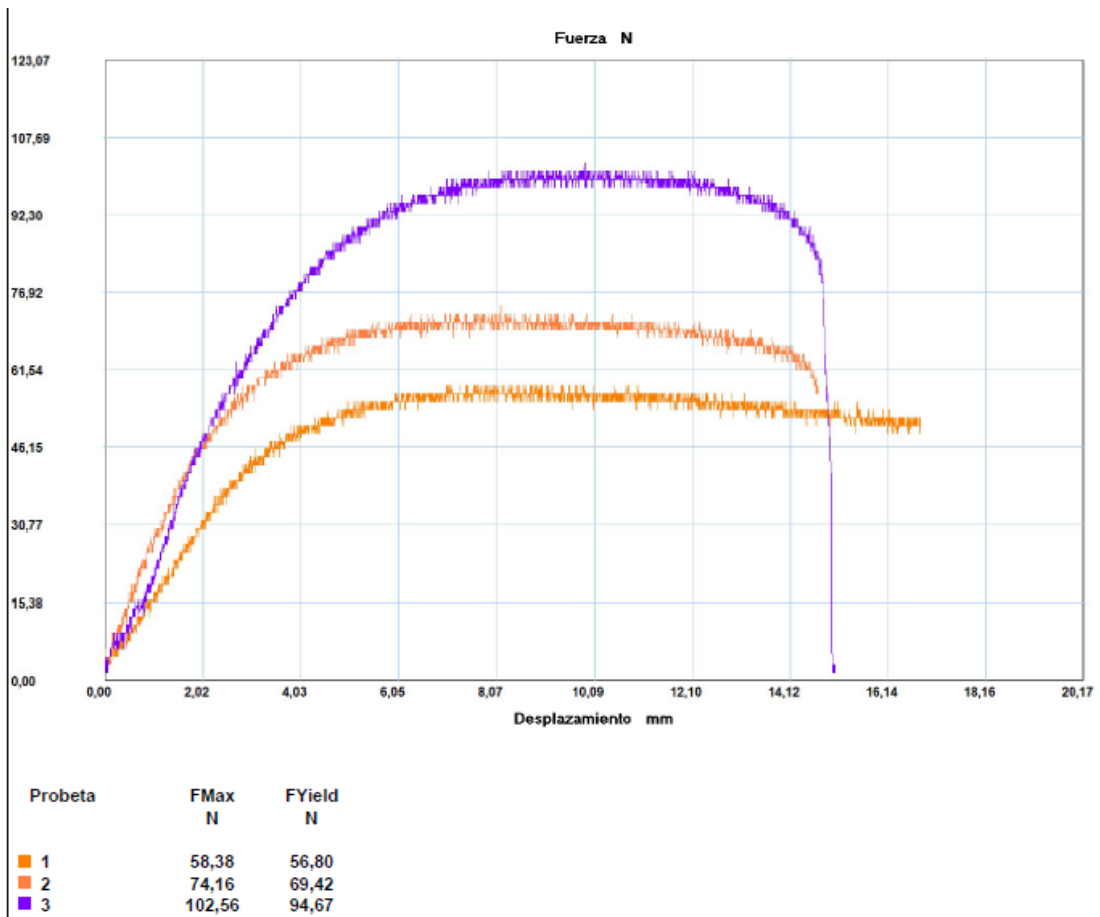
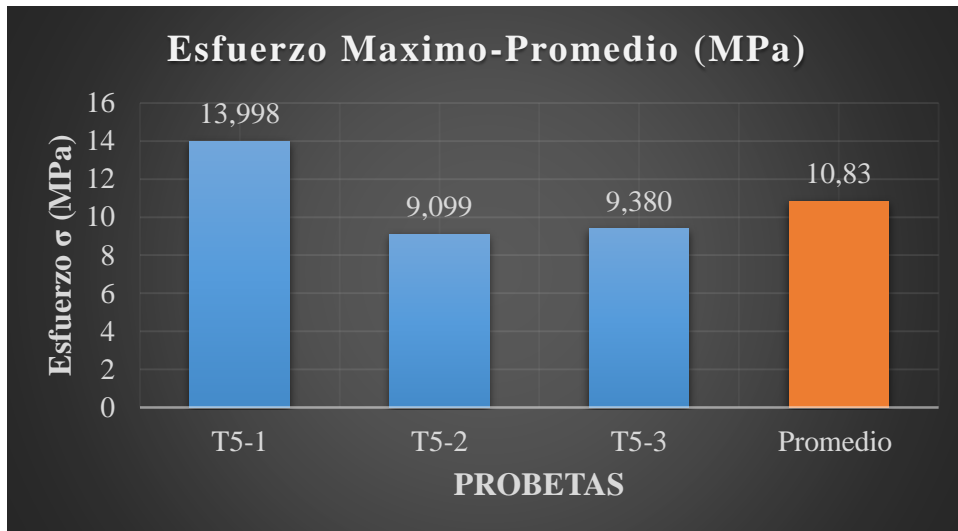
**RESULTADOS**

Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de Flexión (MPa)
T5 - 1	58,38	16,81	13,998	7,20	435,50
T5 - 2	74,16	14,69	9,099	5,21	609,37
T5 - 3	102,56	14,93	9,380	5,57	743,20
Promedio:	78,37	15,48	10,83	5,99	596,02
Des. Estándar:	187,26	0,95	2,75	1,06	154,28

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO**



## GRAFICAS



## EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	10,83 MPa
Módulo de Flexión Promedio:	596,02 MPa
Espesor Real Promedio:	3,94 mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**



**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

**DATOS INFORMATIVOS:**

Fecha:	15-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

**PARÁMETROS DE ENSAYO**

Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D790
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 6 (T6)		
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	50 Psi
Dimensiones (mm):	80 x 12,7 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	4 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	56,4 %	Temperatura ensayo:	21,6 °C

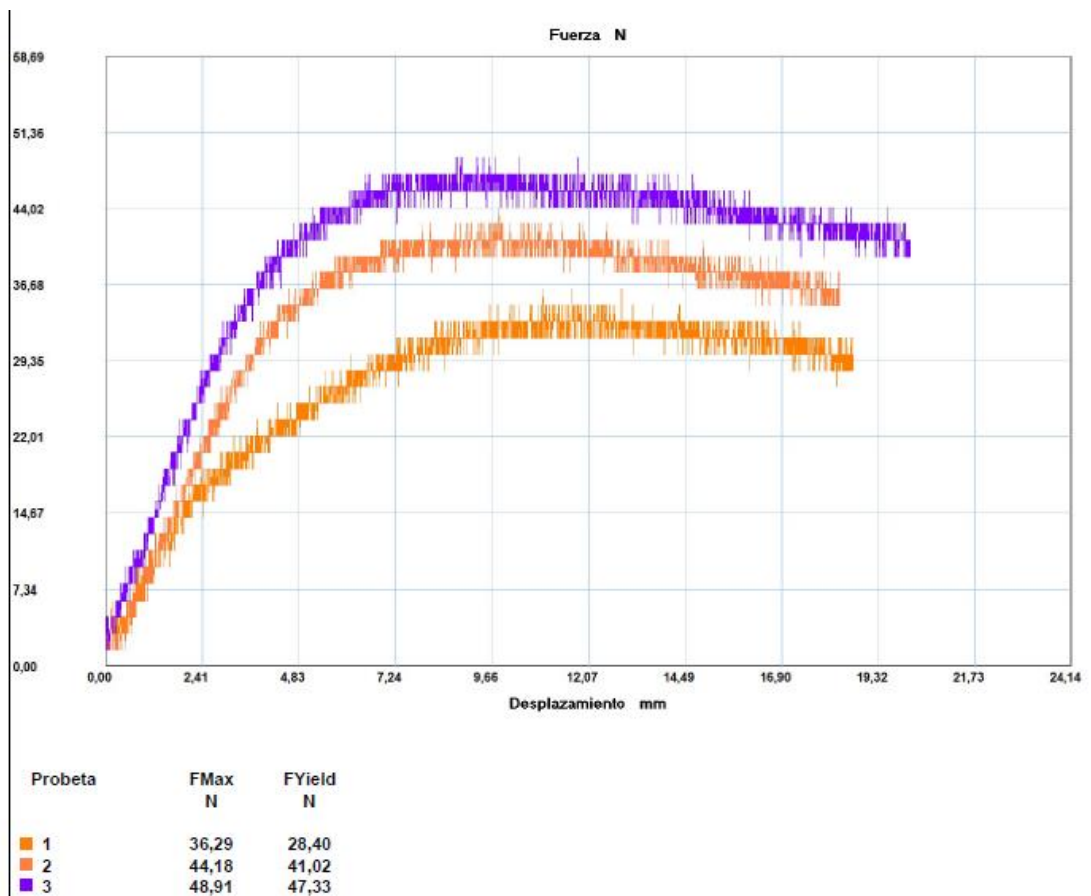
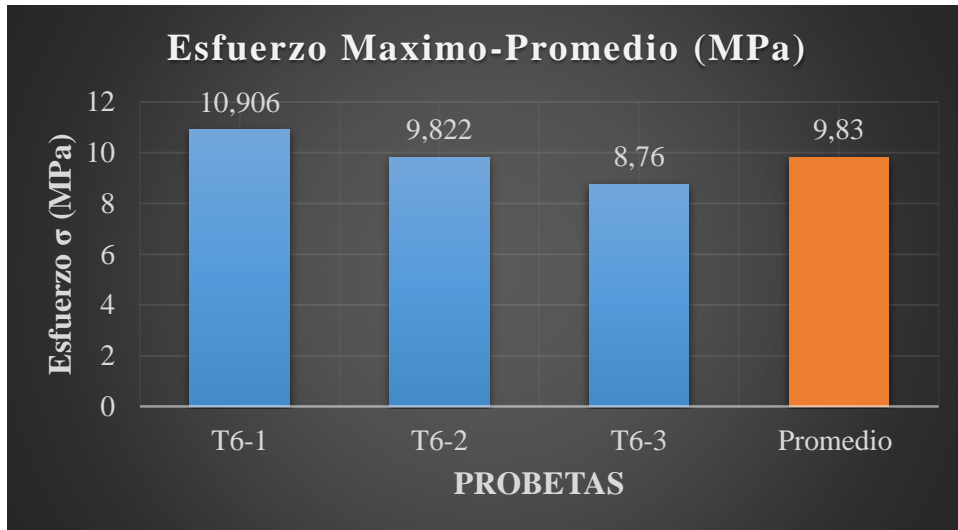
**RESULTADOS**

Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de Flexión (MPa)
T6 - 1	36,29	18,51	10,906	4,43	717,01
T6 - 2	44,18	18,10	9,822	4,21	836,10
T6 - 3	48,91	20,12	8,76	3,89	902,15
Promedio:	43,13	18,91	9,83	4,18	818,42
Des. Estándar:	6,38	0,87	1,07	0,27	93,82

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO**



## GRAFICAS



## EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	9,83 MPa
Módulo de Flexión Promedio:	818,42 MPa
Espesor Real Promedio:	3,00 mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**



**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

**DATOS INFORMATIVOS:**

Fecha:	15-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

**PARÁMETROS DE ENSAYO**

Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D790
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 7 (T7)		
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	30 Psi
Dimensiones (mm):	80 x 12,7 x e	Numero de probetas:	3
Espesor :	4 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min
Humedad :	56,5 %	Temperatura ensayo:	21,5 °C

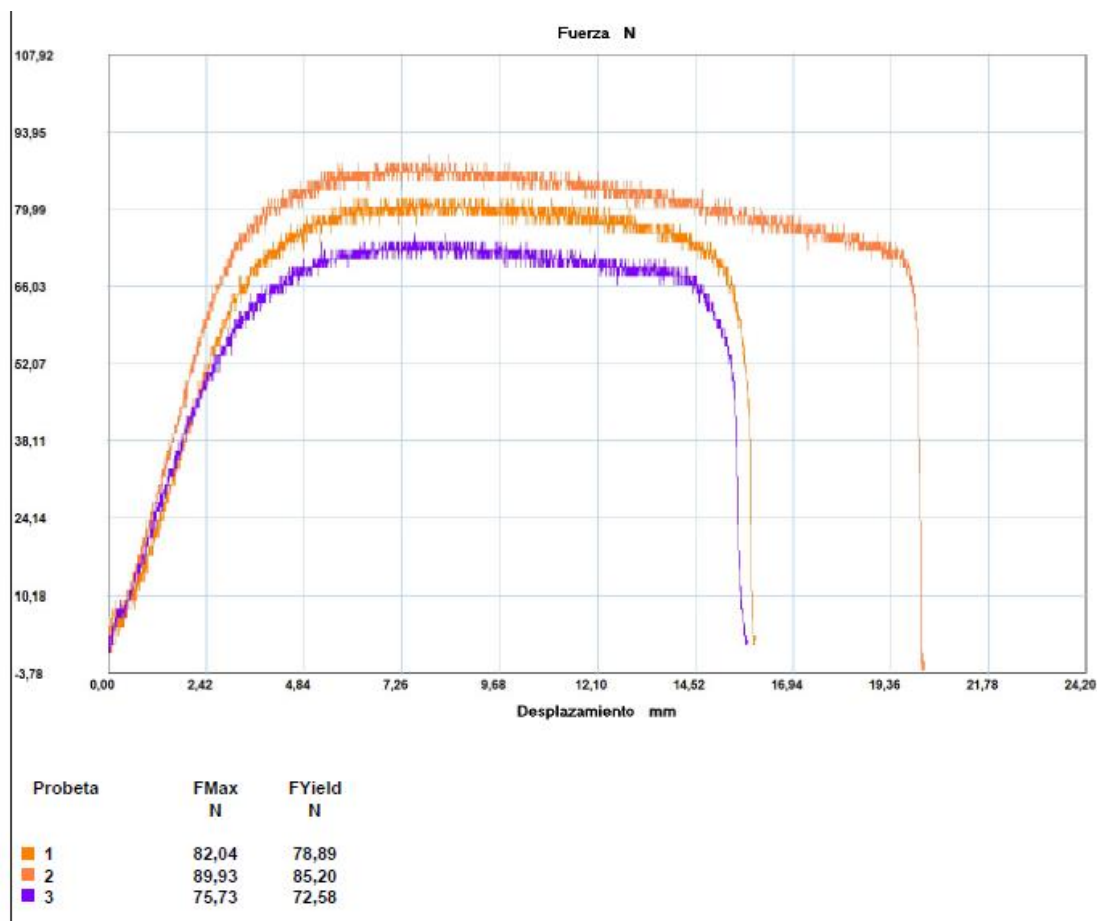
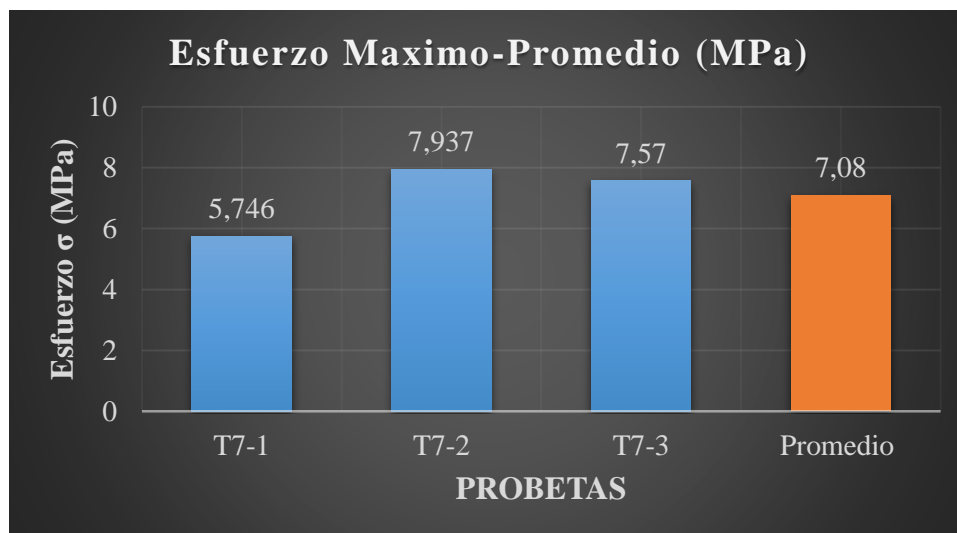
**RESULTADOS**

Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de Flexión (MPa)
T7 - 1	82,04	15,86	5,746	3,12	1281,73
T7 - 2	89,93	20,05	7,937	4,40	907,54
T7 - 3	75,73	15,73	7,57	4,17	928,56
Promedio:	82,57	17,21	7,08	3,90	1039,28
Des. Estándar:	7,11	1,60	1,17	0,68	210,23

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO**



## GRAFICAS





## EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:

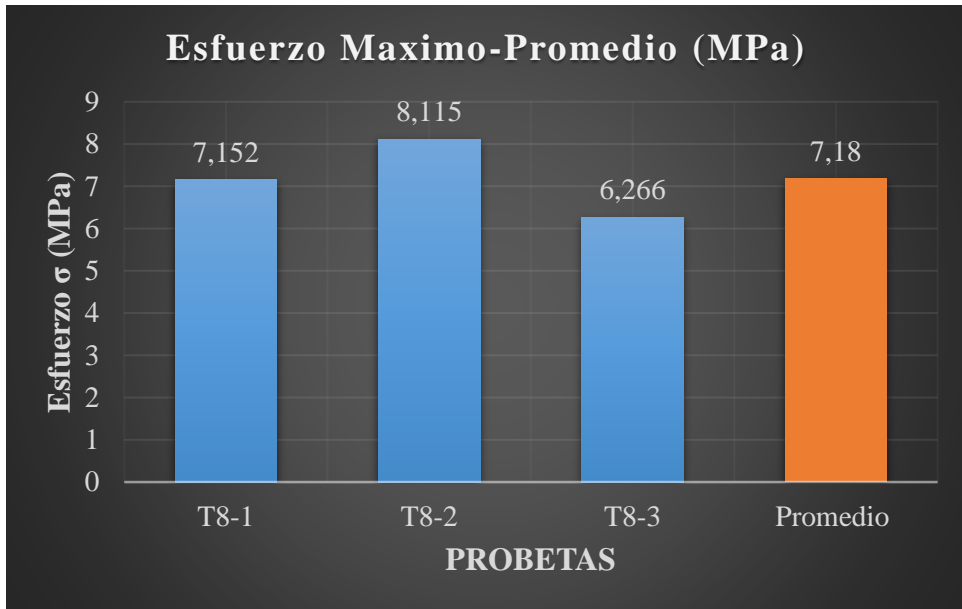
7,08 MPa

Módulo de Flexión Promedio:	1039,28 MPa
Espesor Real Promedio:	3,87 mm

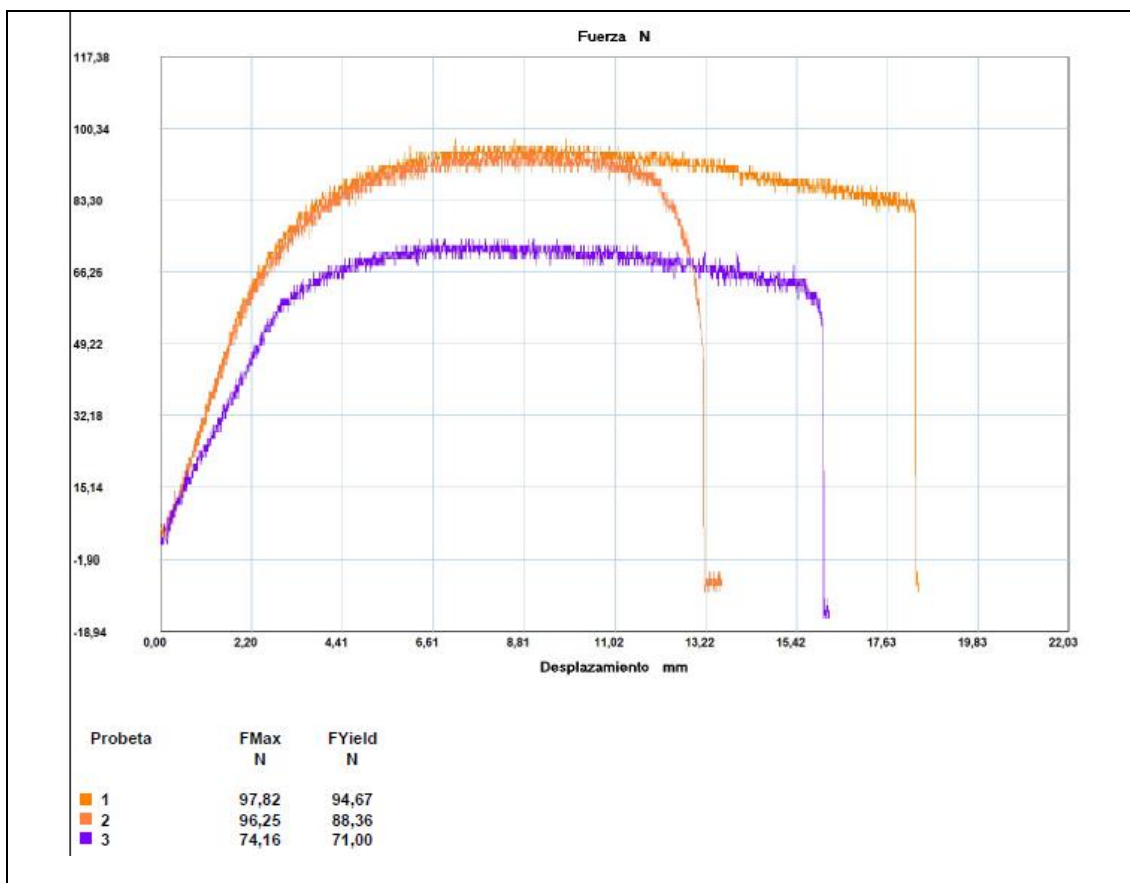
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>					
Fecha:	15-01-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50				
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D790		
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío				
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 8 (T8)				
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	30 Psi		
Dimensiones (mm):	80 x 12,7 x e	Numero de probetas:	3		
Espesor :	4 mm	Velocidad del ensayo:	10 mm/min		
Humedad :	57,2 %	Temperatura ensayo:	21,5 °C		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Carga Máxima (N)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Elongación (%)	Módulo de Flexión (MPa)
T8 - 1	97,82	18,36	7,152	4,37	842,42
T8 - 2	96,25	13,77	8,115	5,02	742,07
T8 - 3	74,16	16,32	6,266	3,70	848,65
Promedio:	89,41	16,15	7,18	4,36	811,05
Des. Estándar:	13,23	1,88	0,92	0,66	59,82
<b>FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO</b>					



### GRAFICAS







EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES	
Esfuerzo Máximo Promedio:	7,18 MPa
Módulo de Flexión Promedio:	811,05 MPa
Espesor Real Promedio:	4,27 mm

### 4.1.3 Fichas de reporte Ensayo de Impacto

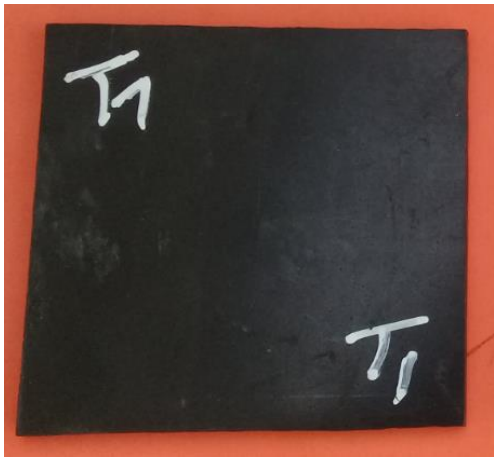

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>		
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>		
<b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
Fecha:	17-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>			
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM-D1709
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 1 (T1)		
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	50 Psi

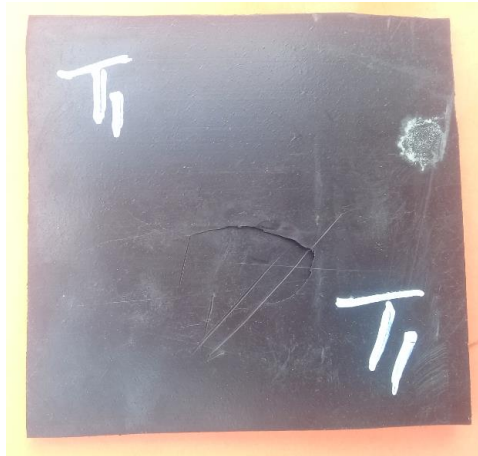
Dimensiones (mm):	80 x 80 x e	Numero de probetas:	3
Espesor Promedio:	4,21 mm	Masa del dardo:	0,139 Kg
Diámetro de dardo :	58 mm	Geometría de dardo:	FC

### RESULTADOS

Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al Impacto (J)	Consideración
T1 - 1	1360	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,717	No Falla
T1 - 2	1460	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,990	Falla
T1 - 3	1410	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,854	Falla
Promedio:	1410	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,854	
Des. Estándar:	40,82	0	0	0,112	

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



	<b>Peso del dardo:</b> 0,139 Kg
	<b>Peso Adicional:</b> 0,1397 Kg
	<b>Peso Total:</b> 0,2787 Kg
	<b>Observaciones:</b>
	La probeta 1 no muestra una pequeña deformación en la zona de impacto del dardo sin mostrar fisuras no falla el material.
	<b>Peso del dardo:</b> 0,139 Kg
	<b>Peso Adicional:</b> 0,1397 Kg
	<b>Peso Total:</b> 0,2787 Kg
	<b>Observaciones:</b>
	La probeta 2 no muestra una fractura y una fisura en la zona posterior de impacto del dardo mostrando una perforación del dardo.
	<b>Peso del dardo:</b> 0,139 Kg
	<b>Peso Adicional:</b> 0,1397 Kg
	<b>Peso Total:</b> 0,2787 Kg



**Observaciones:**

La probeta 3 no muestra una fractura y una fisura en la zona de impacto del dardo mostrando una perforación del dardo.

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES	
Energía Promedio Absorbida:	3,854 J
Resistencia Máxima al Impacto:	3,717 J




	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
---	--	---

**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
Fecha:	17-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

**PARÁMETROS DE ENSAYO**

Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM-D1709
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 2 (T2)		
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	30 Psi
Dimensiones (mm):	80 x 80 x e	Numero de probetas:	3
Espesor Promedio:	4,93 mm	Masa del dardo:	0,139 Kg

		Masa adicional:	0,1397 Kg		
Diámetro de dardo :	58 mm	Geometría de dardo:	FC		
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coeficiente	Resistencia al Impacto (J)	Consideración
T2 - 1	1410	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,854	No Falla
T2 - 2	1460	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,990	No Falla
T2 - 3	1560	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	4,264	Falla
Promedio:	1476,67	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	4,04	
Des. Estándar:	62,36	0	0	0,170	
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES					
Energía Promedio Absorbida:	4,04 J				
Resistencia Máxima al Impacto:	3,990 J				
Inicio de Falla:	La Falla inicia en la zona media de la probeta				
Observaciones:	<p>La probeta 1 y 2 ensayadas no fallan muestran únicamente una pequeña deformación</p> <p>La probeta 3 muestra fisuras en la parte posterior de la zona de impacto.</p>				
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS:					
Fecha:	17-01-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50				
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM-D1709		
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío				
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 3 (T3)				
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	50 Psi		
Dimensiones (mm):	80 x 80 x e	Numero de probetas:	3		
Espesor Promedio:	3,93 mm	Masa del dardo:	0,139 Kg		

		Masa adicional:	0,1397 Kg
Diámetro de dardo :	58 mm	Geometría de dardo:	FC

### RESULTADOS

Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al Impacto (J)	Consideración
T3 - 1	1460	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,990	Falla
T3 - 2	1360	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,717	Falla
T3 - 3	1360	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,717	No Falla
Promedio:	1393,33	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,81	
Des. Estándar:	47,14	0	0	0,129	

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



### EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Energía Promedio Absorbida:	3,990 J
Resistencia Máxima al Impacto:	3,717 J
Inicio de Falla:	La Falla inicia en la zona de impacto de la probeta
Observaciones:	La probeta 1 y 2 muestra fisuras en la parte posterior y en la frontal de la zona de impacto. La probeta 3 resiste al impacto sin sufrir ningún tipo de falla.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**



### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
Fecha:	17-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

### PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM-D1709
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 4 (T4)		
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	30 Psi
Dimensiones (mm):	80 x 80 x e	Numero de probetas:	3

Espesor Promedio:	4,86 mm	Masa del dardo:	0,139 Kg
Diámetro de dardo :	58 mm	Geometría de dardo:	FC

### RESULTADOS

Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coficiente	Resistencia al Impacto (J)	Consideración
T4 - 1	1360	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,717	No Falla
T4 - 2	1460	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,990	No Falla
T4 - 3	1560	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	4,264	Falla
Promedio:	1460	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,990	
Des. Estándar:	81,65	0	0	0,223	

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



### EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Energía Promedio Absorbida:	3,990 J
Resistencia Máxima al Impacto:	3,717 J
Inicio de Falla:	La Falla inicia en la zona de impacto de la probeta
Observaciones:	La probeta 1 y 2 no fallan muestran únicamente una pequeña deformación La probeta 3 muestra fisuras en la parte posterior de la zona de impacto.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**



### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
Fecha:	17-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>			
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM-D1709
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 5 (T5)		
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	50 Psi
Dimensiones (mm):	80 x 80 x e	Numero de probetas:	3

Espesor Promedio:	3,95 mm	Masa del dardo:	0,139 Kg
Diámetro de dardo :	58 mm	Geometría de dardo:	FC

### RESULTADOS

Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coficiente	Resistencia al Impacto (J)	Consideración
T5 - 1	1360	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,717	No Falla
T5 - 2	1360	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,717	No Falla
T5 - 3	1410	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,854	Falla
Promedio:	1376,67	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,76	
Des. Estándar:	23,57	0	0	0,064	

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



### EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Energía Promedio Absorbida:	3,76 J
Resistencia Máxima al Impacto:	3,717 J
Inicio de Falla:	La Falla inicia en la zona de impacto de la probeta
Observaciones:	La probeta 1 y 2 resisten eficientemente el impacto no fallan muestran únicamente una pequeña deformación La probeta 3 muestra grieta continua y fisuras en la parte posterior de la zona de impacto.






