

**CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE LA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO SUPERMILAGE**

PRESENTADO POR:

JUAN MANUEL MANZANO MARTINEZ

CODIGO:1088018654

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2020

**CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE LA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO SUPERMILAGE**

PRESENTADO POR:

JUAN MANUEL MANZANO MARTINEZ

CODIGO:1088018654

DIRIGIDO POR:

ING. JOSE LUIS TRISTANCHO REYES

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2020

PEREIRA, AGOSTO 2020

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

PEREIRA, AGOSTO 2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, ya que, gracias a ellos y a sus esfuerzos, y a su apoyo incondicional, hoy soy la persona que soy.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, porque sin ellos no hubiera sido fácil llegar al punto en el que me encuentro, gracias por todo su apoyo su motivación su ayuda y sus buenos deseos, fueron pilares fundamentales para superar todas las dificultades.

Agradezco tan bien al ingeniero José Luis Tristancho, por aceptar, supervisar y guiar este trabajo hasta su culminación.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 2 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 3 |
| 4. OBJETIVOS | 3 |
| 4.1. OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 5. DEFINICIÓN MATERIAL COMPUESTO | 1 |
| 6. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS | 2 |
| 6.1. SEGÚN EL TIPO DE MATRIZ | 3 |
| 6.1.1. Materiales compuestos de matriz metálica (CMM) | 3 |
| 6.1.2. Materiales compuestos de matriz cerámica (CMC) | 4 |
| 6.1.3. Materiales compuestos de matriz polimérica (CMP) | 5 |
| 6.2. SEGÚN EL TIPO DE REFUERZO | 8 |
| 6.2.1. Compuestos reforzados con fibras | 8 |
| 6.2.2. Longitud y diámetro de fibras | 10 |
| 6.2.3. Orientación de las fibras..... | 11 |
| 6.3. MATERIALES COMPUESTOS ESTRUCTURALES | 12 |
| 6.3.1 Compuestos estructurales laminares | 12 |
| 6.3.2 Paneles de sándwich | 13 |
| 7. METODOLOGÍA | 14 |
| 7.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 7.2 MATERIAL DE TRABAJO | 15 |
| 7.3 OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS DE TRABAJO | 16 |
| 7.3.1 Probetas de flexión para carrocería..... | 16 |
| 7.3.2 Probetas de impacto para carrocería | 17 |
| 7.3.3 Probetas de tracción para carrocería | 17 |
| 7.3.4 Probetas de flexión para molde..... | 19 |
| 7.3.5 Probetas de impacto para molde | 20 |
| 7.3.6 Probetas de tracción para molde | 20 |

| | |
|---|-----------|
| 8. PRUEBAS DE RESISTENCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES | 21 |
| 8.1. PRUEBA DE FLEXIÓN | 21 |
| 8.2. PRUEBA DE TRACCIÓN | 23 |
| 8.3. PRUEBA DE IMPACTO | 25 |
| 8.4. PRUEBA DE DUREZA SHORE | 26 |
| 8.5. PRUEBA DE DENSIDAD | 27 |
| 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 28 |
| 9.1. PRUEBA DE IMPACTO | 28 |
| 9.2. PRUEBA DE DUREZA SHORE A | 31 |
| 9.3. PRUEBA DE TRACCIÓN | 32 |
| 9.4. PRUEBA DE FLEXIÓN | 34 |
| 9.5. PRUEBA DE DENSIDAD | 35 |
| 10. CONCLUSIONES..... | 37 |
| 11. RECOMENDACIONES | 38 |
| 12. BIBLIOGRAFÍA..... | 39 |

1. INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería Mecánica de la universidad Tecnológica de Pereira, como parte de un proyecto de emprendimiento y formación y conformado por algunos estudiantes del programa de ingeniería mecánica se encuentran en la labor de la construcción de un vehículo para la puesta en escena en el evento Shell Eco Marathon que se llevara a cabo en Brasil y posteriormente en USA.

Este evento se trata de una competencia abierta a estudiantes de todo el mundo, con tres grandes ediciones: una en Estados Unidos, otra en Europa, y una en Asia. En los últimos años también se ha llevado a cabo una en Brasil. La competencia lleva ya muchos años, y empezó como una apuesta entre científicos, tratando de generar el vehículo más eficiente. Este espíritu competitivo de usar menos combustible para ir más lejos fue materializado de gran forma en Francia en 1985, donde se llevó a cabo el primer Shell Eco Marathon a gran escala. Año a año, estudiantes universitarios y de escuelas han empezado a crear sus propios vehículos, buscando inventivas maneras de mejorar la eficiencia en el consumo de energía.

En la búsqueda de la innovación, se hace necesario hacer uso de las nuevas tecnologías y de los nuevos materiales que algunos fabricantes introducen a los mercados; estos nuevos productos buscan ofrecer algunas características específicas basándose en mezclas de distintos compuestos que les otorgaran a los nuevos materiales mayor resistencia para usos estructurales, ofreciendo mayor resistencia y bajando significativamente el peso de estos. Su estudio se hace necesario con el fin de conocer que tan efectivos pueden ser estos nuevos materiales compuestos a la hora de realizar una construcción en base a estos, es fundamental conocer que tan resistentes pueden llegar a ser y si sus beneficios son tan efectivos como se plantean.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el evento Shell Eco Marathon es indispensable la construcción de un vehículo, este deberá contar con sus respectivos parámetros y análisis de diseño para lo cual es fundamental conocer a fondo los materiales con los cuales será elaborado ya que con base a estos se tendrán los valores necesarios para complementar los respectivos cálculos para su fabricación.

La empresa Novasuin S.A.S ha sido tenida en cuenta para suministrar el material con el cual posiblemente se llevara a cabo la fabricación de la carrocería del automóvil Supermilage el cual será el vehículo participante en nombre de la Universidad Tecnológica de Pereira; Novasuin S.A.S es una empresa dedicada a la producción y comercialización de resinas poliéster, fibra de vidrio, componentes estructurales y demás completos afines orientados al mercado de los plásticos reforzados (material compuesto).

Debido a la naturaleza de la competencia, se ve factible el uso de materiales compuestos en la fabricación de la carrocería, siendo estos, muy livianos lo cual generara la ligereza que el vehículo necesita, además también de comprobar que presentan buenas propiedades mecánicas las cuales pueden favorecer al vehículo en temas de seguridad sin necesidad de volverlo más pesado.

3. JUSTIFICACIÓN

Aunque los materiales compuestos son materiales con buena resistencia mecánica, es necesario realizar un estudio del material que la empresa Novasuin S.A.S brindara para la fabricación de la carrocería del vehículo Supermilage. Es de fundamental importancia determinar cuan resistente puede llegar a ser ya que estará expuesto a un medio agreste que puede generar rupturas o degradaciones en él.

Para lo siguiente se deberá realizar una serie de pruebas tales como tracción, flexión, impacto, densidad y dureza con el fin de determinar las propiedades mecánicas que presenta el material polimérico suministrado por la empresa Novasuin S.A.S. lo cual dará paso, para que, en estudios posteriores, se determine si el material compuesto será adecuado o no para la fabricación de la carrocería del vehículo participante

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar mediante ensayos mecánicos, las propiedades del material compuesto proporcionado por la empresa Novasuin S.A.S el cual se utilizará para la fabricación de la carrocería del vehículo Supermilage.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el esfuerzo máximo a tracción al cual pueden ser sometidos los materiales para molde y carrocería en base a la norma ASTM D3039.
- Determinar la dureza Shore de los materiales de molde y carrocería, en base a la norma ASTM D2240.

- Determinar la densidad específica de los materiales de molde y carrocería, bajo los parámetros de la norma ASTM D 792.
- Determinar la resistencia al impacto de los materiales de molde y carrocería bajo la norma ASTM D 256.
- Determinar los esfuerzos máximos de flexión, en los materiales compuestos de molde y carrocería, bajo los parámetros de la norma ASTM D 790

5. DEFINICIÓN MATERIAL COMPUESTO

Un material compuesto (MC) se define como aquel que se forma por la unión de dos o más componentes insolubles entre sí, por lo cual no se produce una reacción química y lo que facilita que los componentes de la mezcla puedan ser identificados mediante medios físicos por su heterogeneidad; estas uniones se realizan con el fin de obtener mejoras en las propiedades del material original que no son posibles de obtener si se tiene cada uno por separado, tales propiedades pueden ser rigidez, resistencia, peso, rendimiento a alta temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad.

En estos materiales se pueden distinguir dos fases o componentes principales: una fase discontinua y más rígida, que se denomina refuerzo y otra fase continua y generalmente menos rígida, que se denomina matriz.

Las funciones del refuerzo se basan en la absorción de las tensiones, así como el incremento de la rigidez y la resistencia del conjunto. Por otro lado, la función de la matriz es proteger de los factores externos y servir de transmisor de los esfuerzos entre los componentes reforzantes generando estabilidad al conjunto.

En general, los materiales compuestos son materiales muy anisótropos, debido principalmente a la falta de homogeneidad en la distribución y orientación de los elementos de refuerzo dentro de la matriz.