**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**




### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	17-01-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50		
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM-D1709
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío		
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 6 (T6)		
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	50 Psi
Dimensiones (mm):	80 x 80 x e	Numero de probetas:	3

Espesor Promedio:	2,97 mm	Masa del dardo:	0,139 Kg		
Diámetro de dardo :	58 mm	Geometría de dardo:	FC		
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Resistencia al Impacto (J)	Consideración	
T6 - 1	1360	0,2787	9,80665x10 <sup>-3</sup>	3,717	No Falla
T6 - 2	1360	0,2787	9,80665x10 <sup>-3</sup>	3,717	Falla
T6 - 3	1310	0,2787	9,80665x10 <sup>-3</sup>	3,580	Falla
Promedio:	1343,33	0,2787	9,80665x10 <sup>-3</sup>	3,67	
Des. Estándar:	23,57	0	0	0,064	
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES					
Energía Promedio Absorbida:	3,67 J				
Resistencia Máxima al Impacto:	3,58 J				
Inicio de Falla:	La Falla inicia en la zona de impacto de la probeta				
Observaciones:	<p>La probeta 1 no muestra una pequeña deformación en la zona de impacto sin mostrar fisuras.</p> <p>La probeta 2 y 3 muestran una fractura en la zona de impacto muestra una perforación del dardo.</p>				
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS:					
Fecha:	17-01-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina :	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50				
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM-D1709		
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío				
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 7 (T7)				
Temperatura:	270 °C	Presión de vacío:	30 Psi		
Dimensiones (mm):	80 x 80 x e	Numero de probetas:	3		
Espesor Promedio:	3,86 mm	Masa del dardo:	0,139 Kg		



Diámetro de dardo :	58 mm	Geometría de dardo:	FC		
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al Impacto (J)	Consideración
T7 - 1	1360	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,717	No Falla
T7 - 2	1410	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,854	Falla
T7 - 3	1360	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,717	Falla
Promedio:	1376,67	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,76	
Des. Estándar:	23,57	0	0	0,064	
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES					
Energía Promedio Absorbida:	3,76 J				
Resistencia Máxima al Impacto:	3,717 J				
Inicio de Falla:	La Falla inicia en la zona de impacto de la probeta				
Observaciones:	<p>La probeta 1 no muestra fisuras en la zona de impacto absorbiendo correctamente el impacto.</p> <p>La probeta 2 y 3 resiste al impacto sin sufriendo falla y mostrando fisuras y grietas.</p>				
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS:					
Fecha:	17-01-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal para polímeros METROTEC MTE-50				
Realizado por:	José Ortiz	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM-D1709		
Configuración:	Piezas Termoformadas al vacío				
Condiciones Termoformado:	Grupo numero 8 (T8)				
Temperatura:	200 °C	Presión de vacío:	30 Psi		
Dimensiones (mm):	80 x 80 x e	Numero de probetas:	3		
Espesor Promedio:	4,26 mm	Masa del dardo:	0,139 Kg		
Diámetro de dardo :	58 mm	Geometría de dardo:	FC		

RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coficiente	Resistencia al Impacto (J)	Consideración
T8 - 1	1360	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,717	No Falla
T8 - 2	1410	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,854	No Falla
T8 - 3	1410	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,854	Falla
Promedio:	1393,33	0,2787	$9,80665 \times 10^{-3}$	3,81	
Des. Estándar:	23,57	0	0	0,064	
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
					
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES					
Energía Promedio Absorbida:	3,81 J				
Resistencia Máxima al Impacto:	3,717 J				
Inicio de Falla:	La Falla inicia en la zona de impacto de la probeta				
Observaciones:	<p>La probeta 1 y 2 no fallan muestran únicamente una pequeña deformación</p> <p>La probeta 3 muestra fisuras en la parte posterior de la zona de impacto.</p>				

#### 4.2 Análisis de los Resultados

Después de realizar los ensayos respectivos procedemos al análisis de las fichas técnicas correspondientes de la caracterización mecánica a tracción, flexión e impacto, se propone la tabla siguiente con el resumen de los resultados obtenidos, para la realización de un análisis y evaluación del comportamiento de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto respecto a su comportamiento de las propiedades mecánicas.

Para verificar que los datos obtenidos del ensayo de las piezas termoformas tengan una distribución normal, se realizó una prueba de normalidad procediendo después a realizar el análisis posterior del diseño factorial para finalmente realizar el correcto análisis de los resultados obtenidos.

#### **4.2.1 Análisis del Esfuerzo Máximo de Tracción ( $\sigma_{\max}$ ) de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto.**

##### **4.2.1.1 Prueba de normalidad de los datos del Esfuerzo Máximo de Tracción ( $\sigma_{\max}$ ) obtenidos.**

➤ **Hipótesis:**

- $H_0$  = Hipótesis nula
- $H_A$  = Hipótesis alternativa

$H_0$  = Los datos del esfuerzo máximo de tracción obtenidos tienen una distribución normal.

$H_A$  = Los datos del esfuerzo máximo de tracción obtenidos no tienen una distribución normal.

**Número de muestras:** 24

**Nivel de significancia:** 0,05

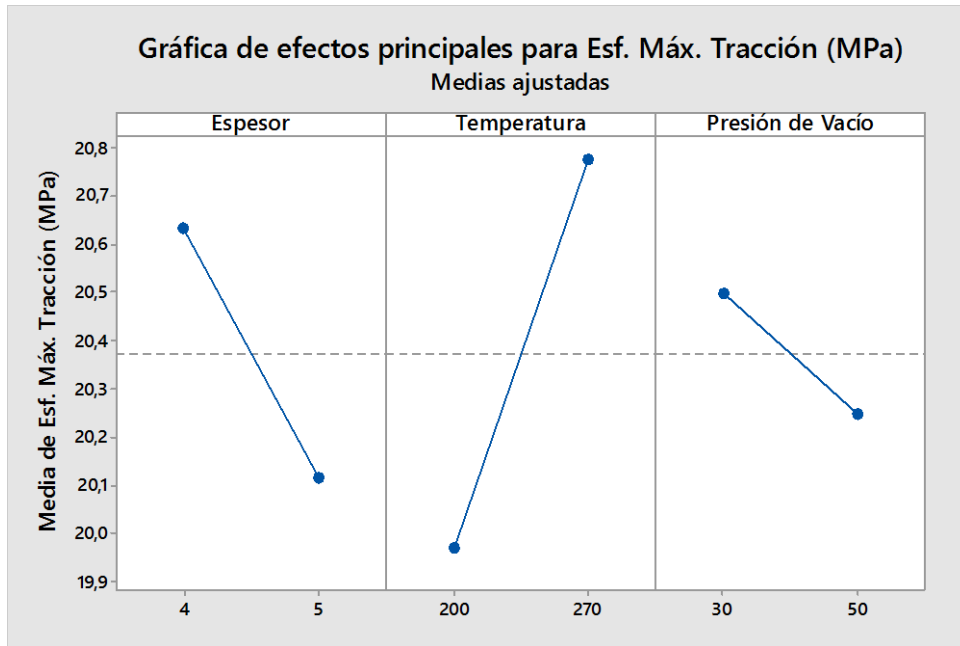
**Ryan – Joiner (RJ)** = 0,99

**Valor p** > 0,100

**Decisión** = No se rechaza la hipótesis nula

**Conclusión** = La prueba de normalidad muestra un resultado mayor 0,1 lo que supera el valor de significancia de 5%, concluyendo que el esfuerzo máximo de tracción tiene una distribución normal.

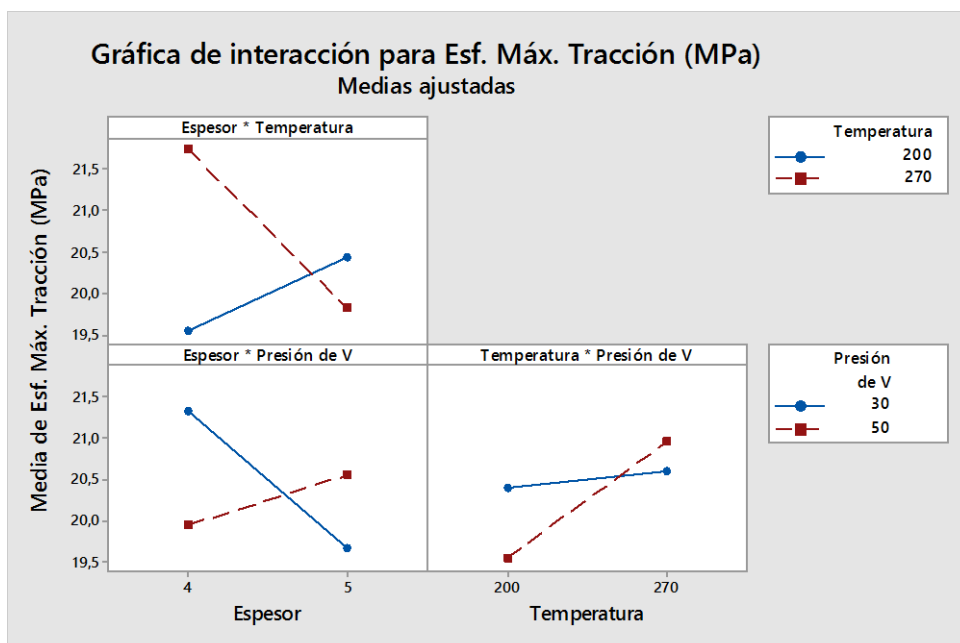
##### **4.2.1.2 Análisis del diseño factorial de los datos del Esfuerzo Máximo de Tracción ( $\sigma_{\max}$ ) obtenidas.**



**Figura 4.1** Efectos Principales del Esfuerzo Máximo de Tracción.

*Fuente:* Software de análisis estadístico

En la figura 4.2 se puede observar la influencia y gran significancia de los parámetros de entrada en el proceso de termoformado, para la obtención de mejores propiedades mecánicas en la pieza termoformada, mostrando que los tres parámetros (espesor, temperatura, presión de vacío) tienen una gran significancia siendo la de mayor significancia la temperatura de termoformado y una menor significancia la presión de vacío.



**Figura 4.2** Interacción para el Esfuerzo Máximo de Tracción.

**Fuente:** Software de análisis estadístico

Partiendo de los valores de mayor significancia obtenidos y que se muestran en la figura 4.2, se procede a interpretar los datos obtenidos para definir el máximo esfuerzo de tracción basándonos en datos reales:

- Si se realiza un termoformado con una temperatura de 200 °C, una presión de vacío de 50 psi y un espesor de 4 mm, se obtiene un esfuerzo máximo de tracción medio de 19,5267 MPa, siendo el valor más bajo.
- Si se realiza un termoformado con una temperatura de 270 °C, y un espesor de 4 mm, se obtiene un esfuerzo máximo de tracción de medio 21,74 MPa, siendo el valor más alto.

#### **4.2.2 Análisis del Módulo de Elasticidad ( $E$ ) de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto.**

##### **4.2.2.1 Prueba de normalidad de los datos del Módulo de Elasticidad ( $E$ ) obtenidos.**

- **Hipótesis:**
  - $H_0$  = Hipótesis nula
  - $H_A$  = Hipótesis alternativa

$H_0$  = Los datos del módulo de elasticidad ( $E$ ) obtenidos tienen una distribución normal.

$H_A$  = Los datos del módulo de elasticidad ( $E$ ) obtenidos no tienen una distribución normal.

**Número de muestras:** 24

**Nivel de significancia:** 0,05

**Estadístico de Prueba**

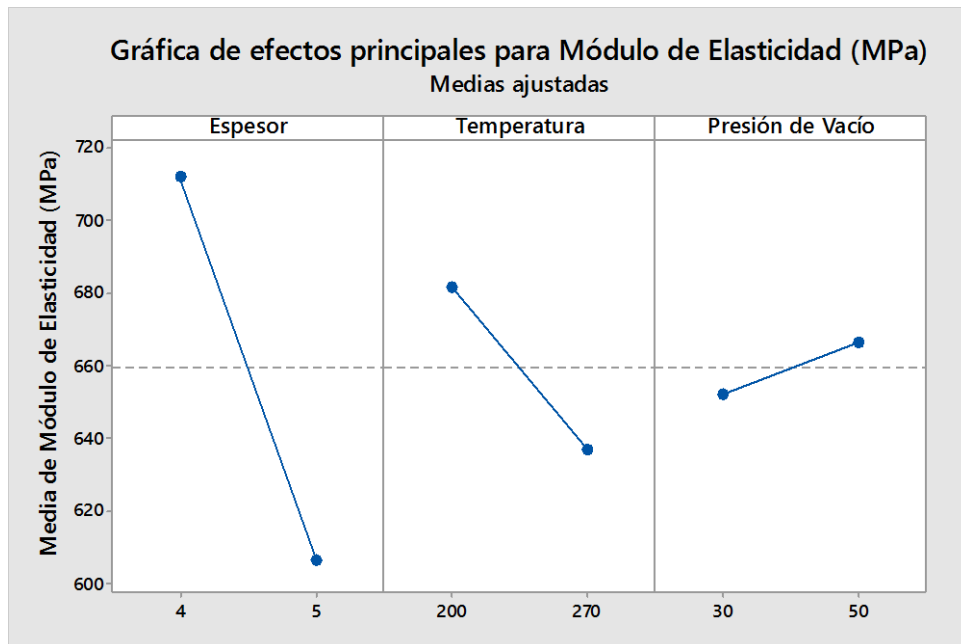
**Ryan – Joiner (RJ) = 0,965**

**Valor p > 0,100**

**Decisión =** No se rechaza la hipótesis nula

**Conclusión** = La prueba de normalidad muestra un resultado mayor 0,1 lo cual supera el valor de significancia de 5%, concluyendo que el módulo de elasticidad tiene una distribución normal.

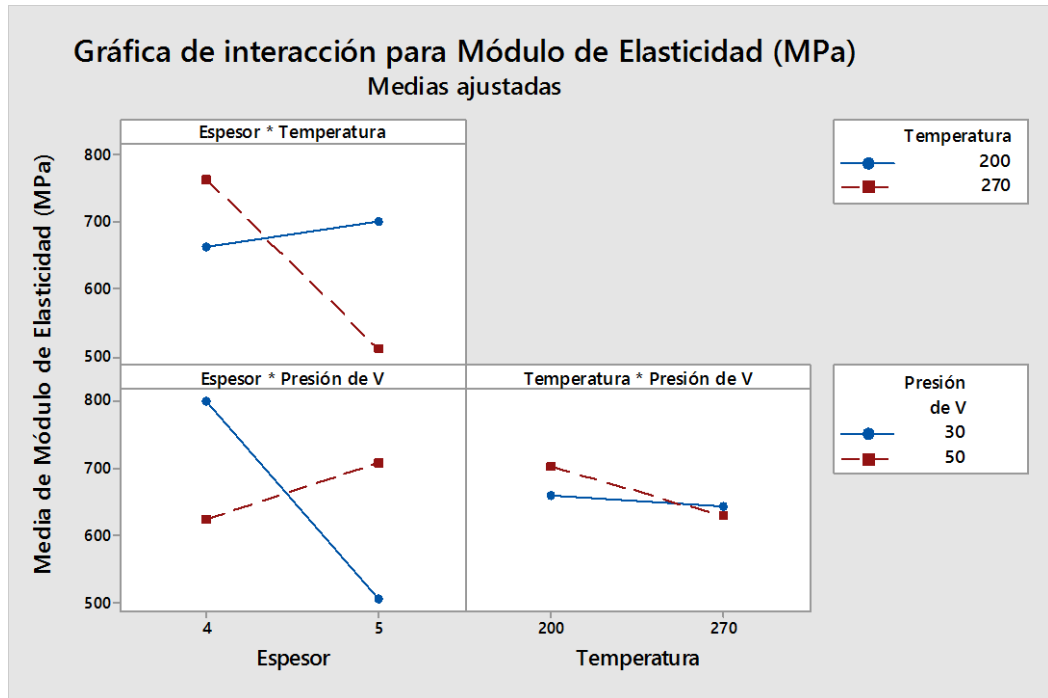
#### 4.2.2.2 Análisis del diseño factorial de los datos del Módulo de Elasticidad (*E*) obtenidos.



*Figura 4.3 Efectos Principales del Módulo de Elasticidad.*

*Fuente: Software de análisis estadístico*

En la figura 4.3 se puede observar la influencia y gran significancia de los parámetros de entrada en el proceso de termoformado, para la obtención de mejores propiedades mecánicas en la pieza termoformada, mostrando que los tres parámetros (espesor, temperatura, presión de vacío) tienen una gran significancia siendo la de mayor significancia el espesor de la pieza termoformada y una menor significancia la presión de vacío.



*Figura 4.4 Interacción para el Módulo de Elasticidad.*

*Fuente: Software de análisis estadístico*

Partiendo de los valores de mayor significancia obtenidos y que se muestran en la figura 4.4, se procede a interpretar los datos obtenidos para definir el máximo esfuerzo de tracción basándonos en datos reales:

- Si se realiza un termoformado con una temperatura de 270 °C, y un espesor de 5 mm con una presión de vacío de 50 Psi, se obtiene un esfuerzo máximo de tracción medio de 504,71MPa, siendo el valor más bajo.
- Si se realiza un termoformado con espesor de 4 mm, una presión de vacío de 30 psi y una temperatura de 270 °C, se obtiene un esfuerzo máximo de tracción de medio 800,132 MPa, siendo el valor más alto.

### 4.2.3 Análisis del Esfuerzo Máximo de Flexión ( $\sigma_{max f}$ ) de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto.

#### 4.2.3.1 Prueba de normalidad de los datos del Esfuerzo Máximo de Flexión ( $\sigma_{max f}$ ) obtenidos.

➤ **Hipótesis:**

- $H_0$  = Hipótesis nula
- $H_A$  = Hipótesis alternativa

$H_0$  = Los datos del esfuerzo máximo de flexión ( $\sigma_{max f}$ ) obtenidos tienen una distribución normal.

$H_A$  = Los datos del esfuerzo máximo de flexión ( $\sigma_{max f}$ ) obtenidos no tienen una distribución normal.

**Número de muestras:** 24

**Nivel de significancia:** 0,05

**Estadístico de Prueba**

**Ryan – Joiner (RJ)** = 0,965

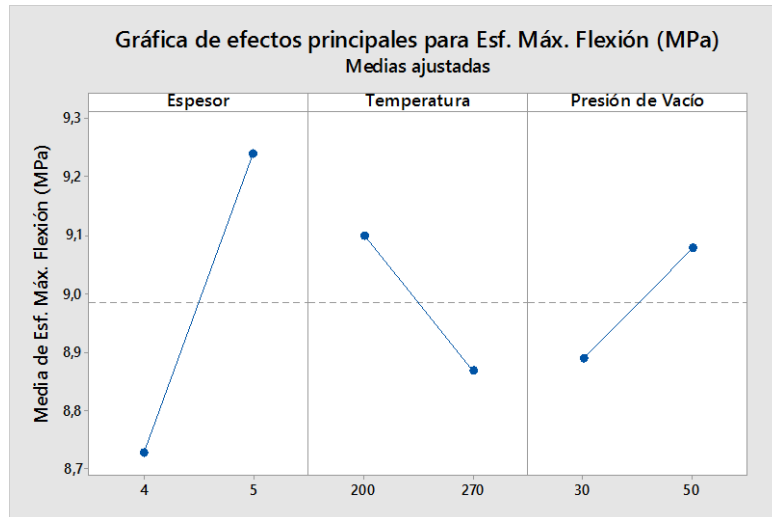
**Valor p** > 0,100

**Decisión** = No se rechaza la hipótesis nula

**Conclusión** = La prueba de normalidad muestra un resultado mayor 0,1 lo cual supera el valor de significancia de 5%, concluyendo que el esfuerzo máximo de flexión tiene una distribución normal.

**4.2.3.2 Análisis del diseño factorial de los datos del Esfuerzo Máximo de Flexión ( $\sigma_{max f}$ ) obtenidos.**

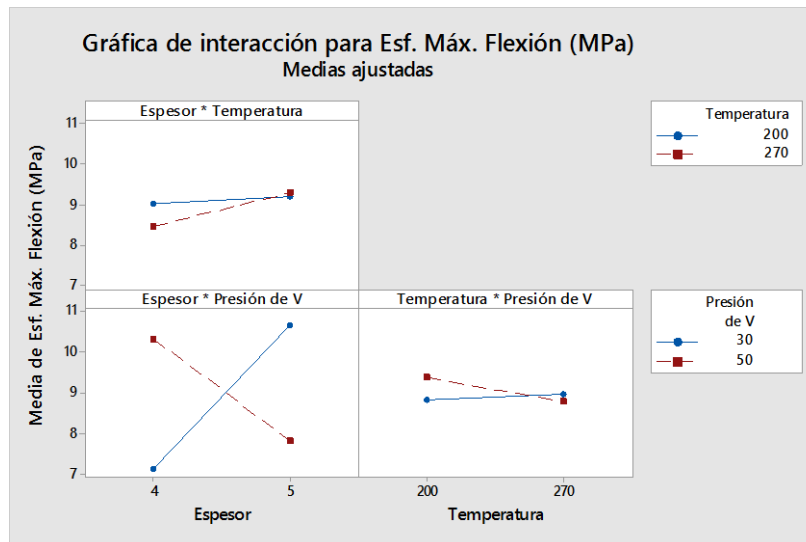




**Figura 4.5** Efectos Principales del Esfuerzo Máximo de Flexión.

**Fuente:** Software de análisis estadístico.

En la figura 4.5 se puede observar la influencia y gran significancia de los parámetros de entrada en el proceso de termoformado, para la obtención de mejores propiedades mecánicas en la pieza termoformada, mostrando que los tres parámetros (espesor, temperatura, presión de vacío) tienen una gran significancia siendo la de mayor significancia el espesor de la pieza termoformada y una menor significancia la presión de vacío.



**Figura 4.6** Interacción para el Esfuerzo Máximo de Flexión.

**Fuente:** Software de análisis estadístico.

Partiendo de los valores de mayor significancia obtenidos y que se muestran en la figura 4.6, se procede a interpretar los datos obtenidos para definir el máximo esfuerzo de tracción basándonos en datos reales:

- Si se realiza un termoformado con una temperatura de 270 °C, y un espesor de 4 mm con una presión de vacío de 30 Psi, se obtiene un esfuerzo máximo de tracción medio de 8,45683 MPa, siendo el valor más bajo.
- Si se realiza un termoformado con espesor de 5 mm, una presión de vacío de 30 psi y una temperatura de 270 °C, se obtiene un esfuerzo máximo de tracción de medio 10,6487 MPa, siendo el valor más alto.

#### **4.2.4 Análisis del Módulo de Flexión ( $E_f$ ) de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto.**

##### **4.2.4.1 Prueba de normalidad de los datos del Módulo de Flexión ( $E_f$ ) obtenidos.**

###### **➤ Hipótesis:**

- $H_0$  = Hipótesis nula
- $H_A$  = Hipótesis alternativa

$H_0$  = Los datos del módulo de flexión ( $E_f$ ) obtenidos tienen una distribución normal.

$H_A$  = Los datos del módulo de flexión ( $E_f$ ) obtenidos no tienen una distribución normal.

**Número de muestras:** 24

**Nivel de significancia:** 0,05

**Estadístico de Prueba**

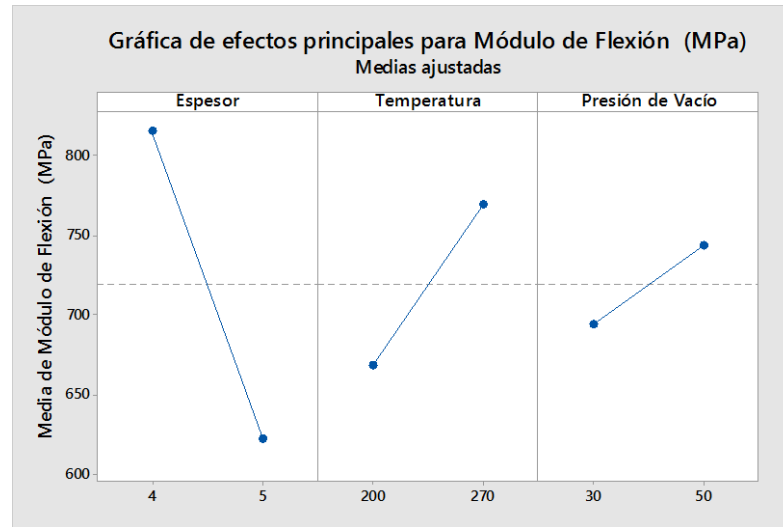
**Ryan – Joiner (RJ) = 0,983**

**Valor p > 0,100**

**Decisión = No se rechaza la hipótesis nula**

**Conclusión** = La prueba de normalidad muestra un resultado mayor 0,1 lo cual supera el valor de significancia de 5%, concluyendo que el esfuerzo máximo de flexión tiene una distribución normal.

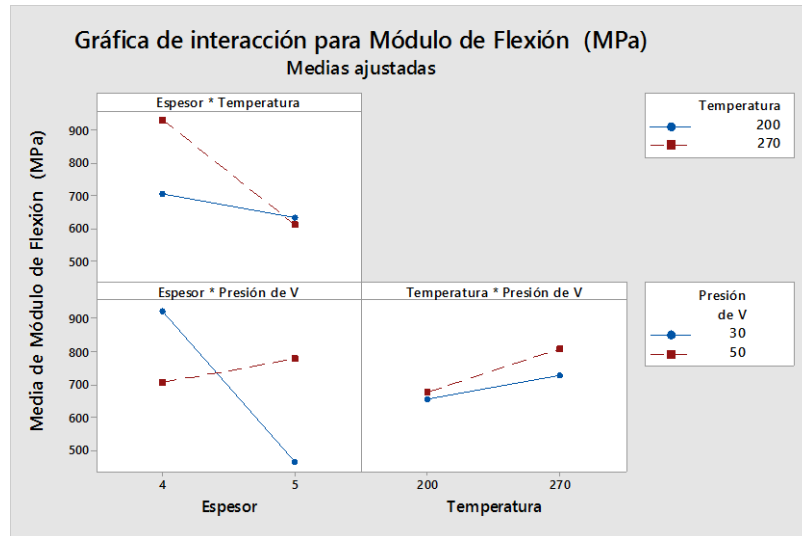
#### 4.2.4.2 Análisis del diseño factorial de los datos del Módulo de Flexión ( $E_f$ ) obtenidos.



**Figura 4.7** Efectos Principales del Esfuerzo Máximo de Flexión.

**Fuente:** Software de análisis estadístico.

En la figura 4.7 se puede observar la influencia y gran significancia de los parámetros de entrada en el proceso de termoformado, para la obtención de mejores propiedades mecánicas en la pieza termoformada, mostrando que los tres parámetros (espesor, temperatura, presión de vacío) tienen una gran significancia siendo la de mayor significancia el espesor de la pieza termoformada y una menor significancia la presión de vacío.



**Figura 4.8** Interacción para el Modulo de Flexión.

*Fuente:* Software de análisis estadístico.

Partiendo de los valores de mayor significancia obtenidos y que se muestran en la figura 4.12, se procede a interpretar los datos obtenidos para definir el máximo esfuerzo de tracción basándonos en datos reales:

- Si se realiza un termoformado con una temperatura de 200 °C, y un espesor de 5 mm con una presión de vacío de 30 Psi, se obtiene un Módulo de Flexión medio de 463,275 MPa, siendo el valor más bajo.
- Si se realiza un termoformado con espesor de 4 mm, una temperatura de 270 °C y una presión de vacío de 30 psi se obtiene un Módulo de Flexión medio de 928,848 MPa, siendo el valor más alto.

#### 4.2.5 Análisis de la Resistencia Máxima al Impacto (*MEF*) de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto.

##### 4.2.5.1 Prueba de normalidad de la Resistencia Máxima al Impacto (*MEF*) obtenidos.

- **Hipótesis:**
  - $H_0$  = Hipótesis nula
  - $H_A$  = Hipótesis alternativa

$H_0$  = Los datos de la Resistencia Máxima al Impacto (*MEF*) obtenidos tienen una distribución normal.

$H_A$  = Los datos de la Resistencia Máxima al Impacto (*MEF*) obtenidos no tienen una distribución normal.

**Número de muestras:** 24

**Nivel de significancia:** 0,05

**Estadístico de Prueba**

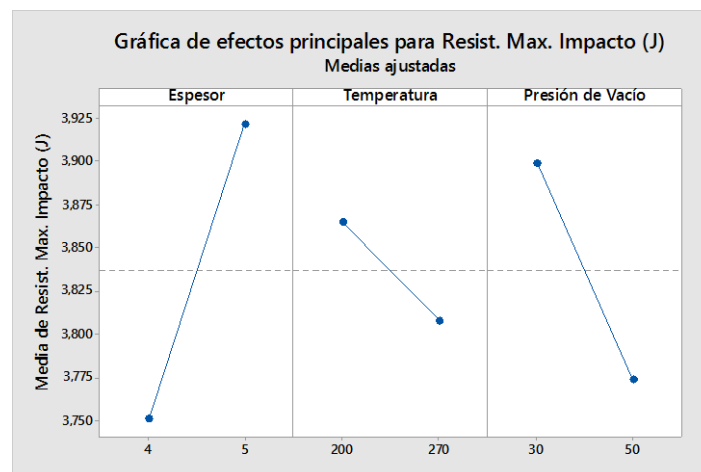
**Ryan – Joiner (RJ) = 0,963**

**Valor p = 0,086**

**Decisión =** No se rechaza la hipótesis nula

**Conclusión =** La prueba de normalidad muestra un resultado de 0,086 lo cual supera el valor de significancia de 5%, concluyendo que la resistencia máxima al impacto tiene una distribución normal.

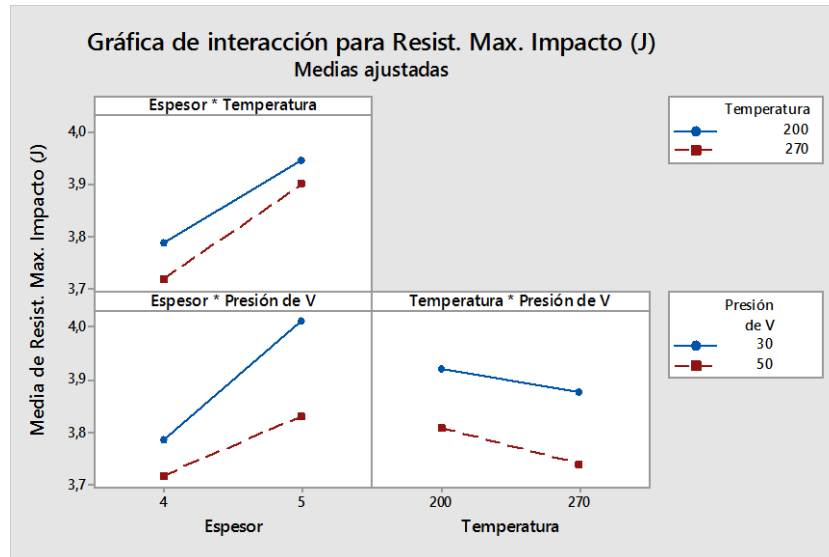
#### 4.2.5.2 Análisis del diseño factorial de los datos de la Resistencia Máxima al Impacto (*MEF*) obtenidos.



**Figura 4.9** Efectos Principales de la Resistencia Máxima al Impacto.

**Fuente:** Software de análisis estadístico.

En la figura 4.9 se puede observar la influencia y gran significancia de los parámetros de entrada en el proceso de termoformado, para la obtención de mejores propiedades mecánicas en la pieza termoformada, mostrando que los tres parámetros (espesor, temperatura, presión de vacío) tienen una gran significancia siendo la de mayor significancia el espesor de la pieza termoformada y una menor significancia la temperatura de termoformado.



**Figura 4.10** Interacción para la Resistencia Máxima al Impacto.

*Fuente:* Software de análisis estadístico.

Partiendo de los valores de mayor significancia obtenidos y que se muestran en la figura 4.10, se procede a interpretar los datos obtenidos para definir el máximo esfuerzo de tracción basándonos en datos reales:

- Si se realiza un termoformado con una temperatura de 270 °C, y un espesor de 4 mm con una presión de vacío de 30 Psi, se obtiene una resistencia máxima al impacto media de 3,717 J, siendo el valor más bajo.
- Si se realiza un termoformado con espesor de 5 mm, una temperatura de 200 °C y una presión de vacío de 30 Psi se obtiene una resistencia máxima al impacto media de 4,013 J, siendo el valor más alto.

#### 4.2.6 Interpretación y selección de los resultados

**Tabla 4.1** Resultados de Ensayos de determinación de propiedades mecánicas.

	<b>Propiedades Mecánicas Polipropileno de Alto Impacto</b>					
	<b>Espesor (mm)</b>		<b>Temperatura (°C)</b>		<b>Presión de Vacío (Psi)</b>	
	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>200</b>	<b>270</b>	<b>30</b>	<b>50</b>
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)	20,633	20,116	19,972	20,776	20,499	20,25
Módulo de Elasticidad (MPa)	712,267	606,49	681,588	637,169	652,461	666,336
Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)	8,7292	9,2393	9,0987	8,8698	8,8898	9,0787
Módulo de Flexión (MPa)	816,192	622,421	668,484	770,128	694,218	744,394

Resistencia Máxima al Impacto (J)	3,751	3,922	3,865	3,808	3,899	3,774
-----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fuente: El Autor

Partiendo de los resultados de la tabla 4.1 podemos obtener los valores promediados de los ensayos siendo obteniendo para el ensayo de tracción (20,37 MPa), el ensayo de flexión (8,98 MPa) y en ensayo de impacto (3,84 J). Donde la óptima combinación de los parámetros en el proceso de termoformado, para la obtención de óptimas propiedades mecánicas para la fabricación de guardachoques con polipropileno de alto impacto es:

- Trabajar con un espesor de 4 mm, reduciendo el peso del guardachoque y obteniendo óptimas propiedades a tracción, también por el área de trabajo que posee tiene menor peso de la pieza termormada y una mayor flexibilidad en el material.
- La mejor temperatura para el proceso es la de 200 °C, además de aplicar una presión de vacío de 50 Psi optimizando así el proceso de termoformado y obteniendo óptimas propiedades mecánicas para la fabricación de guardachoques de polipropileno de alto impacto.

### 4.3 Verificación de Hipótesis

Como parte final del desarrollo del presente estudio la hipótesis “El análisis de las partes termoformadas y la determinación de sus propiedades mecánicas optimizara el proceso de fabricación de guardachoques de polipropileno de alto impacto”, se comprueba estadísticamente y comparativamente, mediante la utilización de la desviación estándar de cada una de las propiedades mecánicas obtenidas de los ensayos.

Para la verificación de la hipótesis general planteada de manera estadística, se realizó un análisis de varianza ANOVA con la ayuda del software para análisis estadístico; tomando los datos de los ensayos de tracción, flexión e impacto realizados a las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto.

Para considerar la relevancia de cada uno de los factores, se evalúa estadísticamente cada factor en función del valor  $p$  valores que son descritos en la tabla 4.2, detallando la influencia de los parámetros de termoformado que inciden

en la variación de las propiedades mecánicas; considerando que p debe ser mayor a 0,05 para poder rechazar así la hipótesis nula.

#### 4.3.1 Verificación de la hipótesis con respecto a las propiedades mecánicas obtenidas ANOVA.

➤ **Hipótesis:**

- $H_0$  = Hipótesis nula
- $H_A$  = Hipótesis alternativa

$H_0$  = Las propiedades mecánicas son iguales al termoformar bajo los mismos parámetros del proceso de termoformado.

$H_A$  = Las propiedades mecánicas varían al termoformar bajo los mismos parámetros del proceso de termoformado.

*Tabla 4.2 Verificación de hipótesis mediante análisis de varianza valor p.*

<b>Piezas Termoformadas de Polipropileno de Alto Impacto</b>	
<b>Verificación de la Hipótesis con respecto a las Propiedades Mecánicas</b>	
<b>Esfuerzo Máximo de Tracción (<math>\sigma_{max}</math>)</b>	
<b>Parámetros Termoformado</b>	<b>Valor p</b>
Espesor*Temperatura	0,049
<b>Módulo de Elasticidad (<math>E</math>)</b>	
<b>Parámetros Termoformado</b>	<b>Valor p</b>
Espesor*Temperatura	0,025
<b>Esfuerzo Máximo de Flexión (<math>\sigma_{maxf}</math>)</b>	
<b>Parámetros Termoformado</b>	<b>Valor p</b>
Espesor*Presión de Vacío	0,001
<b>Módulo de Flexión (<math>E_f</math>)</b>	
<b>Parámetros Termoformado</b>	<b>Valor p</b>
Espesor	0,003
Espesor*Presión de Vacío	0,000
Espesor*Temperatura	0,042
<b>Resistencia Máxima al Impacto (<math>MEF</math>)</b>	
<b>Parámetros Termoformado</b>	<b>Valor p</b>



Espesor	0,008
Presión de Vacío	0,041

**Fuente:** El Autor

Los parámetros del proceso de termoformado como son el espesor, la temperatura y la presión de vacío influyen significativamente en las propiedades mecánicas de las piezas termoformadas de polipropileno de alto impacto como se muestra en la tabla 4.2, debido a que su valor de significancia es mayor al 5%, determinando así la mejor configuración de los parámetros en el proceso de termoformado para la fabricación de guardacoches. Siendo el parámetro de más influencia el espesor y la combinación del espesor con la temperatura y la presión de vacío.

Mediante un análisis estadístico ANOVA se ha demostrado la significancia de los parámetros de termoformado y su influencia en las propiedades mecánicas, planteando que la mejor configuración de los parámetros del proceso de termoformado son: Espesor 4 mm, Temperatura 200 °C y Presión de Vacío 50 Psi, obteniendo mejores propiedades mecánicas y optimizando así el proceso de termoformado para la fabricación de guardachoques con polipropileno de alto impacto en la empresa carrocera “Construcciones Mecánicas Albán” en la ciudad de Latacunga.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- El parámetro principal de influencia en el proceso de termoformado es la temperatura, debido que a través del correcto control de la temperatura se obtiene una óptima dilatación del material, en función del tiempo en el cual el material alcanza la temperatura esperada la cual depende de la potencia de las resistencias (niquelinas), logrando la obtención de buenas piezas termoformadas.
- Se elaboró las probetas para la realización de los ensayos mediante la aplicación de las normas para ensayo de materiales poliméricos ASTM D638-02, ASTM D790-03, ASTM D1790-15 para la caracterización a Tracción, Flexión e Impacto respectivamente.
- Para la elaboración de las probetas mediante el proceso de termoformado se trabajó mediante la variación de la temperatura de 200 - 270 °C, presiones de vacío de 30 y 50 Psi y el uso de láminas de polipropileno de 4 y 5 mm, donde el espesor final de la pieza termoformada está en función de los parámetros del proceso.
- Se obtuvieron las propiedades mecánicas de las partes termoformadas siendo los resultados promedios en los ensayos de tracción (20,37 MPa), ensayos de flexión (8,98 MPa) y ensayos de impacto (3,84 J), siendo estos valores aceptables para este tipo de material.
- Se evaluó las propiedades mecánicas obtenidas, por lo que la configuración de parámetros de termoformado de espesor 4 mm, temperatura 200 °C y presión de vacío 50 Psi, brindan óptimas propiedades mecánicas, en tracción (20.63 MPa), flexión (9,09 MPa) e impacto (3.77 J) además de presentar mejores fracturas y debido al espesor obtiene también un menor peso al momento de la fabricación del elemento final.

- La presión de vacío presenta poca valoración en los resultados de la calidad de las piezas termoformadas, por lo que los resultados obtenidos sirven para cualquier valor de presión de vacío.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se debe realizar un mínimo de 3 probetas para el ensayo según lo que determinan las normas correspondientes, para dar un rango óptimo que ayuda a no obtener datos anómalos al momento de la evaluación.
- Controlar los parámetros de termoformado especialmente la temperatura, verificando la dilatación del material, debido a que el material podría quemarse en el proceso.
- Aplicar la presión de vacío en el preciso momento en el cual el material cubra completamente el molde, realizando un sello hermético entre el material y la mesa de succión.
- Se debe contar con una o dos probetas para realizar pruebas antes del ensayo, ayudando a calibrar la máquina y comprobar la correcta disposición de la máquina para el ensayo.
- Para el ensayo de tracción se deben colocar una sobremonta de 46 mm en los extremos de las probetas, para que no resbalen debido a su baja rugosidad externa al momento del ensayo.
- En el ensayo de flexión la distancia entre apoyos debe ser de 16 veces el espesor de la probeta además de aumentar la longitud en un 10% para que las probetas no resbalen al momento del ensayo como lo establece la norma ASTM D790-03.
- Para el ensayo de impacto tipo dardo es importante evitar que el dardo al momento del impacto rebote sobre las probetas.
- Verificar la correcta distribución de calor en el material para no sufrir inconvenientes al momento de aplicar la presión de vacío.

## MATERIALES DE REFERENCIA

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] APME (2013). *Plastics – the Facts 2013. An analyss of European latest plastics production, demand and waste data.*
- [2] Castillo L. A. (2007). *Optimización de las variables de presión y Temperatura en el proceso de moldeo por inyección de polipropileno en la fabricación de tapas para mejorar los índices de calidad.* Universidad San Carlos. Guatemala, 2007
- [3] Buades C. M. (2013). *Caracterización del polipropileno de alto impacto con refuerzos de diferente naturaleza para aplicaciones en automoción.* Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia. España, 2013-2014
- [4] Valle Lázaro A. (2014). *Caracterización de las propiedades térmicas y mecánicas de polipropilenos para aplicaciones en electrodomésticos.* Universidad Politécnica de Valencia. España, 2013-2014.
- [5] Fabra J. y Amparo M. (2014). *Caracterización de polipropilenos técnicos modificados con talco para su uso en parachoques.* Universidad Politécnica de Valencia. España, 2013-2014
- [6] STANDOX (2012). *El arte del pintado. Pintado de plásticos.* Barcelona – España
- [7] Fred W. (2004). *Ciencia de los polímeros.* Editorial Reverte. Madrid – España.
- [8] Kalpakjian S. y Schmid S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología.* Pearson Educación. Cuarta Edición.
- [9] Newell J. (2016). *Ciencia de materiales – Aplicaciones en Ingeniería.* Editorial Alfaomega.
- [10] Smith W. y Hashemi J. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.* Editorial McGraw-Hill. Cuarta edición. México.

- [11] Fernandez A. (2014). *Análisis de la estructura, movilidad molecular y propiedades de copolímeros de impacto de polipropileno. Modelo de estructura de fases*. Universidad Rey Juan Carlos.
- [12] Callister W. (2008). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volumen 2*. Editorial Reverte. Barcelona – España.
- [13] Pires M., Mauler R. y Liberman A. (2004). *Structural characterization of reactor blends of polypropylene and ethylene-propylene rubber*. Appl. Polym. Sci.
- [14] Nwabunma D. y Kyu T. (2008). *Piolefin Blends*. Wiley: New Jersey.
- [15] Harutun G. (2003). *Handbook of polypropylene and polypropylene composites*. Editorial Marcel Dekker. Estados Unidos.
- [16] Yanes G. (2011). Propiedades térmicas de mezclas de LDPE y PP. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Pag. 13 – 17.
- [17] De La Peña C. y Martínez M. (2005). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistema*. Editorial Pearson Educación. México.
- [18] Díaz Del Castillo F. (2012). *Lectura de Ingeniería 21. Conformado de materiales Plásticos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán – México.
- [19] Flores Suaquita E. (2015). *Determinación de las condiciones óptimas en el proceso de termoformado de láminas de PVC para moldes de gran tamaño*. Universidad Nacional de San Agustín. Perú.
- [20] Beltrán M. y Marcilla A. (2012). *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*. Editorial Universidad de Alicante.
- [21] Guerrero V., Davila J., Gales S., Pontón P. y Rosas N. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales*. Primera Edición. Quito-Ecuador.
- [22] Pérez Porto J. (2016). “Carrocerías” Definición. Disponible en: <http://definicion.de/carroceria/>. [Ultimo acceso: 12 12 2016]

- [23] Castro Miniguano C. (2014). *Estudio del comportamiento frente al fuego de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías y su incidencia en la homologación de modelos y competitividad de la empresa carrocera Industrial Metálica CEPEDA*. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Universidad Técnica de Ambato.
- [24] Paredes Salinas J. (2012). *Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y cabuya como material alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en guardacoches para buses*. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Universidad Técnica de Ambato.
- [25] SIGRAUTO (2009). *Asociación Española para el tratamiento ambiental de los vehículos fuera de uso*. Memorial 2007. Disponible en: <http://sigrauto.com>
- [26] La Mantia F. (2003). *Handbook of Plastics Recycling*. Editorial Shawbury. United Kingdom: Rapra Technology Limited.
- [27] Gutiérrez Pulido H. y De La Vara Salazar R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. Editorial McGRAW-HILL. Segunda Edición. México.
- [28] Shirley S. (2009). *Corte por láser de materiales poliméricos: una investigación experimental*. Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Facultad de Ingeniería. Universidad de Malaya. Kuala Lumpur - Malasia.
- [29] Nuñez Barriga L. (2014). *Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz epoxica reforzada con tejido mixto elaborado con fibras de carbono y kevlar y su incidencia en las propiedades mecánicas de partes externas de autos*. Facultad Ingeniería Civil y Mecánica. Universidad Técnica de Ambato. Ambato - Ecuador.
- [30] ASTM - American Society for Testing Materials. *ASTM D 638 – 02 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*.
- [31] ASTM - American Society for Testing Materials. *ASTM D 790 – 03 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*.

[32] ASTM - American Society for Testing Materials. *ASTM D 1709 – 15 Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method.*

# ANEXOS

**ANEXO A:** Resultados del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. de Tungurahua.

**ANEXO B:** Norma para ensayo de tracción en materiales plásticos ASTM D638-02.

**ANEXO C:** Norma para ensayo de flexión en materiales poliméricos ASTM D790-03.

**ANEXO D:** Norma para ensayo de impacto tipo dardo en materiales poliméricos ASTM D1709-15.



**ANEXO A:** Resultados del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. de Tungurahua.



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS**

<b>Informe N°:</b> 180520127220180104-ETP	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> José Fernando Ortiz Naranjo.	
<b>DIRECCIÓN:</b> Parroquia San Fernando.	
<b>NÚM. DE CEDULA / RUC:</b> 1805201272	<b>TELÉFONO:</b> 0989704329
<b>E-MAIL:</b> ojose005@gmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Polipropileno de alto impacto
<b>Método de ensayo:</b> ASTM D638-2015

**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica		Probetas a Ensayar
		Temperatura (°C)	Presión de vacío (psi)	
1	180520127220180104-ETP 01	200	50	3
2	180520127220180104-ETP 02	200	30	3
3	180520127220180104-ETP 03	270	50	3
4	180520127220180104-ETP 04	270	30	3
5	180520127220180104-ETP 05	200	50	3
6	180520127220180104-ETP 06	270	50	3
7	180520127220180104-ETP 07	270	30	3
8	180520127220180104-ETP 08	200	30	3
<b>TOTAL</b>				<b>24</b>

**Nota:** Las probetas son fabricadas de polipropileno de alto impacto, declarado por el cliente.



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180520127220180104-ETP 01-1	Cumple criterios dimensionales.	08/01/2018	10/01/2018
2	180520127220180104-ETP 01-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
3	180520127220180104-ETP 01-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
4	180520127220180104-ETP 02-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
5	180520127220180104-ETP 02-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
6	180520127220180104-ETP 02-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
7	180520127220180104-ETP 03-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
8	180520127220180104-ETP 03-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
9	180520127220180104-ETP 03-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
10	180520127220180104-ETP 04-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
11	180520127220180104-ETP 04-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
12	180520127220180104-ETP 04-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
13	180520127220180104-ETP 05-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
14	180520127220180104-ETP 05-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
15	180520127220180104-ETP 05-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
16	180520127220180104-ETP 06-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
17	180520127220180104-ETP 06-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
18	180520127220180104-ETP 06-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
19	180520127220180104-ETP 07-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
20	180520127220180104-ETP 07-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
21	180520127220180104-ETP 07-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
22	180520127220180104-ETP 08-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
23	180520127220180104-ETP 08-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018
24	180520127220180104-ETP 08-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	10/01/2018



**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. El cliente acepta que se ensaye con estas observaciones.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espínel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 Cliente	

**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.



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS**  
**INFORME DE RESULTADOS N°: 180520127220180104-ETP**

**DATOS GENERALES**

**Datos informativos: N° de proforma:** RM\_2018\_002  
**Empresa / Cliente:** José Fernando Ortiz Naranjo.  
**RUC/C.I.:** 1805201272 **Ciudad:** Ambato.  
**Dirección:** Parroquia San Fernando.  
**Teléfono:** 0989704329 **Correo:** ojose005@gmail.com  
**Datos del ensayo:**  
**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Resistencia de Materiales.  
**Dirección:** Ambato/Catiglata. Toronto y Rio de Janeiro.  
**Método de ensayo:** ASTM D638-2014. Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos.  
**Tipo de ensayo:** Cuantitativo. **Tipo de probeta:** I de la norma, 100% de relleno.  
**Equipo utilizado:** Máquina de ensayos universal. Metro test 50 kN.  
**Velocidad de ensayo:** 50 mm/min **Precarga:** 0 N  
**Fecha de Inicio de Ensayo:** 10/01/2018. **Fecha de Finalización de Ensayo:** 10/01/2018.  
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales poliméricos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica		Probetas a Ensayar
		Temperatura (°C)	Presión de vacío (psi)	
1	180520127220180104-ETP 01	200	50	3
2	180520127220180104-ETP 02	200	30	3
3	180520127220180104-ETP 03	270	50	3
4	180520127220180104-ETP 04	270	30	3
5	180520127220180104-ETP 05	200	50	3
6	180520127220180104-ETP 06	270	50	3
7	180520127220180104-ETP 07	270	30	3
8	180520127220180104-ETP 08	200	30	3
<b>TOTAL</b>				<b>24</b>

**Nota:** Las probetas son fabricadas de polipropileno de alto impacto, declarado por el cliente.

**Observaciones:** No se aplica ningún acondicionamiento a las probetas.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Fecha de entrega de Informe:** Ambato, 13 de enero de 2018.  
**N°. Factura:** 001-002-000004064



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carroceiro



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

### Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Fuerza de rotura (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
1	180520127220180104-ETP 01-1	22,2	46,3	16,42	4,26	1345,87	19,24	1207,02	17,26	869,74	1,98
2	180520127220180104-ETP 01-2	22,2	46,3	17,89	4,22	1438,96	19,06	1317,47	17,45	908,71	1,92
3	180520127220180104-ETP 01-3	22,2	46,3	17,90	4,21	1476,83	19,60	1238,58	16,44	655,12	2,51
				Promedio $\bar{x}$		1420,55	19,30	1254,36	17,05	811,19	2,14
				Desviación estándar $S_{n-1}$		67,39	0,27	56,89	0,54	136,56	0,32
				Coeficiente de variación CV		4,74	1,42	4,54	3,16	16,83	15,11

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Fuerza de rotura (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
4	180520127220180104-ETP 02-1	22,5	43,7	18,06	4,87	1833,41	20,85	1509,96	17,17	830,82	2,07
5	180520127220180104-ETP 02-2	22,5	43,7	18,89	4,93	1950,17	20,94	1574,65	16,91	606,65	2,79
6	180520127220180104-ETP 02-3	22,5	43,7	18,65	4,91	1921,77	20,99	1514,69	16,54	338,76	4,88
				Promedio $\bar{x}$		1901,78	20,92	1533,10	16,87	592,08	3,25
				Desviación estándar $S_{n-1}$		60,89	0,07	36,06	0,31	246,35	1,46
				Coeficiente de variación CV		3,20	0,34	2,35	1,87	41,61	45,08

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Fuerza de rotura (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
7	180520127220180104-ETP 03-1	22,3	44,5	16,92	3,76	1131,29	17,78	1000,33	15,72	513,71	3,06
8	180520127220180104-ETP 03-2	22,3	44,5	17,70	4,48	1839,72	23,20	1467,36	18,50	756,66	2,45
9	180520127220180104-ETP 03-3	22,3	44,5	19,38	3,60	1576,83	22,60	1338,58	19,19	545,68	3,52
				Promedio $\bar{x}$		1515,95	21,19	1268,76	17,80	605,35	3,01
				Desviación estándar $S_{n-1}$		358,12	2,97	241,22	1,83	132,01	0,54
				Coeficiente de variación CV		23,62	14,01	19,01	10,30	21,81	17,86

Código: RG-RM-013

Fecha de Elaboración: 11-05-2016

Fecha de última aprobación: 10-01-2017

Revisión: 1

INFORME DE ENSAYO DE  
TRACCIÓN MATERIALES  
POLIMÉRICOS

Página 2 de 4



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carroccero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Pro bet a	Identificación de probeta	Tempe ratura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Fuerza de rotura (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
10	180520127220180104-ETP 04-1	22,9	43,3	18,19	4,94	1719,81	19,14	1437,38	16,00	310,48	5,15
11	180520127220180104-ETP 04-2	22,9	43,3	18,89	4,78	1560,45	17,28	1472,09	16,30	485,85	3,36
12	180520127220180104-ETP 04-3	22,9	43,3	17,97	4,92	1669,32	18,88	1415,29	16,01	455,70	3,51
				Promedio $\bar{x}$		1649,86	18,43	1441,59	16,10	417,34	4,01
				Desviación estándar $S_{n-1}$		81,44	1,01	28,63	0,17	93,77	0,99
				Coeficiente de variación CV		4,94	5,46	1,99	1,08	22,47	24,83

Pro bet a	Identificación de probeta	Tempe ratura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Fuerza de rotura (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
13	180520127220180104-ETP 05-1	22,2	44,2	17,78	4,18	1484,72	19,98	1334,82	17,96	435,63	4,12
14	180520127220180104-ETP 05-2	22,2	44,2	18,45	3,71	1203,87	17,59	1183,35	17,29	432,46	4,00
15	180520127220180104-ETP 05-3	22,2	44,2	18,28	3,98	1558,87	21,43	1478,40	20,32	915,00	2,22
				Promedio $\bar{x}$		1415,82	19,66	1332,19	18,52	594,37	3,45
				Desviación estándar $S_{n-1}$		187,26	1,94	147,54	1,59	277,69	1,06
				Coeficiente de variación CV		13,23	9,86	11,08	8,60	46,72	30,86

Pro bet a	Identificación de probeta	Tempe ratura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Fuerza de rotura (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
16	180520127220180104-ETP 06-1	23,0	44,5	17,78	2,78	1046,08	21,16	881,99	17,84	508,78	3,51
17	180520127220180104-ETP 06-2	23,0	44,5	15,97	2,92	1008,22	21,62	850,44	18,24	695,86	2,62
18	180520127220180104-ETP 06-3	23,0	44,5	17,48	3,10	1049,24	19,36	1024,00	18,90	758,68	2,49
				Promedio $\bar{x}$		1034,51	20,72	918,81	18,33	654,44	2,87
				Desviación estándar $S_{n-1}$		22,83	1,19	92,45	0,53	130,00	0,55
				Coeficiente de variación CV		2,21	5,76	10,06	2,90	19,86	19,25



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Pro bet a	Identificación de probeta	Tempe ratura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Fuerza de rotura (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
19	180520127220180104-ETP-07-1	23,7	47,2	17,60	3,81	1415,29	21,11	1345,87	20,07	921,02	2,18
20	180520127220180104-ETP-07-2	23,7	47,2	17,13	3,91	1552,56	23,18	1323,78	19,76	901,33	2,19
21	180520127220180104-ETP-07-3	23,7	47,2	17,82	3,85	1647,23	24,01	1326,93	19,34	792,28	2,44
	Promedio $\bar{x}$					1538,36	22,77	1332,19	19,73	871,54	2,27
	Desviación estándar $S_{p-1}$					116,62	1,50	11,95	0,37	69,35	0,15
	Coefficiente de variación CV					7,58	6,57	0,90	1,86	7,96	6,49

Pro bet a	Identificación de probeta	Tempe ratura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Fuerza de rotura (N)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
22	180520127220180104-ETP-08-1	23,4	48,8	16,29	4,32	1538,36	21,86	1358,49	19,30	931,13	2,07
23	180520127220180104-ETP-08-2	23,4	48,8	16,67	4,26	1407,4	19,82	1300,11	18,31	840,88	2,18
24	180520127220180104-ETP-08-3	23,4	48,8	17,66	4,13	1308	17,93	1134,44	15,55	414,15	3,76
	Promedio $\bar{x}$					1417,92	19,87	1264,35	17,72	728,72	2,67
	Desviación estándar $S_{p-1}$					115,54	1,96	116,23	1,94	276,14	0,94
	Coefficiente de variación CV					8,15	9,88	9,19	10,96	37,89	35,33



## RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°:</b> 180520127220180104-EFP	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> José Fernando Ortiz Naranjo.	
<b>DIRECCIÓN:</b> Parroquia San Fernando.	
<b>NÚM. DE CEDULA / RUC:</b> 1805201272	<b>TELÉFONO:</b> 0989704329
<b>E-MAIL:</b> ojose005@gmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Polipropileno de alto impacto
<b>Método de ensayo:</b> ASTM D790-2017. Métodos de prueba estándar para propiedades de flexión de plásticos no reforzados y reforzados y materiales aislantes eléctricos.

### Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica		Probetas a Ensayar
		Temperatura (°C)	Presión de vacío (psi)	
1	180520127220180104-EFP 01	200	50	3
2	180520127220180104-EFP 02	200	30	3
3	180520127220180104-EFP 03	270	50	3
4	180520127220180104-EFP 04	270	30	3
5	180520127220180104-EFP 05	200	50	3
6	180520127220180104-EFP 06	270	50	3
7	180520127220180104-EFP 07	270	30	3
8	180520127220180104-EFP 08	200	30	3
<b>TOTAL</b>				<b>24</b>

**Nota:** Las probetas son fabricadas de polipropileno de alto impacto, declarado por el cliente.





ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180520127220180104-EFP 01-1	Cumple criterios dimensionales.	08/01/2018	15/01/2018
2	180520127220180104-EFP 01-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
3	180520127220180104-EFP 01-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
4	180520127220180104-EFP 02-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
5	180520127220180104-EFP 02-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
6	180520127220180104-EFP 02-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
7	180520127220180104-EFP 03-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
8	180520127220180104-EFP 03-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
9	180520127220180104-EFP 03-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
10	180520127220180104-EFP 04-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
11	180520127220180104-EFP 04-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
12	180520127220180104-EFP 04-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
13	180520127220180104-EFP 05-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
14	180520127220180104-EFP 05-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
15	180520127220180104-EFP 05-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
16	180520127220180104-EFP 06-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
17	180520127220180104-EFP 06-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
18	180520127220180104-EFP 06-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
19	180520127220180104-EFP 07-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
20	180520127220180104-EFP 07-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
21	180520127220180104-EFP 07-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
22	180520127220180104-EFP 08-1	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
23	180520127220180104-EFP 08-2	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018
24	180520127220180104-EFP 08-3	Cumple criterios dimensionales	08/01/2018	15/01/2018

**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. El cliente acepta que se ensaye con estas observaciones.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
	
Cliente	

**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.



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS**  
**INFORME DE RESULTADOS N°: 180520127220180104**

**DATOS GENERALES**

**Datos informativos: N° de proforma:** RM\_2018\_002  
**Empresa / Cliente:** José Fernando Ortiz Naranjo.  
**RUC/C.I.:** 1805201272      **Ciudad:** Ambato.  
**Dirección:** Nueva York 2862 y Av. Antonio José de Sucre.  
**Teléfono:** 0989704329      **Correo:** ojose005@gmail.com  
**Datos del ensayo:**  
**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Resistencia de Materiales.  
**Dirección:** Ambato/Catiglata, Toronto y Rio de Janeiro.  
**Método de ensayo:** ASTM D790-2017. Métodos de prueba estándar para propiedades de flexión de plásticos no reforzados y reforzados y materiales aislantes eléctricos.  
**Tipo de ensayo:** Cuantitativo.  
**Equipo utilizado:** Máquina de ensayos universal. Metro test 50 kN  
**Velocidad de ensayo:** 10 mm/min    **Precarga:** 0 N    **Distancia entre apoyos:** 64 mm  
**Fecha de Inicio de Ensayo:** 15/01/2017,    **Fecha de Finalización de Ensayo:** 15/01/2017.  
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales poliméricos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica		Probetas a Ensayar
		Temperatura (°C)	Presión de vacío (psi)	
1	180520127220180104-EFP 01	200	50	3
2	180520127220180104-EFP 02	200	30	3
3	180520127220180104-EFP 03	270	50	3
4	180520127220180104-EFP 04	270	30	3
5	180520127220180104-EFP 05	200	50	3
6	180520127220180104-EFP 06	270	50	3
7	180520127220180104-EFP 07	270	30	3
8	180520127220180104-EFP 08	200	30	3
<b>TOTAL</b>				<b>24</b>

**Nota:** Las probetas son fabricadas de polipropileno de alto impacto, declarado por el cliente.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Fecha de entrega de Informe:** Ambato, 17 de enero de 2018.  
**N° Factura:** 001-002-000004064



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**Resultados:**

Pro bet #	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)
				Ancho	Espesor					
1	180520127220180104-EFP 01-1	19,6	62,4	13,38	4,24	96,25	9,436	41,41	686,66	5,68
2	180520127220180104-EFP 01-2	19,6	62,4	13,46	4,19	74,16	6,544	32,48	785,81	3,89
3	180520127220180104-EFP 01-3	19,6	62,4	13,51	4,13	88,36	7,776	39,69	819,74	4,56
				Promedio $\bar{x}$		86,26	7,92	37,86	764,07	4,71
				Desviación estándar $S_{n-1}$		11,19	1,45	4,74	69,15	0,90
				Coeficiente de variación CV		12,98	18,33	12,51	9,05	19,17

Pro bet #	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)
				Ancho	Espesor					
4	180520127220180104-EFP 02-1	20,2	61,5	14,20	4,85	134,11	9,196	41,56	618,06	6,33
5	180520127220180104-EFP 02-2	20,2	61,5	14,13	4,97	14,42	11,145	41,64	498,68	7,87
6	180520127220180104-EFP 02-3	20,2	61,5	13,03	5,02	104,13	11,074	32,82	391,65	7,89
				Promedio $\bar{x}$		126,22	10,47	38,67	502,79	7,36
				Desviación estándar $S_{n-1}$		19,39	1,11	5,07	113,26	0,89
				Coeficiente de variación CV		15,36	10,56	13,10	22,53	12,13



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)
				Ancho	Espesor					
7	180520127220180104-EFP 03-1	20,8	61,8	13,26	4,55	113,60	8,190	42,83	762,42	5,29
8	180520127220180104-EFP 03-2	20,8	61,8	14,38	3,67	56,80	9,008	30,35	609,04	4,69
9	180520127220180104-EFP 03-3	20,8	61,8	13,84	3,54	55,22	6,020	32,95	1025,73	3,03
				Promedio $\bar{x}$		75,21	7,74	35,38	799,06	4,34
				Desviación estándar $S_{n-1}$		33,26	1,54	6,58	210,75	1,17
				Coeficiente de variación CV		44,22	19,95	18,61	26,37	27,07

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)
				Ancho	Espesor					
10	180520127220180104-EFP 04-1	22,5	60,5	13,85	4,85	108,87	13,998	34,59	337,95	9,64
11	180520127220180104-EFP 04-2	22,5	60,5	14,08	4,87	89,93	9,099	27,87	417,25	6,29
12	180520127220180104-EFP 04-3	22,5	60,5	14,05	4,79	108,87	9,380	34,95	516,06	6,38
				Promedio $\bar{x}$		102,56	10,83	32,47	423,75	7,44
				Desviación estándar $S_{n-1}$		10,94	2,75	3,99	89,24	1,91
				Coeficiente de variación CV		10,66	25,41	12,28	21,06	25,66



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Pro bet a	Identificación de probeta	Tempe ratura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)
				Ancho	Espesor					
13	180520127220180104-EFP 05-1	23,4	50,5	13,86	3,62	58,38	13,998	33,27	435,50	7,20
14	180520127220180104-EFP 05-2	23,4	50,5	14,03	4,03	74,16	9,099	33,69	609,37	5,21
15	180520127220180104-EFP 05-3	23,4	50,5	13,83	4,18	102,56	9,380	43,93	743,20	5,57
				Promedio $\bar{x}$		78,37	10,83	36,96	596,02	5,99
				Desviación estándar $S_{n-1}$		22,39	2,75	6,04	154,28	1,06
				Coeficiente de variación CV		28,57	25,41	16,34	25,89	17,69

Pro bet a	Identificación de probeta	Tempe ratura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)
				Ancho	Espesor					
16	180520127220180104-EFP 06-1	21,6	56,4	13,62	2,86	36,29	10,906	33,71	717,01	4,43
17	180520127220180104-EFP 06-2	21,6	56,4	13,41	3,02	44,18	9,822	37,39	836,10	4,21
18	180520127220180104-EFP 06-3	21,6	56,4	13,86	3,13	48,91	8,758	37,28	902,15	3,89
				Promedio $\bar{x}$		43,13	9,83	36,13	818,42	4,18
				Desviación estándar $S_{n-1}$		6,38	1,07	2,09	93,82	0,27
				Coeficiente de variación CV		14,78	10,93	5,79	11,46	6,46

Código: RG-RM-012

Fecha de Elaboración: 25-07-2017

Fecha de última aprobación: 24-08 -2017

Revisión: 1

INFORME DE ENSAYO DE  
FLEXIÓN MATERIALES  
POLIMÉRICOS

Página 4 de 5



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Pro bet a	Identificación de probeta	Tempe ratura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)
				Ancho	Espesor					
19	180520127220180104-EFP 07-1	21,5	56,5	13,72	3,82	82,04	5,746	42,41	1281,73	3,12
20	180520127220180104-EFP 07-2	21,5	56,5	14,45	3,90	89,93	7,937	42,35	907,54	4,40
21	180520127220180104-EFP 07-3	21,5	56,5	12,67	3,88	75,73	7,566	41,09	928,56	4,17
				Promedio $\bar{x}$		82,57	7,08	41,95	1039,28	3,89
				Desviación estándar $S_{p-1}$		7,11	1,17	0,74	210,23	0,68
				Coeficiente de variación CV		8,62	16,56	1,77	20,23	17,52

Pro bet a	Identificación de probeta	Tempe ratura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)
				Ancho	Espesor					
22	180520127220180104-EFP 08-1	21,5	57,2	14,02	4,30	97,82	7,152	39,06	842,42	4,37
23	180520127220180104-EFP 08-2	21,5	57,2	13,24	4,36	96,25	8,115	39,58	742,07	5,02
24	180520127220180104-EFP 08-3	21,5	57,2	13,30	4,16	74,16	6,266	33,35	848,65	3,70
				Promedio $\bar{x}$		89,41	7,18	37,33	811,04	4,36
				Desviación estándar $S_{p-1}$		13,23	0,92	3,46	59,82	0,66
				Coeficiente de variación CV		14,80	12,88	9,26	7,38	15,15

Código: RG-RM-012

Fecha de Elaboración: 25-07-2017

Fecha de última aprobación: 24-08 -2017

Revisión: 1

INFORME DE ENSAYO DE  
FLEXIÓN MATERIALES  
POLIMERICOS

Página 5 de 5



Designation: D 638 – 02a

## Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 638; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope \*

1.1 This test method covers the determination of the tensile properties of unreinforced and reinforced plastics in the form of standard dumbbell-shaped test specimens when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed.

1.2 This test method can be used for testing materials of any thickness up to 14 mm (0.55 in.). However, for testing specimens in the form of thin sheeting, including film less than 1.0 mm (0.04 in.) in thickness, Test Methods D 882 is the preferred test method. Materials with a thickness greater than 14 mm (0.55 in.) must be reduced by machining.

1.3 This test method includes the option of determining Poisson's ratio at room temperature.

NOTE 1—This test method and ISO 527-1 are technically equivalent.

NOTE 2—This test method is not intended to cover precise physical procedures. It is recognized that the constant rate of crosshead movement type of test leaves much to be desired from a theoretical standpoint, that wide differences may exist between rate of crosshead movement and rate of strain between gage marks on the specimen, and that the testing speeds specified disguise important effects characteristic of materials in the plastic state. Further, it is realized that variations in the thicknesses of test specimens, which are permitted by these procedures, produce variations in the surface-volume ratios of such specimens, and that these variations may influence the test results. Hence, where directly comparable results are desired, all samples should be of equal thickness. Special additional tests should be used where more precise physical data are needed.

NOTE 3—This test method may be used for testing phenolic molded resin or laminated materials. However, where these materials are used as electrical insulation, such materials should be tested in accordance with Test Methods D 229 and Test Method D 651.

NOTE 4—For tensile properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous or discontinuous high modulus  $>20$ -GPa ( $>3.0 \times 10^6$ -psi) fibers, tests shall be made in accordance with Test Method D 3039/D 3039M.

1.4 Test data obtained by this test method are relevant and appropriate for use in engineering design.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved November 10, 2002. Published January 2003. Originally approved in 1941. Last previous edition approved in 2002 as D 638 – 02.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

- D 229 Test Methods for Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation<sup>2</sup>
- D 412 Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension<sup>3</sup>
- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing<sup>4</sup>
- D 651 Test Method for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials<sup>5</sup>
- D 882 Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheetings<sup>4</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>4</sup>
- D 1822 Test Method for Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials<sup>4</sup>
- D 3039/D 3039M Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>6</sup>
- D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials<sup>7</sup>
- D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials<sup>7</sup>
- D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastic Specimens<sup>8</sup>
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>9</sup>
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometer<sup>9</sup>
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature<sup>9</sup>
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

<sup>5</sup> Discontinued; see 1994 Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

<sup>7</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

<sup>8</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.03.

<sup>9</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.



- 10 Determine the Precision of a Test Method<sup>10</sup>  
 2.2 ISO Standard:  
 ISO 527-1 Determination of Tensile Properties<sup>11</sup>

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D 883 and Annex A2.

### 4. Significance and Use

4.1 This test method is designed to produce tensile property data for the control and specification of plastic materials. These data are also useful for qualitative characterization and for research and development. For many materials, there may be a specification that requires the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D 4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

4.2 Tensile properties may vary with specimen preparation and with speed and environment of testing. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled.

4.2.1 It is realized that a material cannot be tested without also testing the method of preparation of that material. Hence, when comparative tests of materials per se are desired, the greatest care must be exercised to ensure that all samples are prepared in exactly the same way, unless the test is to include the effects of sample preparation. Similarly, for referee purposes or comparisons within any given series of specimens, care must be taken to secure the maximum degree of uniformity in details of preparation, treatment, and handling.

4.3 Tensile properties may provide useful data for plastics engineering design purposes. However, because of the high degree of sensitivity exhibited by many plastics to rate of straining and environmental conditions, data obtained by this test method cannot be considered valid for applications involving load-time scales or environments widely different from those of this test method. In cases of such dissimilarity, no reliable estimation of the limit of usefulness can be made for most plastics. This sensitivity to rate of straining and environment necessitates testing over a broad load-time scale (including impact and creep) and range of environmental conditions if tensile properties are to suffice for engineering design purposes.

NOTE 5—Since the existence of a true elastic limit in plastics (as in many other organic materials and in many metals) is debatable, the propriety of applying the term "elastic modulus" in its quoted, generally accepted definition to describe the "stiffness" or "rigidity" of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are highly dependent on such factors as rate of application of stress, temperature, previous history of specimen, etc. However, stress-strain curves for plastics, determined as described in this test method, almost always show a linear region at low stresses, and a straight line drawn tangent to this portion of the curve permits calculation of an elastic

modulus of the usually defined type. Such a constant is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and similar factors are realized.

4.4 *Poisson's Ratio*—When uniaxial tensile force is applied to a solid, the solid stretches in the direction of the applied force (axially), but it also contracts in both dimensions lateral to the applied force. If the solid is homogeneous and isotropic, and the material remains elastic under the action of the applied force, the lateral strain bears a constant relationship to the axial strain. This constant, called Poisson's ratio, is defined as the negative ratio of the transverse (negative) to axial strain under uniaxial stress.

4.4.1 Poisson's ratio is used for the design of structures in which all dimensional changes resulting from the application of force need to be taken into account and in the application of the generalized theory of elasticity to structural analysis.

NOTE 6—The accuracy of the determination of Poisson's ratio is usually limited by the accuracy of the transverse strain measurements because the percentage errors in these measurements are usually greater than in the axial strain measurements. Since a ratio rather than an absolute quantity is measured, it is only necessary to know accurately the relative value of the calibration factors of the extensometers. Also, in general, the value of the applied loads need not be known accurately.

### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant-rate-of-crosshead-movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

5.1.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine can be either the fixed or self-aligning type.

5.1.3.1 *Fixed grips* are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. When this type of grip is used extreme care should be taken to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

5.1.3.2 *Self-aligning grips* are attached to the fixed and movable members of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. The specimens should be aligned as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

5.1.3.3 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grip surfaces that are deeply scored or serrated with a pattern similar to those of a coarse single-cut file, serrations about 2.4 mm (0.09 in.) apart and about 1.6 mm (0.06 in.) deep, have been found satisfactory for most thermoplastics. Finer serrations have been found to be more satisfactory for harder plastics, such as the thermosetting materials. The serrations

<sup>10</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>11</sup> Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

should be kept clean and sharp. Breaking in the grips may occur at times, even when deep serrations or abraded specimen surfaces are used; other techniques must be used in these cases. Other techniques that have been found useful, particularly with smooth-faced grips, are abrading that portion of the surface of the specimen that will be in the grips, and interposing thin pieces of abrasive cloth, abrasive paper, or plastic, or rubber-coated fabric, commonly called hospital sheeting, between the specimen and the grip surface. No. 80 double-sided abrasive paper has been found effective in many cases. An open-mesh fabric, in which the threads are coated with abrasive, has also been effective. Reducing the cross-sectional area of the specimen may also be effective. The use of special types of grips is sometimes necessary to eliminate slippage and breakage in the grips.

**5.1.4 Drive Mechanism**—A drive mechanism for imparting to the movable member a uniform, controlled velocity with respect to the stationary member, with this velocity to be regulated as specified in Section 8.

**5.1.5 Load Indicator**—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total tensile load carried by the test specimen when held by the grips. This mechanism shall be essentially free of inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of  $\pm 1\%$  of the indicated value, or better. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

**Note 7**—Experience has shown that many testing machines now in use are incapable of maintaining accuracy for as long as the periods between inspection recommended in Practices E 4. Hence, it is recommended that each machine be studied individually and verified as often as may be found necessary. It frequently will be necessary to perform this function daily.

**5.1.6** The fixed member, movable member, drive mechanism, and grips shall be constructed of such materials and in such proportions that the total elastic longitudinal strain of the system constituted by these parts does not exceed 1% of the total longitudinal strain between the two gage marks on the test specimen at any time during the test and at any load up to the rated capacity of the machine.

**5.1.7 Crosshead Extension Indicator**—A suitable extension indicating mechanism capable of showing the amount of change in the separation of the grips, that is, crosshead movement. This mechanism shall be essentially free of inertial lag at the specified rate of testing and shall indicate the crosshead movement with an accuracy of  $\pm 10\%$  of the indicated value.

**5.2 Extension Indicator (extensometer)**—A suitable instrument shall be used for determining the distance between two designated points within the gage length of the test specimen as the specimen is stretched. For referee purposes, the extensometer must be set at the full gage length of the specimen, as shown in Fig. 1. It is desirable, but not essential, that this instrument automatically record this distance, or any change in it, as a function of the load on the test specimen or of the elapsed time from the start of the test, or both. If only the latter is obtained, load-time data must also be taken. This instrument shall be essentially free of inertia at the specified speed of

testing. Extensometers shall be classified and their calibration periodically verified in accordance with Practice E 83.

**5.2.1 Modulus-of-Elasticity Measurements**—For modulus-of-elasticity measurements, an extensometer with a maximum strain error of 0.0002 mm/mm (in./in.) that automatically and continuously records shall be used. An extensometer classified by Practice E 83 as fulfilling the requirements of a B-2 classification within the range of use for modulus measurements meets this requirement.

**5.2.2 Low-Extension Measurements**—For elongation-at-yield and low-extension measurements (nominally 20% or less), the same above extensometer, attenuated to 20% extension, may be used. In any case, the extensometer system must meet at least Class C (Practice E 83) requirements, which include a fixed strain error of 0.001 strain or  $\pm 1.0\%$  of the indicated strain, whichever is greater.

**5.2.3 High-Extension Measurements**—For making measurements at elongations greater than 20%, measuring techniques with error no greater than  $\pm 10\%$  of the measured value are acceptable.

**5.2.4 Poisson's Ratio**—Bi-axial extensometer or axial and transverse extensometers capable of recording axial strain and transverse strain simultaneously. The extensometers shall be capable of measuring the change in strains with an accuracy of 1% of the relevant value or better.

**Note 8**—Strain gages can be used as an alternative method to measure axial and transverse strain; however, proper techniques for mounting strain gages are crucial to obtaining accurate data. Consult strain gage suppliers for instruction and training in these special techniques.

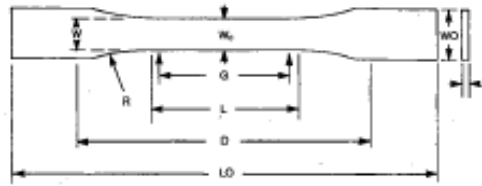
**5.3 Micrometers**—Suitable micrometers for measuring the width and thickness of the test specimen to an incremental discrimination of at least 0.025 mm (0.001 in.) should be used. All width and thickness measurements of rigid and semirigid plastics may be measured with a hand micrometer with ratchet. A suitable instrument for measuring the thickness of nonrigid test specimens shall have: (1) a contact measuring pressure of  $25 \pm 2.5$  kPa ( $3.6 \pm 0.36$  psi), (2) a movable circular contact foot  $6.35 \pm 0.025$  mm ( $0.250 \pm 0.001$  in.) in diameter, and (3) a lower fixed anvil large enough to extend beyond the contact foot in all directions and being parallel to the contact foot within 0.005 mm (0.0002 in.) over the entire foot area. Flatness of the foot and anvil shall conform to Test Method D 5947.

**5.3.1** An optional instrument equipped with a circular contact foot  $15.88 \pm 0.08$  mm ( $0.625 \pm 0.003$  in.) in diameter is recommended for thickness measuring of process samples or larger specimens at least 15.88 mm in minimum width.

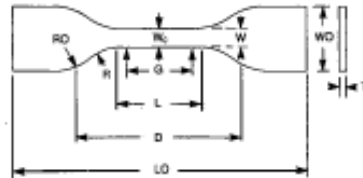
## 6. Test Specimens

### 6.1 Sheet, Plate, and Molded Plastics:

**6.1.1 Rigid and Semirigid Plastics**—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type I specimen is the preferred specimen and shall be used where sufficient material having a thickness of 7 mm (0.28 in.) or less is available. The Type II specimen may be used when a material does not break in the narrow section with the preferred Type I specimen. The Type V specimen shall be used where only limited material having a thickness of 4 mm (0.16 in.) or less is available for evaluation, or where a large number of



TYPE I, II, III & V



TYPE IV

Specimen Dimensions for Thickness, T, mm (in.)<sup>A</sup>

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV <sup>B</sup>	Type V <sup>C,D</sup>	
W—Width of narrow section <sup>E,F</sup>	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) <sup>B,C</sup>
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) <sup>C</sup>
WO—Width overall, min <sup>G</sup>	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min <sup>G</sup>	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min <sup>H</sup>	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length <sup>I</sup>	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) <sup>D</sup>
G—Gage length <sup>I</sup>	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) <sup>J</sup>	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) <sup>C</sup>
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

<sup>A</sup> Thickness, T, shall be 3.2 ± 0.4 mm (0.13 ± 0.02 in.) for all types of molded specimens, and for other Types I and II specimens where possible. If specimens are machined from sheets or plates, thickness, T, may be the thickness of the sheet or plate provided this does not exceed the range stated for the intended specimen type. For sheets of nominal thickness greater than 14 mm (0.55 in.) the specimens shall be machined to 14 ± 0.4 mm (0.55 ± 0.02 in.) in thickness, for use with the Type III specimen. For sheets of nominal thickness between 14 and 51 mm (0.55 and 2 in.) approximately equal amounts shall be machined from each surface. For thicker sheets both surfaces of the specimen shall be machined, and the location of the specimen with reference to the original thickness of the sheet shall be noted. Tolerances on thickness less than 14 mm (0.55 in.) shall be those standard for the grade of material tested.

<sup>B</sup> For the Type IV specimen, the internal width of the narrow section of the die shall be 6.00 ± 0.05 mm (0.250 ± 0.002 in.). The dimensions are essentially those of Die C in Test Methods D 412.

<sup>C</sup> The Type V specimen shall be machined or die cut to the dimensions shown, or molded in a mold whose cavity has these dimensions. The dimensions shall be:

- W = 3.18 ± 0.03 mm (0.125 ± 0.001 in.),
- L = 9.53 ± 0.08 mm (0.375 ± 0.003 in.),
- G = 7.62 ± 0.02 mm (0.300 ± 0.001 in.), and
- R = 12.7 ± 0.08 mm (0.500 ± 0.003 in.).

The other tolerances are those in the table.

<sup>D</sup> Supporting data on the introduction of the L specimen of Test Method D 1822 as the Type V specimen are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1038.

<sup>E</sup> The width at the center W<sub>c</sub> shall be +0.00 mm, -0.10 mm (+0.000 in., -0.004 in.) compared with width W at other parts of the reduced section. Any reduction in W at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

<sup>F</sup> For molded specimens, a draft of not over 0.13 mm (0.005 in.) may be allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm (0.13 in.) in thickness, and this should be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:

<sup>G</sup> Overall widths greater than the minimum indicated may be desirable for some materials in order to avoid breaking in the grips.

<sup>H</sup> Overall lengths greater than the minimum indicated may be desirable either to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

<sup>I</sup> Test marks or initial extensometer span.

<sup>J</sup> When self-tightening grips are used, for highly extensible polymers, the distance between grips will depend upon the types of grips used and may not be critical if maintained uniform once chosen.

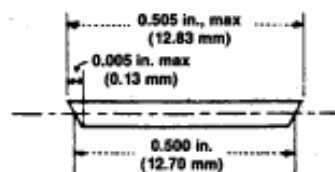


FIG. 1 Tension Test Specimens for Sheet, Plate, and Molded Plastics

specimens are to be exposed in a limited space (thermal and environmental stability tests, etc.). The Type IV specimen

should be used when direct comparisons are required between materials in different rigidity cases (that is, nonrigid and

semirigid). The Type III specimen must be used for all materials with a thickness of greater than 7 mm (0.28 in.) but not more than 14 mm (0.55 in.).

6.1.2 *Nonrigid Plastics*—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type IV specimen shall be used for testing nonrigid plastics with a thickness of 4 mm (0.16 in.) or less. The Type III specimen must be used for all materials with a thickness greater than 7 mm (0.28 in.) but not more than 14 mm (0.55 in.).

6.1.3 *Reinforced Composites*—The test specimen for reinforced composites, including highly orthotropic laminates, shall conform to the dimensions of the Type I specimen shown in Fig. 1.

6.1.4 *Preparation*—Test specimens shall be prepared by machining operations, or die cutting, from materials in sheet, plate, slab, or similar form. Materials thicker than 14 mm (0.55 in.) must be machined to 14 mm (0.55 in.) for use as Type III specimens. Specimens can also be prepared by molding the material to be tested.

Note 9—Test results have shown that for some materials such as glass cloth, SMC, and BMC laminates, other specimen types should be considered to ensure breakage within the gage length of the specimen, as mandated by 7.3.

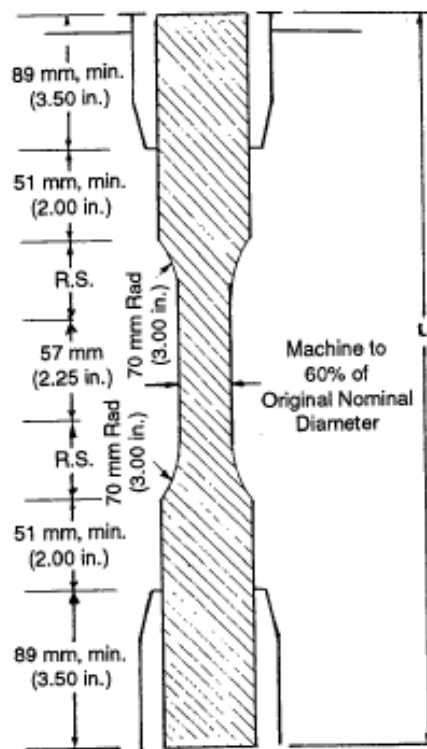
Note 10—When preparing specimens from certain composite laminates such as woven roving, or glass cloth, care must be exercised in cutting the specimens parallel to the reinforcement. The reinforcement will be significantly weakened by cutting on a bias, resulting in lower laminate properties, unless testing of specimens in a direction other than parallel with the reinforcement constitutes a variable being studied.

Note 11—Specimens prepared by injection molding may have different tensile properties than specimens prepared by machining or die-cutting because of the orientation induced. This effect may be more pronounced in specimens with narrow sections.

6.2 *Rigid Tubes*—The test specimen for rigid tubes shall be as shown in Fig. 2. The length, *L*, shall be as shown in the table in Fig. 2. A groove shall be machined around the outside of the specimen at the center of its length so that the wall section after machining shall be 60 % of the original nominal wall thickness. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2.25 in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter. Steel or brass plugs having diameters such that they will fit snugly inside the tube and having a length equal to the full jaw length plus 25 mm (1 in.) shall be placed in the ends of the specimens to prevent crushing. They can be located conveniently in the tube by separating and supporting them on a threaded metal rod. Details of plugs and test assembly are shown in Fig. 2.

6.3 *Rigid Rods*—The test specimen for rigid rods shall be as shown in Fig. 3. The length, *L*, shall be as shown in the table in Fig. 3. A groove shall be machined around the specimen at the center of its length so that the diameter of the machined portion shall be 60 % of the original nominal diameter. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2.25 in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter.