La resistencia en los materiales compuestos depende de la naturaleza de las fibras utilizadas como elementos de refuerzo, su disposición y orientación en la matriz, y de la efectividad de la interface Fibra/Matriz.[1]

Los materiales compuestos se pueden clasificar, por su función de tipo de matriz, o bien en función del tipo de refuerzo que sea usado en su fabricación.

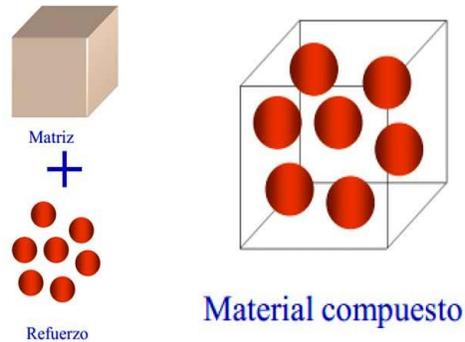


Figura1. Matriz y refuerzo del material compuesto. [2]

6. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

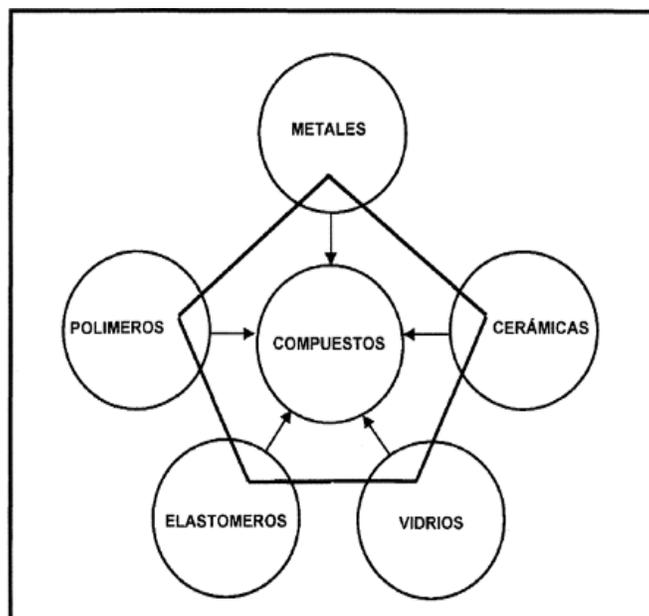


Figura 2. Clasificaciones materiales compuestos. [3]

6.1. SEGÚN EL TIPO DE MATRIZ

6.1.1. Materiales compuestos de matriz metálica (CMM)

Las matrices más utilizadas son metales de baja densidad ya que los materiales compuestos deben presentar propiedades específicas elevadas. Los materiales metálicos que han sido usados en mayor magnitud para la construcción de la matriz de los materiales compuestos son: aluminio, magnesio y titanio; estos refuerzos pueden ser a través de fibras o partículas.

Las matrices metálicas sustituyen en algunas aplicaciones a las poliméricas debido a las siguientes propiedades:

- Elevada resistencia y módulo.
- Resistencia elevada a la temperatura.
- Conductividad térmica y eléctrica.

Algunas de las funciones que tiene la matriz metálica en los materiales compuestos son:

- Proteger las fibras o partículas del ambiente exterior (aire, humedad).
- Propiciar la unión solidaria de los elementos que constituyen el refuerzo; unir las fibras entre ellas, pero separarlas para evitar la transmisión de grietas a través del compuesto, sobre todo en el caso de un refuerzo con fibras continuas.
- Repartir y transmitir las cargas de los elementos de refuerzo; en general, para que la transmisión sea óptima, la matriz debe deformarse plásticamente para tensiones netamente inferiores a las que está sometido el compuesto, y que su deformación sea inferior a la correspondiente a la rotura. La matriz no deberá tener un módulo de elasticidad demasiado elevado.

- Por último, las condiciones de utilización particulares del compuesto pueden exigir que la matriz presente buena resistencia a la corrosión o a la oxidación. [4],

Los materiales compuestos de matriz metálica se usan principalmente en la industria aeronáutica y aeroespacial debido a que en estas áreas los materiales deben presentar resistencias elevadas a la temperatura y la abrasión al igual que un bajo peso. [5]

6.1.2. Materiales compuestos de matriz cerámica (CMC)

Los compuestos de matriz cerámica están comprendidos por aquellos sólidos inorgánicos distintos a los metales, según su clasificación encontramos:

- **Vidrios:** Silicatos amorfos.
- **Materiales cerámicos tradicionales:** Las cerámicas tradicionales pueden definirse como aquellas que comprenden las industrias que tienen como base a los silicatos, principalmente los materiales arcillosos, los cementos y los vidrios de silicatos están constituidos por tres componentes básicos: arcilla, sílice (pedernal) y feldespato. Como ejemplo de estos materiales tenemos vasijas de barro cocido, porcelana y ladrillos
- **Nuevos materiales cerámicos:** Son los más utilizados en materiales compuestos. Están basados en compuestos de óxidos y carburos entre los que destacan:
 - Alúmina (Al_2O_3) que se obtiene de la bauxita, y se caracteriza por sus buenas propiedades mecánicas.
 - Carburo de silicio (SiC), que se obtiene a partir de arena y coque (tiene menor densidad que la alúmina). [6]

Estos materiales presentan propiedades notables como lo son la alta resistencia a elevadas temperaturas, baja densidad y excelentes propiedades mecánicas. Su mayor desventaja es la fragilidad, por lo tanto, uno de los objetivos de combinarlos con otros materiales para formar materiales compuestos es incrementar su tenacidad y tenacidad a la fractura.

6.1.3. Materiales compuestos de matriz polimérica (CMP)

Se denomina compuesto con matriz polimérica, a un material conformado por un polímero incorporado a una fase de refuerzo como fibras o polvos.

Son materiales con buenas propiedades mecánicas tales como tenacidad baja densidad, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos, lo que los convierte en materiales apropiadas para un extenso número de aplicaciones; y a causa de sus propiedades físicas, pueden ser moldeados con absoluta libertad de formas a través de la aplicación de calor.

Las matrices termoplásticas están formadas por moléculas unidas por fuerzas débiles, lo que les confiere la propiedad de reblandecerse y poder ser moldeadas por la acción del calor, endureciéndose al enfriarse, siendo todo ello un proceso reversible. Algunos ejemplos son: el polipropileno, poliamida, polietileno, etc.

Entre los polímeros termoplásticos más utilizados en la industria de los materiales compuestos se encuentran el polietileno, el nylon y el policarbonato.

Los materiales compuestos de matriz polimérica pueden clasificarse en:

6.1.3.1 Termoplásticos

Son polímeros que al exponerse a ciertas temperaturas pueden fundirse, permitiendo darle diversas formas que quedaran preservadas al enfriarse; estos materiales permiten fundirse y moldearse varias veces, pero a medida que se

realicen varios procesos irán perdiendo sus propiedades físicas disminuyendo su posibilidad de reutilización.

La composición de los termoplásticos es principalmente el petróleo crudo, el carbono el oxígeno y el hidrogeno; también pueden estar constituidos por otros elementos químicos tales como azufre, silicio, fósforo, nitrógeno, cloro y flúor en menor o mayor grado dependiendo del tipo específico de termoplástico que se trate.

Aplicaciones de los termoplástico

Gracias a la versatilidad de los termoplásticos, estos tienen múltiples aplicaciones. Por ejemplo, el policarbonato se emplea en la fabricación de vidrios irrompibles, faros para automóviles y lentes ligeras para anteojos. El PVC, además de utilizarse en la fabricación de tuberías, se emplea en la fabricación de cortinas de baño, impermeables, pisos de vinilo y cubiertas de vinilo para automóviles. El polietileno es el más usado de todos los plásticos, se encuentra en las bolsas de plástico, juguetes infantiles, chalecos antibalas, botellas de champú, bidones, e incluso como sustituto del hielo en grandes pistas de patinaje. El Polipropileno está disponible en forma de fibra, y se utiliza como un sólido material plástico en los envases para alimentos. También lo podemos encontrar en alfombras al aire libre. Por su dureza y resistencia el Poliestireno se utiliza principalmente en la fabricación de carcasas de computadoras y electrodomésticos. Asimismo, se emplea en la producción de vasos y juguetes de color claro. El nylon es comúnmente usado en la fabricación de ropa, y en la Segunda Guerra Mundial fue necesario para construir cuerdas y paracaídas. [7]

6.1.3.2 Termoestables

Los polímeros termoestables, son aquellos que solamente son blandos al calentarlos por primera vez. Después de enfriados no pueden recuperarse para transformaciones posteriores a diferencia de lo que sucede con los materiales

termoplásticos; poseen una estructura entrecruzada, por lo cual se convierten en resinas muy rígidas lo que trae como consecuencia que presenten baja elasticidad y por lo tanto alta fragilidad.