6.4 All surfaces of the specimen shall be free of visible flaws, scratches, or imperfections. Marks left by coarse machining operations shall be carefully removed with a fine file or abrasive, and the filed surfaces shall then be smoothed with abrasive paper (No. 00 or finer). The finishing sanding strokes



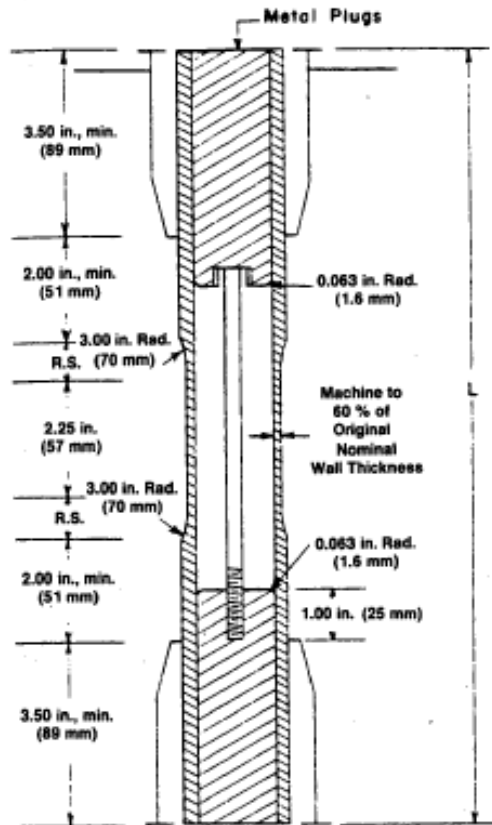
DIMENSIONS OF ROD SPECIMENS

Nominal Diameter	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, <i>L</i> , of Specimen to Be Used for 89-mm (3½-in.) Jaws <sup>A</sup>
mm (in.)			
3.2 (1/8)	19.6 (0.773)	356 (14.02)	381 (15)
4.7 (3/16)	24.0 (0.946)	361 (14.20)	381 (15)
6.4 (1/4)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
9.5 (3/8)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
12.7 (1/2)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
15.9 (5/8)	43.5 (1.714)	380 (14.98)	400 (15.75)
19.0 (3/4)	47.6 (1.873)	384 (15.12)	400 (15.75)
22.2 (7/8)	51.5 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
25.4 (1)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)
31.8 (1 1/4)	60.9 (2.398)	398 (15.66)	419 (16.5)
38.1 (1 1/2)	66.4 (2.615)	403 (15.87)	419 (16.5)
42.5 (1 3/4)	71.4 (2.812)	408 (16.06)	419 (16.5)
50.8 (2)	76.0 (2.993)	412 (16.24)	432 (17)

<sup>A</sup> For other jaws greater than 89 mm (3.5 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (0.25 to 0.50 in.) in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 3 Diagram Showing Location of Rod Tension Test Specimen in Testing Machine

shall be made in a direction parallel to the long axis of the test specimen. All flash shall be removed from a molded specimen, taking great care not to disturb the molded surfaces. In machining a specimen, undercuts that would exceed the dimensional tolerances shown in Fig. 1 shall be scrupulously avoided. Care shall also be taken to avoid other common machining errors.



DIMENSIONS OF TUBE SPECIMENS

Nominal Wall Thickness	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, L, of Specimen to Be Used for 89-mm (3.5-in.) Jaws <sup>a</sup>
			mm (in.)
0.79 (1/32)	13.9 (0.547)	350 (13.80)	381 (15)
1.2 (1/8)	17.0 (0.670)	354 (13.92)	381 (15)
1.6 (1/16)	19.6 (0.773)	356 (14.02)	381 (15)
2.4 (3/32)	24.0 (0.946)	361 (14.20)	381 (15)
3.2 (1/4)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
4.8 (3/16)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
6.4 (1/2)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
7.9 (5/16)	43.5 (1.714)	380 (14.96)	400 (15.75)
9.5 (3/8)	47.6 (1.873)	384 (15.12)	400 (15.75)
11.1 (7/16)	51.3 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
12.7 (1/2)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)

<sup>a</sup> For other jaws greater than 89 mm (3.5 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (0.25 to 0.50 in.) in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 2 Diagram Showing Location of Tube Tension Test Specimens in Testing Machine

6.5 If it is necessary to place gage marks on the specimen, this shall be done with a wax crayon or India ink that will not affect the material being tested. Gage marks shall not be scratched, punched, or impressed on the specimen.

6.6 When testing materials that are suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared, having their long axes respectively parallel with, and normal to, the suspected direction of anisotropy.

7. Number of Test Specimens

7.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials.

7.2 Test ten specimens, five normal to, and five parallel with, the principle axis of anisotropy, for each sample in the case of anisotropic materials.

7.3 Discard specimens that break at some flaw, or that break outside of the narrow cross-sectional test section (Fig. 1, dimension "L"), and make retests, unless such flaws constitute a variable to be studied.

NOTE 12—Before testing, all transparent specimens should be inspected in a polariscope. Those which show atypical or concentrated strain patterns should be rejected, unless the effects of these residual strains constitute a variable to be studied.

8. Speed of Testing

8.1 Speed of testing shall be the relative rate of motion of the grips or test fixtures during the test. The rate of motion of the driven grip or fixture when the testing machine is running idle may be used, if it can be shown that the resulting speed of testing is within the limits of variation allowed.

8.2 Choose the speed of testing from Table 1. Determine this chosen speed of testing by the specification for the material being tested, or by agreement between those concerned. When the speed is not specified, use the lowest speed shown in Table 1 for the specimen geometry being used, which gives rupture within 1/2 to 5-min testing time.

8.3 Modulus determinations may be made at the speed selected for the other tensile properties when the recorder response and resolution are adequate.

TABLE 1 Designations for Speed of Testing<sup>a</sup>

Classification <sup>b</sup>	Specimen Type	Speed of Testing, mm/min (in./min)	Normal Strain <sup>c</sup> Rate at Start of Test, mm/mm-min (in./in.-min)
Rigid and Semirigid	I, II, III rods and tubes	5 (0.2) ± 25 %	0.1
		50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
		5 (0.2) ± 25 %	0.15
		50 (2) ± 10 %	1.5
Nonrigid	IV	500 (20) ± 10 %	15
		1 (0.06) ± 25 %	0.1
		10 (0.5) ± 25 %	1
		100 (5) ± 25 %	10
		50 (2) ± 10 %	1
Nonrigid	III	500 (20) ± 10 %	10
		50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15

<sup>a</sup> Select the lowest speed that produces rupture in 1/2 to 5 min for the specimen geometry being used (see 8.2).

<sup>b</sup> See Terminology D 883 for definitions.

<sup>c</sup> The initial rate of straining cannot be calculated exactly for dumbbell-shaped specimens because of extension, both in the reduced section outside the gage length and in the fillets. This initial strain rate can be measured from the initial slope of the tensile strain-versus-time diagram.

8.4 Poisson's ratio determinations shall be made at the same speed selected for modulus determinations.

### 9. Conditioning

9.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 5\%$  relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D 618, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference pre-test conditioning, to settle disagreements, shall apply tolerances of  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 2\%$  relative humidity.

9.2 *Test Conditions*—Conduct the tests at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 5\%$  relative humidity, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference testing conditions, to settle disagreements, shall apply tolerances of  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 2\%$  relative humidity.

### 10. Procedure

10.1 Measure the width and thickness of rigid flat specimens (Fig. 1) with a suitable micrometer to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) at several points along their narrow sections. Measure the thickness of nonrigid specimens (produced by a Type IV die) in the same manner with the required dial micrometer. Take the width of this specimen as the distance between the cutting edges of the die in the narrow section. Measure the diameter of rod specimens, and the inside and outside diameters of tube specimens, to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) at a minimum of two points  $90^\circ$  apart; make these measurements along the groove for specimens so constructed. Use plugs in testing tube specimens, as shown in Fig. 2.

TABLE 2 Modulus,  $10^6$  psi, for Eight Laboratories, Five Materials

	Mean	$S_r$	$S_n$	$I_r$	$I_n$
Polypropylene	0.210	0.0069	0.071	0.025	0.201
Cellulose acetate butyrate	0.246	0.0179	0.035	0.051	0.144
Acrylic	0.481	0.0179	0.063	0.051	0.144
Glass-reinforced nylon	1.17	0.0537	0.217	0.152	0.614
Glass-reinforced polyester	1.39	0.0694	0.266	0.253	0.753

10.2 Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen and the grips with an imaginary line joining the points of attachment of the gripping surfaces, when using flat specimens, shall be as indicated in Fig. 1. On tube and rod specimens, the location for the grips shall be as shown in Fig. 2 and Fig. 3. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to prevent slippage of the specimen during the test, but not to the point where the specimen would be crushed.

10.3 Attach the extension indicator. When modulus is being determined, a Class B-2 or better extensometer is required (see 5.2.1).

NOTE 13—Modulus of materials is determined from the slope of the linear portion of the stress-strain curve. For most plastics, this linear portion is very small, occurs very rapidly, and must be recorded automatically. The change in jaw separation is never to be used for calculating modulus or elongation.

### 10.3.1 Poisson's Ratio Determination:

10.3.1.1 When Poisson's ratio is determined, the speed of testing and the load range at which it is determined shall be the same as those used for modulus of elasticity.

10.3.1.2 Attach the transverse strain measuring device. The transverse strain measuring device must continuously measure the strain simultaneously with the axial strain measuring device.

TABLE 3 Tensile Stress at Yield,  $10^3$  psi, for Eight Laboratories, Three Materials

	Mean	$S_r$	$S_n$	$I_r$	$I_n$
Polypropylene	3.83	0.022	0.161	0.062	0.456
Cellulose acetate butyrate	5.01	0.058	0.227	0.164	0.642
Acrylic	10.4	0.067	0.317	0.190	0.897

TABLE 4 Elongation at Yield, %, for Eight Laboratories, Three Materials

	Mean	$S_r$	$S_n$	$I_r$	$I_n$
Cellulose acetate butyrate	3.65	0.27	0.62	0.76	1.75
Acrylic	4.89	0.21	0.55	0.59	1.56
Polypropylene	8.79	0.45	5.86	1.27	16.5

10.3.1.3 Make simultaneous measurements of load and strain and record the data. The precision of the value of Poisson's ratio will depend on the number of data points of axial and transverse strain taken.

10.4 Set the speed of testing at the proper rate as required in Section 8, and start the machine.

10.5 Record the load-extension curve of the specimen.

10.6 Record the load and extension at the yield point (if one exists) and the load and extension at the moment of rupture.

NOTE 14—If it is desired to measure both modulus and failure properties (yield or break, or both), it may be necessary, in the case of highly extensible materials, to run two independent tests. The high magnification extensometer normally used to determine properties up to the yield point may not be suitable for tests involving high extensibility. If allowed to remain attached to the specimen, the extensometer could be permanently damaged. A broad-range incremental extensometer or hand-rule technique may be needed when such materials are taken to rupture.

### 11. Calculation

11.1 Toe compensation shall be made in accordance with Annex A1, unless it can be shown that the toe region of the curve is not due to the take-up of slack, seating of the specimen, or other artifact, but rather is an authentic material response.

11.2 *Tensile Strength*—Calculate the tensile strength by dividing the maximum load in newtons (or pounds-force) by the original minimum cross-sectional area of the specimen in square metres (or square inches). Express the result in pascals (or pounds-force per square inch) and report it to three significant figures as tensile strength at yield or tensile strength at break, whichever term is applicable. When a nominal yield or break load less than the maximum is present and applicable, it may be desirable also to calculate, in a similar manner, the corresponding tensile stress at yield or tensile stress at break and report it to three significant figures (see Note A2.8).

11.3 Elongation values are valid and are reported in cases where uniformity of deformation within the specimen gage length is present. Elongation values are quantitatively relevant and appropriate for engineering design. When non-uniform deformation (such as necking) occurs within the specimen gage length nominal strain values are reported. Nominal strain values are of qualitative utility only.

shall be calculated whenever possible. However, for materials where no proportionality is evident, the secant value shall be calculated. Draw the tangent as directed in A1.3 and Fig. A1.2, and mark off the designated strain from the yield point where the tangent line goes through zero stress. The stress to be used in the calculation is then determined by dividing the load-extension curve by the original average cross-sectional area of

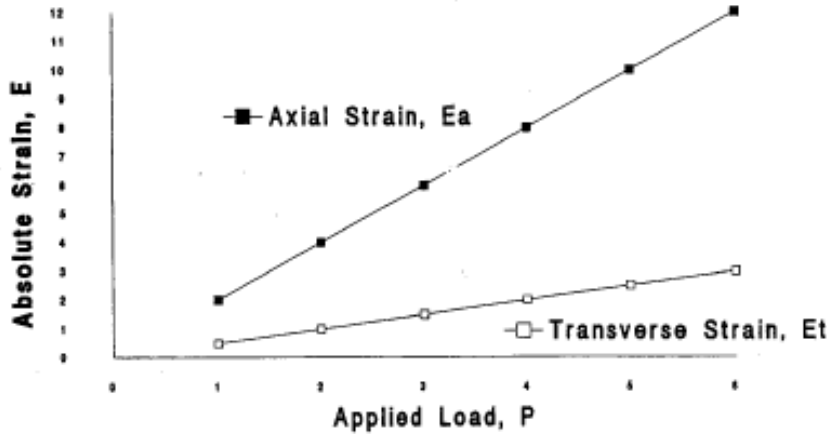


FIG. 4 Plot of Strains Versus Load for Determination of Poisson's Ratio

11.3.1 *Percent Elongation*—Percent elongation is the change in gage length relative to the original specimen gage length, expressed as a percent. Percent elongation is calculated using the apparatus described in 5.2.

11.3.1.1 *Percent Elongation at Yield*—Calculate the percent elongation at yield by reading the extension (change in gage length) at the yield point. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100.

11.3.1.2 *Percent Elongation at Break*—Calculate the percent elongation at break by reading the extension (change in gage length) at the point of specimen rupture. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100.

11.3.2 *Nominal Strain*—Nominal strain is the change in grip separation relative to the original grip separation expressed as a percent. Nominal strain is calculated using the apparatus described in 5.1.7.

11.3.2.1 *Nominal strain at break*—Calculate the nominal strain at break by reading the extension (change in grip separation) at the point of rupture. Divide that extension by the original grip separation and multiply by 100.

11.4 *Modulus of Elasticity*—Calculate the modulus of elasticity by extending the initial linear portion of the load-extension curve and dividing the difference in stress corresponding to any segment of section on this straight line by the corresponding difference in strain. All elastic modulus values shall be computed using the average initial cross-sectional area of the test specimens in the calculations. The result shall be expressed in pascals (pounds-force per square inch) and reported to three significant figures.

11.5 *Secant Modulus*—At a designated strain, this shall be calculated by dividing the corresponding stress (nominal) by the designated strain. Elastic modulus values are preferable and

the specimen.

11.6 *Poisson's Ratio*—The axial strain,  $\epsilon_a$ , indicated by the axial extensometer, and the transverse strain,  $\epsilon_t$ , indicated by the transverse extensometers, are plotted against the applied load,  $P$ , as shown in Fig. 4. A straight line is drawn through each set of points, and the slopes,  $d\epsilon_a/dP$  and  $d\epsilon_t/dP$ , of these lines are determined. Poisson's ratio,  $\mu$ , is then calculated as follows:

$$\mu = -(d\epsilon_t/dP)/(d\epsilon_a/dP) \quad (1)$$

where:

$d\epsilon_t$  = change in transverse strain,  
 $d\epsilon_a$  = change in axial strain, and  
 $dP$  = change in applied load;

or

$$\mu = -(d\epsilon_t)/(d\epsilon_a) \quad (2)$$

11.6.1 The errors that may be introduced by drawing a straight line through the points can be reduced by applying the method of least squares.

11.7 For each series of tests, calculate the arithmetic mean of all values obtained and report it as the "average value" for the particular property in question.

11.8 Calculate the standard deviation (estimated) as follows and report it to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n - 1)} \quad (3)$$

where:

$s$  = estimated standard deviation,  
 $X$  = value of single observation,

$n$  = number of observations, and  
 $\bar{X}$  = arithmetic mean of the set of observations.

11.9 See Annex A1 for information on toe compensation.

**TABLE 5 Tensile Strength at Break, 10<sup>3</sup> psi, for Eight Laboratories, Five Materials<sup>A</sup>**

	Mean	$S_r$	$S_R$	$I_r$	$I_R$
Polypropylene	2.97	1.54	1.65	4.37	4.66
Cellulose acetate butyrate	4.82	0.058	0.180	0.164	0.509
Acrylic	9.09	0.452	0.751	1.27	2.13
Glass-reinforced polyester	20.8	0.233	0.437	0.659	1.24
Glass-reinforced nylon	23.6	0.277	0.698	0.784	1.98

<sup>A</sup> Tensile strength and elongation at break values obtained for unreinforced polypropylene plastics generally are highly variable due to inconsistencies in necking or "drawing" of the center section of the test bar. Since tensile strength and elongation at yield are more reproducible and relate in most cases to the practical usefulness of a molded part, they are generally recommended for specification purposes.

**TABLE 6 Elongation at Break, %, for Eight Laboratories, Five Materials<sup>A</sup>**

	Mean	$S_r$	$S_R$	$I_r$	$I_R$
Glass-reinforced polyester	3.68	0.20	2.33	0.570	6.59
Glass-reinforced nylon	3.87	0.10	2.13	0.283	6.03
Acrylic	13.2	2.05	3.65	5.80	10.3
Cellulose acetate butyrate	14.1	1.87	6.62	5.29	18.7
Polypropylene	293.0	50.9	119.0	144.0	337.0

<sup>A</sup> Tensile strength and elongation at break values obtained for unreinforced polypropylene plastics generally are highly variable due to inconsistencies in necking or "drawing" of the center section of the test bar. Since tensile strength and elongation at yield are more reproducible and relate in most cases to the practical usefulness of a molded part, they are generally recommended for specification purposes.

**TABLE 7 Tensile Yield Strength, for Ten Laboratories, Eight Materials**

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in psi Units				
		Average	$S_r$	$S_R$	$R$	
LDPE	20	1544	52.4	64.0	146.6	179.3
LDPE	20	1894	53.1	61.2	148.7	171.3
LLDPE	20	1879	74.2	99.9	207.8	279.7
LLDPE	20	1791	49.2	75.8	137.9	212.3
LLDPE	20	2900	55.5	87.9	155.4	246.1
LLDPE	20	1730	63.9	96.0	178.9	268.7
HDPE	2	4101	196.1	371.9	549.1	1041.3
HDPE	2	3523	175.9	478.0	492.4	1338.5

## 12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, principal dimensions, previous history, etc.,

12.1.2 Method of preparing test specimens,

12.1.3 Type of test specimen and dimensions,

12.1.4 Conditioning procedure used,

12.1.5 Atmospheric conditions in test room,

12.1.6 Number of specimens tested,

12.1.7 Speed of testing,

12.1.8 Classification of extensometers used. A description of measuring technique and calculations employed instead of a minimum Class-C extensometer system,

12.1.9 Tensile strength at yield or break, average value, and standard deviation,

12.1.10 Tensile stress at yield or break, if applicable, average value, and standard deviation,

12.1.11 Percent elongation at yield, or break, or nominal strain at break, or all three, as applicable, average value, and standard deviation,

12.1.12 Modulus of elasticity, average value, and standard deviation,

12.1.13 Date of test, and

12.1.14 Revision date of Test Method D 638.

## 13. Precision and Bias<sup>12</sup>

13.1 *Precision*—Tables 2-6 are based on a round-robin test conducted in 1984, involving five materials tested by eight laboratories using the Type I specimen, all of nominal 0.125-in. thickness. Each test result was based on five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material.

**TABLE 8 Tensile Yield Elongation, for Eight Laboratories, Eight Materials**

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in Percent Units				
		Average	$S_r$	$S_R$	$R$	
LDPE	20	17.0	1.26	3.16	3.52	8.84
LDPE	20	14.6	1.02	2.38	2.96	6.67
LLDPE	20	15.7	1.37	2.85	3.85	7.97
LLDPE	20	16.6	1.59	3.30	4.46	9.24
LLDPE	20	11.7	1.27	2.88	3.56	8.06
LLDPE	20	15.2	1.27	2.59	3.55	7.25
HDPE	2	9.27	1.40	2.84	3.91	7.94
HDPE	2	9.63	1.23	2.75	3.45	7.71

**TABLE 9 Tensile Break Strength, for Nine Laboratories, Six Materials**

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in psi Units				
		Average	$S_r$	$S_R$	$R$	
LDPE	20	1592	52.3	74.9	146.4	209.7
LDPE	20	1750	66.8	102.9	186.4	289.1
LLDPE	20	4379	127.1	219.0	355.8	613.3
LLDPE	20	2840	78.6	143.5	220.2	401.8
LLDPE	20	1679	34.3	47.0	86.96	131.6
LLDPE	20	2660	119.1	166.3	333.6	465.6

13.1.1 Tables 7-10 are based on a round-robin test conducted by the polyolefin subcommittee in 1988, involving eight polyethylene materials tested in ten laboratories. For each material, all samples were molded at one source, but the individual specimens were prepared at the laboratories that tested them. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained three test results for each material. Data from some laboratories could not be used for various reasons, and this is noted in each table.

13.1.2 In Tables 2-10, for the materials indicated, and for test results that derived from testing five specimens:

<sup>12</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1125 for the 1984 round robin and RR:D20-1170 for the 1988 round robin.



**TABLE 10 Tensile Break Elongation, for Nine Laboratories, Six Materials**

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in Percent Units				
		Average	$S_w$	$S_R$	$I$	$R$
LDPE	20	567	31.5	59.5	88.2	166.6
LDPE	20	569	61.5	89.2	172.3	249.7
LLDPE	20	890	25.7	113.8	71.9	318.7
LLDPE	20	64.4	6.68	11.7	18.7	32.6
LLDPE	20	803	25.7	104.4	71.9	292.5
LLDPE	20	782	41.6	96.7	116.6	270.8

13.1.2.1  $S_w$  is the within-laboratory standard deviation of the average;  $I_w = 2.83 S_w$ . (See 13.1.2.3 for application of  $I_w$ .)

13.1.2.2  $S_R$  is the between-laboratory standard deviation of the average;  $I_R = 2.83 S_R$ . (See 13.1.2.4 for application of  $I_R$ .)

13.1.2.3 *Repeatability*—In comparing two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $I_w$  value for that material and condition.

13.1.2.4 *Reproducibility*—In comparing two test results for the same material, obtained by different operators using differ-

ent equipment on different days, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $I_R$  value for that material and condition. (This applies between different laboratories or between different equipment within the same laboratory.)

13.1.2.5 Any judgment in accordance with 13.1.2.3 and 13.1.2.4 will have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.1.2.6 Other formulations may give somewhat different results.

13.1.2.7 For further information on the methodology used in this section, see Practice E 691.

13.1.2.8 The precision of this test method is very dependent upon the uniformity of specimen preparation, standard practices for which are covered in other documents.

13.2 *Bias*—There are no recognized standards on which to base an estimate of bias for this test method.

**14. Keywords**

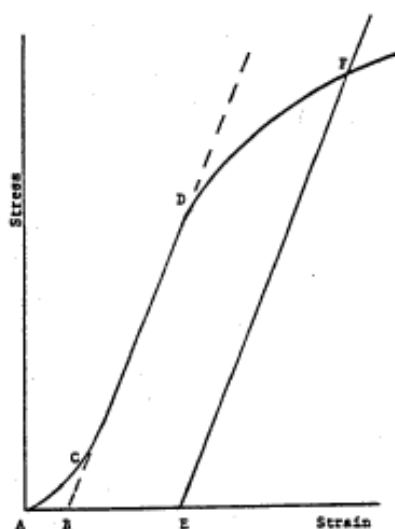
14.1 modulus of elasticity; percent elongation; plastics; tensile properties; tensile strength

**ANNEXES**

**(Mandatory Information)**

**A1. TOE COMPENSATION**

A1.1 In a typical stress-strain curve (Fig. A1.1) there is a toe region, AC, that does not represent a property of the

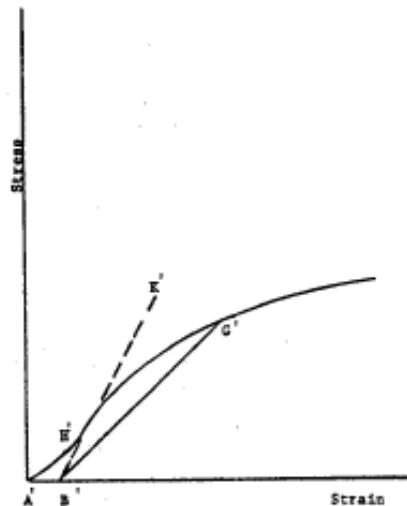


NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.  
**FIG. A1.1 Material with Hookean Region**

material. It is an artifact caused by a takeup of slack and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. A1.1), a continuation of the linear (CD) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection (B) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset (BE), if applicable. The elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the line CD (or its extension) by the strain at the same point (measured from Point B, defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point (H'). This is extended to intersect the strain axis at Point B', the corrected zero-strain point. Using Point B' as zero strain, the stress at any point (G') on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of Line B' G'). For those materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.



NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.  
**FIG. A1.2 Material with No Hookean Region**

**A2. DEFINITIONS OF TERMS AND SYMBOLS RELATING TO TENSION TESTING OF PLASTICS**

**A2.1 elastic limit**—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any permanent strain remaining upon complete release of the stress. It is expressed in force per unit area, usually pounds-force per square inch (megapascals).

NOTE A2.1—Measured values of proportional limit and elastic limit vary greatly with the sensitivity and accuracy of the testing equipment, eccentricity of loading, the scale to which the stress-strain diagram is plotted, and other factors. Consequently, these values are usually replaced by yield strength.

**A2.2 elongation**—the increase in length produced in the gage length of the test specimen by a tensile load. It is expressed in units of length, usually inches (millimetres). (Also known as *extension*.)

NOTE A2.2—Elongation and strain values are valid only in cases where uniformity of specimen behavior within the gage length is present. In the case of materials exhibiting necking phenomena, such values are only of qualitative utility after attainment of yield point. This is due to inability to ensure that necking will encompass the entire length between the gage marks prior to specimen failure.

**A2.3 gage length**—the original length of that portion of the specimen over which strain or change in length is determined.

**A2.4 modulus of elasticity**—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch). (Also known as *elastic modulus* or *Young's modulus*.)

NOTE A2.3—The stress-strain relations of many plastics do not conform to Hooke's law throughout the elastic range but deviate therefrom even at stresses well below the elastic limit. For such materials the slope of the tangent to the stress-strain curve at a low stress is usually taken as the modulus of elasticity. Since the existence of a true proportional limit

in plastics is debatable, the propriety of applying the term "modulus of elasticity" to describe the stiffness or rigidity of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are very dependent on such factors as rate of stressing, temperature, previous specimen history, etc. However, such a value is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and other factors are realized.

**A2.5 necking**—the localized reduction in cross section which may occur in a material under tensile stress.

**A2.6 offset yield strength**—the stress at which the strain exceeds by a specified amount (the offset) an extension of the initial proportional portion of the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

NOTE A2.4—This measurement is useful for materials whose stress-strain curve in the yield range is of gradual curvature. The offset yield strength can be derived from a stress-strain curve as follows (Fig. A2.1):

On the strain axis lay off *OM* equal to the specified offset. Draw *OA* tangent to the initial straight-line portion of the stress-strain curve.

Through *M* draw a line *MN* parallel to *OA* and locate the intersection of *MN* with the stress-strain curve.

The stress at the point of intersection *r* is the "offset yield strength." The specified value of the offset must be stated as a percent of the original gage length in conjunction with the strength value. *Example:* 0.1 % offset yield strength = ... MPa (psi), or yield strength at 0.1 % offset ... MPa (psi).

**A2.7 percent elongation**—the elongation of a test specimen expressed as a percent of the gage length.

**A2.8 percent elongation at break and yield:**

**A2.8.1 percent elongation at break**—the percent elongation at the moment of rupture of the test specimen.

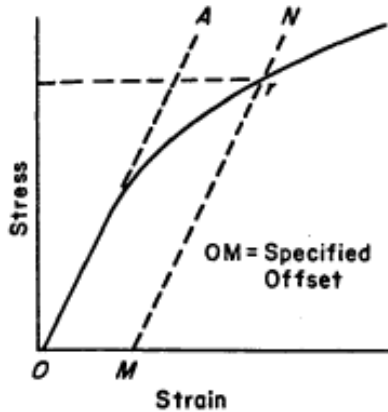


FIG. A2.1 Offset Yield Strength

A2.8.2 *percent elongation at yield*—the percent elongation at the moment the yield point (A2.21) is attained in the test specimen.

A2.9 *percent reduction of area (nominal)*—the difference between the original cross-sectional area measured at the point of rupture after breaking and after all retraction has ceased, expressed as a percent of the original area.

A2.10 *percent reduction of area (true)*—the difference between the original cross-sectional area of the test specimen and the minimum cross-sectional area within the gage boundaries prevailing at the moment of rupture, expressed as a percentage of the original area.

A2.11 *proportional limit*—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke's law). It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

A2.12 *rate of loading*—the change in tensile load carried by the specimen per unit time. It is expressed in force per unit time, usually newtons (pounds-force) per minute. The initial rate of loading can be calculated from the initial slope of the load versus time diagram.

A2.13 *rate of straining*—the change in tensile strain per unit time. It is expressed either as strain per unit time, usually metres per metre (inches per inch) per minute, or percent elongation per unit time, usually percent elongation per minute. The initial rate of straining can be calculated from the initial slope of the tensile strain versus time diagram.

NOTE A2.5—The initial rate of straining is synonymous with the rate of crosshead movement divided by the initial distance between crossheads only in a machine with constant rate of crosshead movement and when the specimen has a uniform original cross section, does not "neck down," and does not slip in the jaws.