Ejemplos y aplicaciones de algunos materiales termoestables:

- Resinas epoxi - usados como materiales de pintura y recubrimientos, masillas, fabricación de materiales aislantes.
- Resinas fenólicas - empuñaduras de herramientas, bolas de billar, ruedas dentadas, materiales aislantes.
- Resinas de poliéster insaturado - fabricación de plásticos reforzados de fibra de vidrio conocidos comúnmente como poliéster, masillas. [8]

6.1.3.3 Elastómeros

Son polímeros que poseen cadenas con mucha libertad de movimiento molecular; lo cual les otorga propiedades tales como alta elongación y gran flexibilidad ante cargas antes de fracturarse.

Entre sus aplicaciones y según el tipo de material elastómero encontramos:

- Goma natural - material usado en la fabricación de juntas, tacones y suelas de zapatos.
- Poliuretanos - Los poliuretanos son usados en el sector textil para la fabricación de prendas elásticas como la lycra, también se utilizan como espumas, materiales de ruedas, entre otros. [8]
- Polibutadieno - material elastómero utilizado en las ruedas o neumáticos de los vehículos dadas la extraordinaria resistencia al desgaste.
- Neopreno - Material usado principalmente en la fabricación de trajes de buceo, así como aislamiento de cables, correas industriales.

- Silicona - Material usado en una gama amplia de materiales y áreas dado a sus excelentes propiedades de resistencia térmica y química, las siliconas se utilizan en la fabricación de chupetes, prótesis médicas, lubricantes, moldes.



Figura 3. Estructura molecular CMP. [8]

6.2. SEGÚN EL TIPO DE REFUERZO

6.2.1. Compuestos reforzados con fibras

Se basa en adicionar al material que sirve como matriz, un refuerzo de fibras con el único fin de mejorar sus propiedades mecánicas, otorgándole al compuesto una mejor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia peso. Las fibras son las encargadas de recibir la mayor cantidad de esfuerzo que pueda sufrir el material; sus propiedades varían dependiendo de la cantidad de fibras, su orientación y la composición de la matriz.

En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, estas son resistentes, rígidas y de poco peso. Si el compuesto debe ser utilizado a altas temperaturas, las fibras deberán tener una temperatura de fusión alta. Por lo que la resistencia específica y el módulo específico de la fibra son características importantes y están determinadas por

Resistencia específica: $\frac{\sigma_y}{\rho}$

Módulo de elasticidad: $\frac{E}{\rho}$ [9]

Entre los refuerzos de fibras más utilizados se encuentran:

Fibras de vidrio: Se caracterizan por dar al material compuesto gran resistencia a la tracción, flexibilidad y resistencia a los ataques químicos.

Son fibras de carácter isótropo (su comportamiento no depende de la dirección del esfuerzo) debido a su estructura tridimensional y suelen llevar una capa protectora que evita daños superficiales en las mismas. El tamaño diametral de cada fibra oscila entre los 8-15 μm [9].

Fibras de carbono: Conformada por hilos de carbono que oscilan entre los 5-10 μm de diámetro. Entre sus características principales se encuentran una alta resistencia y rigidez; haciéndolo un material que puede ofrecer propiedades mecánicas similares al acero, pero conservando una ligereza similar a la madera y el plástico.

Son de carácter anisótropo, siendo más eficiente en las propiedades longitudinales que las transversales.

Fibras cerámicas: Fabricadas principalmente de cuarzo o sílice. Son flexibles y con bajo alargamiento a la rotura.

Fibras orgánicas: Son obtenidas a partir de polímeros, las más utilizadas son las fibras Kevlar, se caracterizan por ser fibras que pueden soportar altas temperaturas con la que se puede construir equipos ligeros, y de mucha resistencia (5 veces más fuerte que el acero) y a los que no les afecta la corrosión. [1]

| Material | Densidad (g/cm ³) | Resistencia a la tensión (ksi) | Módulo de elasticidad ($\times 10^6$ psi) | Temperatura de fusión (°C) | Módulo específico ($\times 10^7$ plg) | Resistencia específica ($\times 10^6$ plg) |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------|--|---|
| Polímeros: | | | | | | |
| Kevlar | 1.44 | 650 | 18.0 | 500 | 34.7 | 10.1 |
| Nylon | 1.14 | 120 | 0.4 | 249 | 1.0 | 2.9 |
| Polietileno | 0.97 | 480 | 25.0 | 147 | 7.1 | 13.7 |
| Metales: | | | | | | |
| Be | 1.83 | 185 | 44.0 | 1277 | 77.5 | 2.8 |
| Boro | 2.36 | 500 | 55.0 | 2030 | 64.7 | 4.7 |
| W | 19.40 | 580 | 59.0 | 3410 | 8.5 | 0.8 |
| Vidrio: | | | | | | |
| Vidrio E | 2.55 | 500 | 10.5 | <1725 | 11.4 | 5.6 |
| Vidrio S | 2.50 | 650 | 12.6 | <1725 | 14.0 | 7.2 |
| Carbono: | | | | | | |
| HS (alta resistencia) | 1.75 | 820 | 40.0 | 3700 | 63.5 | 13.0 |
| HM (alto módulo) | 1.90 | 270 | 77.0 | 3700 | 112.0 | 3.9 |
| Cerámicos: | | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | 3.95 | 300 | 55.0 | 2015 | 38.8 | 2.1 |
| B ₄ C | 2.36 | 330 | 70.0 | 2450 | 82.4 | 3.9 |
| SiC | 3.00 | 570 | 70.0 | 2700 | 47.3 | 5.3 |
| ZrO ₂ | 4.84 | 300 | 50.0 | 2677 | 28.6 | 1.7 |
| Whiskers: | | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | 3.96 | 3000 | 62.0 | 1982 | 43.4 | 21.0 |
| Cr | 7.20 | 1290 | 35.0 | 1890 | 13.4 | 4.9 |
| Grafito | 1.66 | 3000 | 102.0 | 3700 | 170.0 | 50.2 |
| SiC | 3.18 | 3000 | 70.0 | 2700 | 60.8 | 26.2 |
| Si ₃ N ₄ | 3.18 | 2000 | 55.0 | | 47.8 | 17.5 |

Tabla 1. Propiedades de materiales de refuerzo en fibras seleccionadas [11]

6.2.2. Longitud y diámetro de fibras

Según el tamaño de las fibras estas pueden ser largas, cortas o incluso continuas. A menudo se caracterizan sus dimensiones mediante la relación de forma l/d donde l es la longitud de la fibra y d su diámetro.

La resistencia del compuesto mejora cuando la relación de forma es grande. A menudo las fibras se fracturan debido a defectos de superficie. Fabricarlas con un diámetro lo más pequeño posible, le da a la fibra menos área superficial; en consecuencia, hay menos defectos que puedan propagarse durante el proceso o bajo carga. Tan bien se prefieren las fibras largas. Los extremos de una fibra soportan menos carga que el resto, por tanto, a menos extremos, mayor capacidad de las fibras para soportar cargas. [12]

6.2.3. Orientación de las fibras

Existen diversas formas de constituir un material compuesto reforzado con fibras, y cada configuración presenta una particularidad al momento de someter el material a esfuerzos. Los arreglos de fibras más utilizados son:

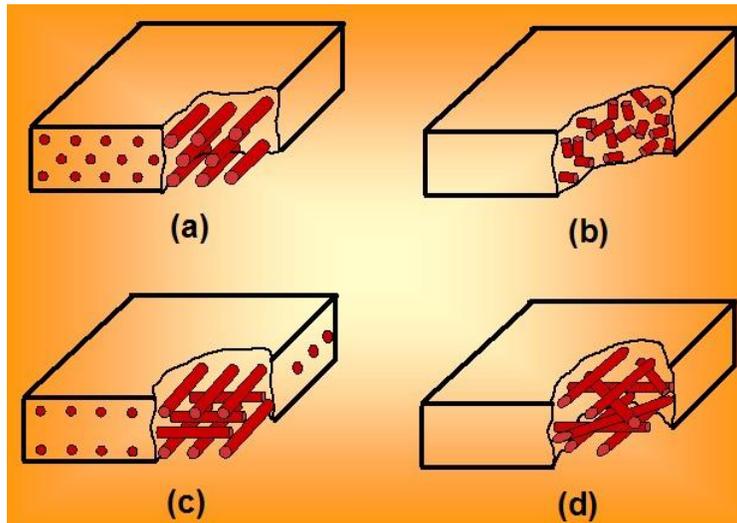


Figura 4. a) Fibras continuas unidireccionales. b) Fibras discontinuas orientadas al azar. c) Fibras ortogonales o tejidos. d) Fibras en capas múltiples.[13]

Las fibras continuas unidireccionales generan en el material propiedades anisotrópicas, si el esfuerzo es aplicado paralelo a las fibras este genera buenas propiedades tanto de resistencia y rigidez, mientras que si son esfuerzos perpendiculares las cualidades mecánicas del material se vuelven pobres, a diferencia de las fibras cortas orientadas al azar las cuales presentan un comportamiento más isotrópico debido a la variedad de orientación de las fibras.