A2.14 *rate of stressing (nominal)*—the change in tensile stress (nominal) per unit time. It is expressed in force per unit area per unit time, usually megapascals (pounds-force per

square inch) per minute. The initial rate of stressing can be calculated from the initial slope of the tensile stress (nominal) versus time diagram.

NOTE A2.6—The initial rate of stressing as determined in this manner has only limited physical significance. It does, however, roughly describe the average rate at which the initial stress (nominal) carried by the test specimen is applied. It is affected by the elasticity and flow characteristics of the materials being tested. At the yield point, the rate of stressing (true) may continue to have a positive value if the cross-sectional area is decreasing.

A2.15 *secant modulus*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain at any specified point on the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch), and reported together with the specified stress or strain.

NOTE A2.7—This measurement is usually employed in place of modulus of elasticity in the case of materials whose stress-strain diagram does not demonstrate proportionality of stress to strain.

A2.16 *strain*—the ratio of the elongation to the gage length of the test specimen, that is, the change in length per unit of original length. It is expressed as a dimensionless ratio.

A2.16.1 *nominal strain at break*—the strain at the moment of rupture relative to the original grip separation.

A2.17 *tensile strength (nominal)*—the maximum tensile stress (nominal) sustained by the specimen during a tension test. When the maximum stress occurs at the yield point (A2.21), it shall be designated tensile strength at yield. When the maximum stress occurs at break, it shall be designated tensile strength at break.

A2.18 *tensile stress (nominal)*—the tensile load per unit area of minimum original cross section, within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

NOTE A2.8—The expression of tensile properties in terms of the minimum original cross section is almost universally used in practice. In the case of materials exhibiting high extensibility or necking, or both (A2.15), nominal stress calculations may not be meaningful beyond the yield point (A2.21) due to the extensive reduction in cross-sectional area that ensues. Under some circumstances it may be desirable to express the tensile properties per unit of minimum prevailing cross section. These properties are called true tensile properties (that is, true tensile stress, etc.).

A2.19 *tensile stress-strain curve*—a diagram in which values of tensile stress are plotted as ordinates against corresponding values of tensile strain as abscissas.

A2.20 *true strain* (see Fig. A2.2) is defined by the following equation for  $\epsilon_T$ :

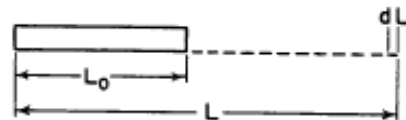


FIG. A2.2 Illustration of True Strain Equation

$$\epsilon_T = \int_{L_0}^L dL/L = \ln LL_0 \quad (A2.1)$$

where:

- dL = increment of elongation when the distance between the gage marks is L,
- L<sub>0</sub> = original distance between gage marks, and
- L = distance between gage marks at any time.

A2.21 *yield point*—the first point on the stress-strain curve at which an increase in strain occurs without an increase in stress (Fig. A2.2).

NOTE A2.9—Only materials whose stress-strain curves exhibit a point of zero slope may be considered as having a yield point.

NOTE A2.10—Some materials exhibit a distinct “break” or discontinuity in the stress-strain curve in the elastic region. This break is not a yield point by definition. However, this point may prove useful for material characterization in some cases.

A2.22 *yield strength*—the stress at which a material exhibits a specified limiting deviation from the proportionality of stress to strain. Unless otherwise specified, this stress will be the stress at the yield point and when expressed in relation to the tensile strength shall be designated either tensile strength at yield or tensile stress at yield as required in A2.17 (Fig. A2.3). (See *offset yield strength*.)

A2.23 *Symbols*—The following symbols may be used for the above terms:

Symbol	Term
W	Load
ΔW	Increment of load
L	Distance between gage marks at any time
L <sub>0</sub>	Original distance between gage marks
L <sub>r</sub>	Distance between gage marks at moment of rupture
ΔL	Increment of distance between gage marks = elongation
A	Minimum cross-sectional area at any time
A <sub>0</sub>	Original cross-sectional area
ΔA	Increment of cross-sectional area
A <sub>u</sub>	Cross-sectional area at point of rupture measured after breaking specimen
A <sub>r</sub>	Cross-sectional area at point of rupture, measured at the moment of rupture
t	Time
Δt	Increment of time
σ	Tensile stress
Δσ	Increment of stress
σ <sub>T</sub>	True tensile stress
σ <sub>U</sub>	Tensile strength at break (nominal)
σ <sub>UT</sub>	Tensile strength at break (true)
ε	Strain
Δε	Increment of strain
ε <sub>U</sub>	Total strain, at break
ε <sub>T</sub>	True strain
%E <sub>T</sub>	Percentage elongation
Y.P.	Yield point
E	Modulus of elasticity

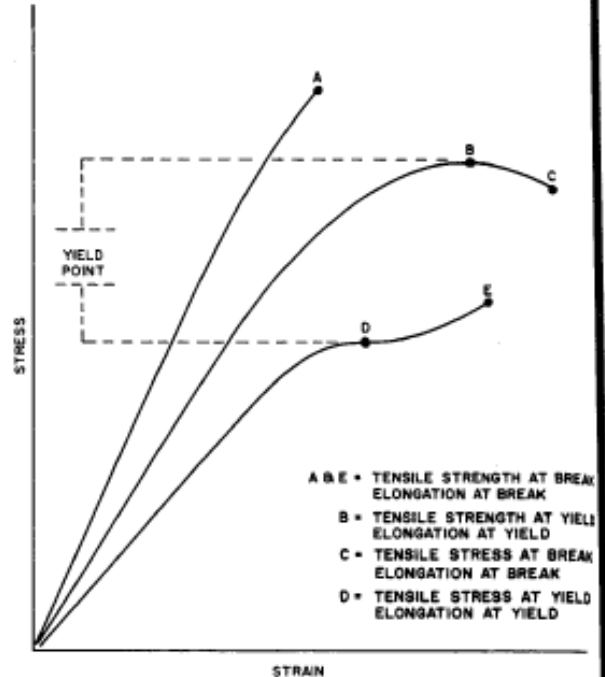


FIG. A2.3 Tensile Designations

A2.24 *Relations* between these various terms may be defined as follows:

$$\begin{aligned} \sigma &= W/A_0 \\ \sigma_T &= W/A \\ \sigma_U &= W/A_0 \text{ (where } W \text{ is breaking load)} \\ \sigma_{UT} &= W/A_T \text{ (where } W \text{ is breaking load)} \\ \epsilon &= \Delta L/L_0 = (L - L_0)/L_0 \\ \epsilon_U &= (L_U - L_0)/L_0 \\ \epsilon_T &= \int_{L_0}^L dL/L = \ln L/L_0 \\ \%E_T &= [(L - L_0)/L_0] \times 100 = \epsilon \times 100 \end{aligned}$$

Percent reduction of area (nominal) =  $[(A_0 - A_u)/A_0] \times 100$   
 Percent reduction of area (true) =  $[(A_0 - A_r)/A_0] \times 100$   
 Rate of loading =  $\Delta W/\Delta t$   
 Rate of stressing (nominal) =  $\Delta\sigma/\Delta t = (\Delta W)/A_0/\Delta t$   
 Rate of straining =  $\Delta\epsilon/\Delta t = (\Delta L/L_0)/\Delta t$

For the case where the volume of the test specimen does not change during the test, the following three relations hold:

$$\begin{aligned} \sigma_T &= \sigma(1 + \epsilon) = \sigma U/L_0 \quad (A2.2) \\ \sigma_{UT} &= \sigma_U(1 + \epsilon_U) = \sigma_U L_U/L_0 \\ A &= A_0/(1 + \epsilon) \end{aligned}$$



Designation: D 790 – 03

## Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 790; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope<sup>\*</sup>

1.1 These test methods cover the determination of flexural properties of unreinforced and reinforced plastics, including high-modulus composites and electrical insulating materials in the form of rectangular bars molded directly or cut from sheets, plates, or molded shapes. These test methods are generally applicable to both rigid and semirigid materials. However, flexural strength cannot be determined for those materials that do not break or that do not fail in the outer surface of the test specimen within the 5.0 % strain limit of these test methods. These test methods utilize a three-point loading system applied to a simply supported beam. A four-point loading system method can be found in Test Method D 6272.

1.1.1 *Procedure A*, designed principally for materials that break at comparatively small deflections.

1.1.2 *Procedure B*, designed particularly for those materials that undergo large deflections during testing.

1.1.3 Procedure A shall be used for measurement of flexural properties, particularly flexural modulus, unless the material specification states otherwise. Procedure B may be used for measurement of flexural strength only. Tangent modulus data obtained by Procedure A tends to exhibit lower standard deviations than comparable data obtained by means of Procedure B.

1.2 Comparative tests may be run in accordance with either procedure, provided that the procedure is found satisfactory for the material being tested.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values provided in parentheses are for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 1—These test methods are not technically equivalent to ISO 178.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing<sup>2</sup>

D 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics<sup>2</sup>

D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>

D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials<sup>3</sup>

D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastic Specimens<sup>4</sup>

D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending<sup>4</sup>

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>5</sup>

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>6</sup>

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to these test methods appear in Terminology D 883 and Annex A1 of Test Method D 638.

### 4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1). A support span-to-depth ratio of 16:1 shall be used unless there is reason to suspect that a larger span-to-depth ratio may be required, as may be the case for certain laminated materials (see Section 7 and Note 8 for guidance).

4.2 The specimen is deflected until rupture occurs in the outer surface of the test specimen or until a maximum strain (see 12.7) of 5.0 % is reached, whichever occurs first.

4.3 Procedure A employs a strain rate of 0.01 mm/mm/min [0.01 in./in./min] and is the preferred procedure for this test method, while Procedure B employs a strain rate of 0.10 mm/mm/min [0.10 in./in./min].

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved March 10, 2003. Published April 2003. Originally approved in 1970. Last previous edition approved in 2002 as D 790 – 02.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

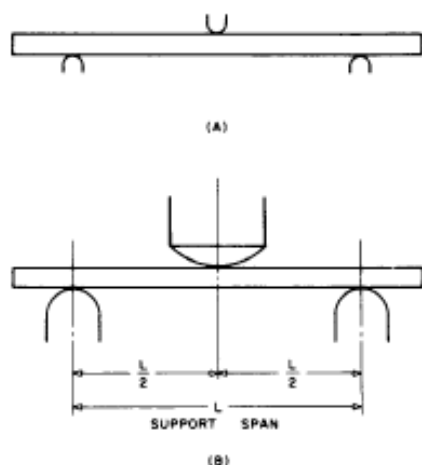
<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.03.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.



NOTE—(a) Minimum radius = 3.2 mm [1/8 in.]. (b) Maximum radius supports 1.6 times specimen depth; maximum radius loading nose = 4 times specimen depth.

FIG. 1 Allowable Range of Loading Nose and Support Radii

### 5. Significance and Use

5.1 Flexural properties as determined by these test methods are especially useful for quality control and specification purposes.

5.2 Materials that do not fail by the maximum strain allowed under these test methods (3-point bend) may be more suited to a 4-point bend test. The basic difference between the two test methods is in the location of the maximum bending moment and maximum axial fiber stresses. The maximum axial fiber stresses occur on a line under the loading nose in 3-point bending and over the area between the loading noses in 4-point bending.

5.3 Flexural properties may vary with specimen depth, temperature, atmospheric conditions, and the difference in rate of straining as specified in Procedures A and B (see also Note 8).

5.4 Before proceeding with these test methods, reference should be made to the specification of the material being tested. Any test specimen preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters, or combination thereof, covered in the materials specification shall take precedence over those mentioned in these test methods. If there are no material specifications, then the default conditions apply. Table 1 in Classification System D 4000 lists the ASTM materials standards that currently exist for plastics.

### 6. Apparatus

6.1 *Testing Machine*—A properly calibrated testing machine that can be operated at constant rates of crosshead motion over the range indicated, and in which the error in the load measuring system shall not exceed  $\pm 1\%$  of the maximum load expected to be measured. It shall be equipped with a deflection measuring device. The stiffness of the testing machine shall be such that the total elastic deformation of the system does not exceed 1% of the total deflection of the test specimen during

TABLE 1 Flexural Strength

Material	Mean, 10 <sup>3</sup> psi	Values Expressed in Units of % of 10 <sup>3</sup> psi			
		V <sub>L</sub> <sup>A</sup>	V <sub>R</sub> <sup>B</sup>	r <sup>C</sup>	R <sup>D</sup>
ABS	9.99	1.59	6.05	4.44	17.2
DAP thermoset	14.3	6.58	6.58	18.6	18.6
Cast acrylic	16.3	1.67	11.3	4.73	32.0
GR polyester	19.5	1.43	2.14	4.05	6.08
GR polycarbonate	21.0	5.16	6.05	14.6	17.1
SMC	26.0	4.76	7.19	13.5	20.4

<sup>A</sup> V<sub>L</sub> = within-laboratory coefficient of variation for the indicated material. It is obtained by first pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:  $S_L = [(s_1)^2 + (s_2)^2 + \dots + (s_n)^2]^{1/2}$  then  $V_L = (S_L \text{ divided by the overall average for the material}) \times 100$ .

<sup>B</sup> V<sub>R</sub> = between-laboratory reproducibility, expressed as the coefficient of variation:  $S_R = (S_L^2 + S_L^2)^{1/2}$  where S<sub>L</sub> is the standard deviation of laboratory means. Then:  $V_R = (S_R \text{ divided by the overall average for the material}) \times 100$ .

<sup>C</sup> r = within-laboratory critical interval between two test results =  $2.8 \times V_L$ .

<sup>D</sup> R = between-laboratory critical interval between two test results =  $2.8 \times V_R$ .

testing, or appropriate corrections shall be made. The load indicating mechanism shall be essentially free from inertial lag at the crosshead rate used. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

6.2 *Loading Noses and Supports*—The loading nose and supports shall have cylindrical surfaces. In order to avoid excessive indentation, or failure due to stress concentration directly under the loading nose, the radii of the loading nose and supports shall be  $5.0 \pm 0.1$  mm [ $0.197 \pm 0.004$  in.] unless otherwise specified or agreed upon between the interested clients. When other loading noses and supports are used they must comply with the following requirements: they shall have a minimum radius of 3.2 mm [ $1/8$  in.] for all specimens, and for specimens 3.2 mm or greater in depth, the radius of the supports may be up to 1.6 times the specimen depth. They shall be this large if significant indentation or compressive failure occurs. The arc of the loading nose in contact with the specimen shall be sufficiently large to prevent contact of the specimen with the sides of the nose (see Fig. 1). The maximum radius of the loading nose shall be no more than 4 times the specimen depth.

NOTE 2—Test data have shown that the loading nose and support dimensions can influence the flexural modulus and flexural strength values. The loading nose dimension has the greater influence. Dimensions of the loading nose and supports must be specified in the material specification.

6.3 *Micrometers*—Suitable micrometers for measuring the width and thickness of the test specimen to an incremental discrimination of at least 0.025 mm [0.001 in.] should be used. All width and thickness measurements of rigid and semirigid plastics may be measured with a hand micrometer with ratchet. A suitable instrument for measuring the thickness of nonrigid test specimens shall have: a contact measuring pressure of  $25 \pm 2.5$  kPa [ $3.6 \pm 0.36$  psi], a movable circular contact foot  $6.35 \pm 0.025$  mm [ $0.250 \pm 0.001$  in.] in diameter and a lower fixed anvil large enough to extend beyond the contact foot in all directions and being parallel to the contact foot within 0.005 mm [0.002 in.] over the entire foot area. Flatness of foot and anvil shall conform to the portion of the Calibration section of Test Methods D 5947.

## 7. Test Specimens

7.1 The specimens may be cut from sheets, plates, or molded shapes, or may be molded to the desired finished dimensions. The actual dimensions used in Section 4.2, Calculation, shall be measured in accordance with Test Methods D 5947.

NOTE 3—Any necessary polishing of specimens shall be done only in the lengthwise direction of the specimen.

7.2 *Sheet Materials (Except Laminated Thermosetting Materials and Certain Materials Used for Electrical Insulation, Including Vulcanized Fiber and Glass Bonded Mica):*

7.2.1 *Materials 1.6 mm [ $\frac{1}{16}$  in.] or Greater in Thickness*—For flatwise tests, the depth of the specimen shall be the thickness of the material. For edgewise tests, the width of the specimen shall be the thickness of the sheet, and the depth shall not exceed the width (see Notes 4 and 5). For all tests, the support span shall be 16 (tolerance  $\pm 1$ ) times the depth of the beam. Specimen width shall not exceed one fourth of the support span for specimens greater than 3.2 mm [ $\frac{1}{8}$  in.] in depth. Specimens 3.2 mm or less in depth shall be 12.7 mm [ $\frac{1}{2}$  in.] in width. The specimen shall be long enough to allow for overhanging on each end of at least 10 % of the support span, but in no case less than 6.4 mm [ $\frac{1}{4}$  in.] on each end. Overhang shall be sufficient to prevent the specimen from slipping through the supports.

NOTE 4—Whenever possible, the original surface of the sheet shall be unaltered. However, where testing machine limitations make it impossible to follow the above criterion on the unaltered sheet, one or both surfaces shall be machined to provide the desired dimensions, and the location of the specimens with reference to the total depth shall be noted. The value obtained on specimens with machined surfaces may differ from those obtained on specimens with original surfaces. Consequently, any specifications for flexural properties on thicker sheets must state whether the original surfaces are to be retained or not. When only one surface was machined, it must be stated whether the machined surface was on the tension or compression side of the beam.

NOTE 5—Edgewise tests are not applicable for sheets that are so thin that specimens meeting these requirements cannot be cut. If specimen depth exceeds the width, buckling may occur.

7.2.2 *Materials Less than 1.6 mm [ $\frac{1}{16}$  in.] in Thickness*—The specimen shall be 50.8 mm [2 in.] long by 12.7 mm [ $\frac{1}{2}$  in.] wide, tested flatwise on a 25.4-mm [1-in.] support span.

NOTE 6—Use of the formulas for simple beams cited in these test methods for calculating results presumes that beam width is small in comparison with the support span. Therefore, the formulas do not apply rigorously to these dimensions.

NOTE 7—Where machine sensitivity is such that specimens of these dimensions cannot be measured, wider specimens or shorter support spans, or both, may be used, provided the support span-to-depth ratio is at least 14 to 1. All dimensions must be stated in the report (see also Note 6).

7.3 *Laminated Thermosetting Materials and Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation, Including Vulcanized Fiber and Glass-Bonded Mica*—For paper-base and fabric-base grades over 25.4 mm [1 in.] in nominal thickness, the specimens shall be machined on both surfaces to a depth of 25.4 mm. For glass-base and nylon-base grades, specimens over 12.7 mm [ $\frac{1}{2}$  in.] in nominal depth shall be machined on both surfaces to a depth of 12.7 mm. The support span-to-depth ratio shall be chosen such that failures occur in

the outer fibers of the specimens, due only to the bending moment (see Note 8). Therefore, a ratio larger than 16:1 may be necessary (32:1 or 40:1 are recommended). When laminated materials exhibit low compressive strength perpendicular to the laminations, they shall be loaded with a large radius loading nose (up to four times the specimen depth to prevent premature damage to the outer fibers).

7.4 *Molding Materials (Thermoplastics and Thermosets)*—The recommended specimen for molding materials is 127 by 12.7 by 3.2 mm [5 by  $\frac{1}{2}$  by  $\frac{1}{16}$  in.] tested flatwise on a support span, resulting in a support span-to-depth ratio of 16 (tolerance  $\pm 1$ ). Thicker specimens should be avoided if they exhibit significant shrink marks or bubbles when molded.

7.5 *High-Strength Reinforced Composites, Including Highly Orthotropic Laminates*—The span-to-depth ratio shall be chosen such that failure occurs in the outer fibers of the specimens and is due only to the bending moment (see Note 8). A span-to-depth ratio larger than 16:1 may be necessary (32:1 or 40:1 are recommended). For some highly anisotropic composites, shear deformation can significantly influence modulus measurements, even at span-to-depth ratios as high as 40:1. Hence, for these materials, an increase in the span-to-depth ratio to 60:1 is recommended to eliminate shear effects when modulus data are required, it should also be noted that the flexural modulus of highly anisotropic laminates is a strong function of ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with tensile modulus, which is not stacking-sequence dependent.

NOTE 8—As a general rule, support span-to-depth ratios of 16:1 are satisfactory when the ratio of the tensile strength to shear strength is less than 8 to 1, but the support span-to-depth ratio must be increased for composite laminates having relatively low shear strength in the plane of the laminate and relatively high tensile strength parallel to the support span.

## 8. Number of Test Specimens

8.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials or molded specimens.

8.2 For each sample of anisotropic material in sheet form, test at least five specimens for each of the following conditions. Recommended conditions are flatwise and edgewise tests on specimens cut in lengthwise and crosswise directions of the sheet. For the purposes of this test, "lengthwise" designates the principal axis of anisotropy and shall be interpreted to mean the direction of the sheet known to be stronger in flexure. "Crosswise" indicates the sheet direction known to be the weaker in flexure and shall be at 90° to the lengthwise direction.

## 9. Conditioning

9.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  [ $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ] and  $50 \pm 5\%$  relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D 618 unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference pre-test conditioning, to settle disagreements, shall apply tolerances of  $\pm 1^\circ\text{C}$  [ $1.8^\circ\text{F}$ ] and  $\pm 2\%$  relative humidity.

9.2 *Test Conditions*—Conduct the tests at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  [ $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ] and  $50 \pm 5\%$  relative humidity unless otherwise

specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference testing conditions, to settle disagreements, shall apply tolerances of  $\pm 1^\circ\text{C}$  [ $1.8^\circ\text{F}$ ] and  $\pm 2\%$  relative humidity.

## 10. Procedure

### 10.1 Procedure A:

10.1.1 Use an untested specimen for each measurement. Measure the width and depth of the specimen to the nearest 0.03 mm [0.001 in.] at the center of the support span. For specimens less than 2.54 mm [0.100 in.] in depth, measure the depth to the nearest 0.003 mm [0.0005 in.]. These measurements shall be made in accordance with Test Methods D 5947.

10.1.2 Determine the support span to be used as described in Section 7 and set the support span to within 1% of the determined value.

10.1.3 For flexural fixtures that have continuously adjustable spans, measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and to the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the actual measured span for all calculations. For flexural fixtures that have fixed machined span positions, verify the span distance the same as for adjustable spans at each machined position. This distance becomes the span for that position and is used for calculations applicable to all subsequent tests conducted at that position. See Annex A2 for information on the determination of and setting of the span.

10.1.4 Calculate the rate of crosshead motion as follows and set the machine for the rate of crosshead motion as calculated by Eq 1:

$$R = ZL^2/6d \quad (1)$$

where:

$R$  = rate of crosshead motion, mm [in.]/min,  
 $L$  = support span, mm [in.],  
 $d$  = depth of beam, mm [in.], and  
 $Z$  = rate of straining of the outer fiber, mm/mm/min [in./in./min].  $Z$  shall be equal to 0.01.

In no case shall the actual crosshead rate differ from that calculated using Eq 1, by more than  $\pm 10\%$ .

10.1.5 Align the loading nose and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel and the loading nose is midway between the supports. The parallelism of the apparatus may be checked by means of a plate with parallel grooves into which the loading nose and supports will fit when properly aligned (see A2.3). Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading nose and supports.

10.1.6 Apply the load to the specimen at the specified crosshead rate, and take simultaneous load-deflection data. Measure deflection either by a gage under the specimen in contact with it at the center of the support span, the gage being mounted stationary relative to the specimen supports, or by measurement of the motion of the loading nose relative to the supports. Load-deflection curves may be plotted to determine the flexural strength, chord or secant modulus or the tangent modulus of elasticity, and the total work as measured by the area under the load-deflection curve. Perform the necessary toe

compensation (see Annex A1) to correct for seating and indentation of the specimen and deflections in the machine.

10.1.7 Terminate the test when the maximum strain in the outer surface of the test specimen has reached 0.05 mm/mm [in./in.] or at break if break occurs prior to reaching the maximum strain (Notes 9 and 10). The deflection at which this strain will occur may be calculated by letting  $r$  equal 0.05 mm/mm [in./in.] in Eq 2:

$$D = rL^2/6d \quad (2)$$

where:

$D$  = midspan deflection, mm [in.],  
 $r$  = strain, mm/mm [in./in.],  
 $L$  = support span, mm [in.], and  
 $d$  = depth of beam, mm [in.].

NOTE 9—For some materials that do not yield or break within the 5% strain limit when tested by Procedure A, the increased strain rate allowed by Procedure B (see 10.2) may induce the specimen to yield or break, or both, within the required 5% strain limit.

NOTE 10—Beyond 5% strain, this test method is not applicable. Some other mechanical property might be more relevant to characterize materials that neither yield nor break by either Procedure A or Procedure B within the 5% strain limit (for example, Test Method D 638 may be considered).

### 10.2 Procedure B:

10.2.1 Use an untested specimen for each measurement.

10.2.2 Test conditions shall be identical to those described in 10.1, except that the rate of straining of the outer surface of the test specimen shall be 0.10 mm/mm [in./in.]/min.

10.2.3 If no break has occurred in the specimen by the time the maximum strain in the outer surface of the test specimen has reached 0.05 mm/mm [in./in.], discontinue the test (see Note 10).

## 11. Retests

11.1 Values for properties at rupture shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Retests shall be made for any specimen on which values are not calculated.

## 12. Calculation

12.1 Toe compensation shall be made in accordance with Annex A1 unless it can be shown that the toe region of the curve is not due to the take-up of slack, seating of the specimen, or other artifact, but rather is an authentic material response.

12.2 *Flexural Stress ( $\sigma_f$ )*—When a homogeneous elastic material is tested in flexure as a simple beam supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress in the outer surface of the test specimen occurs at the midpoint. This stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by means of the following equation (see Notes 11-13):

$$\sigma_f = 3PL/2bd^2 \quad (3)$$

where:

$\sigma$  = stress in the outer fibers at midpoint, MPa [psi],



$P$  = load at a given point on the load-deflection curve, N [lbf],  
 $L$  = support span, mm [in.],  
 $b$  = width of beam tested, mm [in.], and  
 $d$  = depth of beam tested, mm [in.].

NOTE 11—Eq 3 applies strictly to materials for which stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced if Eq 3 is used to calculate stress for materials that are not true Hookean materials. The equation is valid for obtaining comparison data and for specification purposes, but only up to a maximum fiber strain of 5% in the outer surface of the test specimen for specimens tested by the procedures described herein.

NOTE 12—When testing highly orthotropic laminates, the maximum stress may not always occur in the outer surface of the test specimen.<sup>7</sup> Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. If Eq 3 is used to calculate stress, it will yield an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence of highly orthotropic laminates.

NOTE 13—The preceding calculation is not valid if the specimen slips excessively between the supports.

12.3 *Flexural Stress for Beams Tested at Large Support Spans ( $\sigma_f$ )*—If support span-to-depth ratios greater than 16 to 1 are used such that deflections in excess of 10% of the support span occur, the stress in the outer surface of the specimen for a simple beam can be reasonably approximated with the following equation (see Note 14):

$$\sigma_f = (3PL/2bd^2)[1 + 6(D/L)^2 - 4(d/L)(D/L)] \quad (4)$$

where:

$\sigma_f$ ,  $P$ ,  $L$ ,  $b$ , and  $d$  are the same as for Eq 3, and  
 $D$  = deflection of the centerline of the specimen at the middle of the support span, mm [in.].

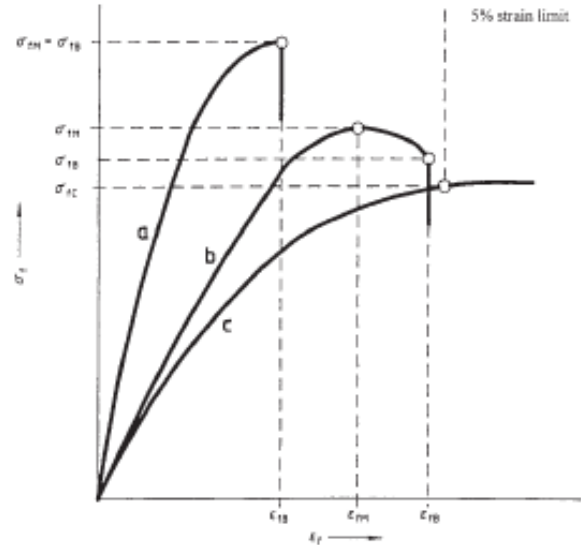
NOTE 14—When large support span-to-depth ratios are used, significant end forces are developed at the support noses which will affect the moment in a simple supported beam. Eq 4 includes additional terms that are an approximate correction factor for the influence of these end forces in large support span-to-depth ratio beams where relatively large deflections exist.

12.4 *Flexural Strength ( $\sigma_{BF}$ )*—Maximum flexural stress sustained by the test specimen (see Note 12) during a bending test. It is calculated according to Eq 3 or Eq 4. Some materials that do not break at strains of up to 5% may give a load deflection curve that shows a point at which the load does not increase with an increase in strain, that is, a yield point (Fig. 2, Curve B). The flexural strength may be calculated for these materials by letting  $P$  (in Eq 3 or Eq 4) equal this point,  $Y$ .