Una de las principales ventajas de los materiales con refuerzo fibroso es que estos dependiendo de la necesidad se pueden diseñar con el fin de soportar diferentes condiciones de carga, pueden ser conformados por fibras cortas y fibras largas, dispuesta en diferentes direcciones o siguiendo un patrón tridimensional o entretejido el cual se observa en la figura 4 inciso (c) la cuales brindaran al material una distribución de esfuerzos más uniforme.

6.3. MATERIALES COMPUESTOS ESTRUCTURALES

Un material compuesto estructural está formado tanto por materiales compuestos como por materiales homogéneos y sus propiedades no solo dependen de los materiales constituyentes sino de la geometría del diseño de los elementos estructurales. Entre los compuestos laminares estructurales más comunes se encuentran los laminares y los paneles de sándwich.

6.3.1 Compuestos estructurales laminares

Este tipo de compuestos son diseñados con el fin de mejorar la resistencia a la corrosión de igual manera ofrecen una resistencia superior al desgaste o la abrasión, una mejor apariencia y características de expansión térmica poco usuales, todo esto manteniendo un bajo costo y bajo peso.

Las láminas nunca se superponen con la misma orientación. Se deberá estudiar a fondo la secuencia de aplicación y orientación adecuada para cada caso. La secuencia de aplicación y orientación tiene más importancia que las características físicas de las fibras y la matriz ya que con la variación de la secuencia de orientación y de apilado se logran obtener comportamientos radicalmente diferentes en resistencia, rigidez, tolerancia al daño, estabilidad dimensional o resistencia a esfuerzos de gran magnitud.

Un ejemplo de la aplicación de los compuestos laminares se puede apreciar en los capacitores los cuales se construyen alternando laminas conductoras y aislantes.

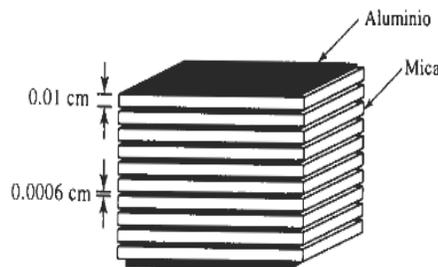


Figura 5. Capacitor compuesto de capas alternas de aluminio y mica. [14]

6.3.2 Paneles de sándwich

Los compuestos estructurales de tipo sándwich están compuestos por dos láminas o pieles delgadas fabricadas en diversos materiales como plástico reforzado, aluminio titanio, entre otros y un núcleo el cual se encarga de separar las dos pieles confiriéndole estabilidad; el núcleo suele fabricarse de materiales menos densos tales como polímeros espumosos, cauchos sintéticos, madera balsa o cementos inorgánicos.

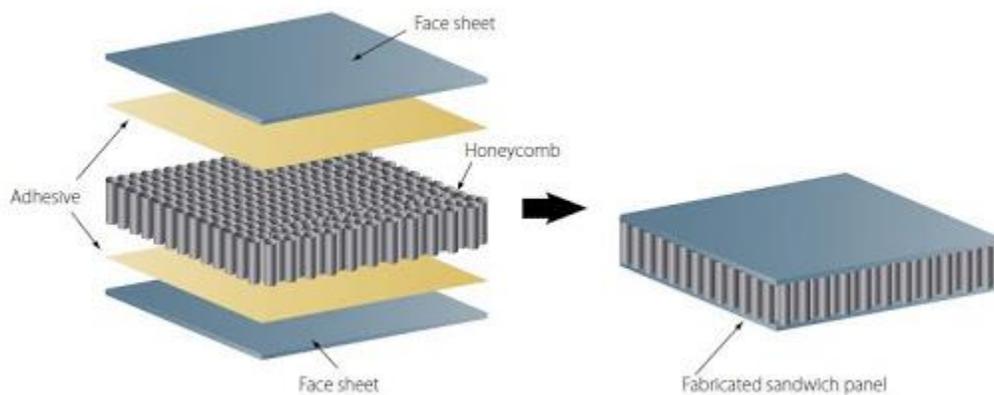


Figura 6. Estructura panel tipo sándwich. [15]

Este tipo de materiales se caracteriza por presentar bajo peso y porque presenta un aumento en su rigidez cuando es sometido a esfuerzos flectores y algunas otras características tales como:

- Excelente resistencia específica.
- Buena resistencia a fatiga, debido a la no existencia de concentradores de tensiones.
- Obtención de superficies lisas y suaves, que pueden ser recubiertas por algún material embellecedor, siendo esta característica de especial importancia para aplicaciones en el sector de la construcción.
- Resistencia al impacto.

- Elevado aislamiento térmico y acústico, especialmente con núcleos de espuma de poliuretano.
- Versatilidad de diseño.
- Bajo coste y tiempo de fabricación, gracias al uso de uniones adhesivas. [16]

7. METODOLOGÍA

En esta investigación se busca determinar las propiedades de dos placas creadas a partir de materiales compuestos, las cuales fueron otorgadas por la empresa Novasuin S.A.S; a estas placas se les realizaron las respectivas pruebas de resistencia las cuales nos otorgaran sus características principales. Las pruebas que se realizaran en esta investigación son: Prueba de tracción, prueba de impacto, densidad, dureza y flexión.

A continuación, se describirá con detalle los métodos utilizados, la maquinaria y los materiales que intervinieron en este trabajo.

7.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En primera instancia para el comienzo de esta investigación, se realizó la consulta bibliográfica previa, en distintas páginas de internet, artículos científicos, libros y tesis, dedicadas especialmente a los materiales compuestos y sus múltiples características y composiciones con el fin de comprender con qué tipo de material se iba a trabajar. Igualmente fue necesaria la revisión de las normas referentes a ensayos para materiales compuestos, cobijadas bajo normas ASTM-D las cuales proporcionan los procesos debidos para la realización de los ensayos.

7.2 MATERIAL DE TRABAJO

El material de trabajo otorgado por la empresa Novasuin S.A.S y utilizado para esta investigación, fueron dos placas de materiales compuestos formadas a partir de material polimérico, cada una de un tamaño aproximado de 50x50, una de las placas consta de un espesor aproximado de 2mm, la placa está conformada por una capa de pasta pigmento blanca, y una capa de resina reforzada con fibra de vidrio la cual será candidata a la carrocería del vehículo y la cual se observa en la figura 7, la otra placa consta de un espesor aproximado de 8 mm y está conformada en una estructura tipo sándwich de la siguiente manera, una capa de pasta pigmento, seguida por resina reforzada por fibra de vidrio, una capa de Spheretex y una última capa de resina reforzada con fibra, esta placa está destinada para servir como molde y se puede observar en la figura 8.



Figura 7. Lamina carrocería. Fuente: [Autor]



Figura 8. Lamina molde. Fuente: [Autor]

7.3 OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS DE TRABAJO

Bajo las normas ASTM se obtienen las geometrías de las probetas las cuales se someterán a ensayos en los equipos de los que dispone la Universidad tecnológica de Pereira, se procede a realizar los cortes de los respectivos materiales obteniendo los siguientes especímenes.

Para la placa destinada a la carrocería se tienen las siguientes geometrías.

7.3.1 Probetas de flexión para carrocería



Figura 9. Probetas flexión carrocería Fuente: [Autor]

7.3.2 Probetas de impacto para carrocería

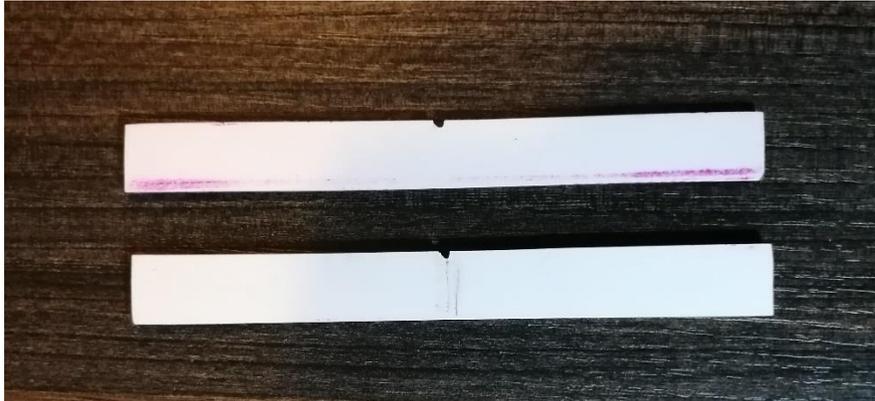


Figura 10. Probetas impacto carrocería Fuente: [Autor]

7.3.3 Probetas de tracción para carrocería



Figura 11. Probetas tracción carrocería. Fuente: [Autor].

Para esta geometría es necesario el refuerzo de los extremos de estas; las cuales pertenecen al espacio de sujeción de las mordazas de la máquina en la cual se

realizará el ensayo, esto debido a que, al sujetarse de estas, el espécimen se resbala y es imposible realizar el ensayo sin afectar tan bien su estructura.

El refuerzo se realiza por medio de pequeñas platinas de aluminio delgado y es adherido al material mediante sintesolda; un adhesivo epóxico de rápida acción.



Figura 12. Láminas de aluminio para refuerzo. Fuente: [Autor]



Figura 13. Adhesivo epoxico. Fuente: [Autor]



Figura 14. *Probetas tracción carrocería reforzadas.* Fuente: [Autor]

Para la placa destinada al molde se tienen las siguientes geometrías.

7.3.4 Probetas de flexión para molde

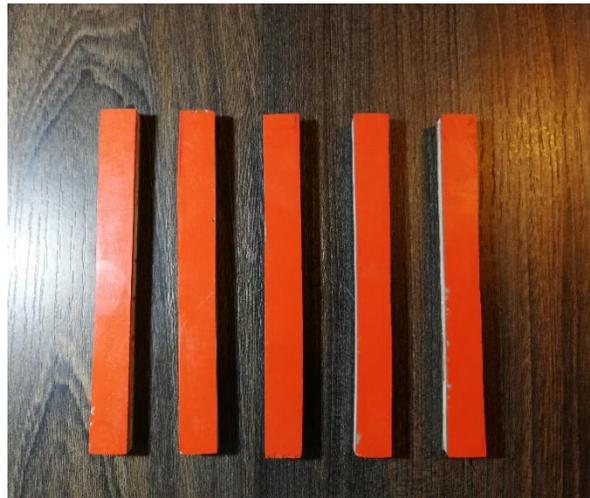


Figura 15. *Probetas flexión para molde.* Fuente: [Autor]

7.3.5 Probetas de impacto para molde



Figura 16. Probetas impacto para molde. Fuente: [Autor]

7.3.6 Probetas de tracción para molde



Figura 17. Probetas tracción para molde. Fuente: [Autor]

Al igual que las probetas de tracción para la carrocería, en estas muestras se vio la necesidad de realizar el mismo refuerzo con aluminio y adhesivo epóxico, en el lugar donde serán sujetadas por las mordazas de la máquina de ensayo.

Obteniendo el siguiente resultado.



Figura 18. *Probetas tracción para molde con refuerzo de aluminio.* Fuente: [Autor]

8. PRUEBAS DE RESISTENCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

8.1. PRUEBA DE FLEXIÓN

Esta prueba se realizó en el laboratorio de resistencia de materiales el cual se encuentra ubicado en la Universidad Tecnológica de Pereira. Para esto se hace uso de la máquina para flexión la cual se puede observar en la figura 19.

La máquina cuenta con dos apoyos fijos en la parte inferior los cuales se encargan de soportar las muestras de prueba, la distancia entre estos es de 81 mm; un tornillo sin fin y una manivela la cual provee de manera manual la velocidad para realizar el proceso de flexión en la probeta y un punzón de forma cilíndrica el cual hace contacto con la mitad del espécimen de prueba.



Figura 19. Equipo de ensayo para prueba de flexión. Fuente: [Autor]

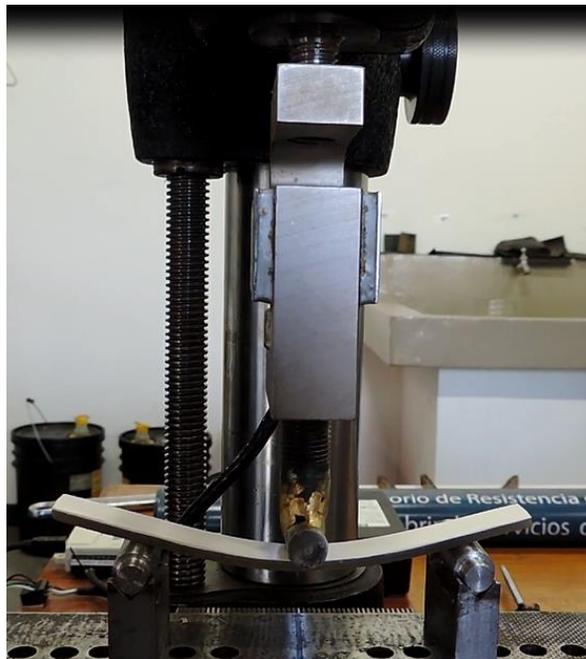


Figura 20. Montaje y ensayo para lámina de carrocería. Fuente: [Autor]

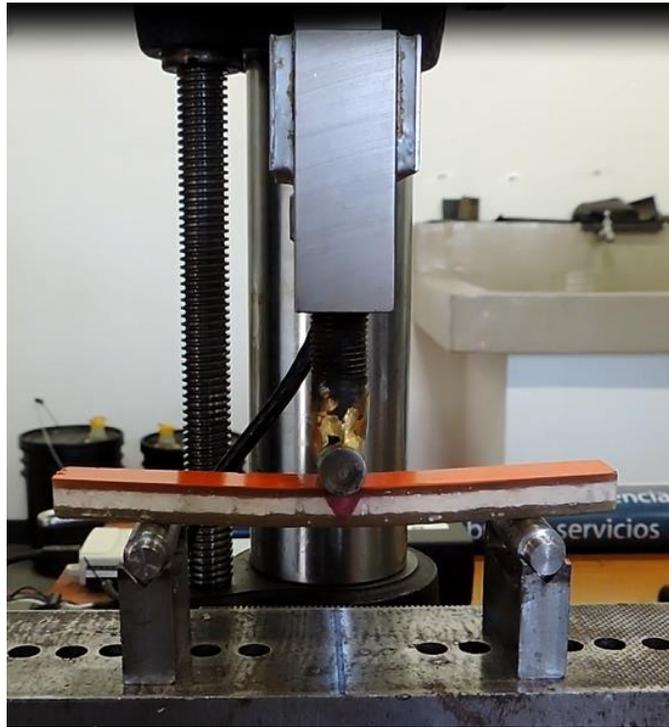


Figura 21. Montaje y ensayo para lámina de Molde. Fuente: [Autor]

8.2. PRUEBA DE TRACCIÓN

Al igual que la prueba anterior, esta se desarrolla en el laboratorio de resistencia de materiales que dispone la Universidad Tecnológica de Pereira. El ensayo se lleva a cabo en la máquina de ensayos universal UMIB 600-S

Para la realización de esta prueba es necesario conocer el área transversal de la probeta la cual se obtiene midiendo su ancho y su espesor, posteriormente estos datos son ingresados al software de la máquina, el cual de manera computarizada nos arroja las gráficas y los datos de análisis correspondientes a la prueba.



Figura 22. Máquina universal de ensayo para tracción.[17]

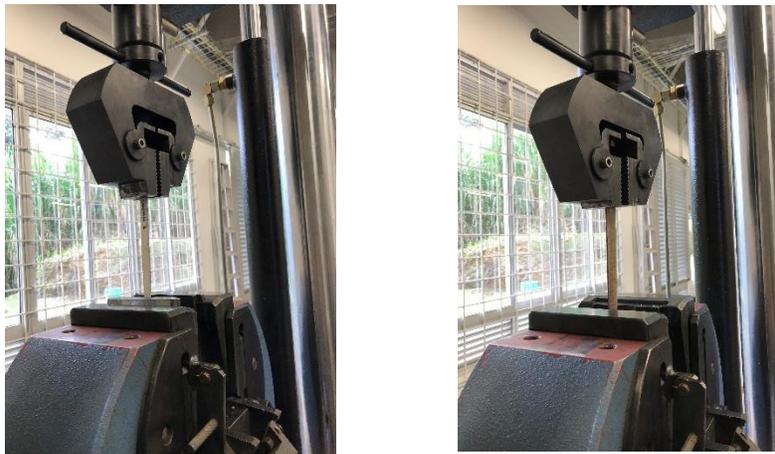


Figura 23. Montaje de la prueba de tracción. Fuente: [Autor]

Cumpliendo las especificaciones de la norma ASTM D-3039, el área libre de las probetas (área que no sujetan las mordazas) es de 150mm; para la realización de este ensayo la velocidad recomendable es de 2mm/min.

8.3. PRUEBA DE IMPACTO

Para la prueba de impacto se hace uso del péndulo Izod ubicado en los laboratorios de tribología de la Universidad tecnológica de Pereira. Este péndulo fue realizado como un trabajo de grado de dos estudiantes de la escuela de tecnología, su funcionamiento se basa en un programa de Arduino, el cual se encarga de darnos los datos relacionados con las energías inicial y final que soportan los especímenes de prueba al momento de soltar y dejar oscilar el péndulo sobre ellas. Según la norma ASTM D 256 de impacto para materiales poliméricos, el análisis de resultados se lleva a cabo obteniendo la energía total que absorbe la probeta (energía inicial menos energía final) dividiendo esta sobre la superficie de fractura del espécimen de muestra, con lo cual se obtiene la resistencia al impacto del material.



Figura 24. Montaje de la prueba de impacto. Fuente: [Autor]

8.4. PRUEBA DE DUREZA SHORE

La prueba de dureza del material, se lleva a cabo bajo la normatividad ASTM D2240, el equipo utilizado es un durómetro Shore A con una escala de 0 a 100, este equipo mostrado en la figura 25 es suministrado por el CECEND ubicado en la Universidad Tecnológica de Pereira.