12.5 *Flexural Offset Yield Strength*—Offset yield strength is the stress at which the stress-strain curve deviates by a given strain (offset) from the tangent to the initial straight line portion of the stress-strain curve. The value of the offset must be given whenever this property is calculated.

NOTE 15—This value may differ from flexural strength defined in 12.4.

<sup>7</sup> For a discussion of these effects, see Zureban, C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.



NOTE—Curve a: Specimen that breaks before yielding.  
 Curve b: Specimen that yields and then breaks before the 5% strain limit.  
 Curve c: Specimen that neither yields nor breaks before the 5% strain limit.

FIG. 2 Typical Curves of Flexural Stress ( $\sigma_f$ ) Versus Flexural Strain ( $\epsilon_f$ )

Both methods of calculation are described in the annex to Test Method D 638.

12.6 *Flexural Stress at Break ( $\sigma_{fB}$ )*—Flexural stress at break of the test specimen during a bending test. It is calculated according to Eq 3 or Eq 4. Some materials may give a load deflection curve that shows a break point,  $B$ , without a yield point (Fig. 2, Curve a) in which case  $\sigma_{fB} = \sigma_{fM}$ . Other materials may give a yield deflection curve with both a yield and a break point,  $B$  (Fig. 2, Curve b). The flexural stress at break may be calculated for these materials by letting  $P$  (in Eq 3 or Eq 4) equal this point,  $B$ .

12.7 *Stress at a Given Strain*—The stress in the outer surface of a test specimen at a given strain may be calculated in accordance with Eq 3 or Eq 4 by letting  $P$  equal the load read from the load-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for highly orthotropic laminates, see Note 12).

12.8 *Flexural Strain,  $\epsilon_f$* —Nominal fractional change in the length of an element of the outer surface of the test specimen at midspan, where the maximum strain occurs. It may be calculated for any deflection using Eq 5:

$$\epsilon_f = 6Dd/L^2 \quad (5)$$

where:

$\epsilon_f$  = strain in the outer surface, mm/mm [in./in.],  
 $D$  = maximum deflection of the center of the beam, mm [in.],  
 $L$  = support span, mm [in.], and

$d$  = depth, mm [in.],  
 $D$  = maximum deflection of the center of the beam, mm [in.],  
 $L$  = support span, mm [in.], and  
 $d$  = depth, mm [in.].

### 12.9 Modulus of Elasticity:

**12.9.1 Tangent Modulus of Elasticity**—The tangent modulus of elasticity, often called the “modulus of elasticity,” is the ratio, within the elastic limit, of stress to corresponding strain. It is calculated by drawing a tangent to the steepest initial straight-line portion of the load-deflection curve and using Eq 6 (for highly anisotropic composites, see Note 16).

$$E_t = L^3 m / 4bd^3 \quad (6)$$

where:

$E_t$  = modulus of elasticity in bending, MPa [psi],  
 $L$  = support span, mm [in.],  
 $b$  = width of beam tested, mm [in.],  
 $d$  = depth of beam tested, mm [in.], and  
 $m$  = slope of the tangent to the initial straight-line portion of the load-deflection curve, N/mm [lbf/in.] of deflection.

**NOTE 16**—Shear deflections can seriously reduce the apparent modulus of highly anisotropic composites when they are tested at low span-to-depth ratios.<sup>7</sup> For this reason, a span-to-depth ratio of 60 to 1 is recommended for flexural modulus determinations on these composites. Flexural strength should be determined on a separate set of replicate specimens at a lower span-to-depth ratio that induces tensile failure in the outer fibers of the beam along its lower face. Since the flexural modulus of highly anisotropic laminates is a critical function of ply-stacking sequence, it will not necessarily correlate with tensile modulus, which is not stacking-sequence dependent.

**12.9.2 Secant Modulus**—The secant modulus is the ratio of stress to corresponding strain at any selected point on the stress-strain curve, that is, the slope of the straight line that joins the origin and a selected point on the actual stress-strain curve. It shall be expressed in megapascals [pounds per square inch]. The selected point is chosen at a prespecified stress or strain in accordance with the appropriate material specification or by customer contract. It is calculated in accordance with Eq 6 by letting  $m$  equal the slope of the secant to the load-

deflection curve. The chosen stress or strain point used for the determination of the secant shall be reported.

**12.9.3 Chord Modulus ( $E_c$ )**—The chord modulus may be calculated from two discrete points on the load deflection curve. The selected points are to be chosen at two prespecified stress or strain points in accordance with the appropriate material specification or by customer contract. The chosen stress or strain points used for the determination of the chord modulus shall be reported. Calculate the chord modulus,  $E_c$ , using the following equation:

$$E_c = (\sigma_p - \sigma_n) / (\epsilon_p - \epsilon_n) \quad (7)$$

where:

$\sigma_p$  and  $\sigma_n$  are the flexural stresses, calculated from Eq 3 or Eq 4 and measured at the predefined points on the load deflection curve, and  $\epsilon_p$  and

$\epsilon_n$  are the flexural strain values, calculated from Eq 5 and measured at the predetermined points on the load deflection curve.

**12.10 Arithmetic Mean**—For each series of tests, the arithmetic mean of all values obtained shall be calculated to three significant figures and reported as the “average value” for the particular property in question.

**12.11 Standard Deviation**—The standard deviation (estimated) shall be calculated as follows and be reported to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2) / (n - 1)} \quad (8)$$

where:

$s$  = estimated standard deviation,  
 $X$  = value of single observation,  
 $n$  = number of observations, and  
 $\bar{X}$  = arithmetic mean of the set of observations.

## 13. Report

13.1 Report the following information:

13.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer’s code number, form, principal dimensions, and previous history (for laminated materials, ply-stacking sequence shall be reported),

13.1.2 Direction of cutting and loading specimens, when appropriate,

13.1.3 Conditioning procedure,

13.1.4 Depth and width of specimen,

13.1.5 Procedure used (A or B),

13.1.6 Support span length,

13.1.7 Support span-to-depth ratio if different than 16:1,

13.1.8 Radius of supports and loading noses if different than 5 mm,

13.1.9 Rate of crosshead motion,

13.1.10 Flexural strain at any given stress, average value and standard deviation,

13.1.11 If a specimen is rejected, reason(s) for rejection,

13.1.12 Tangent, secant, or chord modulus in bending, average value, standard deviation, and the strain level(s) used if secant or chord modulus,

13.1.13 Flexural strength (if desired), average value, and standard deviation,

TABLE 2 Flexural Modulus

Material	Mean, 10 <sup>3</sup> psi	Values Expressed in units of % of 10 <sup>3</sup> psi			
		$V_L^A$	$V_R^B$	$r^C$	$R^D$
ABS	338	4.79	7.69	13.6	21.8
DAP thermoset	485	2.89	7.18	8.15	20.4
Cast acrylic	810	13.7	16.1	38.8	45.4
GR polyester	816	3.49	4.20	9.91	11.9
GR polycarbonate	1790	5.52	5.52	15.6	15.6
SMC	1950	10.9	13.8	30.8	39.1

<sup>A</sup>  $V_L$  = within-laboratory coefficient of variation for the indicated material. It is obtained by first pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:  $S_r = [(s_1)^2 + (s_2)^2 + \dots + (s_n)^2] / n$ , then  $V_L = (S_r \text{ divided by the overall average for the material}) \times 100$ .

<sup>B</sup>  $V_R$  = between-laboratory reproducibility, expressed as the coefficient of variation:  $S_R = (S_r^2 + S_b^2)^{1/2}$  where  $S_b$  is the standard deviation of laboratory means. Then:  $V_R = (S_R \text{ divided by the overall average for the material}) \times 100$ .

<sup>C</sup>  $r$  = within-laboratory critical interval between two test results =  $2.8 \times V_L$ .

<sup>D</sup>  $R$  = between-laboratory critical interval between two test results =  $2.8 \times V_R$ .

13.1.14 Stress at any given strain up to and including 5 % (if desired), with strain used, average value, and standard deviation.

13.1.15 Flexural stress at break (if desired), average value, and standard deviation.

13.1.16 Type of behavior, whether yielding or rupture, or both, or other observations, occurring within the 5 % strain limit, and

13.1.17 Date of specific version of test used.

#### 14. Precision and Bias <sup>\*</sup>

14.1 Tables 1 and 2 are based on a round-robin test conducted in 1984, in accordance with Practice E 691, involving six materials tested by six laboratories using Procedure A. For each material, all the specimens were prepared at one source. Each "test result" was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material.

**NOTE 17—Caution:** The following explanations of  $r$  and  $R$  (14.2-14.2.3) are intended only to present a meaningful way of considering the approximate precision of these test methods. The data given in Tables 2 and 3 should not be applied rigorously to the acceptance or rejection of materials, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of

these test methods should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 14.2-14.2.3 would then be valid for such data.

14.2 *Concept of "r" and "R" in Tables 1 and 2*—If  $S_r$  and  $S_R$  have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from testing five specimens for each test result, then:

14.2.1 *Repeatability*—Two test results obtained within one laboratory shall be judged not equivalent if they differ by more than the  $r$  value for that material.  $r$  is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory.

14.2.2 *Reproducibility*—Two test results obtained by different laboratories shall be judged not equivalent if they differ by more than the  $R$  value for that material.  $R$  is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories.

14.2.3 The judgments in 14.2.1 and 14.2.2 will have an approximately 95 % (0.95) probability of being correct.

14.3 *Bias*—No statement may be made about the bias of these test methods, as there is no standard reference material or reference test method that is applicable.

#### 15. Keywords

15.1 flexural properties; plastics; stiffness; strength

<sup>\*</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D20-1128.

## ANNEXES

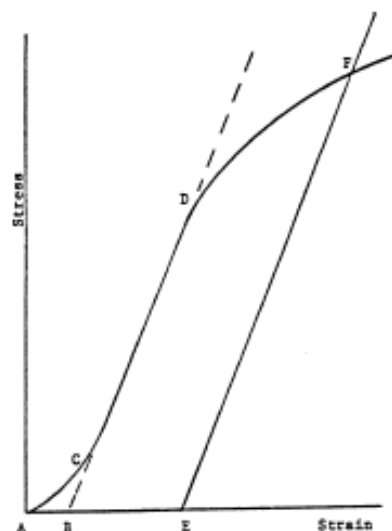
### (Mandatory Information)

#### A1. TOE COMPENSATION

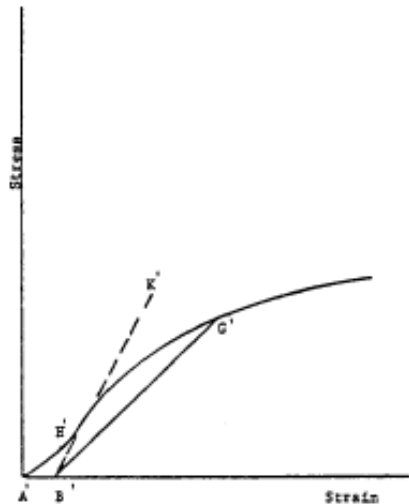
A1.1 In a typical stress-strain curve (see Fig. A1.1) there is a toe region,  $AC$ , that does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A1.1), a continuation of the linear ( $CD$ ) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection ( $B$ ) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset ( $BE$ ), if applicable. The elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the Line  $CD$  (or its extension) by the strain at the same point (measured from Point  $B$ , defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point  $H$ . This is extended to intersect the strain axis at Point  $B'$ , the corrected zero-strain



NOTE—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.  
FIG. A1.1 Material with Hookean Region



NOTE—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.  
 FIG. A1.2 Material with No Hookean Region

point. Using Point  $B'$  as zero strain, the stress at any point ( $G'$ ) on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of Line  $B' G'$ ). For those materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.

## A2. MEASURING AND SETTING SPAN

A2.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of stress, modulus, and strain, and the loading nose or noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of your results when using these adjustable span fixtures.

### A2.2 Measurement of Span:

A2.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in the calculation of results.

A2.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A2.1 and A2.2).

A2.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

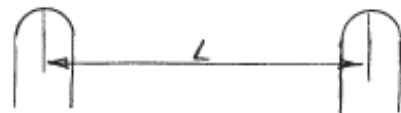


FIG. A2.1 Markings on Fixed Specimen Supports



FIG. A2.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

A2.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a consistent day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose, simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A2.3.

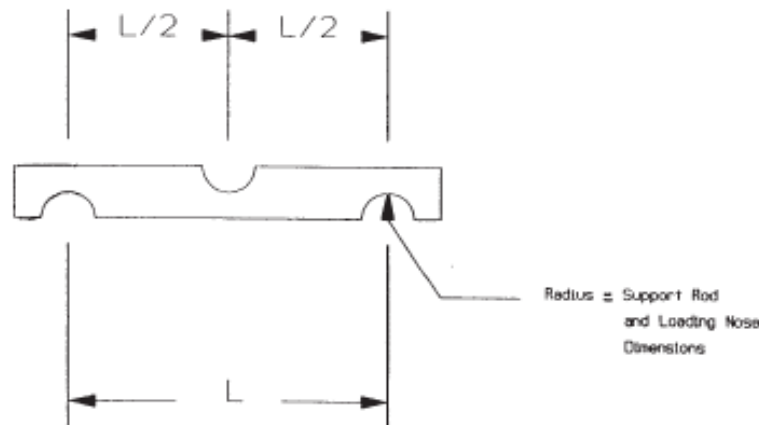


FIG. A2.3 Fixture Used to Set Loading Nose and Support Spacing and Alignment

## APPENDIX

(Nonmandatory Information)

### XI. DEVELOPMENT OF A FLEXURAL MACHINE COMPLIANCE CORRECTION

#### XI.1 Introduction

XI.1.1 Universal Testing instrument drive systems always exhibit a certain level of compliance that is characterized by a variance between the reported crosshead displacement and the displacement actually imparted to the specimen. This variance is a function of load frame stiffness, drive system wind-up, load cell compliance and fixture compliance. To accurately measure the flexural modulus of a material, this compliance should be measured and empirically subtracted from test data. Flexural modulus results without the corrections are lower than if the correction is applied. The greater the stiffness of the material the more influence the system compliance has on results.

XI.1.2 It is not necessary to make the machine compliance correction when a deflectometer/extensometer is used to measure the actual deflection occurring in the specimen as it is deflected.

#### XI.2 Terminology

XI.2.1 *Compliance*—The displacement difference between test machine drive system displacement values and actual specimen displacement

XI.2.2 *Compliance Correction*—An analytical method of modifying test instrument displacement values to eliminate the amount of that measurement attributed to test instrument compliance.

#### XI.3 Apparatus

XI.3.1 Universal Testing machine

XI.3.2 Load cell

XI.3.3 Flexure fixture including loading nose and specimen supports

XI.3.4 Computer Software to make corrections to the displacements

XI.3.5 Steel bar, with smoothed surfaces and a calculated flexural stiffness of more than 100 times greater than the test material. The length should be at least 13 mm greater than the support span. The width shall match the width of the test specimen and the thickness shall be that required to achieve or exceed the target stiffness.

#### XI.4 Safety Precautions

XI.4.1 The universal testing machine should stop the machine crosshead movement when the load reaches 90 % of load cell capacity, to prevent damage to the load cell.

XI.4.2 The compliance curve determination should be made at a speed no higher than 2 mm/min. Because the load builds up rapidly since the steel bar does not deflect, it is quite easy to exceed the load cell capacity.

#### XI.5 Procedure

NOTE XI.1—A new compliance correction curve should be established each time there is a change made to the setup of the test machine, such as, load cell changed or reinstallation of the flexure fixture on the machine. If the test machine is dedicated to flexural testing, and there are no changes to the setup, it is not necessary to re-calculate the compliance curve.

NOTE XI.2—On those machines with computer software that automatically make this compliance correction; refer to the software manual to determine how this correction should be made.

XI.5.1 The procedure to determine compliance follows:

XI.5.1.1 Configure the test system to match the actual test configuration.

XI.5.1.2 Place the steel bar in the test fixture, duplicating the position of a specimen during actual testing.

XI.5.1.3 Set the crosshead speed to 2 mm/min. or less and start the crosshead moving in the test direction recording crosshead displacement and the corresponding load values.

X1.5.1.4 Increase load to a point exceeding the highest load expected during specimen testing. Stop the crosshead and return to the pre-test location.

X1.5.1.5 The recorded load-deflection curve, starting when the loading nose contacts the steel bar to the time that the highest load expected is defined as test system compliance.

X1.5.2 Procedure to apply compliance correction is as follows:

X1.5.2.1 Run the flexural test method on the material at the crosshead required for the measurement.

X1.5.2.2 It is preferable that computer software be used to make the displacement corrections, but if it is not available compliance corrections can be made manually in the following manner. Determine the range of displacement (D) on the load versus displacement curve for the material, over which the modulus is to be calculated. For Young's Modulus that would be the steepest region of the curve below the proportional limit. For Secant and Chord Moduli that would be at specified level of strain or specified levels of strain, respectively. Draw two vertical lines up from the displacement axis for the two chosen displacements (D1, D2) to the load versus displacement curve for the material. In some cases one of these points maybe at zero displacement after the toe compensation correction is made. Draw two horizontal lines from these points on the load displacement curve to the Load (P) axis. Determine the loads (L1, L2).

X1.5.2.3 Using the Compliance Correction load displacement curve for the steel bar, mark off L1 and L2 on the Load (P) axis. From these two points draw horizontal lines across till they contact the load versus displacement curve for the steel

bar. From these two points on the load deflection curve draw two vertical lines downwards to the displacement axis. These two points on the displacement axis determine the corrections (c1, c2) that need to be made to the displacements measurements for the test material.

X1.5.2.4 Subtract the corrections (c1, c2) from the measured displacements (D1, D2), so that a true measures of test specimen deflection (D1-c1, D2-c2) are obtained.

**XI.6 Calculations**

**XI.6.1 Calculation of Chord Modulus**

XI.6.1.1 Calculate the stresses ( $\sigma f1$ ,  $\sigma f2$ ) for load points L1 and L2 from Fig. X1.1 using the equation in 12.2.3.

XI.6.1.2 Calculate the strains ( $\epsilon f1$ ,  $\epsilon f2$ ) for displacements D1-c1 and D2-c2 from Fig. X1.3 using the equation in 12.8 Eq. 5.

XI.6.1.3 Calculate the flexural chord modulus in accordance with 12.9.3 Eq. 7.

**XI.6.2 Calculation of Secant Modulus**

XI.6.2.1 Calculation of the Secant Modulus at any strain along the curve would be the same as conducting a chord modulus measurement, except that  $\sigma f1 = 0$ ,  $L1 = 0$ , and  $D1-c1 = 0$ .

**XI.6.3 Calculation of Young's Modulus**

XI.6.3.1 Determine the steepest slope "m" along the curve, below the proportional limit, using the selected loads L1 and L2 from Fig. X1.1 and the displacements D1-c1 and D2-c2 from Fig. X1.3.

XI.6.3.2 Calculate the Young's modulus in accordance with 12.9.1 Eq. 6.

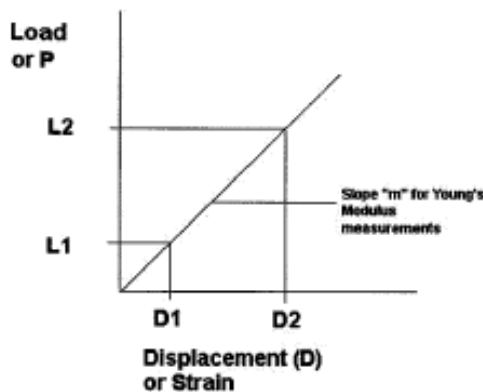


FIG. X1.1 Example of Modulus Curve for a Material

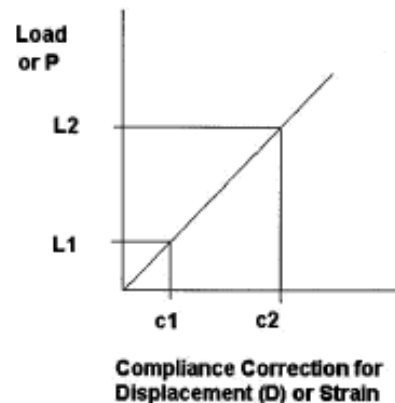


FIG. X1.2 Compliance Curve for Steel Bar

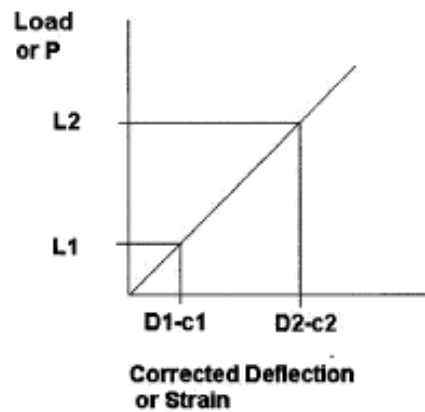


FIG. X1.3 Example of the Material Curve Corrected for the Compliance Corrected Displacement or Strain

### SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of selected changes to these test methods. For the convenience of the user, Committee D20 has highlighted those changes that may impact the use of these test methods. This section may also include descriptions of the changes or reasons for the changes, or both.

*D 790 – 03:*

(J) Added Appendix X1.

*D 790 – 02:*

(J) Revised 9.1 and 9.2.

*D 790 – 00:*

(J) Revised 12.1.

*D 790 – 99:*

(J) Revised 10.1.3.

*D 790 – 98:*

(J) Section 4.2 was rewritten extensively to bring this standard closer to ISO 178.

(2) Fig. 2 was added to clarify flexural behaviors that may be observed and to define what yielding and breaking behaviors look like, as well as the appropriate place to select these points on the stress strain curve.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

# ANEXO D: Norma para ensayo de impacto tipo dardo en materiales poliméricos ASTM D1709-15.



Designation: D1709 – 15

## Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D1709; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.*

### 1. Scope\*

1.1 These test methods cover the determination of the energy that causes plastic film to fail under specified conditions of impact of a free-falling dart. This energy is expressed in terms of the weight (mass) of the missile falling from a specified height which would result in 50 % failure of specimens tested.

1.2 Two test methods are described:

1.2.1 *Test Method A* employs a dart with a  $38.10 \pm 0.13$ -mm ( $1.500 \pm 0.005$ -in.) diameter hemispherical head dropped from a height of  $0.66 \pm 0.01$  m ( $26.0 \pm 0.4$  in.). This test method may be used for films whose impact resistances require masses of about 50 g or less to about 2 kg to fracture them.

1.2.2 *Test Method B* employs a dart with a  $50.80 \pm 0.13$ -mm ( $2.000 \pm 0.005$ -in.) diameter hemispherical head dropped from a height of  $1.50 \pm 0.03$  m ( $60.0 \pm 0.25$ ,  $-1.70$  in.). Its range of applicability is from about 0.3 kg to about 2 kg.

1.3 Two testing techniques are described:

1.3.1 The standard technique is the staircase method. By

this technique, a uniform missile weight increment is employed during test and the missile weight is decreased or increased by the uniform increment after test of each specimen, depending upon the result (fail or not fail) observed for the specimen.

1.3.2 The alternative technique provides for testing specimens in successive groups of ten. One missile weight is employed for each group and missile weight is varied in uniform increments from group to group.

1.3.3 The staircase technique and the alternative technique give equivalent results both as to the values of impact failure weight which are obtained and as to the precisions with which they are determined.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values stated in parentheses are for information only.

*Note 1*—Tests on materials that do not break, for any reason, are not considered to be valid. It has been noted that certain materials may stretch so far as to bottom out at the base of certain test instruments without actually rupturing. Subcommittee D20.19 is currently considering methods for testing these materials. Anyone interested in participating in a Task Group should contact the Chairman of Subcommittee D20.19 through ASTM International Headquarters.

1.5 *This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

*Note 2*—Film has been arbitrarily defined as sheeting having nominal thickness not greater than 0.25 mm (0.010 in.).

*Note 3*—This test method is technically equivalent to ISO 7765-1:1988, with the exception of a larger tolerance on the drop height in Test Method B, smaller tolerances on the dart diameters for Test Methods A and B, and the requirement for a vented dart well in 3.1.1. Also, the ISO method does not allow the alternative testing technique described in Section 1.3 of this test method.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D1248 Specification for Polyethylene Plastics Extrusion Materials for Wire and Cable
- D3420 Test Method for Pendulum Impact Resistance of Plastic Film
- D4272 Test Method for Total Energy Impact of Plastic Films By Dart Drop
- D6988 Guide for Determination of Thickness of Plastic Film Test Specimens
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.19 on Film, Sheeting, and Molded Products.

Current edition approved Jan. 1, 2015. Published January 2015. Originally approved in 1959. Last previous edition approved in 2009 as D1709 – 09. DOI: 10.1520/D1709-15.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States



[E691](#) Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 *ISO Standard:*

[ISO 7765:1988](#) Plastic Film and Sheeting—Determination of Impact Resistance by the Free Falling Dart Method—Part 1: Staircase Method<sup>3</sup>

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions related to plastics, see Terminology [D883](#).

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *failure*—any break through the film that can be observed readily by feeling or by viewing the specimen under backlighted condition.

3.2.2 *impact failure weight*—that missile weight, estimated statistically, at which 50 % of the specimens would fail in the specified test.

3.2.3 *missile weight*—the weight (mass) of the dart plus the total value of incremental weights attached plus the locking collar.

### 4. Significance and Use

4.1 Test Methods A and B are used to establish the weight of the dart when 50 % of the specimens fail under the conditions specified. Data obtained by one test method cannot be compared directly with the other test method nor with those obtained from tests employing different conditions of missile velocity, impinging surface diameter, effective specimen diameter, and thickness. The values obtained by these test variables are highly dependent on the method of film fabrication.

4.2 The results obtained by Test Methods A and B are greatly influenced by the quality of film under test. The confidence limits of data obtained by this procedure can, therefore, vary significantly, depending on the sample quality, uniformity of film gage, die marks, contaminants, etc. (see Section 15).

4.3 Test Methods A and B have been found useful for specification purposes. Correlation between test results and field performance can usually be established.

4.4 The impact resistance of plastic film, while partly dependent on thickness, has no simple correlation with sample thickness. Hence, impact values cannot be normalized over a range of thickness without producing misleading data as to the actual impact resistance of the material. Data from these test methods are comparable only for specimens that vary by no more than  $\pm 25$  % from the nominal or average thickness of the specimens tested.

4.5 Several impact test methods are used for film. It is sometimes desirable to know the relationships among test results derived by different test methods. A study was conducted in which four films made from two resins (polypropylene and linear low-density polyethylene), with two film thick-

nesses for each resin, were impacted using Test Methods D1709 (Method A), [D3420](#) (Procedures A and B), and [D4272](#). The test results are shown in the Appendix. Differences in results between Test Methods D1709 and [D4272](#) may be expected since Test Methods D1709 represents failure initiated energy, while Test Method [D4272](#) is initiation plus completion energy. Some films may show consistency when the initiation energy is the same as the total energy. This statement and the test data also appear in the significance sections and appendixes of Test Methods [D3420](#) and [D4272](#).

### 5. Apparatus

5.1 The apparatus shall be constructed essentially as shown in [Fig. 1](#), using the following components common to both test methods:

5.1.1 *Dart Well*—If the dart impact machine utilizes an enclosed dart well, it must contain a single unobstructed vent with a minimum area of 625 mm<sup>2</sup> (~1 in.<sup>2</sup>) to provide adequate venting.

*Note 4*—Some dart impact machine designs utilize enclosed dart wells that do not permit adequate venting to the atmosphere during impact. Data have shown that this has a significant effect on the observed impact value, especially with films that exhibit high elongation during testing, resulting in atypically high impact values.

*Note 5*—The use of smaller, multiple vents is permitted if it can be demonstrated that the venting efficiency is comparable and has no statistically significant effect on the values obtained.

5.1.2 *Specimen Clamp*—A two-piece annular specimen clamp having an inside diameter of 125  $\pm$  2.0 mm (5.0  $\pm$  0.0,  $-0.15$  in.) and conforming to the following requirements:

5.1.2.1 The lower or stationary half of the clamp shall be mounted rigidly so that the plane of the specimen is horizontal.

5.1.2.2 The upper or movable part of the clamp shall be

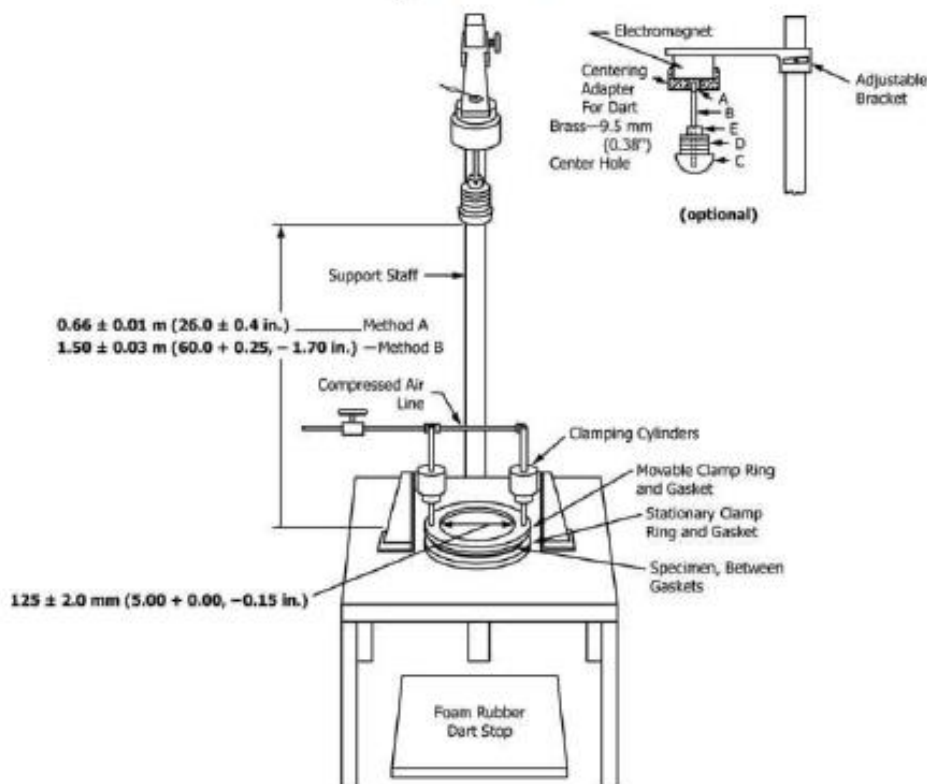
designed to maintain positive and plane contact with the lower part of the clamp when in position. The clamps shall be provided with suitable means of maintaining sufficient contact to hold the film sample firmly in place during the test. Pneumatically operated clamps have been successfully employed.

5.1.2.3 Rubber-like gaskets may be affixed to the specimen contact surfaces of both clamps to provide a cushion which minimizes thickness variation effects. Rubber gasketing 3.0  $\pm$  1 mm (0.125  $\pm$  0.025,  $-0.04$  in.) thick, of 50 to 60 Shore A durometer hardness, 125  $\pm$  2.0 mm (5.00  $\pm$  0.00,  $-0.15$  in.) in inside diameter and 150  $\pm$  3.0 mm (6.0  $\pm$  0.02,  $-0.2$  in.) in outside diameter has been found satisfactory for this purpose.

5.1.2.4 Slippage of films greater than 0.10 mm (0.004 in.) in thickness may be minimized or eliminated by securing crocus cloth or 50D garnet abrasive paper to the gaskets with double sensitive tape so that the abrasive surface is in direct contact with the film. There should be sufficient clamping force to eliminate detectable slippage. Other means of reducing slippage such as additional clamping devices or positive clamping surfaces may be used provided that the film is not weakened at the inside wall of the specimen clamps and that the effective diameter of 125  $\pm$  2.0 mm (5.00  $\pm$  0.00,  $-0.15$  in.) of the film is not changed.

5.1.3 *Dart Release Mechanism*, capable of supporting a 2-kg weight shall be used for supporting and releasing the dart

<sup>3</sup> Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.



Note 1—Values for tolerances in SI units are to be regarded as standard. The numbers in parentheses reflect the allowable tolerance range of older equipment and are only provided for information and, in many cases, do not correspond directly to the tolerances in SI units. The differences are not expected to have a significant effect on the results but the dimensions in SI units shall be used in cases of dispute.

Note 2—Legend Dart Assembly:

- A. Steel shaft tip 6.5 ± 1 mm (0.25 + 0.04, -0.03 in.) OD by 12.5 ± 0.2 mm (0.50 + 0.00, -0.02 in.) long.
- B. Dart shaft: 6.5 ± 1 mm (0.25 + 0.04, -0.03 in.) OD and at least 115 mm (4.5 in.) long; ¼ -20 thd. (N.C.) 12.5 ± 0.2 mm (0.50 + 0.00, -0.02 in.) long on bottom; No. 5-40 thd. (N.F.) for steel tip.
- C. Hemispherical head: Method A—38.10 ± 0.13-mm (1.500 ± 0.005-in.) in diameter. Method B—50.80 ± 0.13-mm (2.000 ± 0.005 in.) in diameter.
- D. Removable weights.
- E. Collar and screw.

FIG. 1 Apparatus for Free-Falling Dart Impact Test for Plastic Film

assembly. It shall be equipped with a centering device, such as a removable plumb bob, to ensure a reproducible drop. Either an electromagnetic- or pneumatic-operated release mechanism may be used.

5.1.4 *Positioning Device*—The apparatus shall be able to drop the dart from heights of 0.66 ± 0.01 m (26.0 ± 0.4 in.) for Test Method A and 1.50 ± 0.03 m (60.0 ± 0.25, -1.70 in.) for Test Method B. The distance between the impinging surface of the dart head and the surface of the test specimen is considered to be the drop height. The dart shall be positioned vertically above the center of the test specimen.

5.1.5 *Micrometer, or other suitable thickness gauge*, for measuring specimen thickness in accordance with Guide [D6988](#).

5.1.6 *Cushioning and Shielding Devices*, to protect personnel and to avoid damaging the impinging surface of the dart. These devices shall not interfere with the dart or the specimen prior to penetrating the specimen.

5.1.7 *Collar* with inside diameter of approximately 7 mm (0.28 in.) and with set screw for securing collar to dart shaft.

5.2 *Darts* for Test Methods A and B shall have hemispherical heads, each fitted with a 6.5 ± 1-mm (0.25 + 0.04, -0.03-in.) diameter shaft at least 115 mm (4.5 in.) long to accommodate removable incremental weights. Each dart weight shall be known to ±0.5 % relative. Dart head surfaces shall be free of nicks, scratches, or other irregularities. The shaft shall be attached to the center of the flat surface of the head with its

longitudinal axis perpendicular to the surface. If an electromagnet is used, the shaft shall be made of material that is not magnetic and shall have a steel tip  $12.5 \pm 0.2$  mm ( $0.50 + 0.00, -0.02$  in.) long at the end held by the electromagnet.

5.2.1 For Test Method A, the dart head shall be  $38.10 \pm 0.13$ -mm ( $1.500 \pm 0.005$ -in.) in diameter. It may be constructed of smooth, polished aluminum, phenolic, or other low-density material of similar hardness.

5.2.2 For Test Method B, the dart head shall be  $50.80 \pm 0.13$ -mm ( $2.000 \pm 0.005$  in.) in diameter. It may be constructed of smooth, polished stainless steel or other material of similar durability.

5.3 The material of construction of the dart head shall be referenced in the report using the following designations:

Material Construction	Designation
Stainless Steel	A
Aluminum	B
Phenolic	C
Composite	D
Other	E

**Note 6**—Data have shown a sensitivity of impact results related to the material of construction and finish of the dart head used. The differences have been especially significant when testing films exhibiting high impact, or high elongation characteristics, or both. This issue, together with related concerns, is currently under study in Subcommittee D20.19.

5.4 **Incremental Weights for Test Methods A and B** shall be of stainless steel or brass and cylindrical in shape. Each shall have a center hole  $6.6 + 1.0, -0.00$  mm ( $0.26 + 0.03, -0.00$  in.) in diameter. The thickness of each shall be adjusted to obtain the specified weight within  $\pm 0.5$  %. The diameter of the weights shall not exceed the diameter of the dart head. Suggested combination of weights for the specified diameters are as follows:

5.4.1 For Test Method A,  $31.5 \pm 1$ -mm ( $1.25 + 0.03, -0.05$ -in.) diameter weights.

Number	Weight, g
2 or more	5
8	15
8	30
8	60

5.4.2 For Test Method B,  $45.0 \pm 1$ -mm ( $1.75 + 0.06, -0.02$ -in.) diameter weights.

Number	Weight, g
2 or more	15
8	45
8	90

5.4.3 Optionally, additional weights, each  $120$  g  $\pm 0.5$  % for Test Method A or  $180$  g  $\pm 0.5$  % for Test Method B, may be constructed for use if it is necessary to extend the missile weight beyond that attainable when using all weights in the standard set.

## 6. Test Specimen

6.1 Test specimens shall be large enough to extend outside the specimen clamp gaskets at all points. The specimens shall be representative of the film under study and shall be taken from the sheet or tube in a manner representative of sound sampling practice. This is to ensure that the whole of the sheet be represented in the test unless such sampling constitutes a variable under study.

6.2 The specimens shall be free of pinholes, wrinkles, folds, or other obvious imperfections, unless such imperfections constitute variables under study.

## 7. Conditioning

7.1 **Conditioning**—Condition the test specimens at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 10$  % relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice [D618](#) unless otherwise specified by agreement or the relevant ASTM material specification. In cases of disagreement, the tolerances shall be  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $\pm 1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 5$  % relative humidity.

7.2 **Test Conditions**—Conduct the tests at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 10$  % relative humidity unless otherwise specified by agreement or the relevant ASTM material specification. In cases of disagreement, the tolerances shall be  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $\pm 1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 5$  % relative humidity.

## 8. Preparation of Apparatus

8.1 Set up the apparatus for testing by Test Method A or by Test Method B.

8.1.1 For Test Method A select a dart with a  $38.10 \pm 0.13$ -mm ( $1.500 \pm 0.005$ -in.) diameter hemispherical head. For Test Method B, select a dart with a  $50.80 \pm 0.13$ -mm ( $2.000 \pm 0.005$ -in.) diameter hemispherical head.

8.1.2 Activate the dart release mechanism and insert the

steel shaft tip into the mechanism. The dart should be held in place by the dart release mechanism. Adjust the drop height (the vertical distance from the plane of a clamped specimen to the bottom surface of the dart head) to  $0.66 \pm 0.01$  m ( $26.0 \pm 0.4$  in.) for Test Method A or to  $1.50 \pm 0.03$  m ( $60.0 + 0.25, -1.70$  in.) for Test Method B. (**Warning**—For safety reasons, remove the dart while making position adjustments.)

8.1.3 With a trial film specimen clamped between the specimen clamps and with no added weights on the dart, release the dart and observe the point at which the dart impacts the specimen, catching the dart after it bounces off the film surface. If necessary, adjust the dart release mechanism so that, in repeated trials, the dart reproducibly impacts the center of the clamped portion of the film.

8.2 Check the apparatus periodically to make sure specimen slippage during testing is not occurring. If slippage occurs, this is reason to reject the results. The likelihood of occurrence of slippage increases with increasing dart weight and with increasing drop height and is greater with some materials than with others. Slippage may be checked conveniently during the course of testing of a routine sample at a missile weight

wherein both failures and non-failures are being observed. Either of the following procedures is effective.

8.2.1 Before dropping the missile on a clamped specimen, draw a circle on the film using a ball-point pen in contact with the inside wall of the upper clamp. Apply only the pressure of the pen itself to the film. After the dart is dropped and prior to removing the plastic film, draw another circle using a ball-point pen of another color. If the lines are drawn, distinct double lines at any point on the circumference show that slippage has occurred. (**Warning**—For safety reasons, the dart should not be in the dart release mechanism while drawing the circle.)

8.2.2 If crocus cloth or sandpaper is affixed to the gaskets to effect greater gripping, determine slippage simply by inspecting the clamped film area after impact for evidence of scratch marks produced as slippage occurred.

### STAIRCASE TESTING TECHNIQUE

#### 9. Procedure

9.1 By this technique, a uniform missile weight increment is employed during test and the missile weight is changed after test of each specimen.

9.2 Select Test Method A or Test Method B for use, as desired, or as required by the relevant material specification. Set up the apparatus for testing as described in 8.1. If desired, carry out a slippage check as described in 8.2 at some point during the course of testing.

9.3 Measure and record the average thickness of the test specimens in the area of impact to the nearest 0.0025 mm (0.0001 in.).

9.4 For a starting point, select a missile weight near the expected impact failure weight. Add the necessary number of incremental weights onto the dart shaft and put the locking collar into place so that the weights are held securely in place.

9.5 Select a missile weight increment  $\Delta W$  appropriate to the impact strength of the sample: The value chosen for  $\Delta W$  should be such that three to six (but at least three) missile weights will be employed in the determination. A  $\Delta W$  value equal to some 5 to 15 % of  $W_p$ , the impact failure weight, is usually appropriate.

9.6 Place the first test specimen over the bottom part of the clamp, making sure that it is uniformly flat, free of folds, and that it covers the gasket at all points. Clamp in place with the top part of the annular clamp.

9.7 Activate the dart release mechanism and put the dart into position. Release the dart. If the dart bounces off the specimen surface, catch the dart after it bounces to prevent both multiple impact with the specimen surface and damage to the hemispherical contact surface of the dart resulting from impact with metal parts of the apparatus.

9.8 Examine the test specimen for any evidence of slippage. If slippage occurs, this is reason to reject the results.

9.9 Examine the specimen to determine whether it has or has not failed. Record the result on a form such as that shown

in Fig. 2, using a 0 to denote non-failure and an X to denote failure, or any other similar convention to indicate non-failure or failure.

9.10 If the first specimen failed, decrease the missile weight by  $\Delta W$ . If the first specimen did not fail, increase the missile weight by  $\Delta W$ . Test the second specimen. Continue testing successive specimens, decreasing or increasing the missile weight by  $\Delta W$  between drops depending upon whether the preceding specimen did or did not fail.

9.11 After 20 specimens have been tested, count the total number,  $N$ , of failures, (X's). If  $N = 10$  at this point, testing is complete. If not, complete testing as follows:

9.11.1 If  $N < 10$ , continue testing additional specimens until  $N = 10$ , then stop testing.

9.11.2 If  $N > 10$ , continue testing additional specimens until the total number of non-failures (0's) reaches 10, then stop testing.

#### 10. Calculation

10.1 On the data record-calculation form (see Fig. 2), record under  $n_i$  the total number of X's at each missile weight, counting only the last 10 X's during test.

Note 7—If, during test, after 20 drops,  $N < 10$  or  $N = 10$ , there will be only 10 X's after testing is complete. Only where  $N > 10$  after 20 drops will it be necessary to omit some of the earlier X results.

10.2 Under  $i$ , enter integers 0, 1, 2, etc. for each  $n_i$  entry. Enter 0 for the lowest missile weight at which an  $n_i$  value has been entered, a 1 for next higher missile weight, etc.

10.3 Under  $in_i$ , enter the product of  $i$  times  $n_i$ .

10.4 Add the  $n_i$ 's and enter as  $N$ ; by the procedure described,  $N$  will always be 10. Add the  $in_i$ 's and enter as  $A$ . Enter  $W_p$ , the missile weight to which an  $i$  value of zero is assigned. Enter  $\Delta W$  the uniform missile weight increment employed.

10.5 Calculate the impact failure weight  $W_p$ , g, as follows:

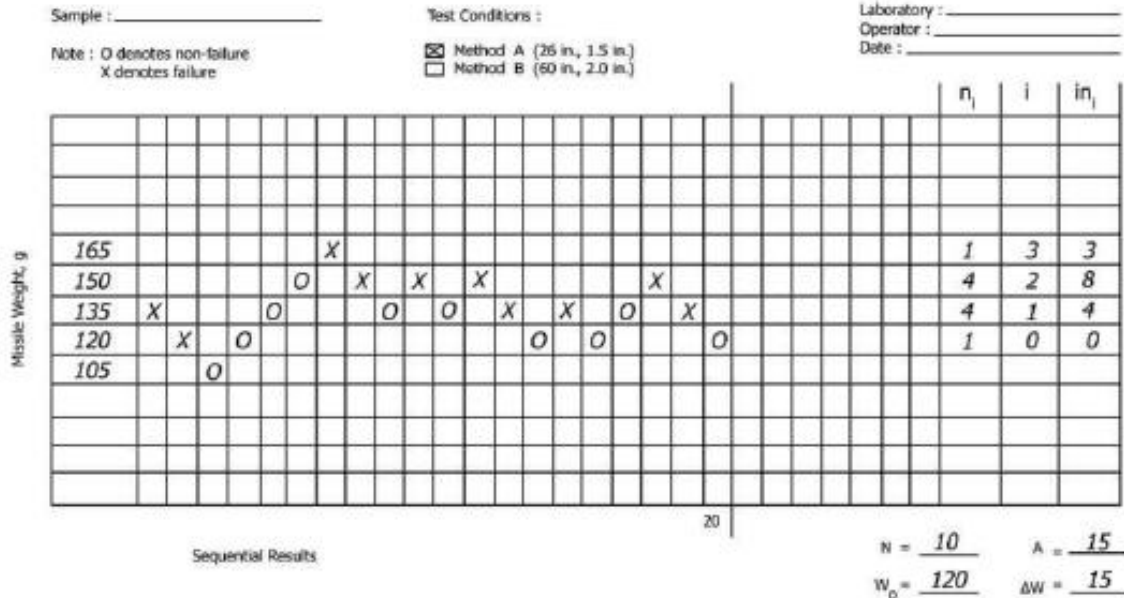
$$W_p = W_p + [\Delta W(A/N - 1/2)]$$

### ALTERNATIVE TESTING TECHNIQUE

#### 11. Procedure

11.1 By this technique, successive groups of ten specimens each are tested. For each group, one missile weight is employed and from group to group missile weight is varied in uniform increments. Testing is carried to a point where there are at least five results for percentage failure: one 0 % result, one 100 % result and at least three results between 0 and 100 %.

Note 8—In quality control work, one may find it useful to estimate  $W_p$  from fewer than five failure results at missile weights not necessarily uniformly spaced. Of these, no result should be 0 or 100 % failure, at least one result should be less than 50 %, and at least one result should be greater than 50 %. Either the individual results or moving averages-of-two are plotted on probability paper (see 12.4), a straight line is fitted, and  $W_p$  is read from the plot. Values of  $W_p$  estimated in this manner will be unbiased but will not be as precise as values derived from at least five failure results employing uniform missile weight increments as previously described.



NOTE 1—

$$W_p = W_o + [\Delta W (A/N - 1/2)]$$

$$= 120 + [15(15/10 - 1/2)]$$

$$= 120 + [15(1.5 - 0.5)]$$

$$= 135 \text{ g.}$$

FIG. 2 Determination of Dart Impact Failure Weight

11.2 Select Test Method A or Test Method B for use, as desired, or as required by the relevant material specification. Set up the apparatus for testing in accordance with 8.1. If desired, carry out a slippage check as described in 8.2 at some point during the course of testing.

11.8 If the failure result for the first group of ten specimens is 0 or 100 %, increase or decrease the missile weight by 15 g or more for Test Method A or 45 g or more for Test Method B and test another ten specimens as previously described. Continue in this manner until a failure result between 0 and 100 %

11.3 Measure and record the average thickness of the test specimens in the area of impact to the nearest 0.0025 mm (0.0001 in.).

11.4 For a starting point, select a missile weight near the expected impact failure weight. Add the necessary number of incremental weights onto the dart shaft and put the locking collar into place so that the weights are held securely in place.

11.5 Place the first test specimen over the bottom part of the clamp, making sure that it is uniformly flat, free of folds, and that it covers the gasket at all points. Clamp in place with the top part of the annular clamp.

11.6 Activate the dart release mechanism and put the dart into position. Release the dart. If the dart bounces off the specimen surface, catch the dart after it bounces to prevent both multiple impact with the specimen surface and damage to the hemispherical contact surface of the dart resulting from impact with metal parts of the apparatus.

11.7 Test a total of ten specimens at the selected starting missile weight. Record the missile weight and the percentage of failures.

is obtained. Continue testing groups of ten specimens, varying the missile weight between tests by the selected uniform increment, until results encompassing the entire range from 0 to 100 % failure inclusive have been obtained.

NOTE 9—For efficiency in testing, it is suggested that the missile weight increment selected initially be relatively large so that 0 and 100 % failure results will be found after testing only two or three groups of specimens. "Fill-in" results between the corresponding extremes of missile weight can then be obtained in subsequent testing.

11.9 At this stage, if the minimum five results described in 11.1 have been obtained, testing is complete. If not, select a new missile weight increment less than that employed initially. Test additional groups of specimens as previously described beginning at one weight increment below the lowest missile weight at which 100 % failure occurred. Continue testing specimen groups at increasingly lower missile weights employing the new uniform increment, until a result of 0 % failure is obtained (note that one or more of the percentage points found in 11.8 may be usable in this series employing a smaller weight increment). If the minimum five results have now been obtained, testing is complete. If not, select a still smaller

weight increment and repeat the preceding process, continuing in this manner until the minimum five results at uniform weight increments have been obtained.

**12. Calculation**

12.1 Determine impact failure weight,  $W_F$ , by calculation as described in 12.2 or by graphing as described in 12.4. These two approaches give essentially the same results.

12.2 Calculate  $W_F$  as follows:

$$W_F = W_L - [\Delta W(S/100 - 1/2)]$$

where:

- $W_F$  = impact failure weight, g,
- $\Delta W$  = uniform weight increment used, g,
- $W_L$  = lowest missile weight, g, according to the particular  $\Delta W$  used, at which 100 % failure occurred, and
- $S$  = sum of the percentages of breaks at each missile weight (from a weight corresponding to no failures up to and including  $W_L$ ).

12.3 Example of calculation:

Given:	Missile Weight, g	% Failure
	91	0
	106	10
	121	20
	136	80
	151	100
		$S = 190$

$$\Delta W = 15 \text{ g}, W_L = 151 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} W_F &= W_L - [\Delta W(S/100 - 1/2)] \\ &= 151 - [15(190/100 - 1/2)] \\ &= 151 - [15(1.4)] \\ &= 130 \text{ g} \end{aligned}$$

12.4 Average successive pairs of missile weight-percent failure results, including 0 % and 100 % failure points, to obtain points for plotting. Construct a plot on probability paper with percent failure on the probability scale and weight on the linear scale after having dimensioned the linear scale such that the resultant straight line defined by the points will have a slope between about 0.3 and 1.0. Draw the best fitting straight line through the points and read  $W_F$  from the graph as that missile weight corresponding to the intersection of the straight line with the 50 % probability line.

12.5 Examples of the graphical method for determining  $W_F$  are given in Fig. 3. For the three cases shown, values of  $W_F$  determined by calculation by 12.2 are (1) 138, (2) 117, and (3) 92 g.

**13. Routine Inspection and Acceptance**

13.1 For routine inspection of thin plastic film of a specified gage received from an approved supplier, it shall be satisfactory to accept lots on the basis of testing a minimum of ten

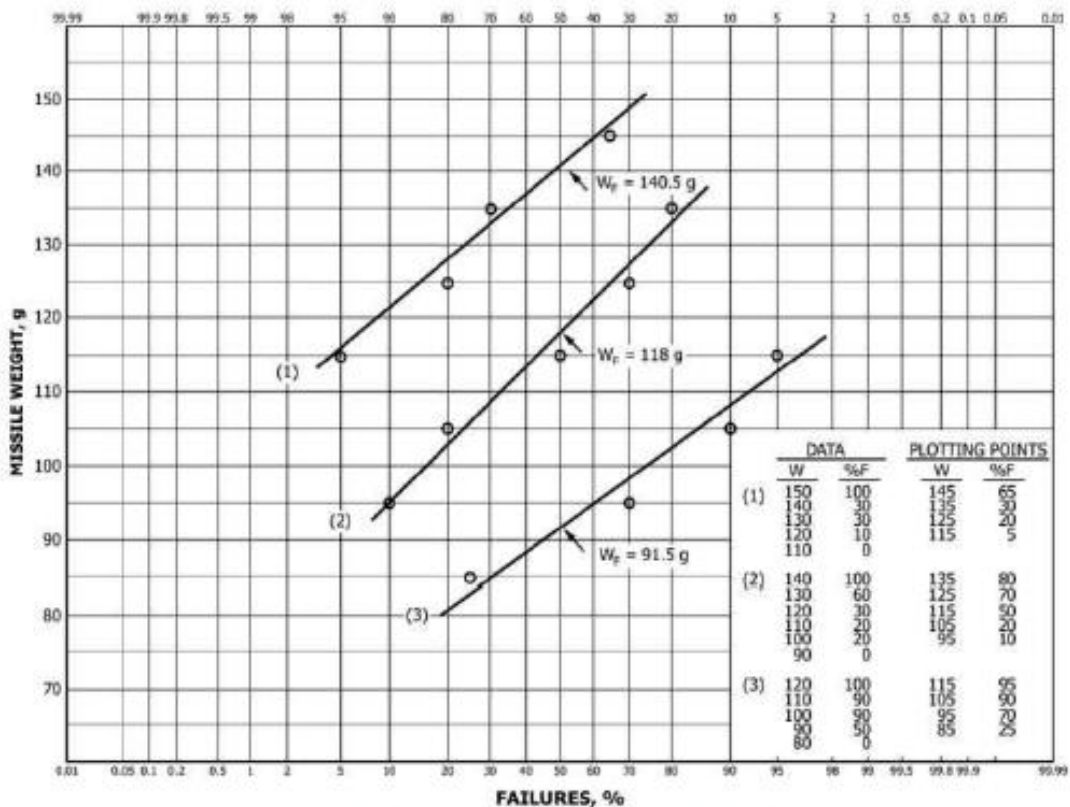


FIG. 3 Graphical Determination of Impact Failure Weight

specimens at a specified weight as stated in the relevant material specification. Under this procedure, a result of no more than five failures shall be acceptable.

#### 14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification and description of the material tested, including type, source, manufacturer's code, principal dimensions, and previous history.

14.1.2 Impact failure weight, to the nearest 1 g.

14.1.3 Method used.

14.1.4 Designation of dart head material.

14.1.5 Thickness of film tested and range of thickness for specimens tested.

14.1.6 Conditioning procedure followed.

14.1.7 Testing technique used, and

14.1.8 Date of test.

14.2 For routine inspection and acceptance testing only (13.1) the following shall be reported, instead of items 14.1.2 and 14.1.6:

14.2.1 Weight used, and

14.2.2 Number of failures.

#### 15. Precision and Bias<sup>4</sup>

15.1 Table 1 is based on a round robin conducted in 1989 in accordance with Practice E691, involving four materials tested by nine laboratories. For each material, all the samples were prepared at one source, but the individual specimens were prepared at the laboratories which tested them. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material. (**Warning**—The explanations of “*r*” and “*R*” (15.2 through 15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data presented in Table 1 should not be applied to acceptance or rejection of materials, as these data apply only to the materials tested in the round robin and are unlikely to be rigorously representative of other lots, formulations, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their materials and

<sup>4</sup> Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D20-1024.

**TABLE 1 Drop Dart Impact Data F-50**

Note 1—Values expressed in units of grams

Material	Average	$S_r^A$	$S_R^B$	$r^C$	$R^D$
Commercial Polyethylene	54	2.5	6.4	7.1	17.9
Polypolypropylene	78	8.4	14.1	23.8	39.4
EVA-film	328	60.6	120.3	234.2	336.9
LLDPE	372	30.4	111.1	85.2	311.1

<sup>A</sup>  $S_r$  = within-laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test result from all of the participating laboratories:

$$S_r = [(S_{r1})^2 + (S_{r2})^2 + \dots + (S_{rn})^2/n]^{1/2}$$

<sup>B</sup>  $S_R$  = between-laboratories reproducibility, expressed as standard deviation:

$$S_R = [S_r^2 + S_L^2]^{1/2}$$

where:  $S_L$  is the standard deviation of laboratory means.

<sup>C</sup>  $r$  = within-laboratory critical interval between two test results =  $2.8 \times S_r$ .

<sup>D</sup>  $R$  = between laboratories critical interval between two test results =  $2.8 \times S_R$ .

laboratory (or between specific laboratories). The principles of 15.2 through 15.2.3 would then be valid for such data.)

15.2 Concept of “*r*” and “*R*” in Table 1—If  $S_r$  and  $S_R$  have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from testing five specimens for each test result, then:

15.2.1 Repeatability—“*r*” is the interval representing the

critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory. Two test results shall be judged not equivalent if they differ by more than the “*r*” value for that material.

15.2.2 Reproducibility—“*R*” is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories, not necessarily on the same day. Two test results shall be judged not equivalent if they differ by more than the “*R*” value for that material.

15.2.3 Any judgement in accordance with 15.2.1 or 15.2.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

#### 16. Keywords

16.1 drop dart; impact; plastic film

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1.

TABLE X1.1 Impact Values by Four Test Methods

Material <sup>A</sup>	D3420 Procedure	D3420 Procedure	D1709		D4272	
	A <sup>B</sup>	B <sup>C</sup>	(Method A)			
	J	J	D	J	ft · lb · ft	J
PP, 1 mil	0.30	0.27	2 <sup>D</sup>	2 <sup>E</sup>	0.07 <sup>D</sup>	0.09 <sup>E</sup>
PP, 2 mil	0.95	0.85	75 <sup>C</sup>	0.48 <sup>F</sup>	5.17 <sup>D</sup>	7.01 <sup>E</sup>
LLDPE, 1 mil	0.52	0.41	47 <sup>G</sup>	0.30 <sup>G</sup>	0.36 <sup>H</sup>	0.48 <sup>H</sup>
LLDPE, 3.5 mil	1.43	0.97	309 <sup>I</sup>	2.00 <sup>I</sup>	2.46 <sup>H</sup>	3.34 <sup>H</sup>

<sup>A</sup>LLDPE (linear low density polyethylene).

<sup>B</sup>Four laboratories, two sets of data each.

<sup>C</sup>Eight laboratories, two sets of data each.

<sup>D</sup>Minimum weight of the tester was too heavy.

<sup>E</sup>One laboratory, one set of data.

<sup>F</sup>Three laboratories, one set of data each.

<sup>G</sup>Two laboratories, one set of data each.

<sup>H</sup>Two laboratories, one set of data each.

<sup>I</sup>Five laboratories, one set of data each.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D1709 - 09) that may impact the use of this standard. (January 1, 2015)

(1) Revised ISO equivalency statement (Note 3).

(2) Corrected decimal error in 5.2.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2859, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 848-2600; http://www.copyright.com/*