Para la realización de la prueba y según la normatividad de dureza, se llevaron a cabo 5 mediciones en cada uno de los materiales, cada medición se toma aproximadamente a 20 mm de las tomas anteriores sobre el material, los resultados se obtienen del promedio de las mediciones tomadas.



Figura 25. Equipo de dureza Shore. Fuente: [Autor]

8.5. PRUEBA DE DENSIDAD

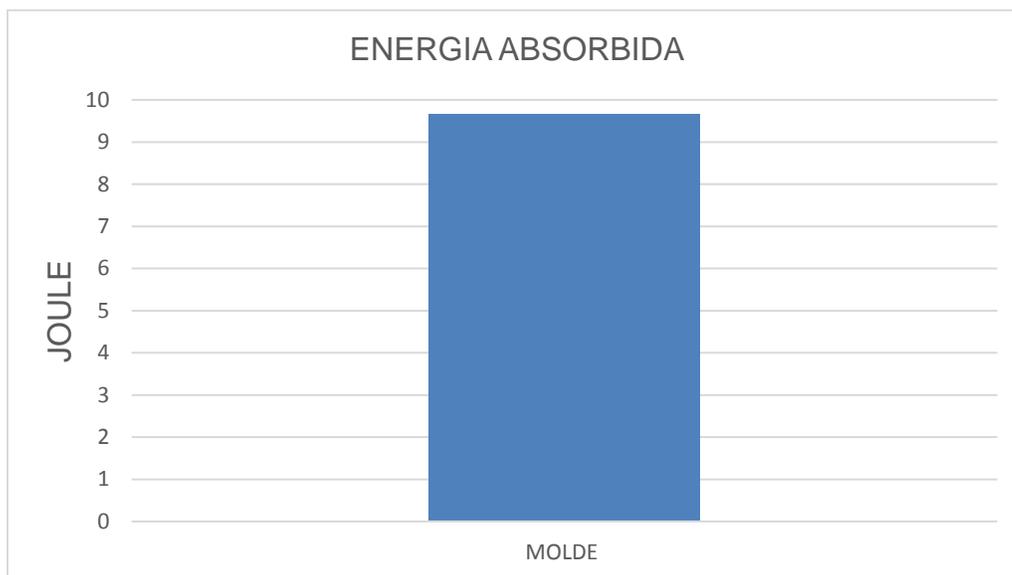
La prueba de densidad, mediante el concepto de geometrías regulares, para la realización de la prueba se extraen de las placas destinadas para molde y carrocería, dos especímenes de aproximadamente 6,3 X 7 cm, cada uno de ellos es pesado en una gramara con un mínimo de tres cifras significativas.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1. PRUEBA DE IMPACTO

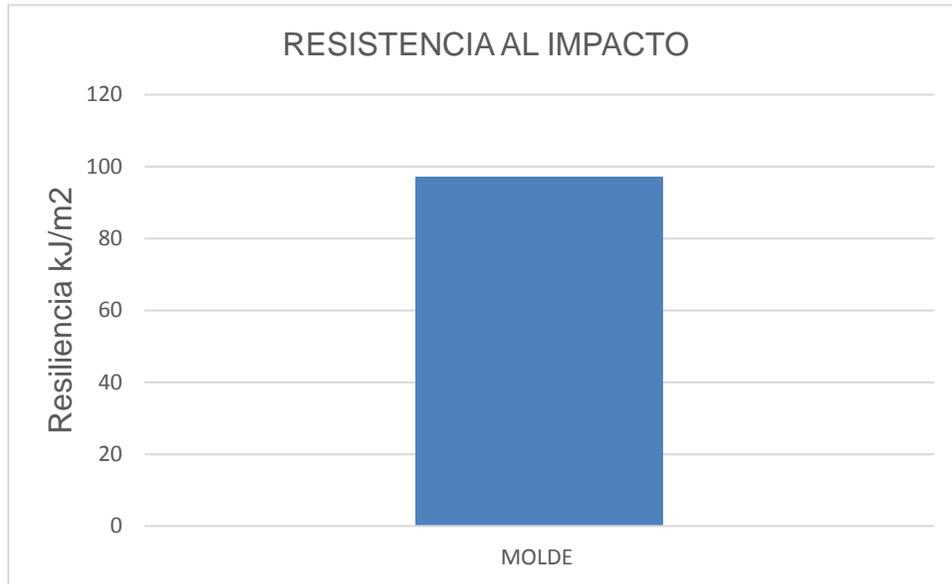
En esta prueba se obtienen dos resultados de resistencia al impacto de los dos materiales poliméricos objetos de estudio del presente trabajo. Debido a sus composiciones y el espesor de cada una de las muestras, los valores de impacto en ambos materiales presentan variaciones altas respecto a sus resultados, por esto no se los puede comparar.

En la gráfica 1, se presentan los resultados correspondientes a la energía absorbida por el material correspondiente al molde, según los resultados mostrados este material está en la capacidad de absorber aproximadamente el 95% de la energía de impacto que el péndulo genera al recaer sobre él, la energía aproximada que el péndulo proporciona es de 10 J.



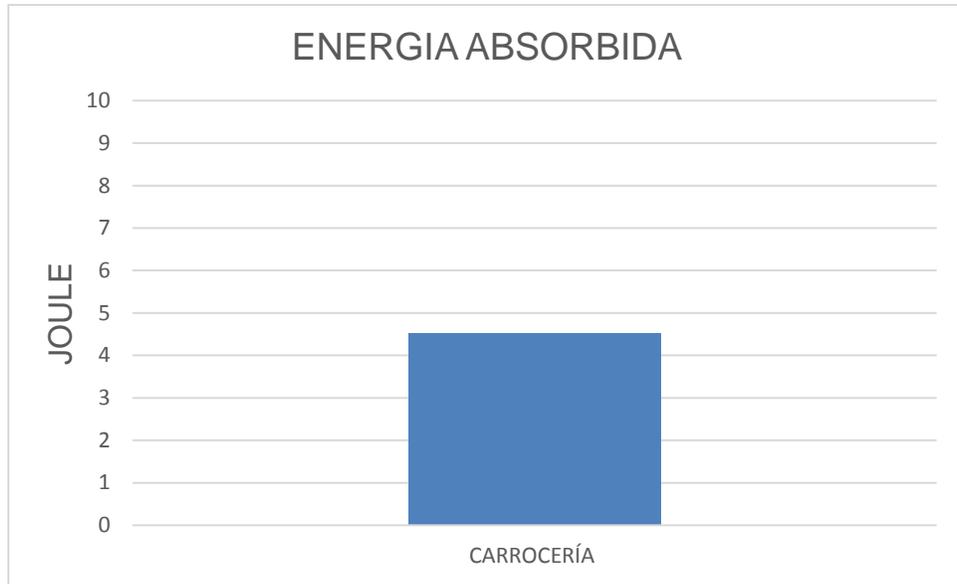
Gráfica 1. Energía total absorbida de la muestra para el molde.

En la gráfica 2, se presenta los resultados correspondientes a la tenacidad de impacto que presenta el material del molde se obtiene una resistencia al impacto promedio de 97,1322 kJ/m².



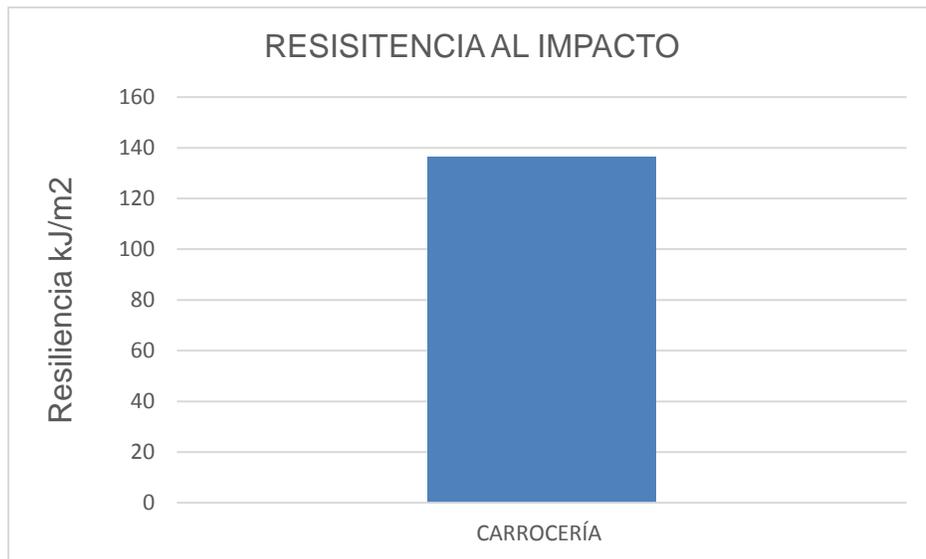
Gráfica 2. Resistencia al impacto de la muestra destinada para el molde.

En la gráfica 3, se presentan los resultados correspondientes a la energía absorbida por el material correspondiente a la carrocería del vehículo, la energía que logra absorber este compuesto es aproximadamente de un 45% de la energía de impacto proporcionada por el péndulo, se puede evidenciar que el material presenta propiedades muy frágiles al momento de resistir un impacto de mayor magnitud.



Gráfica 3. Energía total absorbida por la muestra de la carrocería.

En la gráfica 4, se presenta los resultados correspondientes a la tenacidad de impacto que presenta el material del molde se obtiene una resistencia al impacto promedio de 136,465 kJ/m².



Gráfica 4. Resistencia al impacto de la muestra destinada para la carrocería.

9.2. PRUEBA DE DUREZA SHORE A

Los resultados de esta prueba se enlistan en las tablas 2 y 3 ambos materiales presentan una variación aproximada del 10% respecto a sus durezas En la tabla 2 se enlistan los valores de dureza Shore A del material correspondiente al molde.

| DUREZA SHORE MOLDE | |
|--------------------|----------------|
| Toma | Dureza shore A |
| 1 | 94,5 |
| 2 | 93 |
| 3 | 94 |
| 4 | 97,5 |
| 5 | 97 |
| Dureza promedio | 95,2 |

Tabla 2. Resultados dureza shore A para el material del molde.

Obteniendo el promedio de las 5 medias realizadas se determina que la dureza en la escala Shore A es de 95,2; este resultado evidencia que el material posee buenas propiedades de dureza, según la escala seleccionada.

Los resultados correspondientes al material dispuesto para la carrocería se evidencian en la Tabla 3, al igual que el análisis anterior se dispusieron de 5 tomas distribuidas sobre toda la capa del material, con lo cual se obtiene una dureza tipo A promedio de 85,12

| DUREZA SHORE CARROCERÍA | |
|-------------------------|----------------|
| Toma | Dureza shore A |
| 1 | 92 |
| 2 | 80,5 |
| 3 | 81 |
| 4 | 82,2 |
| 5 | 89,9 |
| Dureza promedio | 85,12 |

Tabla 3. Resultados dureza shore A para el material de la carrocería.

9.3. PRUEBA DE TRACCIÓN

La figura 26, muestra la gráfica esfuerzo deformación y los resultados obtenidos durante la prueba de flexión para el material destinado para el molde.

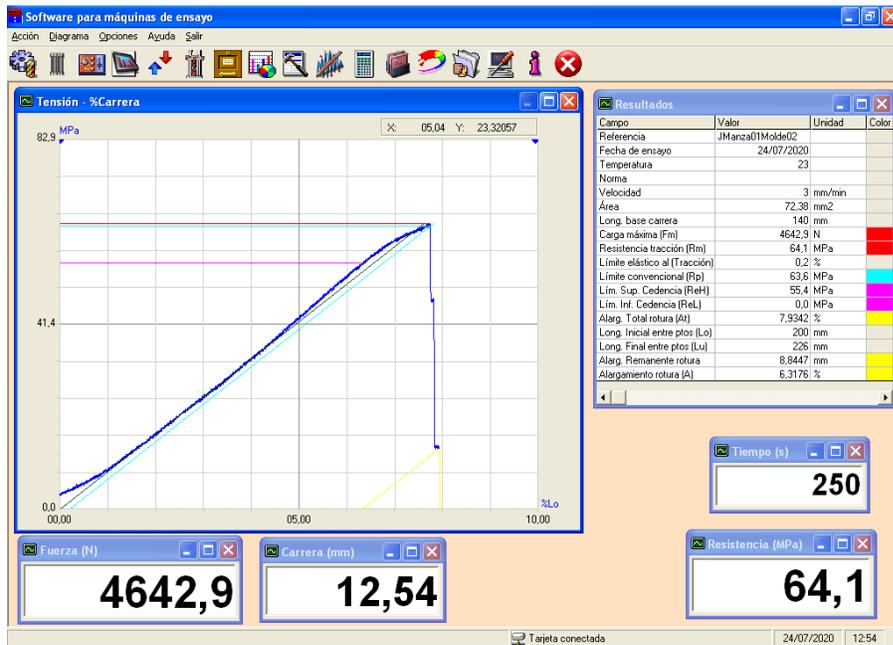


Figura 26. Resultados prueba de tracción para el material del molde.

Como primer resultado, evidenciado durante la realización de la prueba, se pudo determinar la fuerza máxima soportada por el material para llegar a la rotura definitiva, este valor corresponde a una fuerza total de 4642,9 N, al alcanzar este valor el alargamiento total o deformación que sufre el espécimen después de sobrepasar el límite elástico es de un valor aproximado del 6,3176% de su longitud.

La resistencia a la ruptura o esfuerzo máximo se presenta por un valor de 64,1 MPa alcanzado en un tiempo aproximado de 4,16 minutos (249,6 segundos). El límite elástico para esta composición se presenta por un valor de 55,4 MPa, donde después de sobrepasar este esfuerzo el material se empezará a deformar permanentemente hasta alcanzar su fallo, el valor para el módulo de elasticidad del material es aproximadamente de 4,6 MPa.

La figura 27, presenta los resultados obtenidos en el ensayo de laboratorio para el material correspondiente a la carrocería del vehículo

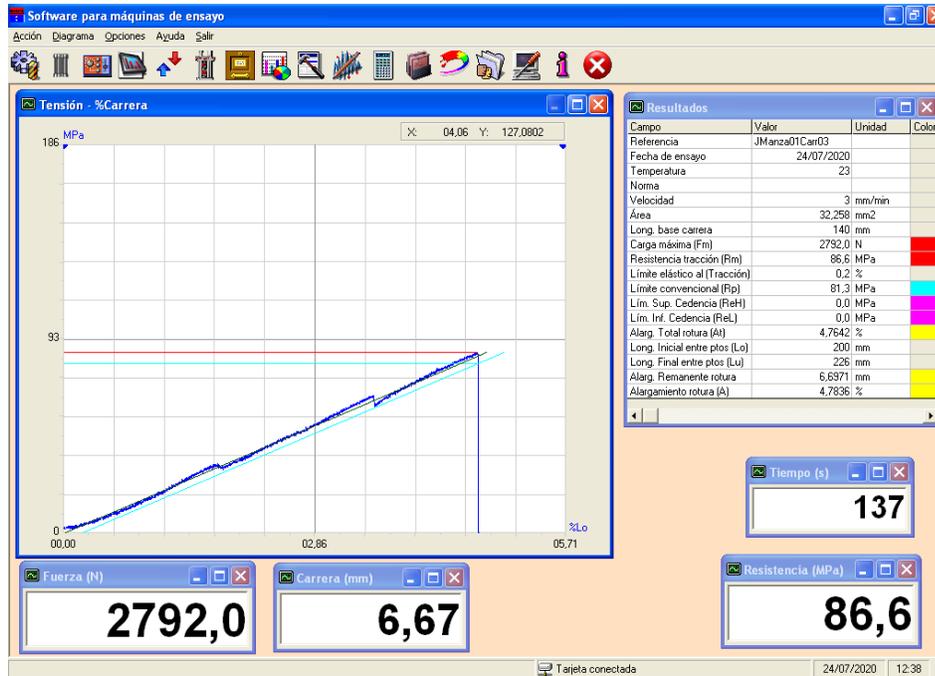


Figura 27. Resultados prueba de tracción para el material de la carrocería.

El material para la carrocería del vehículo soporta una fuerza máxima de 2792,0 N ante de llegar a su punto de rotura, el alargamiento de rotura total que logra obtener el espécimen al aplicar la carga y traccionarlo es de 4,7836%, este valor se obtiene después de que este sobrepasa el límite elástico y llega hasta su punto de fallo.

La resistencia a la ruptura o esfuerzo máximo se presenta por un valor de 86,6 MPa alcanzado en un tiempo aproximado de 2,28 minutos (136,8 segundos). El límite elástico para esta composición se presenta por un valor de 81,3 MPa, luego de pasar este valor de esfuerzo el material empezará a deformarse permanentemente hasta alcanzar su fallo, el valor para el módulo de elasticidad del material es aproximadamente de 6,5 MPa.

9.4. PRUEBA DE FLEXIÓN

Para esta prueba los resultados obtenidos son logrados cuando la probeta presenta ruptura al aplicar la carga de fuerza sobre ella.

Para la muestra correspondiente al molde se obtiene el siguiente resultado arrojado por la máquina de ensayo.

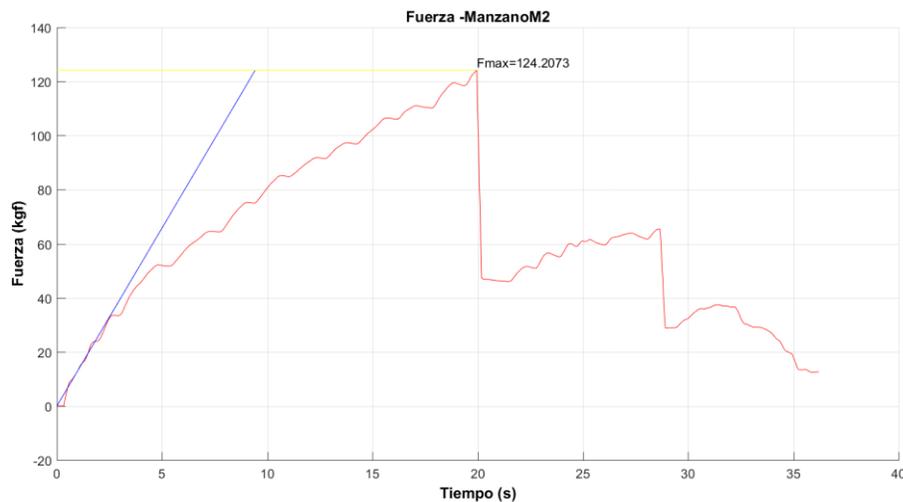


Figura 28. Resultado prueba de flexión para el molde.

Según la figura 28, el material correspondiente al molde sometido a flexión soporta una fuerza máxima aplicada antes de llegar al fallo por un valor aproximado de 124,2073 kg-f, el cual equivaldría a 1218,473N. El momento máximo que experimenta la muestra al momento de alcanzar la fuerza máxima de rotura equivale a un valor de 24674,087 N·mm.

Para obtener el esfuerzo máximo de flexión, es necesario conocer los valores de área de la sección para obtener su momento de inercia y así establecer el valor de dicho esfuerzo. Con estos valores establecidos con anterioridad se conoce que el resultado de esfuerzo máximo para flexión ronda alrededor de los 152,958 MPa.

La gráfica de la figura 29, corresponde a los resultados obtenidos para el material de la carrocería

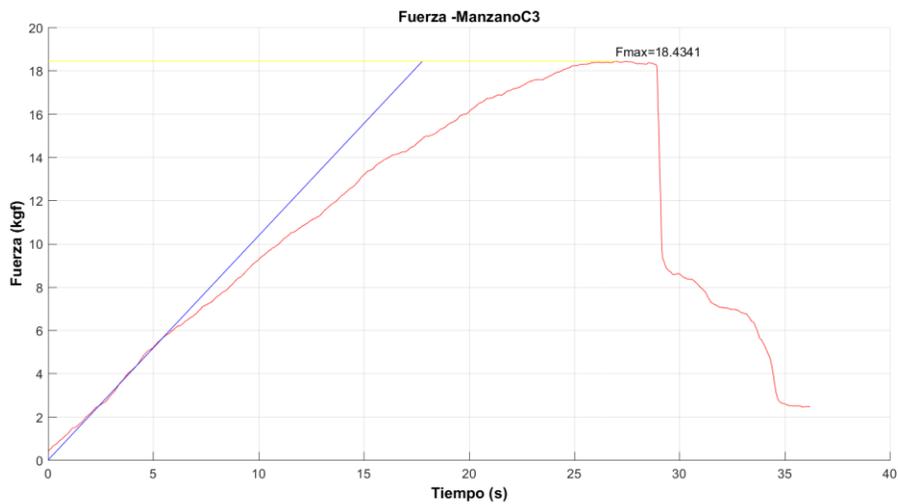


Figura 29. Resultado prueba de flexión para la carrocería.

Según la figura 28, el material correspondiente al molde sometido a flexión soporta una fuerza máxima aplicada antes de llegar al fallo por un valor aproximado de 18,4341 kg-f, el cual equivaldría a 180,8383936 N. El momento máximo que experimenta la muestra al momento de alcanzar la fuerza máxima de rotura equivale a un valor de 3661,977 N·mm.

El esfuerzo máximo a flexión, calculado teniendo en cuenta el área de la probeta junto con su momento máximo y su momento de inercia se presenta por un valor de aproximadamente 205,762 MPa.

9.5. PRUEBA DE DENSIDAD

Para el espécimen de prueba destinado para el molde, se procedió a tomar la masa de este obteniendo un valor de 0,035 gramos, el volumen para esta geometría es

de aproximadamente $35,28 \text{ cm}^3$. Estos dos valores representan una densidad de $0,000992 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Para la muestra obtenida a partir del material destinado para la carrocería, se obtiene un espécimen de masa igual a $0,015$ gramos, para esta muestra se obtiene un volumen de $8,82 \text{ cm}^3$. La densidad aproximada para este material es de $0,1323 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

10. CONCLUSIONES

- Fue posible realizar con éxito todas las pruebas necesarias y correspondientes para una adecuada caracterización de los dos materiales estudiados en este trabajo, de ambos se obtuvieron resultados precisos bajo los estándares de las normas ASTM D en todas las pruebas.
- Mediante el ensayo de impacto, se logra identificar que el material destinado para el molde, cuenta con una buena resistencia a este, absorbiendo un 95% de la energía suministrada por el péndulo de la máquina, sin sufrir deformaciones considerables. Mientras que la placa destinada a la carrocería es más frágil ante este tipo de solicitudes de carga.
- Las dos muestras de material, según la escala de dureza Shore A, presentan buenos resultados en esta prueba, en una escala de 0 a 100, ambos materiales sobrepasan esta escala teniendo resultados cercanos entre ambos.
- Mediante la prueba de tracción, se logran identificar valores tales como carga máxima soportada, módulo de elasticidad y esfuerzo máximo de tracción de ambos materiales, ambos demostrando que poseen buenas propiedades cuando se someten a tracción.
- Con la prueba de flexión realizada sobre los dos materiales de estudio, se logra identificar en ambos casos la fuerza máxima a la que puede ser sometido el material y su esfuerzo máximo ante este tipo de sollicitación de carga.
- Mediante el concepto de cuerpo uniforme se logra identificar la densidad de los dos materiales de estudio.

11. RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar el corte sobre el material de trabajo, debido a su dureza y a su composición, no es recomendable hacerlo a través de una cortadora láser, ya que por los dos aspectos mencionados el corte carboniza el material.
- Para la realización de las probetas de ensayo de tracción es necesario utilizar un refuerzo metálico o de lata para las esquinas de las probetas, esto debido a que las máquinas están diseñadas para trabajar principalmente con aceros y las mordazas no proveen de un buen agarre a las probetas de este tipo de materiales, igualmente se debe disponer de un buen adhesivo para que no se resbale el refuerzo durante el ensayo.
- Para realizar la prueba de flexión es necesario hacerla a ritmo continuo ya que, al ser una máquina operada manualmente, cualquier variación en la aplicación de la fuerza perjudicará el resultado.

12. BIBLIOGRAFÍA

[1]. Materiales compuestos. Recurso web:
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html>.

[2] Compuestos en matriz metálica. Recurso web:
<http://materialescompuestos66.blogspot.com/p/compuestos-en-matriz-metalica.html>.

[3] Compuestos en matriz metálica. Recurso web:
<http://materialescompuestos66.blogspot.com/p/compuestos-en-matriz-metalica.html>

[4] Recurso web:
https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/7038/mod_resource/content/1/materia_comp/tema-7-materiales-compuestos-de-matriz-metalica.pdf

[5] C. Edil da Costa, Velasco López, J.M Torralba Castello “Materiales compuestos de matriz metálica. I parte. Tipos propiedades, aplicaciones” Recurso web:
<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/viewFile/570/580>

[6] N. Lozano, V. Lovera, N. Gutiérrez “ Cerámicos tradicionales” Recurso web:
<https://nlozanob.wixsite.com/materialyprocess1/cer-micos-tradicionales>.

[7] Aristegui Maquinaria. “Qué son los termoplásticos? Composición características aplicaciones” 2020. Recurso web: <https://www.aristegui.info/que-son-los-termoplasticos/>

[8] Losadhesivos.com” ¿Que es un termoestable?” Recurso web:
<https://www.losadhesivos.com/termoestable.html>

[9] Donald R. Askeland “Ciencia e ingeniería de los materiales 3ra edición.” International Thomson Editores P 523.

[10] JM. Martínez, LA.Vargas “Estudio de propiedades mecánicas en láminas de fibra de carbono fabricadas mediante el proceso de laminación para elementos aeronáuticos” Universidad Tecnológica de Pereira 2019

[11] Donald R. Askeland “Ciencia e ingeniería de los materiales 3ra edición.” International Thomson Editores P 525.

[12] F. Stupenengo “Materiales y materias primas, materiales compuestos cap. 10” Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

- [13] Recurso web: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15_9_2.html
- [14] E Santiago Durazo R. "Diseño de elementos de aeronaves "materiales compuestos y selección de materiales" "Mexicali, B:C 2017
- [15] M Berniches Pintado "Diseño, cálculo y fabricación de una estructura central de satélite en material compuesto" Universidad Carlos III de Madrid Escuela politécnica superior 2017
- [16] L Castrejón, Miguel A Jiménez, A Miravete "Características de los elementos resistentes tipo sándwich construidos en materiales compuestos avanzados a partir de tejidos tridimensionales" ICMA-Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad de Zaragoza 1997.
- [17] Recurso web: <https://mecanica.utp.edu.co/laboratorio-de-resistencia-de-materiales.html>
- [18] ASTM Designation: D3039/D3039M "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials".
- [19] ASTM Designation:: D790 "Sta Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials"
- [20] ASTM Designation: D256_10 " Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics"
- [21] ASTM Designation: D792_13 "Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement".