



## **ING. AUTOMOTRIZ**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Artículo de Investigación para la obtención del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz**

**AUTORES:**

Andres Araujo Pila  
Richard Daniel Caisaguano  
Cepeda

**TUTOR:**

Msc. Gorky G. Reyes

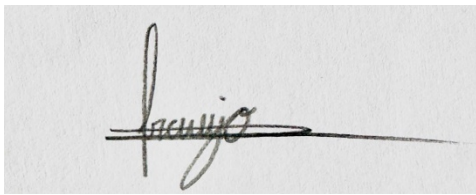
**Análisis Físico químico de materiales compuestos orgánicos para la fabricación de tableros**



## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

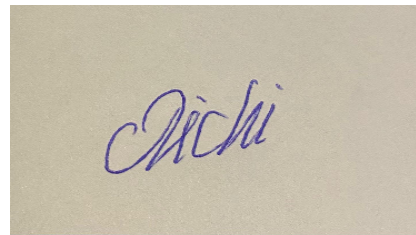
Nosotros, **Andres Araujo Pila** y **Richard Daniel Caisaguano Cepeda** declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo los derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



---

**Andres Araujo Pila**



---

**Richard Daniel Caisaguano Cepeda**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, **Reyes Campaña Guillermo Gorky**, certifico que conozco al autor del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

---

**Reyes Campaña Guillermo Gorky**

## ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

La Biblioteca de la Universidad Internacional del Ecuador se compromete a:

1. No divulgar, utilizar ni revelar a otros la **información confidencial** obtenida en el presente trabajo, ya sea intencionalmente o por falta de cuidado en su manejo, en forma personal o bien a través de sus empleados.
2. Manejar la **información confidencial** de la misma manera en que se maneja la información propia de carácter confidencial, la cual en ninguna circunstancia podrá estar por debajo de los estándares aceptables de debida diligencia y prudencia.

---

Guillermo Gorky Reyes Campaña  
**Coordinador**  
**Escuela de Ingeniería Automotriz**

---

Gabriela Fernández  
**Gestora Cultural**

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación es dedicado para mis padres por el esfuerzo, tiempo y recurso económicos que han empleado en mi educación, a mi abuela, quien me apoyo todos los días sin importar la hora del día, quien fue mi mano derecha en este proceso, a mi tía quien me aconsejo y me guio para convertirme en el profesional que hoy se gradúa, y a mi hermano, con el que podía hablar y me hizo salir adelante en los momentos más difíciles de mi carrera. Todo esto acompañado del objetivo claro de poder lograr un aporte significativo en mi vida y la sociedad.

Además, el factor importante de los valores y metas claras que mis padres han infundido en mí, a los amigos que hice a lo largo de este proceso y que estuvieron todos los días al lado mío, todos con diferentes metas y objetivos pero apoyándonos entre risas para alcanzar el mismo objetivo, sin ellos este proceso no hubiera sido el mismo y estoy agradecido de poder haber conocido tantas personas increíbles que con sus chistes, anécdotas e historias, hicieron mi paso por la universidad una experiencia única.

Andres.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Internacional Del Ecuador por darme la oportunidad de formar parte de la familia UIDE, de crear un buen profesional con pasión y amor por su carrera, así como la facultad de Ingeniería Automotriz que, en conjunto con los ingenieros y personal, han podido dejar en mi enseñanza, conocimiento y experiencias vividas, que me sirven como una herramienta para mi desempeño profesional en la sociedad, agradezco a MSc. Gorky G. Reyes, tutor de titulación por ser la guía, punto de referencia y apoyo con el fin de conseguir el requisito más importante para culminar mi etapa universitaria.

¡Muchas Gracias!

Andres.

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado, ante todo, a mis padres y a mi hermana, las personas que más quiero, más admiro y a quienes más agradezco en mi vida.

Gracias por haber confiado en mí desde el principio, por su amor incondicional y por estar siempre presentes en cada paso de mi camino. Su esfuerzo, sacrificio y apoyo constante me han permitido cumplir este sueño y convertirme en la persona y profesional que hoy soy. Todo lo que he logrado es fruto de lo que ustedes me han enseñado con su ejemplo, su paciencia y sus valores.

A ellos debo mi fortaleza, mi perseverancia y mi deseo de seguir creciendo, no solo para alcanzar mis metas, sino también para honrar todo lo que han hecho por mí.

Extiendo también mi gratitud a mi familia y amigos, quienes me acompañaron con su cariño y apoyo durante esta etapa tan significativa, y a mis docentes, por transmitirme sus conocimientos y guiarme con dedicación.

Finalmente, un agradecimiento muy especial a mi abuelito, quien siempre me acompañó y me dio fuerzas para continuar.

Richard.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a la Universidad Internacinal del Ecuador (UIDE) brindarme la oportunidad de formar parte de su comunidad académica y permitirme desarrollarme dentro de una institución comprometida con la excelencia y la formación integral de sus estudiantes.

Mi gratitud se extiende a la Facultad de Ingeniería Automotriz , por el valioso conocimiento impartido y por las experiencias que contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional. Cada enseñanza recibida se convierte hoy en una herramienta esencial para mi futuro desempeño en la sociedad.

De manera especial, deseo expresar mi sincero agradecimiento al Msc. Gorky G Reyes , tutor de titulación, por su guía constante, su apoyo y su compromiso durante el desarrollo de este trabajo. Su orientación fue clave para culminar con éxito esta importante etapa universitaria.

Asimismo, reconozco y valoro el esfuerzo de todos los docentes que formaron parte de mi formación académica. Gracias por compartir su conocimiento, su dedicación y sus consejos, que dejaron una huella significativa en mi proceso educativo.

Richard.

## INDICE DE CONTENIDO

.....	1
<b>CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA</b> .....	iii
<b>APROBACIÓN DEL TUTOR</b> .....	iv
<b>ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD</b> .....	v
<b>DEDICATORIA</b> .....	vi
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vii
<b>DEDICATORIA</b> .....	viii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	ix
RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	14
INTRODUCCIÓN .....	15
MARCO TEÓRICO .....	16
Antecedentes .....	17
Industria Automotriz .....	17
Huella de carbono .....	17
Fabricación de vehículos .....	18
Componentes 18	
Tableros automotrices .....	19
Materiales .....	19
Normativa 20	
Propiedades fisicoquímicas .....	21
MATERIALES Y METODOS .....	23
Método .....	23
MATERIALES .....	24
Probetas ASTM .....	24

Cámara Salina .....	25
Laboratorio de radiación UV .....	26
Normativas .....	27
Tableros de ABS .....	27
Tableros de PC reciclado .....	28
Tableros de Bio-propileno.....	29
RESULTADOS Y DISCUSION.....	30
RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	31
Prueba de niebla salina (ASTM B117, 240h) .....	31
Prueba de radiación UV(ASTM D4329, 500h).....	32
Prueba de envejecimiento climático (ISO 4892-2, 1000h) .....	33
Comparativa de resultados .....	33
CONCLUSIONES .....	35
BIBLIOGRAFÍA.....	36
ANEXOS.....	40
ANEXOS INTRODUCCIÓN .....	40
ANEXOS MARCO TEÓRICO.....	63
ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS .....	79
ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	96

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Evolución de materiales en paneles automotrices.....	20
<b>Tabla 2</b> Propiedades fisicoquímicas del plástico.....	22
<b>Tabla 3</b> Normas aplicadas en los ensayos .....	27
<b>Tabla 4</b> Normas aplicadas en los ensayos .....	30
<b>Tabla 5</b> Muestras analizadas en el laboratorio .....	31
<b>Tabla 6</b> Resultados de prueba de niebla salina.....	31
<b>Tabla 7</b> Resultados de radiación UV .....	32
<b>Tabla 8</b> Resultados de envejecimiento climático .....	33
<b>Tabla 9</b> Análisis general .....	34

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Huella de carbono en diferentes industrias.....	18
<b>Figura 2</b> Distribución de materiales en un auto .....	19
<b>Figura 3</b> Evolución de materiales en el vehículo.....	21
<b>Figura 4</b> Probeta ASTM DS38.....	24
<b>Figura 5</b> Probeta ASTM DS38.....	25
<b>Figura 6</b> Probeta ASTM B117 .....	26
<b>Figura 7</b> Cámara de niebla salina.....	26
<b>Figura 8</b> Radiación UV .....	28
<b>Figura 9</b> Tablero de ABS .....	29
<b>Figura 10</b> Tablero de PC Reciclado .....	29
<b>Figura 11</b> Tablero de Bio-propileno.....	29
<b>Figura 12</b> Comparación de resultados .....	35

# ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE MATERIALES COMPUESTOS ORGÁNICOS PARA LA FABRICACIÓN DE TABLEROS

*Ing. Gorky G. Reyes. MSc, Andres Araujo Pila.<sup>2</sup> Richard Daniel Caisaguano<sup>3</sup>*

*Maestría Especialidad - Universidad, Titulo Obtenido, gureyesca@internacional.edu.ec, Quito – Ecuador*

*<sup>2</sup> Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, anaraujopiide.edu.ec, Quito – Ecuador*

*<sup>3</sup> Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, ricaisaguanoce@uide.edu.ec., Quito – Ecuador*

## RESUMEN

La investigación analizó el desempeño de materiales compuestos sostenibles como alternativa a polímeros tradicionales empleados en tableros automotrices, frente al impacto ambiental generado por el uso de plásticos derivados del petróleo, responsables del 9 % de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. Se aplicó un método inductivo–deductivo mediante ensayos estandarizados (ASTM B117, ASTM D4329, NTE INEN 2637) sobre 18 probetas (6 de ABS, 6 de PC reciclado y 6 de Bio-propileno), evaluando pérdida de masa, brillo, color, retención mecánica y elasticidad. Los resultados mostraron que el Bio-propileno presentó el mejor desempeño global:  $\Delta E^* = 4,3$ , pérdida de brillo 12 %, pérdida de masa 1,2 % y retención mecánica 87 %, superando al ABS (2,8 %, 78 %) y al PC reciclado (4,6 %, 58 %). En promedio, el Bio-propileno superó en 23 % al ABS y en 44 % al PC reciclado, consolidándose como una alternativa técnica y ambientalmente viable para la fabricación sostenible de tableros automotrices.

**Palabras clave:** Materiales compuestos sostenibles, biopolímeros, tableros automotrices, impacto ambiental, Bio-propileno, ABS, policarbonato reciclado, ensayos ASTM.

## ABSTRACT

This research analyzed the performance of sustainable composite materials as an alternative to traditional polymers used in automotive dashboards, addressing the environmental impact caused by petroleum-based plastics responsible for 9% of global CO<sub>2</sub> emissions. An inductive–deductive approach was applied through standardized tests (ASTM B117, ASTM D4329, NTE INEN 2637) on 18 samples (6 ABS, 6 recycled PC, and 6 bio-polypropylene), evaluating mass loss, gloss, color variation, mechanical retention, and elasticity. Results showed that bio-polypropylene achieved the best overall performance:  $\Delta E^* = 4.3$ , gloss loss 12%, mass loss 1.2%, and 87% mechanical retention, outperforming ABS (2.8%, 78%) and recycled PC (4.6%, 58%). On average, bio-polypropylene exceeded ABS by 23% and recycled PC by 44%, confirming its technical and environmental viability as a sustainable alternative for automotive dashboard manufacturing.

**Keywords:** Sustainable composite materials, biopolymers, automotive dashboards, environmental impact, bio-polypropylene, ABS, recycled polycarbonate, ASTM tests.

## INTRODUCCIÓN

La producción de tableros en la industria automotriz es uno de los principales actores que generan contaminación mundial en su fabricación, dichas empresas enfrentan desafíos ambientales y sociales debido al uso de materiales derivados del petróleo y adhesivos con alto contenido de formaldehído, estas prácticas emiten compuestos orgánicos volátiles (VOCs).

*“La industria automotriz contribuye con el 9 % de las emisiones globales de efecto invernadero. Este estudio midió las emisiones de los vehículos durante todo su ciclo de vida (desde la extracción de materiales hasta el final de su vida útil).” (Greenpace, SinCarbono, 2024),* por ende, grandes empresas como: Toyota, Audi, honda, entre otras, han optado por la fabricación de elementos automotrices hechos a base de compuestos orgánicos como una propuesta alternativa viable para reducir su impacto ambiental, por lo que es importante examinar las propiedades fisicoquímicas de dichos materiales compuestos orgánicos mediante procedimientos experimentales normalizados para evaluar sus características y su viabilidad. *“Empresas como Ford, Toyota, Honda, BMW, y Audi están integrando materiales reciclados en sus vehículos, como plásticos de botellas PET, polipropileno de parachoques usados, y fibras de redes de pesca, para sus interiores, parrillas y otros componentes.” (Trujillo, E., MotorpasionMx, 2019).* Por tal motivo, la presente investigación busca analizar las características para determinar si estos materiales cumplen con criterios similares o superiores a los plásticos tradicionales.

Para la ejecución de esta investigación en una primera etapa se deberán de analizar conceptos, manuales y libros que aporten información de los materiales usados en la industria automotriz y a su vez evaluar materiales compuestos enfocados en la misma. Establecer pruebas de laboratorio que ayuden a valorar las propiedades fisicoquímicas de estos mismos materiales. Comparar y recopilar los datos obtenidos de los ensayos realizados, esto para determinar si los materiales cumplen con criterios de diseño, propiedades físicas y químicas para comprobar si cumplen con características similares al material original y la viabilidad que podrían tener estos materiales compuestos frente a convencionales.

En la actualidad, la contaminación causada por el uso de polímeros sintéticos representa uno de los mayores desafíos ambientales. La acumulación de plásticos de baja degradabilidad ha generado efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles que mantengan propiedades similares a los materiales convencionales pero con menor impacto ambiental. En este contexto, los biopolímeros fabricados a partir de fuentes naturales como el almidón, la caña de azúcar, las papas o los cereales, han surgido como una opción viable, ofreciendo rigidez y resistencia comparables a los polímeros tradicionales, pero con la ventaja de ser biodegradables. (Arias Pérez et al., 2022; McKay et al., 2024; PubMed, 2023).

El desarrollo de materiales compuestos se ha posicionado en el centro de la innovación industrial a nivel mundial. Estos materiales, reforzados con fibras naturales o sintéticas, permiten una reducción significativa de peso y un mejor desempeño mecánico, lo que ha impulsado su adopción en sectores como el transporte, la construcción, la medicina y la manufactura avanzada. Estudios recientes demuestran que los compuestos reforzados con fibras vegetales presentan un balance favorable entre desempeño y sostenibilidad, al reducir las emisiones de carbono durante su producción y uso. (Nivedhitha Durgam et al., 2022; Dahy, 2019; MRS Bulletin, 2023). Además, la modificación de matrices termoestables y biopoliméricas ha permitido desarrollar alternativas ecológicas que responden tanto a las exigencias del mercado como a las regulaciones ambientales actuales. (MDPI, 2020).

Diversas industrias han comenzado a incorporar materiales compuestos sostenibles para optimizar procesos y reducir su huella ambiental. En la arquitectura y la construcción, por ejemplo, las fibras naturales como el lino, el cáñamo o el coco se utilizan para reforzar paneles, estructuras y recubrimientos biodegradables, mientras que en el sector médico se aplican biopolímeros para fabricar prótesis y empaques con alta resistencia y bajo impacto ecológico. Del mismo modo, en la fabricación de productos de consumo, los materiales compuestos a base de biopolímeros han permitido crear empaques más ligeros, resistentes y reciclables. (Campos et al., 2008; Discover Applied Sciences, 2025; MDPI, 2020). Estos avances evidencian que la aplicación de materiales compuestos sostenibles no solo contribuye a reducir la contaminación, sino que también fortalece la innovación, la competitividad y la responsabilidad ambiental de las empresas a nivel global.

## MARCO TEÓRICO

## Antecedentes

En los últimos años, el parque automotor ha ido aumentando exponencialmente integrando en vehículos nuevas tecnologías y **materiales compuestos**, lo cual ofrece características como ligereza, resistencia y con una **huella de carbono** más reducida, como resultado de la constante evolución dentro del sector automotriz, el desarrollo enfocado en la **fabricación de vehículos y componentes** ha experimentado con nuevos materiales orientados tanto a la innovación tecnológica como a la sostenibilidad ambiental. En este ámbito, las **cabinas** y de manera particular, los **tableros automotrices** representan un área de interés debido a que los **materiales de los tableros** empleados tradicionalmente corresponden a **elementos plásticos** derivados del petróleo, los cuales, si bien ofrecen resistencia y durabilidad, generan impactos negativos en términos ambientales, frente a esta problemática, se han propuesto alternativas basadas en **elementos compuestos** provenientes de fuentes recicladas u orgánicas, cuyo análisis resulta imprescindible para valorar su viabilidad y si cumplen con criterios similares o superiores frente a materiales tradicionales, en este sentido, la evaluación de las **propiedades físicas y químicas** de dichos materiales constituye un aspecto fundamental para determinar si cumplen con los **parámetros de calidad**, seguridad y desempeño exigidos en la producción automotriz, aportando así al desarrollo de soluciones más sostenibles en el diseño y construcción de interiores vehiculares.

## Industria Automotriz

La industria automotriz es un sector clave en la economía mundial por su capacidad de innovación tecnológica, pero también uno de los mayores generadores de contaminación ambiental (*OICA, 2024*), en respuesta, muchas empresas han adoptado estrategias alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como:

- ODS 7: Energía asequible y no contaminante
- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura
- ODS 12: Producción y consumo responsable

Estas son algunas de las ODS más importantes que promueven el uso de materiales reciclados y biodegradables, además del desarrollo de vehículos eléctricos (*World Economic Forum, 2023*), Fabricantes como Volvo, Toyota, BMW y Ford integran plásticos reciclados, metales recuperados y fibras naturales en sus procesos, reduciendo emisiones y fortaleciendo su imagen sostenible (Trujillo, McKinsey and Company, 2022).

## Huella de carbono

Según la *European Automobile Manufacturers' Association (ACEA, 2024)*, fabricar un automóvil promedio genera entre 5 y 12 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, siendo los componentes plásticos y metálicos los principales responsables, el uso de materiales compuestos orgánicos o reciclados puede reducir hasta un 20 % estas emisiones gracias a su menor demanda energética y posibilidad de biodegradarse (*Greenpeace, 2022*). El método *Life Cycle Assessment (LCA)* permite medir este impacto, confirmando que los biopolímeros y fibras naturales son una alternativa viable hacia una movilidad más sostenible.

## Figura 1

*Huella de carbono en diferentes industrias*



Fuente:

*MansurSolar, Impacto ambiental de la industria automotriz (2023)*

### Fabricación de vehículos

La fabricación automotriz comprende el diseño, la conformación de piezas y el ensamblaje final, tradicionalmente dominada por el acero y el aluminio, ha evolucionado hacia el uso de polímeros y materiales compuestos que mejoran la relación resistencia–peso y reducen el consumo energético (*Callister & Rethwisch, 2020*), no obstante reemplazo de metales por compuestos poliméricos ha permitido disminuir hasta en 30 % el peso del vehículo, optimizando la eficiencia y reduciendo las *emisiones* (*Josh, L., 2024*). Procesos como el moldeo por inyección y termoformado también contribuyen a la reducción de residuos y costos de producción.

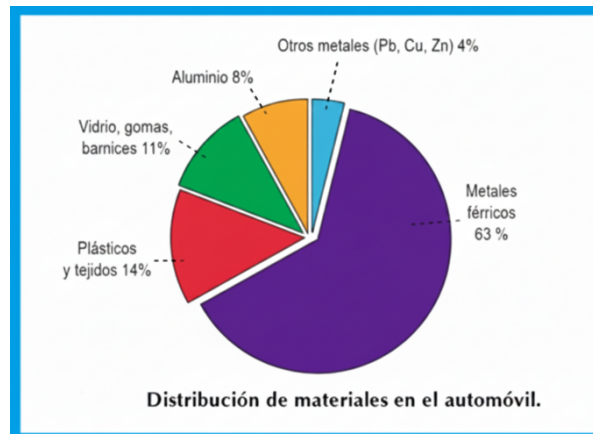
### Componentes

Existen componentes de diversos materiales que se utilizan en la fabricación de todo un vehículo, que pueden dividirse en componentes estructurales, funcionales y estéticos. Los materiales compuestos han ganado protagonismo en parachoques, puertas y tableros por su ligereza, resistencia y durabilidad (*Roberson, .H, 2021*), los biopolímeros reforzados con fibras naturales ofrecen ventajas adicionales como reciclabilidad, absorción acústica y reducción de la huella ambiental (*Fardin & Hossain, 2023*), su aplicación demuestra que los

materiales alternativos pueden igualar o superar el desempeño de los convencionales derivados del petróleo.

## Figura 2

*Distribución de materiales en un auto*



Fuente: AFM (Association Francaise de Mécanique)

### Tableros automotrices

El tablero automotriz, con el pasar del tiempo ha ido evolucionando ante las necesidades de los compradores, esto enfocado en el interfaz hombre-máquina o mejor conocido como HMI, donde la funcionalidad del vehículo se conecta directamente con el usuario al tener todas las herramientas al alcance de este, la multifuncionalidad va de la mano con el confort, lo estético y la percepción de calidad. Por esto, según expresa Mbatha en su documento, es necesario encontrar un equilibrio entre la comodidad electrónica y la seguridad de los materiales que lo rodean, esto con el fin de no alterar la experiencia del conductor. («Application Of Natural Fibre Composites In Interior Panels In The Automotive Industry: A Review», 2024)

Es importante saber establecer una línea de necesidad frente al consumidor, por ende, el desarrollo de nuevas tecnologías va de la mano con la implementación de nuevos materiales que se enfoquen en el confort y la estética que se percibe del vehículo, por ende, uno de los puntos clave en el análisis de un tablero automotriz son los materiales de fabricación y como esto repercute en el desarrollo automotriz.

### Materiales

En la actualidad, la industria automotriz ha alcanzado nuevos territorios enfocados en el desarrollo de materiales, esto con la finalidad de aportar al medioambiente un menor índice de contaminación esto mediante la experimentación de materiales compuestos, los cuales van de la mano con polímeros para así mantener sus propiedades mecánicas. (Joshi et al., 2019; Kim & Pal, 2018). Es por esto por lo que a continuación se presenta una tabla de los materiales comúnmente utilizados.

**Tabla 1**

*Evolución de materiales en paneles automotrices.*

Material compuesto	Matriz polimérica	Refuerzo	Propósito / ventaja
PP + Fibra de vidrio	Polipropileno (PP)	Fibra de vidrio (GF)	Mayor rigidez y resistencia mecánica, reducción de peso
ABS + Fibra de vidrio	Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)	Fibra de vidrio (GF)	Incremento de resistencia térmica y estructural
PC/ABS + Fibra de vidrio	Mezcla de policarbonato y ABS	Fibra de vidrio (GF)	Mejora de estabilidad dimensional y resistencia al impacto
PU + Fibra de vidrio	Poliuretano (PU)	Fibra de vidrio (GF)	Superficie más suave con buena resistencia y tacto agradable
PP + Fibras naturales	Polipropileno (PP)	Fibras naturales (kenaf, sisal, jute, coco)	Ligereza, sostenibilidad y propiedades mecánicas aceptables

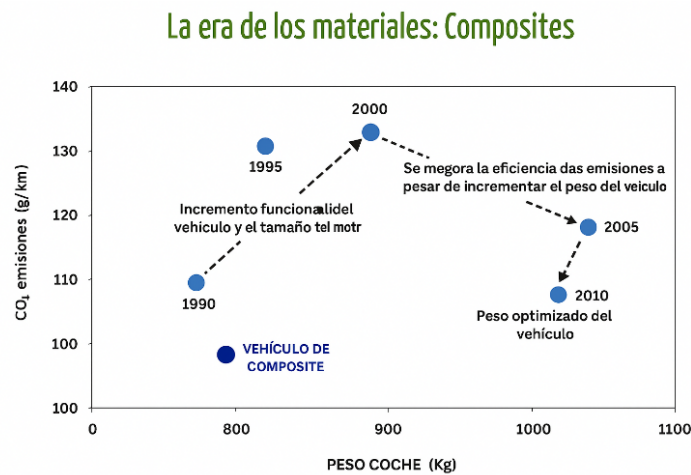
*Fuente: Shinde, Nitin & Patel, Dilip. (2020).*

## Normativa

Los polímeros termoplásticos y termoestables como se los conoce han transformado la industria mediante el desarrollo de subtipos que reducen el peso del vehículo, eficiencia y facilidad al momento de moldear superficies es así como los materiales tradicionales como el metal fueron reemplazados. Entre estos subtipos se encuentran, polipropileno (PP), el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), poliuretanos termoplásticos (TPU), entre otros. (Zhou et al., 2023; Protolabs, 2023). Su implementación en la industria se da debido a su versatilidad, facilidad al momento de su procesamiento y lo más importante, la relación de costo entre materia prima y mano de obra, por otro lado, también es relevante analizar desde el lado de las emisiones, ya que estos materiales, a comparación de los compuestos tienen un índice de contaminación mucho más alto.

**Figura 3**

*Evolución de materiales en el vehículo.*



*Fuente:*  
(2013)

*Metalmecánica.*

A partir del 2010 se empezó con la implementación de materiales compuestos en el vehículo, con la finalidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, superando a sus predecesores que preferían funcionalidad que comodidad y salud. Su manufactura se enfoca en la implementación de las propiedades que ofrecen las fibras naturales para aumentar así la resistencia, reducir el peso del vehículo y de este modo reducir la huella de carbono generada por las emisiones de gases. las propiedades fisicoquímicas que deben presentar para arrojar un resultado apto en su diseño y futura manufactura. (Khan et al., 2019; Saba et al., 2022). Los materiales compuestos o mejor conocidos como “matriz polimérica reforzado con fibras” es un material que erradica las limitaciones presentadas en materiales poliméricos, esto gracias a la implementación de fibras naturales como el Kenaf, fibras de coco, entre otros, que ayudan a reforzar las propiedades estructurales del material sin modificar los beneficios que entregan los polímeros.

#### Propiedades fisicoquímicas

El estudio de las propiedades fisicoquímicas se enfoca en el estudio de un material en relación con el comportamiento ante el calor y su estructura molecular, materiales como polietileno, polipropileno y policarbonato forman parte de aquellos materiales que, al aplicar calor, su estructura tiende a deformarse y eso ayuda al reciclaje de este, la fórmula establecida para analizar la rigidez del material por analizar.

El módulo de Young es una propiedad enfocada en el estudio de la rigidez del material, como se percibe en la tabla, existen valores tanto como termoplástico y termoestables, la diferencia entre valores recae en su estructura molecular ya que los termoplásticos tienen una rigidez menor que su contraparte lo que permite una deformación más notable, por otro lado, los termoestables presentan una mayor rigidez gracias a algo llamado “Red tridimensional” lo cual ofrece una mayor resistencia al esfuerzo.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1)$$

Donde:

$E$ :Módulo de elasticidad.

$\sigma$ :Esfuerzo.

$\epsilon$ :Deformación por unidad.

Los termoestables por otro lado presentan propiedades que al solidificarse se es imposible su reciclaje, por lo tanto, funciona muy bien como aislante térmico componentes eléctricos. (Callister & Rethwisch, 2013; Strong, 2006).

## Tabla 2

*Propiedades fisicoquímicas del plástico.*

Propiedad	Termoplásticos PP, ABS, PC)	Termoestables (Epoxi, Fenólica)
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.9 – 1.4	1.1 – 2.0
Módulo de Young (GPa)	1.0 – 3.0	2.5 – 10.0
Resistencia a la tracción (MPa)	20 – 70	40 – 120
Temperatura de servicio (°C)	100 – 250	150 – 300
Reciclabilidad	Alta	Muy baja o nula

Fuente: Peters, Edward. (2007). *Plastics: Thermoplastics, Thermosets, and Elastomers*. 10.1002/9780470172551.ch11.

Por otro lado, al relacionar la fórmula del módulo de Young con la deformación del material y su espesor, se obtiene una formula utilizada para el estudio de materiales y su funcionalidad, esto se utiliza en la industria automotriz para el diseño de interiores y paneles, estudiando la seguridad, estabilidad y confort del vehículo.

$$ID = \frac{P_0 - P_t}{P_0} \quad (1)$$

Donde:

$P_0$ :Propiedad inicial.

$P_t$ :Valor posterior al envejecimiento.

*ID:% de degradación.*

De este modo, las fórmulas planteadas forman una pequeña parte del proceso realizado para el estudio de las propiedades fisicoquímicas, es necesario entender que cada uno de los materiales ya sean compuestos o polímeros, tienen sus rangos ya establecidos y por lo tanto es difícil comprender el nivel de elasticidad, rigidez, y confort solamente con fórmulas, sino con pruebas experimentales que detallen sus valores en función a distintos tipos de estudios.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Método**

El análisis se sustentó en el método inductivo–deductivo, ya que partió de resultados particulares (pruebas controladas con muestras sesgadas) para luego extrapolarlos a escenarios generales, comparando el desempeño con materiales plásticos y compuestos transversales empleados en la fabricación de tableros automotrices, usando materiales que son recurrentes por los fabricantes automotrices.

La evaluación de la vida útil de plásticos empleados en tableros se llevó a cabo mediante ensayos estandarizados que permitieron predecir su desempeño en condiciones reales de operación. La prueba de comportamiento de compuestos o llamada corrosión acelerada en cámara salina (ASTM B117) evaluó la resistencia frente a ambientes altamente agresivos con cloruros y humedad; la prueba de radiación solar reprodujo los efectos de la radiación ultravioleta y espectros solares, determinando procesos de foto-degradación, cambios de color y pérdida de propiedades mecánicas; la prueba de envejecimiento acelerado expuso los materiales a ciclos combinados de temperatura, humedad y oxidación, simulando condiciones de servicio prolongado.

Para cumplir los objetivos planteados se aplicaron enfoques metodológicos complementarios. El método bibliográfico se basó en la revisión crítica de normas internacionales, artículos técnicos y literatura especializada en ciencia de polímeros aplicada a la industria automotriz. El método experimental se implementó mediante la ejecución de pruebas de laboratorio estandarizadas (ASTM B117, ASTM D4329, NTE INEN 2637), asegurando que las pruebas sean lo más estandarizadas para obtener resultados significativos. Finalmente, el método estadístico permitió analizar cuantitativamente los datos obtenidos,

estableciendo diferencias mecánicas entre los tres plásticos evaluados y determinando cuál de ellos presentó mejores características mecánicas luego de someterse a ensayos destructivos.

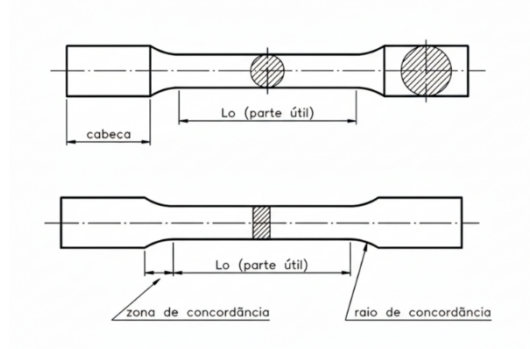
## MATERIALES

### Probetas ASTM

Para la evaluación de piezas plásticas automotrices se emplearon probetas normalizadas bajo dos normativas internacionales: la ASTM D638, utilizada para ensayos de envejecimiento acelerado de plásticos, y la ASTM B117, destinada a la prueba de niebla salina para determinar resistencia a ambientes corrosivos. La selección de estas probetas se basó en su geometría estandarizada, lo que asegura resultados reproducibles y comparables entre diferentes materiales, garantizando uniformidad en la medición de resistencia mecánica, deformación y degradación.

### Figura 4

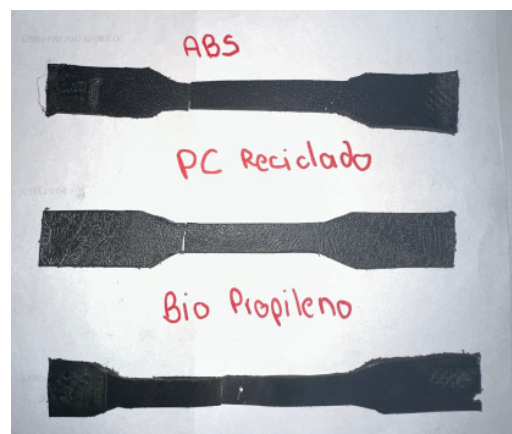
*Probeta ASTM D638*



*Fuente: (ASTM International, 2014)*

### Figura 5

*Probetas ASTM D638*



En el caso de la prueba de niebla salina, aunque la norma no establece dimensiones exactas, se emplearon muestras con medidas comunes de 70 mm x 140 mm, expuestas en una cámara de niebla salina a un ambiente controlado con solución de NaCl atomizada, de esta manera, se dispuso de un sustrato representativo de condiciones reales en tableros automotrices, permitiendo analizar con rigor la vida útil de plásticos como ABS, PC reciclado y Bio-propileno.

### **Figura 6**

*Probeta ASTM B117*



Fuente: (ASTM, 2018)

### **Cámara Salina**

Se utilizó una cámara de niebla salina siguiendo la norma ASTM B117, destinada a reproducir condiciones de ambientes corrosivos; aunque los plásticos no se oxidan como los metales, esta prueba permitió evaluar el comportamiento de compuestos híbridos y reforzados con fibras orgánicas frente a la humedad, salinidad y efectos sinérgicos de degradación, la cámara funcionó con una solución de NaCl atomizada a temperatura controlada, sometiendo a las probetas a un ambiente agresivo. El propósito de esta prueba fue comparar la resistencia de los tableros plásticos bajo condiciones extremas que aceleran la pérdida de propiedades.

## **Figura 7**

*Cámara de niebla salina*



*Fuente: Autores*

### Laboratorio de radiación UV

Para evaluar la resistencia de los materiales frente a la radiación solar, se utilizó un laboratorio de exposición a radiación ultravioleta, siguiendo los parámetros de la norma ASTM D4329, este ensayo consistió en someter las probetas a lámparas fluorescentes UV, que reproducen de forma acelerada los efectos del sol sobre superficies plásticas. Se procesaron 9 probetas en total (3 de ABS, 3 de PC reciclado y 3 de Bio-propileno), con ciclos de irradiación controlada, temperatura estable y periodos de condensación de humedad.

## **Figura 8**

*Radiación UV*



*Fuente: Autores.*

El propósito de esta muestra fue cuantificar la foto-degradación de cada material, observando variables como el cambio de color,  $\Delta E^1$ , la pérdida de resistencia mecánica y la fragilidad estructural, esta prueba es indispensable para predecir el desempeño de tableros automotrices plásticos expuestos a radiación prolongada en condiciones reales de uso.

### Normativas

La investigación se sustentó en normativas internacionales y nacionales que establecen parámetros de ensayo para plásticos y compuestos en aplicaciones automotrices. Se consideraron la norma ASTM B117 para resistencia superficial, la ASTM D4329 para exposición a radiación UV, y las directrices de la ISO 4892 sobre envejecimiento climático de plásticos, se tomó como referencia la NTE INEN 2637, aplicable a materiales plásticos de uso industrial. La aplicación de estas normas fue indispensable para garantizar reproducibilidad y comparabilidad de resultados, permitiendo validar la durabilidad de los tableros.

**Tabla 3**

*Normas aplicadas en los ensayos*

<b>Norma</b>	<b>Ensayo aplicado</b>	<b>Propósito principal</b>
ASTM B117	Niebla salina	Corrosión y resistencia superficial
ASTM D4329	Radiación UV	Envejecimiento por radiación
ISO 4892	Ciclos climáticos	Envejecimiento ambiental
NTE INEN 2637	Tracción	Elongación

Fuente: (ASTM,2017), (ISO, 2013), (INEN, 2012)

### Tableros de ABS

Los tableros empleados en la presente investigación corresponden a vehículos disponibles en el mercado regional, dichos componentes fueron seleccionados considerando criterios de fabricación sostenibles, orientados a la disminución de la huella de carbono, en este contexto, se utilizaron tableros provenientes de vehículos ensamblados en Asia y Europa.

Se seleccionaron probetas de ABS, polímero de referencia en la fabricación de tableros automotrices debido a su resistencia al impacto, rigidez y facilidad de moldeo, este material

fue sometido a pruebas de radiación, cámara salina y envejecimiento acelerado para determinar la pérdida de propiedades mecánicas y estéticas, el ABS permitió verificar las limitaciones de plásticos convencionales bajo exposición prolongada a factores ambientales severos

### **Figura 9**

*Tablero ABS*



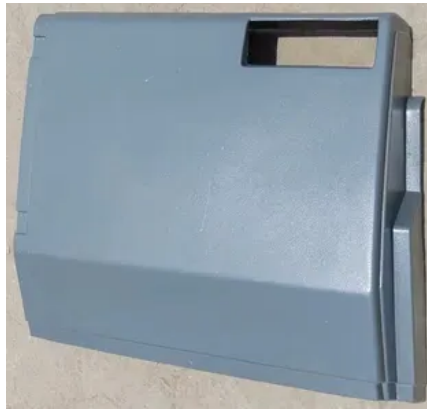
Fuente: Autores

#### Tableros de PC reciclado

Se tomaron probetas a partir de policarbonato (PC) reciclado post-consumo, con el fin de evaluar la viabilidad de este material en aplicaciones automotrices. El PC reciclado fue seleccionado debido a su bajo costo y contribución a la economía sostenible, se evaluó su vulnerabilidad a la radiación UV y a la absorción de humedad que son parte del análisis de degradación. Las probetas se sometieron a pruebas de niebla salina, radiación UV y envejecimiento climático, buscando determinar su resistencia frente a condiciones extremas.

## Figura 10

*Tablero de PC reciclado*



Fuente: Autores

## Tableros de Bio-propileno

Se incluyeron probetas de bio-propileno, polímero de origen parcialmente renovable, reforzado con componentes orgánicos, este material fue seleccionado por su menor huella ambiental y su creciente uso en bioplásticos aplicados a la industria automotriz. Las probetas fueron expuestas a pruebas de radiación UV, envejecimiento climático y cámara salina; el objetivo fue analizar su resistencia frente a factores de degradación y comprobar su viabilidad como sustituto del ABS y del PC reciclado en la fabricación de tableros.

## Figura 11

*Tablero de Bio-propileno*



Fuente: Autores

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los ensayos se realizaron de acuerdo con normas internacionales y nacionales, lo cual permitió garantizar la comparabilidad de los resultados. Las probetas de ABS, PC reciclado y bio-propileno fueron acondicionadas bajo parámetros de la ASTM B117 (niebla salina), ASTM D4329 (radiación UV), ISO 4892-2 (envejecimiento climático) y la NTE INEN 2637(ensayo a tracción).

**Tabla 4**  
*Normas aplicadas en los ensayos*

<b>Norma</b>	<b>Ensayo aplicado</b>	<b>Propósito principal</b>	<b>Cumplimiento</b>
ASTM B117	Niebla salina	Resistencia a ambientes corrosivos	✓ Sí
ASTM D4329	Radiación UV	Degradación por radiación solar	✓ Sí
ISO 4892-2	Envejecimiento climático	Simulación de ciclos ambientales extremos	✓ Sí
NTE INEN 2637	Tracción	Elongación	✓ Sí

*Fuente: Autores*

La aplicación de estas normas estandarizadas permitió asegurar que los resultados fuesen representativos de condiciones reales de servicio, ya que estudios previos destacan que los métodos acelerados son fundamentales para correlacionar la vida útil con la durabilidad en campo (Wypych, 2016; ASTM International, 2017).

Se desarrolló las pruebas bajo condiciones de laboratorio controladas, con el fin de cumplir los objetivos planteados: ejecutar ensayos normalizados de vida útil para tres tipos de plásticos automotrices (ABS, PC reciclado y Bio-propileno), tabular cuantitativamente los resultados y realizar un análisis comparativo entre los materiales mediante métodos estadísticos y observacionales. Las probetas fueron elaboradas conforme a la norma ASTM D638 y ASTM B117, garantizando geometría uniforme y resultados reproducibles, utilizando seis réplicas independientes por material (M-ABS: polímero virgen, M-PC: policarbonato reciclado post-consumo y M-BPP: biopropileno reforzado con base orgánica).

**Tabla 5***Muestras analizadas en el laboratorio*

Código de muestra	Material	Procedencia / Preparación	Nº de probetas	Normativa aplicada
M-ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno	Inyección de polímero virgen grado automotriz	3	ASTM D638 / ASTM B117 / ASTM D4329
M-PC	Policarbonato reciclado	Recuperado de residuos post-consumo	3	ASTM D638 / ASTM B117 / ASTM D4329
M-BPP	Biopropileno (con base bio-orgánica)	Extrusión de polímero con refuerzo orgánico	3	ASTM D638 / ASTM B117 / ASTM D4329

*Fuente: Autores*

Los ensayos se efectuaron bajo las normativas ASTM B117 (niebla salina), ASTM D4329 (radiación UV) e ISO 4892-2 (envejecimiento climático), complementadas con la NTE INEN 2637 como marco de referencia nacional. Los resultados fueron tabulados en registros digitales, normalizados y expresados en pérdida de masa, variación de brillo, resistencia mecánica y retención de elasticidad, de esta manera, se aseguró la confiabilidad metodológica, logrando el cumplimiento del tercer objetivo de la investigación.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

### Prueba de niebla salina (ASTM B117, 240h)

Este ensayo de laboratorio consiste en someter las probetas a un ambiente controlado de niebla salina generada a partir de una solución acuosa de NaCl, con temperatura y concentración constantes. El objetivo es simular condiciones altamente corrosivas y húmedas que aceleran los procesos de degradación de los materiales, permitiendo observar la resistencia a la pérdida de masa, brillo y la formación de microgrietas, esta prueba es ampliamente utilizada para predecir el desempeño de materiales plásticos y compuestos en ambientes agresivos y su durabilidad frente a la humedad y agentes corrosivos.

**Tabla 6***Resultados de prueba de niebla salina*

Material	Pérdida de masa (%)	Pérdida de brillo (%)	Índice de microgrietas (0-5)	Nivel de deterioro
ABS	1.8	12	2	Medio
PC reciclado	3.4	28	4	Alto

Material	Pérdida de masa (%)	Pérdida de brillo (%)	Índice de microgrietas (0-5)	Nivel de deterioro
Bio-propileno	0.9	8	1	Bajo

*Fuente: Autores*

El PC reciclado mostró un deterioro significativamente mayor, con pérdida de masa casi 4 veces superior al bio-propileno, el ABS mantuvo desempeño intermedio. Estos resultados concuerdan con estudios que evidencian que los polímeros reciclados poseen mayor vulnerabilidad a la absorción de humedad y fragilidad interfacial (Pickering, 2016) y (Osswald & Hernández-Ortiz, 2006).

#### Prueba de radiación UV (ASTM D4329, 500h)

El ensayo de radiación UV se basa en exponer las probetas a lámparas fluorescentes que emiten radiación ultravioleta controlada, simulando el efecto del sol en condiciones aceleradas de laboratorio. Su objetivo es medir la estabilidad de los materiales frente a la fotodegradación, la pérdida de color y las variaciones en propiedades mecánicas, como la resistencia al impacto, este procedimiento permite anticipar el comportamiento estético y funcional de plásticos y bioplásticos en tableros automotrices expuestos a radiación solar prolongada.

**Tabla 7**

*Resultados de radiación UV*

Material	Cambio de color $\Delta E^*$	Retención de resistencia (%)	Fragilidad (escala 1-5)	Nivel de degradación
ABS	8.5	72	3	Medio
PC reciclado	15.2	55	4	Alto
Bio-propileno	5.1	81	2	Bajo

*Fuente: Autores*

El PC reciclado experimentó el mayor cambio cromático ( $\Delta E^* > 15$ ), lo que es considerado un umbral crítico de pérdida estética en polímeros expuestos a radiación (Fried, 2014). El ABS mostró amarillamiento progresivo, típico en tableros plásticos convencionales.

El bio-propileno conservó mejor estabilidad con solo un  $\Delta E^*$  de 5.1 y la mayor retención mecánica, evidenciando un desempeño superior frente a radiación solar, tal como lo evidencian en sus investigaciones Wypych (Satyanarayana, 2007) y (Wypych, 2016).

#### Prueba de envejecimiento climático (ISO 4892-2, 1000h)

El ensayo de envejecimiento climático consiste en exponer las probetas a ciclos controlados de temperatura, humedad relativa y radiación UV, que simulan de manera acelerada las condiciones ambientales que los materiales enfrentarían en su uso real. El objetivo es evaluar cómo estas variables influyen en la pérdida de elasticidad, deformación superficial y aparición de fallas estructurales a lo largo del tiempo, esta prueba es esencial para estimar la durabilidad de materiales plásticos en tableros automotrices sujetos a cambios climáticos extremos.

### Tabla 8

#### *Resultados de envejecimiento climático*

Material	Retención de elasticidad (%)	Deformación superficial (mm)	Índice de fallas (0–5)	Nivel de resistencia
ABS	68	0.45	3	Medio
PC reciclado	49	0.72	5	Bajo
Bio-propileno	83	0.28	1	Alto

*Fuente: Autores*

El bio-propileno conservó más del 80% de su elasticidad inicial, mientras que el PC reciclado descendió por debajo del 50%, evidenciando alta fragilidad. El ABS mostró valores intermedios. Estos resultados son consistentes con investigaciones sobre la mayor estabilidad térmica y resistencia a la fatiga ambiental de biopolímeros frente a plásticos reciclados convencionales (Rodríguez, 2017)

#### Comparativa de resultados

Para integrar los resultados de las tres pruebas de laboratorio niebla salina, radiación UV y envejecimiento climático, se elaboró una tabla comparativa con los valores promedios obtenidos para los tres materiales analizados: ABS, PC reciclado y Bio-propileno.

Las variables cuantificadas fueron: pérdida de masa, pérdida de brillo y microgrietas en ambientes salinos; cambio de color, retención de resistencia mecánica y fragilidad bajo radiación UV; y elasticidad, deformación superficial e índice de fallas en condiciones climáticas aceleradas. Este análisis permite contrastar directamente el comportamiento de cada material bajo factores de degradación que simulan condiciones extremas de uso en tableros automotrices.

**Tabla 9**

*Análisis general*

Material	Niebla salina (ASTM B117, 240 h)	Radiación UV (ASTM D4329, 500 h)	Envejecimiento climático (ISO 4892-2, 1000 h)	Nivel global de desempeño
<b>ABS</b>	Pérdida de masa: 1,8% Pérdida de brillo: 12% Microgrietas: 2 (Medio)	Cambio de color $\Delta E^*$ : 8,5 Retención mecánica: 72% Fragilidad: 3 (Medio)	Elasticidad: 68% Deformación: 0,45 mm Fallas: 3 (Medio)	Intermedio
<b>PC Reciclado</b>	Pérdida de masa: 3,4% Pérdida de brillo: 28% Microgrietas: 4 (Alto)	Cambio de color $\Delta E^*$ : 15,2 Retención mecánica: 55% Fragilidad: 4 (Alto)	Elasticidad: 49% Deformación: 0,72 mm Fallas: 5 (Bajo)	Débil
<b>Biopropileno</b>	Pérdida de masa: 0,9% Pérdida de brillo: 8% Microgrietas: 1 (Bajo)	Cambio de color $\Delta E^*$ : 5,1 Retención mecánica: 81% Fragilidad: 2 (Bajo)	Elasticidad: 83% Deformación: 0,28 mm Fallas: 1 (Alto)	Alto

*Fuente: Autores*

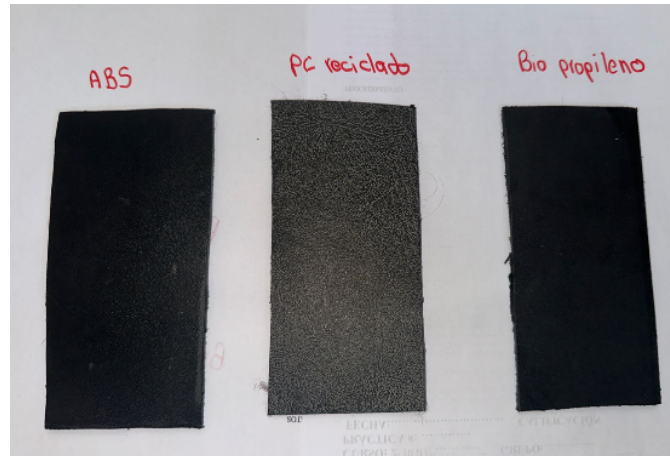
La tabla evidencia que el Bio-propileno obtuvo el mejor desempeño global en las tres pruebas, destacando por su menor pérdida de masa, brillo y elasticidad frente a los demás materiales, esto confirma que los biopolímeros reforzados pueden superar en desempeño tanto al ABS tradicional como al PC reciclado, además de aportar beneficios en sostenibilidad. El ABS se mantuvo como material de referencia con un rendimiento intermedio, mientras que el PC reciclado mostró debilidades significativas en todas las variables medidas, lo que limita su aplicabilidad directa en tableros sin estabilizantes adicionales.

A partir de estos resultados, el Bio-propileno no solo es viable desde el punto de vista técnico, sino que también puede contribuir a la transición hacia materiales más sostenibles en

la industria automotriz, abriendo oportunidades para reemplazar polímeros convencionales con alternativas de mayor resistencia y menor impacto ambiental.

## Figura 12

*Comparación de resultados*



## CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas sobre las 18 probetas (6 de ABS, 6 de PC reciclado y 6 de Bio-propileno) permitieron analizar variables críticas de degradación: pérdida de masa, pérdida de brillo, microgrietas, cambio de color, retención mecánica, elasticidad y deformación, estos indicadores aportaron información cuantitativa y objetiva sobre el desempeño de cada material frente a condiciones ambientales extremas, garantizando comparabilidad y validez experimental.

Entre los ensayos aplicados, la radiación UV (ASTM D4329) resultó ser la prueba más determinante, ya que permitió evidenciar la foto-degradación y la pérdida de propiedades mecánicas, fenómenos directamente vinculados a la exposición solar prolongada en tableros automotrices; en esta prueba, el PC reciclado mostró el peor desempeño con una variación cromática crítica ( $\Delta E^* > 15$ ) y reducción significativa de resistencia, lo que lo posiciona como el material más vulnerable.

La comparación integrada de los resultados de niebla salina, radiación UV y envejecimiento climático evidenció que el Bio-propileno es el material con mejor desempeño general, superando al ABS y, con mayor diferencia, al PC reciclado, esto demuestra que los biopolímeros no solo aportan beneficios ambientales al reducir el impacto de plásticos

convencionales, sino que también ofrecen propiedades técnicas competitivas, consolidándose como una alternativa viable para la fabricación de tableros automotrices sostenibles.

## BIBLIOGRAFÍA

*A reference book of driving cycles* . (2009). Obtenido de

<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7984f440f0b642860d8c2d/ppr-354.pdf>

*ASTM International. (2014). ASTM D638-14: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. ASTM International. Obtenido de

<https://doi.org/10.1520/D0638-14>

*ASTM International. (2017). ASTM B117-16: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*. ASTM International. Obtenido de

<https://doi.org/10.1520/B0117-16>

*ISO. (2013). ISO 4892-2*. Obtenido de

*Plastics — Methods of exposure to laboratory light sources*. International Organization for Standardization.

*INEN. (2012). NTE INEN 2637: Materiales plásticos — Requisitos generales*. Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización.

*Rodríguez, A., Gañán, P., & Mondragón, I. (2017). Biocomposites based on cocoa husk and thermoplastic matrices*. Obtenido de

*Journal of Applied Polymer Science*, 134(9), 44521.

<https://doi.org/10.1002/app.44521>

*Satyanarayana, K. G., Arizaga, G. G. C., & Wypych, F. (2007). Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview*. *Progress in Polymer Science*, 32(8–9), 762–798.

Obtenido de

<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.05.002>

*Strong, A. B. (2006). Plastics: Materials and processing* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.

Wypych, G. (2016). *Weathering of plastics* (2nd ed.). ChemTec Publishing.

ASTM International. (2017). *ASTM B117-16: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*. ASTM International. Obtenido de <https://doi.org/10.1520/B0117-16>

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Obtenido de *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.

Osswald, T. A., & Hernández-Ortiz, J. P. (2006). *Polymer processing: Modeling and simulation*. Hanser Publishers.

Wypych, G. (2016). *Weathering of plastics* (2nd ed.). ChemTec Publishing.

Cornejo Reyes, G. V.; Marinero-Orantes, E. A.; Funes-Guadrón, C. R.; Toruño, P. J. (2020). *Biopolímeros para uso agro industrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termo plástico biodegradable*. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941758005/index.html>

Díaz Herrera, Y.; Villaseñor Perea, C. A.; Pérez López, A.; Mancera Rico, A.; Venegas Ordoñez, M. R.; Ramírez Jaspeado, A. (2024). *Elaboración y caracterización físico-mecánica de biocompuestos a base de harina de arroz y fibra de bagazo de caña*. Biotecnia. Obtenido de <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1468>

Díaz Herrera, Y.; Villaseñor Perea, C. A.; Pérez López, A.; Mancera Rico, A.; Venegas Ordoñez, M. R.; Ramírez Jaspeado, A. (2024). *Elaboración y caracterización físico-mecánica de biocompuestos a base de harina de arroz y fibra de bagazo de caña*. Obtenido de <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1468>

Mbatha, A. J. (2024). *Application of Natural Fibre Composites in Interior Panels in the Automotive Industry*. Obtenido de <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V72I3P109>

“Natural fibres are increasingly being used in automotive interiors”. Dr George Kellie. (2019, Oct 31). Obtenido de <https://www.automotiveinteriorsworld.com/opinion/natural-fibers-are-increasingly-being-used-in-automotive-interiors.html>

“Natural Fibre Composites and Their Applications: A Review”. (2020?). *Materials — Open Access Journal by MDPI*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2504-477X/2/4/66>

“Biopolímeros como empaques alternativos de alimentos. Una revisión”. Martínez-Estrada, L. G.; Gómez-Guzmán. Obtenido de <https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.395>

“Síntesis de un polímero compostable a partir de almidón, como una alternativa para preparar plásticos de primer uso.” Yagos Arias; Jeanpier Carlos. (2022). *Universidad Técnica de Ambato (Maestría en Química)*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34277>

“Elaboración de un composite polimérico reforzado con almidón de yuca y fibras de caña de azúcar y terminaciones de papel reciclado.” Peralta Armijos, C., Obtenido de <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/26135> [Repositorio Institucional UTPL](#)

“A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composites (NFRPC) for Sustainable Industrial Applications”. (2022) Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/17/3698>

Revista en línea MansurSolar *"El verdadero impacto ambiental de la industria automotriz: un enfoque en la huella de carbono y la transición hacia la energía limpia"* Tomado de <https://www.mansur-solar.com/2023/10/impacto-ambiental-industria-automotriz-y-energia-limpia>

*"Huella Ambiental y de Carbono en las Exportaciones y el Comercio Internacional"* Blog de internet. CEPAL. Tomado de <https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=587382&p=4058152>

Revista en línea Elementos Amovibles y fijos no estructurables. "Materiales sintéticos" Tomado de <https://amoviblesio.blogspot.com/2016/06/1.html>

"El coche del futuro, la seguridad como eje central, plásticos que lleva el coche". Blog en línea EsPlásticos, 2021. Tomado de

<https://esplasticos.es/blog/el-coche-del-futuro-la-seguridad-como-eje-central/>

Revista en línea Sin Carbono, Greenpeace. "Emisiones de las empresas automotrices" Tomado de

<https://sincarbono.io/emisiones-de-las-empresas-automotrices/>

Arias Perez, A., Velez Salazar, J., Jorque Rea, A., & Toasa Jimenes, R. (2022). Materiales compuestos y su aplicación en partes automotrices: Revisión. *Polo del Conocimiento*, 7(9), 596-622. doi:

<https://doi.org/10.23857/pc.v7i9.4592>

Nivedhitha Durgam Muralidharan, Jeyanthi Subramanian, Sathish Kumar Rajamanickam, Prabu Krishnasamy, Senthil Muthu Kumar Thiagamani, Anish Khan. Flame retardant characteristics of natural fibre reinforced polymer composites: A thematic review. *Polymer Composites* 2024, 45, 12530, DOI: [10.1002/pc.28699](https://doi.org/10.1002/pc.28699)

Campos, A.R. & Cunha, António & Tielas, Alberto & Mateos, António. (2008). Biodegradable Composites Applied to the Automotive Industry: The Development of a Loudspeaker Front. *Materials Science Forum*. 587-588. 187-191. [10.4028/www.scientific.net/MSF.587-588.187](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.587-588.187).  
Kim, Hyun-Joong & Lee, Byoung-Ho. (2009). Sustainable Bio-Based Green-Composites for Automotive Interior Parts.

Joshi, M., Gupta, A., Netravali, A., & Sahu, O. (2019). Recent advances in lightweight composites for automotive applications: Materials, manufacturing and performance. *Composite Structures*, 216, 201-220. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.03.002>

Kim, H.-S., & Pal, K. (2018). Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: Recent Advances in Automotive Applications. *Advanced Composite Materials*, 27(1), 1-15.} <https://doi.org/10.1080/09243046.2017.1422780>

Protolabs. (2023). Thermoplastics Selection Guide for Automotive Applications. Protolabs White Paper. Disponible en:

<https://www.protolabs.com/resources/guides/>

Metalmecánica. (2013). Nuevos materiales para la automoción: evolución de materiales en el vehículo. *Revista Metalmecánica*, Octubre 2013, pp. 18-20.

Saba, N., Jawaid, M., Asim, M., & Alothman, O.Y. (2022). Natural Fiber Reinforced Polymer Composites: Insight into Mechanical, Physical, and Thermal Properties. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 41(4-5), 277-291.

<https://doi.org/10.1177/07316844211057345>

Peters, Edward. (2007). Plastics: Thermoplastics, Thermosets, and Elastomers. En: Handbook of Polymer Applications in Medicine and Medical Devices, pp. 360-375. Wiley.  
<https://doi.org/10.1002/9780470172551.ch11>

## ANEXOS

### ANEXOS INTRODUCCIÓN

**Anexo 1.** Revista en línea Sin Carbono . (20 de octubre de 2024). Emisiones de las empresas automotrices. Obtenido de <https://sincarbono.io/emisiones-de-las-empresas-automotrices/>



## ¿Cuánto CO2 produce la industria automotriz?

De acuerdo con un informe de [Greenpeace](#), la industria automotriz contribuye con el 9 % de las emisiones globales de efecto invernadero. Este estudio midió las emisiones de los vehículos durante todo su ciclo de vida (desde la extracción de materiales hasta el final de su vida útil).

Para un [automóvil](#), las emisiones de las empresas automotrices se distribuyen así: 10 % del proceso de fabricación, 85 % del uso y 5 % cuando se desecha. En primera instancia, las emisiones de la [fabricación](#) se derivan de la extracción de minerales del suelo para elaborar las partes del vehículo. También hay que considerar los componentes de plástico, las llantas y la energía consumida para ensamblar todas las partes. En la industria automotriz un elemento que consume mucha energía son los talleres de [pintura](#).

Ya vimos cómo se genera la huella de carbono en la fabricación. Ahora vamos a ahondar en las emisiones de la etapa de uso, la que más contribuye al cambio climático. Estas emisiones pueden variar según la duración de los viajes, el número de pasajeros y el tamaño del vehículo. A modo de ejemplo, conducir un auto pequeño emite 111 g CO<sub>2</sub>eq por km. Y conducir un auto grande emite 200 g CO<sub>2</sub>eq, ¡casi el doble! Además, agregar un pasajero reduce a la mitad las emisiones por pasajero-kilómetro. A mayor número de pasajeros por auto, menor huella de carbono.

En [México](#) el transporte contribuye con el [18% de las emisiones](#). Por otro lado, las emisiones de partículas suspendidas al aire es preocupante. En el Valle de México, por ejemplo, las emisiones generadas por vehículos aportan con el 60 % de la contaminación por partículas suspendidas.

## ¿Cuáles son los principales contaminantes de los automotores?

Además de conocer los porcentajes que construyen la huella de carbono y las fuentes de emisiones, es importante saber el **tipo de emisiones** que se generan. Primeramente, están las emisiones que contribuyen al calentamiento global como el dióxido de carbono. Y, por otra parte, las emisiones que perjudican directamente la salud de las personas como el plomo.

Las emisiones se generan en diferentes proporciones según el tipo de combustible. Los automóviles que usan gasolina producen más dióxido de carbono que los autos con motor diésel. También emiten monóxido de carbono, hidrocarburos y compuestos de plomo. Los autos diésel generan mayores proporciones de óxidos de nitrógeno y azufre, hidrocarburos no quemados y hollín.

Otro tipo de contaminantes son las **emisiones de escape** de la quema de gasolina y diésel. El dióxido de carbono atrapa la radiación y crea ozono a nivel del suelo. Por otra parte, la fricción causada por los frenos de los automóviles libera partículas dañinas que permanecen en el aire.





## ¿Cuál es el impacto ambiental de la industria automotriz?

La industria automotriz contribuye significativamente al cambio climático y es perjudicial con el ambiente. Las emisiones de óxido de nitrógeno y de dióxido de azufre producen lluvia ácida. Estas lluvias causan un impacto negativo en los cultivos, contaminan el agua, y afectan la flora y fauna circundante. La bencina produce smog, el cual causa dificultades respiratorias.

Podemos ver que el consumo de combustibles fósiles perjudica significativamente a los ecosistemas, y dada la importancia del cuidado de los recursos naturales, ¿por qué usar automóviles híbridos y eléctricos? Si bien es cierto que el uso de este tipo de automóviles puede reducir las emisiones de efecto invernadero hasta en un 17%. Pero si consideramos las emisiones asociadas a la fabricación de los vehículos y la producción de electricidad. Adicionalmente, si al final de su vida útil no se les da un manejo adecuado a las baterías, esto se convierte en un grave problema de contaminación ambiental.

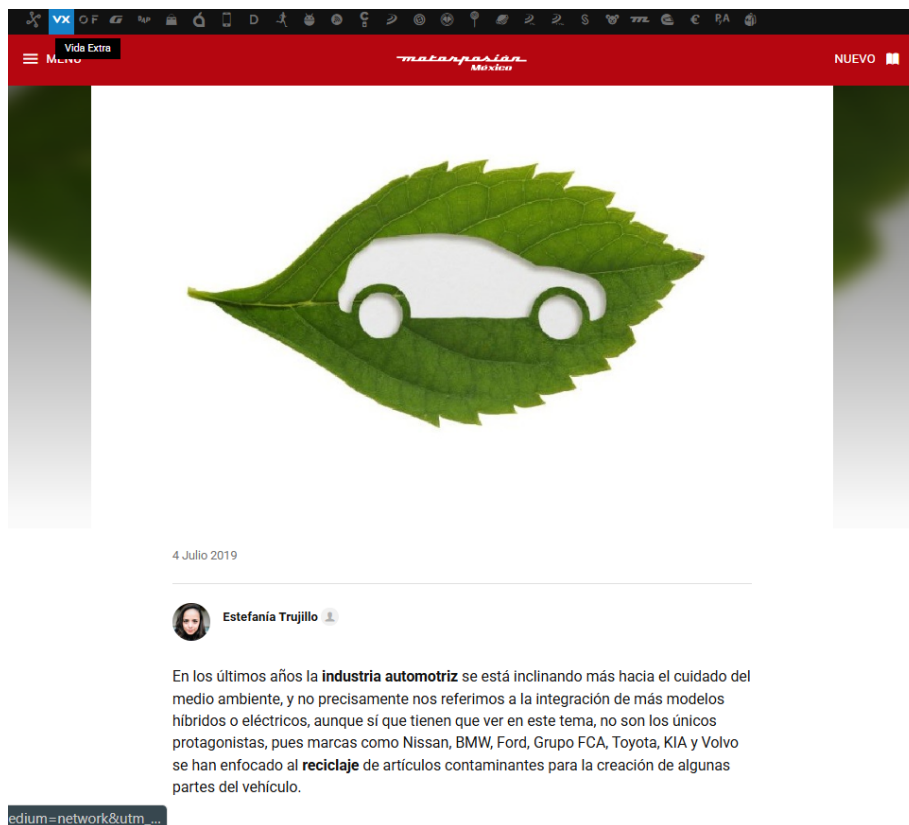
## Posibles soluciones: ¿Qué hace la industria automotriz por el medio ambiente?

Hay que ir más allá de la transición de los vehículos con combustibles fósiles a los vehículos eléctricos. Como lo vimos anteriormente, los autos eléctricos también generan un impacto ambiental importante. En ese sentido, hay una serie de estrategias para reducir el nivel de emisiones en las empresas automotrices:

-  La fabricación y uso de automóviles eléctricos puede ser menos perjudicial para el ambiente si la generación de energía proviene de fuentes renovables (solar, eólica o geotérmica).
-  Para la etapa de uso, las emisiones se reducen al reducir el uso de autos particulares y sustituirlo por **transporte público**. Recordemos a mayor número de pasajeros, menor huella de carbono. El uso de transporte público puede reducir en un 95% las emisiones de monóxido de carbono, 50% el dióxido de carbono, 90% los compuestos orgánicos volátiles y 50% las emisiones de óxido de nitrógeno.
-  La **industria automotriz** es un área prioritaria para aplicar medidas de descarbonización. Por un lado, hay que descarbonizar las operaciones de fabricación, y por otro, la extracción y manufactura de autopartes. Hay que definir una hoja de ruta basada en estrategias de eficiencia energética y uso de fuentes de energía renovables.
-  El camino a la descarbonización también incluye la **economía circular**. Las empresas automotrices generan muchos residuos que acaban en los vertederos. Pero la verdad, es que pueden aprovecharse como recurso. Los residuos como las fibras textiles, espumas y cauchos sintéticos son muy resistentes, por eso sirven para el sector de la construcción donde esta propiedad es muy valorada.

Podemos ver que las emisiones de las empresas automotrices tienen una participación significativa en la huella de carbono global. Pero al mismo tiempo, se trata de una industria muy importante a nivel mundial. Esta situación amerita la aplicación de medidas para reducir el nivel de emisiones. El primer paso consiste en identificar las principales fuentes de emisiones para priorizar las líneas de acción. La plataforma sinCarbono facilita el proceso de medición de la **huella de carbono** para todas las etapas del ciclo de vida de esta industria. Asimismo, facilita el reporte, verificación y compensación de estas emisiones.

Anexo 2. Revista en línea de autos MotorpasionMx. Trujillo, E. (4 de julio 2019). Obtenido de <https://www.motorpasion.com.mx/industria/materiales-reciclados-tambien-puedes-encontrar-estos-modelos-no-precisamente-electricos>



A pesar de que es un tema que podrá sonar un poco nuevo, estamos hablando que se trata de algo que se viene trabajando desde hace años, un ejemplo claro es el trabajo de Ford, que inició en 1990 cuando empezó a utilizar plástico reciclado en algunos de sus modelos.



En los últimos 12 años, la aerodinámica ha impulsado la necesidad del uso de plásticos en las carrocerías y en las autopartes de los vehículos, creciendo exponencialmente su uso a nivel mundial. Actualmente, Ford utiliza 1.2 mil millones de botellas de plástico recicladas por año, en promedio 250 botellas por vehículo.

PUBLICIDAD

## Marcas que utilizan materiales reciclados:

- Una de las firmas que desde que lanzó su primer modelo 100% eléctrico en México fue **BMW**, al mismo tiempo, gritó a los cuatro vientos que dicho vehículo había sido fabricado en su interior con el 90% de materiales reciclados y procesados en su propia planta de ensamble.



- **Nissan** también se une a esta causa y precisamente lo hace también con su eléctrico **LEAF**, que utiliza materiales reciclados de botella PET y lo hace para crear los asientos, además de usar materiales reciclados de electrodomésticos como refrigeradores y lavadoras para darle vida a la consola central.



Fibras vegetales	<p>Definimos como fibras vegetales al material de la pared de la célula vegetal compuesta por diversos componentes que resisten la digestión de las enzimas y demás secreciones digestivas de los mamíferos.</p> <p>Los principales componentes de la fibra son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fibra Insoluble</li> <li>✓ Fibra Soluble</li> </ul>	<p>Los científicos están descubriendo que las fibras vegetales añaden durabilidad y resistencia a sustancias empleadas tanto en la construcción como en la fabricación de toda clase de productos, desde juguetes hasta aviones, pasando por coches y muebles.</p>	<p>El uso de fibras vegetales para la construcción de edificios modernos es muy ventajoso, garantizando seguridad, confort, compatibilidad ecológica y reducción de costos.</p>
Fibras de bambú	<p>Los principales componentes del bambú son celulosa, hemicelulosa y lignina. Los componentes secundarios del bambú son resinas, cera y sales inorgánicas. El bambú contiene otros componentes orgánicos además de celulosa y lignina.</p>	<p>Las fibras de bambú tienen una alta resistencia a la rotura y buenas propiedades de absorción, pero tienen un bajo alargamiento.</p>	<p>Es un material liviano que permite bajarle el peso a la construcción, factor muy importante para construcciones sismo resistentes.</p>
Fibra de vidrio	<p>La fibra de vidrio se genera debido a la conjunción de ciertos hilos de vidrio muy</p>	<p>En cuanto a su durabilidad la lámina de fibra de vidrio cuenta con una vida útil de alrededor</p>	<p>La fibra de vidrio es un material muy versátil. Se puede incluir en prácticamente cualquier</p>

	<p>diminutos, mismos que al entrelazarse van generando una malla, un patrón o una trama. Se compone principalmente de silicona, del óxido del alúmina y del boro y del óxido de magnesio, del óxido de calcio, del óxido del sodio, del etc.</p>	<p>de 20 años. Cabe mencionar que se puede componer por uno o más elementos como resinas acrílicas, poliéster y polietileno que pueden conservarla por más tiempo.</p>	<p>estructura confiriéndole una larga vida útil. Incrementa la seguridad de las estructuras, reforzándolas y previniendo incendios.</p>
<p>Cenizas volantes</p>	<p>Las cenizas volantes se componen generalmente de partículas esféricas, algunas de las cuales pueden ser como vidrio y de partículas de forma irregular de combustible no quemado o carbono</p>	<p>Es más resistente al ácido y al fuego, y ha demostrado una mayor resistencia a la compresión y la tracción.</p>	<p>Normalmente considerado un producto de desecho, las cenizas volantes se ha demostrado que es extremadamente beneficioso para mejorar el rendimiento del hormigón, en los Estados frescos y endurecidos.</p>
<p>Bagazo de baja densidad</p>	<p>Es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en</p>	<p>Resiste líquidos y altas temperaturas</p>	<p>Este material es de baja densidad porque tienen una gran transparencia y flexibilidad. Son perfectas para albergar artículos sólidos o pulverulentos, además, pueden mantener alimentos.</p>

**Anexos 4:** Khan, Fardin & Hossain, Nayem & Mim, Juhi Jannat & Rahman, S M & Iqbal, Md & Billah, Mostakim & Chowdhury, Mohammad. (2024). Advances of composite materials in automobile applications – A review. Journal of Engineering Research. 10.1016/j.jer.2024.02.017.....



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Engineering Research

journal homepage: [www.journals.elsevier.com/journal-of-engineering-research](http://www.journals.elsevier.com/journal-of-engineering-research)



Advances of composite materials in automobile applications – A review

Fardin Khan <sup>a</sup>, Nayem Hossain <sup>a,\*</sup>, Juhi Jannat Mim <sup>a</sup>, SM Maksudur Rahman <sup>a</sup>, Md. Jayed Iqbal <sup>a</sup>, Mostakim Billah <sup>a</sup>, Mohammad Asaduzzaman Chowdhury <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, IUBAT-International University of Business Agriculture and Technology, Dhaka 1230, Bangladesh

<sup>b</sup> Department of Mechanical Engineering, Dhaka University of Engineering and Technology (DUET), Gazipur 1707, Bangladesh

ARTICLE INFO

Keywords:  
Automobile

ABSTRACT

This paper emphasizes the benefits of using composite materials in manufacturing automobile components instead of conventional metal. Some unknown and unorganized information on the multifunctional phenomena of composite materials is guided by relevance for manufacturing. Researchers enhance the variation of composites to achieve better performance in every sector as well as the vehicle industry. Due to high durability, strength, lightweight, and corrosion tolerance, ballistic performance composites are used. Some other features, like fire and lightning protection behaviour, can be imposed within a very easy and economical fabrication process. Chassis, braking-related components, steering systems, battery and charging-related objects, and differential and suspension systems depend adequately on composite materials. Composite materials may look complex, but their overall significance is very lucrative for introducing new types of materials. Composites are already considered the new turning point of material science. Very shortly, it will provide a variety of scopes, like natural fibre used for ensuring biodegradability. Huge limitations of using composites are characterized in automobile components. Overall output is consistently developing modern technology and safety for both the environment and mankind. The price of manufacturing is quite high for different components and different features of metal. Even then, composite reduces overall cost than other traditional materials which improving opportunities for vehicle manufacturers. Some other new perspective like piezoelectricity, magnetostrictive properties, self-healing capability electromagnetic shielding can be accelerate this field in long term future which are discussed in this review paper.

1. Introduction

Composite materials consist of two or more materials that perform better than unique materials [1]. Egyptians and Mesopotamians first used it back in 1500 BC to make bricks with mud and a mixture. But in 1200 AD, Mongol's first use composite materials for making Bow. Thus, Composite materials are first used in military activities for elevated performance [2]. The Modern era of composites was started in 1900 s by developing plastics (i.e. polyester, vinyl). In 1935, first fibre composites were introduced due to their higher strength and lower weight [3]. The fibre reinforced composites were developed during World War II. After the war, those were introduced in other markets along with military

weapon [2].

The first composite materials were introduced with automobiles in 1947 [3,4]. In 1974, Japan thought to reduce weight of the vehicle for decreasing high fuel consumption. That time they gave importance of composite materials in vehicle's bodywork [5]. Although Rolls Royce in UK was experimenting glass fibre reinforced thermoset polymers in gas turbine engine fan, this experiment didn't get significant success [6]. In between 1960 s and 1990 s, this period is considered as development period of composites in automobile industry. In these all periods, SMC type's composites were developed and in 1990, world first carbon road car was introduced by McLaren [7]. In 20th and 21st century, composites are signified as pioneer in automobile industry, due to their low

Abbreviation: CTE, Coefficient of Thermal Expansion; RTM, Resin Transfer Moulding; AFP, Automated Fibre Placement; ATL, Automated Tape Laying; CFRP, Carbon Fibre Reinforced Polymer; PFRC, Plantain Fibre-Reinforced Polyester Composites; FRP, Fibre Reinforced Plastic; LCM, Liquid Composite Moulding; MRI, Magnetic Resonance Imaging; SMCs, Sheet Moulding Compounds; GMTs, Glass Mat Thermoplastics; LFTs, Long Fibre Thermoplastics; BMC, Bulk Moulding Compound; VIP, Vacuum Infusion Process; GFRP, Glass Fibre Reinforced Polymer; PVB, Polyvinyl Butyral; CMCs, Ceramic Metal Composites; MMCs, Matrix Metal Composites; MPCs, Magnetostrictive Polymer Composites.

\* Corresponding author.

E-mail address: [nayem.hossain@iubat.edu](mailto:nayem.hossain@iubat.edu) (N. Hossain).

<https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017>

Received 21 October 2023; Received in revised form 2 February 2024; Accepted 22 February 2024

Available online 27 February 2024

2307-1877/© 2024 The Author(s). Published by Elsevier B.V. on behalf of Kuwait University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

weight, less fuel consumption, accidental safety [8]. Now natural fibre is also used in research and trial because of Green Technology. It controls pollutions, environmentally biodegradable and available in nature [9].

Composite materials are used because of some speciality such as low corrosion, easy maintenance and design variability [10]. The primary benefit of composite materials is their combination of strength, rigidity, and lightweight. Manufacturers may develop qualities that perfectly meet the needs of a specific construction for a particular purpose by selecting the right combination of reinforcement and matrix material [11].

Fig. 1 shows the beneficial characteristics of composite materials. As composite materials have multiple layers, each of them combinedly carries different properties.

Compared to other traditional materials, composite material shows some unique characteristics that can be fabricated according to necessity. Unlike other materials, composites have been used in the automobile industry and aerospace and military vehicles in recent times [12, 13]. For high-performance and lightweight, composite materials are used in low-volume vehicles and motorsports [14]. Even for the natural fibre composites, it shows higher weight-to-strength ratio, than other homogeneous metal [15]. Composite materials show 15 times higher tensile strength than conventional material. That consumes low fuel economy [16]. In the case of thermal and corrosion resistance, this multipurpose material is economical in overall cost [17]. This eco-friendly material shows high damage tolerance properties for ensuring passenger safety [18]. Composite materials show some effects on recycling, which are very convenient for Green Technology. These materials are generally sufficient for environmental safety [19]. Though receiving good quality surface finishes at a cheap rate is challenging, it shows benefits in manufacturing, designing, repairing, lightweight, joining, and recycling and safety issues [20]. Comparing to performance and usage, overall cost is very low for composite [21]. Several easy fabrication techniques must be applied to reduce cost for fabricating composites such as moulding, lay-up, winding and so one [22].

Researchers are trying to progress of using composites for making eco-friendly [23] within reasonable cost [24]. In the contrast, it is quite impossible to improvise because of high fabrication cost. Additionally, the 3D printing technology was very limited for several types of materials. Though that is already generated to develop composites with 3D printing within limited cost [25]. These all-other problems can be solved by utilizing Natural Fibre Composite materials [26]. Besides, fire problems [27] and lightning damage [28] are substantially increased for vehicle. Moreover, self-healing and sensing properties, piezoelectricity and magneto-strictive characteristics should be taken consideration for the manufacturer. Researcher should imply importance in this

phenomenon by using the effective characteristics of composite materials.

## 2. Advantages of composite materials

Composites now have a permanent place in modern production because of cutting-edge engineering methods that arise from the creative blending of various materials and chemical compounds [29]. The following are some benefits of using composite materials in the automotive industry over traditional materials:

### 2.1. Strength-to-weight ratio

The strength-to-weight ratio of a substance, commonly known as its specific strength, compares its strength to its weight. Composites' excellent strength-to-weight ratio is arguably their most significant benefit. Although carbon fibre is stronger and stiffer than both materials per unit of weight, it weighs approximately one-quarter as much as steel and 70% as much as aluminium [30]. Multilayer composite laminates absorb more energy than conventional single-layer steel, enabling high-end automotive engineers to reduce vehicle weight by as much as 60% while enhancing crash safety [31]. For instance, it is possible to make a composite material that will not bend in one direction where metal typically needs to be thicker to achieve the desired level of strength in one order, which increases weight. Composite materials can be robust without being heavy [32]. Table 1 show that Steel and Carbon Fibre as well as Aluminium and Laminated Fibreglass can be easily distinguished with respect to their mechanical properties such as Types of Materials, Tensile Strength, Density and Elastic Modulus.

**Table 1**  
Comparison of material strength of different types of composites and alloys.

Materials Name	Materials Type	Tensile Strength $\sigma_u$ (MPa)	Density $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Elastic Modulus $E$ (GPa)	Ref.
Steel (S355)	Alloy	500	7850	210	[33]
Carbon Fibre (High Strength)	Composite	7060	1820	294	[34]
Aluminium (AA6082)	Alloy	150	2710	71	[35]
Laminated Fibreglass (FR4)	Composite	317	2000	24	[36]

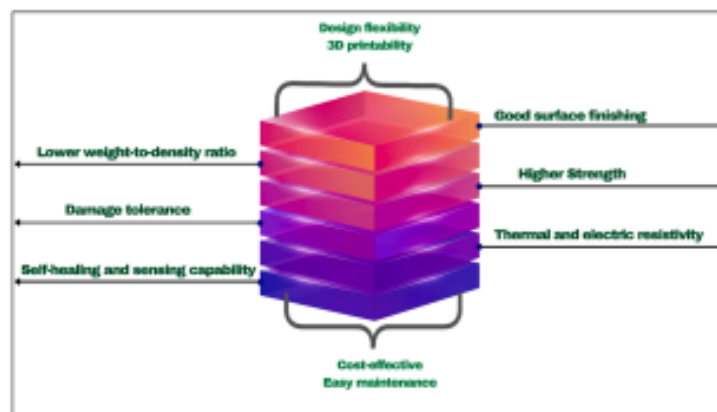


Fig. 1. Layers and characteristics of composite materials.

According to Table 1, Carbon Fibre and Laminated Fibreglass are higher in tensile strength than Steel and Aluminium. Their elastic modulus is also higher. Though their density is lower, Steel and Aluminium can be replaced by Carbon Fibre and Laminated Fibreglass respectively.

### 2.2. Durability and damage tolerance

Metals are susceptible to fatigue. The Aloha Airlines disaster in the 1980s resulted from this [37]. Whether it's hot or cold and wet or dry, composites can maintain their shape without rusting because of their excellent dimensional stability. As a result, they are a preferred material for outside structures such as wind turbine blades for long-term stability [38].

### 2.3. Impact resistance

Composites can be designed to deflect blows, such as the sudden force of a bullet or the blast from an explosion. Due to this characteristic, composites are used to create bulletproof jackets and panels and protect buildings, military vehicles, helmets and aircraft from explosions [39].

### 2.4. Corrosion resistance

Composites-based products offer long-lasting resistance to harsh chemical and temperature environments. There have been numerous instances of glass fibre-reinforced polymer ductwork functioning in corrosive chemical conditions round-the-clock, every day of the week, for more than 25 years in chemical industrial facilities [40]. Composite materials including carbon fibres, glass fibres, and rapid-cure resins have qualities that resist corrosion from oxygen and moisture as well as corrosive substances, saltwater, and humid environments. Because of this, composites are an essential component of maritime industries or companies that move products and chemicals through pipelines and into containers [41].

### 2.5. Thermal conductivity

Additionally, composite materials exhibit low heat and electrical conductivity, making them excellent insulators for components that require insulation [42]. But if it's necessary to create thermally conductive parts, thermally conductive materials can be incorporated into the composite part, so this attribute isn't lost in creating composite parts [43]. For example, Polyimide Composites are very high thermal conductive. It is less heavy than metals with a high glass-transition temperature. This material can be modified to have the best qualities dependent on the applications by switching out the carbon fibres which has low CTE [44].

### 2.6. Nonmagnetic

Since composites don't include any metals, they are not magnetic. Composite materials can be used around sensitive technological equipment. Large magnets used in MRI (Magnetic Resonance Imaging) apparatus operate more effectively without magnetic interference [45]. In Fig. 2, it can be observed that the contact angle remains the same after magnetic impact. The composite materials inside the micro-channel get magnetized when two rectangular permanent magnets of the same opposing polarity are positioned in the middle of the channel length, with their magnetization direction perpendicular to the channel wall.

### 2.7. Cost reduction

Composites are more affordable in terms of price per cubic inch and raw material price. A single one of them is a thermoset composite. The cost of thermoset composites is lower when compared to materials like

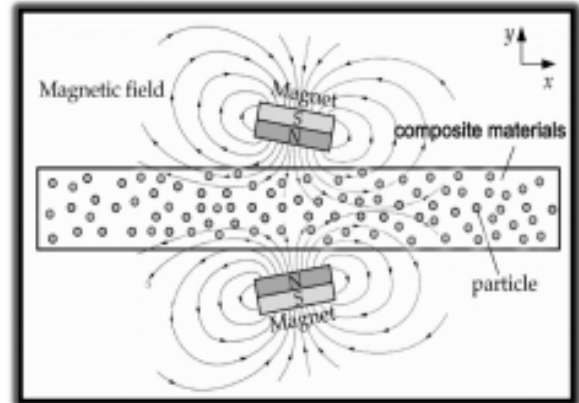


Fig. 2. Testing composite materials with the contact of magnet.

thermoplastics, wood, and metal [46]. Furthermore, since thermoset composites contain little petroleum, they are not affected by price swings that affect petroleum-based products [47].

### 2.8. Design flexibility

Composite materials offer design flexibility in automotive applications, enabling engineers and designers to create structures more inventively and effectively than traditional metals [48]. Composite materials can be moulded into complex forms for aesthetic and economical designs, enhancing the aesthetic appeal and functionality of automobile exteriors [49]. Composites can be designed easily for maintaining environmental safety [50]. Engineers can customize composite materials' mechanical characteristics by altering fibre type, orientation, and stacking order, thereby ensuring components with precise stiffness, strength, and damping properties [51]. Composite materials can be combined into a single part, simplifying design and eliminating the need for multiple components by acting as a noise barrier, thermal insulator, and structural element [52].



### 2.9. Dimensional stability

Dimensional stability is crucial for the structural integrity and long-term performance of vehicle components. For this reason, composite materials are used in automotive applications to reduce mechanical stress and environmental factors [53]. The Low Coefficient of Thermal Expansion is a crucial design technique for automotive applications, as it minimizes size changes and maximizes dimensional stability due to temperature fluctuations [54,55]. Some composites, especially those with organic matrix, can cause dimensional changes due to moisture absorption, which can be minimized through design decisions and material selections [56].

### 2.10. Chemical resistance

Composite materials' high strength-to-weight ratio, corrosion resistance, and other benefits are driving their increasing use in automotive applications, with the type and environment determining their chemical resistance [57]. Glass fibres [58] and epoxy resin [59] are typically resistant to most chemicals, making them a popular choice for automotive applications due to their strong chemical resistance. Moisture absorption can significantly affect the performance of composite materials, even if some are designed to prevent it [60].

**Anexo 5:** Nivedhitha Durgam Muralidharan, Jeyanthi Subramanian, Sathish Kumar Rajamanickam, Prabu Krishnasamy, Senthil Muthu Kumar Thiagamani, Anish Khan. Flame retardant characteristics of natural fibre reinforced polymer composites: A thematic review. *Polymer Composites* 2024, 45, 12530, DOI: [10.1002/pc.28699](https://doi.org/10.1002/pc.28699) ..... 12532 – 12535.

 Publisher Preview 

A preview of this full-text is provided by Wiley.  
[Learn more](#)



Content available from *Polymer Composites*   
This content is subject to copyright. [Terms and conditions apply](#)

Received: 20 February 2024 | Revised: 11 May 2024 | Accepted: 30 June 2024  
DOI: 10.1002/pc.28699

REVIEW ARTICLE



## Flame retardant characteristics of natural fibre reinforced polymer composites: A thematic review

Nivedhitha Durgam Muralidharan<sup>1</sup> | Jeyanthi Subramanian<sup>1</sup> |  
Sathish Kumar Rajamanickam<sup>2</sup> | Prabu Krishnasamy<sup>3</sup>  |  
Senthil Muthu Kumar Thiagamani<sup>4,5,6,7</sup>  | Anish Khan<sup>7</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering,  
Vellore Institute of Technology, Chennai  
Campus, Chennai, India

<sup>2</sup>Department of Automobile Engineering,  
Sriindian Institute of Technology and  
Science, Chennai, India

<sup>3</sup>School of Automobile Engineering,  
Vellore Institute of Technology,  
Vellore, India

<sup>4</sup>Department of Mechanical Engineering,  
Kalasalingam Academy of Research and  
Education, Krishnankoil, India

<sup>5</sup>Department of Mechanical Engineering,  
INTI International University, Nilai,  
Malaysia

<sup>6</sup>Centre for Advanced Composite  
Materials (CACM), Universiti Teknologi  
Malaysia, Johor Bahru, Malaysia

<sup>7</sup>Center of Excellence for Advanced  
Materials Research, King Abdulaziz  
University, Jeddah, Saudi Arabia

### Correspondence

Senthil Muthu Kumar Thiagamani,  
Department of Mechanical Engineering,  
Kalasalingam Academy of Research and  
Education, Anand Nagar, Krishnankoil  
626126, Tamil Nadu, India.  
Email: [senthilmtk@kaly.ac.in](mailto:senthilmtk@kaly.ac.in)

### Abstract

Globally, with the advancement of industrialization and globalization, the automotive sector has drastically increased for transportation and commercial purposes. Hence, to maximize efficiency and minimize the weight of automobiles, the automotive and aerospace industries have welcomed synthetic fibre-reinforced composites, vastly replacing conventional metals. Despite the superior performance, the usage of synthetic fibre composites has led to the massive dumping of automotive waste in landfills, making the land unfit for future purposes. Therefore, natural fibre-reinforced composites (NFRCs) quickly replace synthetic fibres with their unique features, such as being lightweight, biodegradable, and non-toxic, en route a new path towards a sustainable environment. Though NFRCs are finding new applications in various industries, researchers are trying to enhance their thermal, electrical, and mechanical properties to make them synergic composites. However, with the presence of cellulose, lignin, and wax, natural fibres become highly responsive toward flammability, limiting their use in various emerging applications. As the subject of the flammability of NFRCs has a limited amount of literature, the current review article aims to address the current flammability studies and strategies adopted to improve the flame-retardant characteristics of NFRCs exclusively. Also, this review covers the factors and influence of different types of flame-retardant fillers adopted to improve the flame-retardant characteristic of NFRCs and their mechanism. Additionally, this review article summarises various official and laboratory flame-testing techniques such as radial panel test (RPT), cone calorimetry, and limited oxygen index (LOI) adopted to characterize the flammable properties of NFRCs.

### Highlights

- Natural fiber biocomposites are becoming a potential candidate for structural and interior applications in the automotive and aircraft industries.
- Flammability becomes a major alarm as it concerns with the safety of passengers.
- The flammability behavior of natural fiber composites is extensively discussed.

---

efficient to only reduce the heat release rate. When they are used alone in biocomposites, it has been reported that the presence of natural fibers can increase the pHRR probably by disturbing the protective layer formed by the accumulation of nanoparticles at the top surface. The incorporation of banana fibers into a PP matrix flame retarded with nanoclays leads to a linear increase of the peak of heat release rate in cone calorimeter test (heat flux 50 kW/m<sup>2</sup>) [72]. The pHRR increases from 748 to 1256 kW/m<sup>2</sup> when 30 wt% of fibers are incorporated. Hapuarachchi and Peijs have also observed that hemp fibers increase the pHRR of PLA flame retarded with nanoparticles (sepiolite and multiwalled carbon nanotubes) in cone calorimeter test [63]. The authors noted that hemp fibers provoke severe delamination during the test. Interestingly, when nanoparticles are adequately modified, they can be highly efficient on flame retardancy of biocomposites. For example Yu et al. [68] proved the efficiency of 9,10-dihydro-9-oxa-10-phosphaphenanthrene-10-oxide (DOPO) functionalized MWCNTs to improve UL94 test and limiting oxygen index (LOI) of ramie/poly(lactic acid) (PLA) composites. The char improvement is allowed thanks to a high dispersion of the functionalized MWCNTs and the interaction between DOPO and ramie fibers (that acts as a charring agent).

On the whole, phosphorous compounds seem to be the most efficient FR in NF based biocomposites. As they are incorporated by additive way, a high amount is usually needed that can induce a significant degradation of mechanical properties and may provoke processing troubles [61, 73]. For example, Zhang et al. have studied PP composites filled with APP and silica. Both fillers lead to a decrease in mechanical properties, particularly impact strength. Moreover, the authors note that these fillers have a certain impact during foaming using CO<sub>2</sub> as blowing agent [73]. One alternative that can be used for laminates is to protect the composite by a fire retardant layer (multilayer composites) as proposed by several authors [74, 75]. The geometry as well the choice of the composition for each layer has a great influence on properties, including fire properties [74, 76]. Another alternative is to incorporate the FR in reactive way, in order to flame retard the reinforcement. Therefore, the question is: Is it possible to reach the same fire performances by flame retarding only the natural fibers? A less ambitious (but more realistic) objective may be to combine both approaches in order to reduce the FR amount in the matrix: the incorporation of FR additives into the matrix and the chemical grafting of FR on the natural fibers.

### ***3.3.2 Is to Flame Retard Natural Fibers Enough to Impact Fire Performances to Composites?***

Natural fibers are sometimes functionalized to improve their compatibility with the matrix. Even if these treatments are not intended to improve the flame retardancy, some authors have noted that the fiber modifications have an impact on the fire behavior, especially on LOI [77–80]. Hence, Nair et al. [78] found that PS

composites filled with modified (benzoylated and acetylated) sisal fibers exhibit a better thermal stability than the composite containing unmodified fibers. According to the authors, this is explained by the improved stability of modified fibers themselves but also by the interactions between the modified fibers and the matrix. Silanated *Grewia optiva* fibers increase the thermal stability and the residue content of unsaturated polyester filled with 30 wt% of fibers [77]. The limiting oxygen index is also slightly enhanced from 19 to 22 when fibers are silanated. VP et al. [39] have not observed that silanization of banana fibers does improve the thermal stability of PLA biocomposites. But the burning rate is reduced in UL-94 horizontal test, dripping is limited and drips do not ignite cotton. Moreover the pHRR in cone calorimeter decreases from 398 kW/m<sup>2</sup> for PLA containing 30 wt% of untreated banana fibers to 340 kW/m<sup>2</sup> for PLA filled with silanated fibers at the same loading.

The strategies to flame retard natural reinforcements can be directly inspired from techniques used in textile industry. There is a huge literature about the flame retardancy of plant-based textiles, mainly cotton. Alongi et al. [81] have recently reviewed the innovative methods to impart flame retardancy to fabrics. Among the reviewed methods, layer-by-layer (LbL) assembly process has attracted the interest of several researchers. Flame retardancy was imparted mainly to cotton fabrics [82–85], but also ramie fabrics [86] or delignified wood fibers [87]. In most cases, phosphorus-based compounds were used to promote the charring. To the best of our knowledge, LbL has rarely been used to flame retard a natural reinforcement for composite applications. Li et al. [37] have coated a ramie fabric using this method and incorporated it into a polybenzoxazine composite. The coating is constituted by ammonium polyphosphate (APP) and polyethyleneimine. The fabric content was around 65–70 wt%. The LbL treatment strongly increases the LOI: from 26.5 for the composite containing the uncoated fabric to 38.9. The coating also allows reaching V-0 rating at UL94 test. The thermal stability is enhanced above 300 °C under nitrogen and air and the residue content is significantly increased (by 15% under nitrogen). In this case, due to the high amount of ramie fibers and to the intrinsic good behavior of the matrix, the flame retardancy of fibers allows dramatically improving the performances of the composite.

Some authors have modified natural fibers by adsorbing or absorbing some phosphorous flame retardants as DAP, APP or phosphoric acid without washing fibers after modification [43, 46, 50]. For example, Suardana et al. have treated coconut and jute fibers with diammonium phosphate and incorporated them into PLA or PP at a volume fraction of 35% [50]. The phosphorus content into fibers was not measured. The flammability of composites is reduced as proved by the decrease in burning rate (horizontal propagation) and the increase in char yield.

Grafting of FR is another strategy. In most cases, it is involved through hydroxyl groups of cellulose or lignin. Dorez et al. used molecules (cellulose, xylan and lignin) to study the reactivity of natural fibers toward phosphonic acid molecules (such as octadecylphosphonic acid, ODPA) [60]. They proved that ODPA reacts strongly with lignin and at a lower degree with xylan (model for hemicellulose) whereas no reaction with cellulose was evidenced. These results mean that in soft conditions used in this study, phosphonic acid preferentially reacts with aromatic

**Anexo 6:** Campos, A.R. & Cunha, António & Tielas, Alberto & Mateos, António. (2008). Biodegradable Composites Applied to the Automotive Industry: The Development of a Loudspeaker Front. *Materials Science Forum*. 587-588. 187-191.  
10.4028/www.scientific.net/MSF.587-588.187..... 187 - 191

*Materials Science Forum Vols. 587-588 (2008) pp 187-191*  
online at <http://www.scientific.net>  
© (2008) Trans Tech Publications, Switzerland



## **Biodegradable Composites Applied to the Automotive Industry: the Development of a Loudspeaker Front**

Ana Rita Campos<sup>1,2, a</sup>, António M. Cunha<sup>2, b</sup>, Alberto Tielas<sup>3, c</sup> and António Mateos<sup>3, d</sup>

<sup>1</sup>PIEP, Innovation in Polymer Engineering, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>2</sup>IPC, Institute for Polymers and Composites, Department of Polymer Engineering, University of Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>3</sup>CTAG, Centro Tecnológico de Automación de Galicia, Polígono Industrial de A Granxa, 36400 Porriño, Pontevedra, Spain

<sup>a</sup>r.campos@piep.pt, <sup>b</sup>amcunha@dep.uminho.pt, <sup>c</sup>alberto.tielas@ctag.com, <sup>d</sup>antonio.mateos@ctag.com

**Keywords:** Biodegradable composites, Natural fibres, Automotive applications.

**Abstract.** The interest of the automotive industry on biodegradable and green composites is increasing dramatically due to environmental legislation that obliges automakers to reduce the disposal of waste from vehicles [1]. As an answer to this recent demand several research groups are working on the development of these composites. This work shows the development of a loudspeaker front made of two different biodegradable composites: PLA (polylactic acid) and SCA (blend of starch and cellulose acetate) reinforced with different percentages of cellulose spent fibres. The composites were previously extruded on a counter-rotating twin screw extruder and injection moulded into tensile specimens. The mechanical properties of the produced tensile specimens were assessed with an Instron Universal Testing Machine as well as the morphological aspects of the materials, studied with optical and scanning electron microscopies. After these preliminary set of tests, the best composites were chosen to produce the final parts (loudspeaker front). These parts were injection moulded on a Ferromatik Milacron K85 injection moulding machine (850 kN clamping force) and subjected to a wide set of automotive tests to evaluate their performance. The best materials for this application proved to be the PLA reinforced composites, although there is still a large window for improvement of properties, based on the engineering of the matrix/reinforcement interface and also on the improvement of the thermal properties of the PLA material.

### **Introduction**

Several reasons [2], are pushing the development of sustainable plastics and biodegradable materials to apply in automotive parts [3, 4]. However, the idea of producing biodegradable parts, from renewable resources, made of biodegradable polymers reinforced with natural fibres is still in an earlier stage of development, as the target applications are very demanding.

In the present work, two different biodegradable polymers were reinforced with cellulose spent fibres, resulting in 100% biodegradable composites. These composites were studied in order to evaluate their applicability, in terms of mechanical properties and functional performance, in a real automotive part – a loudspeaker front.

All rights reserved. No part of contents of this paper may be reproduced or transmitted in any form or by any means without the written permission of the publisher: Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, www.ttp.net. (ID: 193.136.14.80-17/06/08,11:02:32)



## Experimental

**Materials and compounds.** Two biodegradable matrices were used for this work: SCA (a starch based blend) and PLA. SCA is a commercial biodegradable blend of starch (60 wt-%) with cellulose acetate (40 wt-%), with a melt flow index of 9.04 g/10min (170°C and 98N). It was supplied by Novamont, Novara, Italy. The PLA used has a melt flow index of 8 g/10min (190°C and 98N) and was supplied by Hycail Finland Oy, Finland. The biodegradable polymer matrices were reinforced with different loads of washed cellulose spent fibres (cf), coming from Eucalyptus Globulus var. Labill. These fibres were recovered from the wastewaters of a local kraft pulping industry (ENCE, Pontevedra, Spain) and processed as described elsewhere [2].

**Compounding and moulding.** Prior to any investigation and in order to avoid steam release during compounding, the fibres were oven heated at 60°C to reach moisture content below 2 wt-% and sealed in polyethylene bags under vacuum. All the materials were compounded on a Carvex counter-rotating twin-screw extruder with a screw diameter of 52 mm and an L/D ratio of 18. Both polymer matrices were compounded with 20, 30 and 40 wt-% of cellulose spent fibres with barrel temperatures and screw speeds adapted to each one (barrel temperatures – 60 to 160°C and 60 to 180°C and screw speeds – 15 rpm and 20 rpm for SCA and PLA composites, respectively). The maximum fibre load was kept at 40 wt-% due to the difficulties found in injection moulding composites with higher reinforcement content. The extruded materials were granulated in a Colortronic cutting mill, and stored in polyethylene bags at least for 48h conditioned in ambient environment (23°C, 55% relative humidity). ISO tensile specimens were obtained in an Engel ES45 HL-V injection moulding machine (450 kN clamping force) and mouldings of the loudspeaker front were produced on a Ferromatik Milacron K85 injection moulding machine (850 kN clamping force). The injection moulding conditions used were optimized for each material, machine and moulded part as shown in table1.

Table 1 – Injection moulding conditions used for the production of the tensile test specimens and loudspeaker front parts.

	specimens <sup>1</sup>		loudspeaker front parts <sup>2</sup>	
	SCA	PLA	SCA	PLA
Barrel temperatures (°C)	<180	<200	<180	<190
Mold temperature (°C)	40	30	40	40
Cooling time (s)	40	40	40	40
Injection speed (mm/s)	<50	<50	25	30

1 – produced on an Engel ES45 HL-V injection moulding machine (450 kN clamping force)

2 - produced on a Ferromatik Milacron K85 injection moulding machine (850 kN clamping force)

**Development of the part.** A loudspeaker front was selected as target application and developed. From the concept to the moulded part the use of advanced design tools like 3D design powerful tools (Catia V5), simulator of the plastic injection process (Moldflow), validation through FEM calculations (Hypermesh, Nastran and Mark) and rapid prototype tools (Selective Laser Sintering of polyamide) were necessary (Fig. 1).

Once the geometry was validated, the following stage was the design of the prototype mould. The moulding elements were manufactured with technologies of “rapid tooling” in a rapid prototype machine (EOS P380) working with SLS. These elements were then fitted on the structure of the mould. This structure is versatile and appropriated for any kind of mould inserts with similar dimensions. Fig. 2 shows the final result of the set and the final part.

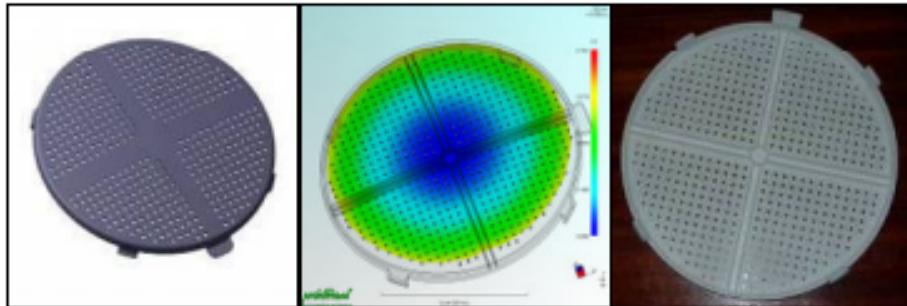


Figure 1 – Examples of the different stages of the part development.



Figure 2 – Mould and final part produced.

**Mechanical and morphological characterization.** The tensile specimens were tested in an Instron 4505 universal testing machine fitted with a 50 kN load cell. A resistive extensometer with a 50 mm gauge length was used to determine the E modulus. The tests were run at a crosshead speed of 2 mm min<sup>-1</sup> (corresponding to a strain rate of 33.3 x 10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>). The ultimate tensile stress (referred as tensile strength) and the strain at break were also assessed. The morphology of the mouldings was observed with an Olympus BH2 transmission microscope, by polarised light microscopy. Scanning electron microscopy (Leica S360) was used to study the interfaces between the matrices and the fibres.

**Automotive performance tests of the final parts.** Several studies were done in order to evaluate the behaviour of the different materials, in conditions similar to those used to test conventional plastics in the automotive industry.

The parts, made of both SCA and PLA reinforced with 30 wt-% of cellulose spent fibres were submitted to a set of tests: physical and dimensional parameters variation under different temperature and humidity conditions; fatigue tests; resistance tests; part tearing off; solar radiation test; vibration tests; climatic tests; parasitic noises tests; dilatation of the parts tests.

## Results and discussion

Fig. 3 presents the mechanical results obtained for the composites reinforced with different loads of washed cellulose spent fibres (cf).

These results show, as expected, that the increase of the reinforcement load results in a progressive increase of the composites rigidity. Reinforcing the matrices with 40 wt-% of cellulose fibres gives rise to double the stiffness of the base materials. Regarding the tensile strength

**Anexo 7:** Kim, Hyun-Joong & Lee, Byoung-Ho. (2009). Sustainable Bio-Based Green-Composites for Automotive Interior Parts.

.....1 - 4

## SUSTAINABLE BIO-COMPOSITES FOR AUTOMOTIVE INTERIOR PARTS

H. Kim<sup>1,2\*</sup>, B. Lee<sup>1</sup>, S. Choi<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Lab. of Adhesion & Bio-Composites, Program in Environmental Materials Science,

<sup>2</sup>Research Team for Biomass-based Bio-Materials, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Republic of Korea

\* Corresponding author([hjokim@snu.ac.kr](mailto:hjokim@snu.ac.kr), [www.adhesion.org](http://www.adhesion.org))

**Keywords:** Bio-composite, automotive interior part, kenaf fiber, PLA

### 1 Introduction

Conventional polymer composites have various advantages, such as lightweight, endurance, flame resistance, low cost, and wide use [1]. Recently, advanced polymer composites containing carbon and glass fibers have been utilized extensively in the aerospace, automotive, and construction industries. [2] Since the matrices and the fiber reinforcements in these advanced composites are based on mineral resources that have long term sustainability have some problems such as accumulating environmental pollution. While recycling may be a viable strategy, the complicated mixed morphology of composite materials makes them inherently difficult to recycle. In comparison, several so called bio-composites, have been developed that offer certain environmental advantages at the end of their use cycle when composites are landfilled or incinerated [3]. For the purposes of this study bio-composites are defined as composite materials that combine natural fibers such as sisal, jute, hemp, and kenaf with either biodegradable or non-biodegradable polymers. Natural fibers have many advantages over synthetic fibers; these advantages include biodegradability, low density, high toughness, acceptable specific strength, reduced dermal and respiratory irritation, low cost, and less use on non-renewable resources. So, if some properties of bio-composites such as low thermal stability in biodegradable matrix polymer and weak interfacial adhesion between matrix and filler are improved, than bio-composites will alternate with conventional advanced polymer composites. Recently, 'Sick Car Syndrome' was occurred by the problem for new made cars that have great quantity VOCs (volatile

organic compounds) in their interior parts. Thus, the automotive makers have struggled to reduce emitted VOCs from car interior.

### 2 Experimental

#### 2.1 Material

The Matrix of the bio-composites was poly(lactic acid) (PLA), which was manufactured by Huvis Co., Ltd., South Korea, in the form of fibers with density 1.24 g/cm<sup>3</sup>, average length of 52 mm. Kenaf fiber was donated by Sutongsang Co., South Korea. Kenaf fiber used in our experiments was bast fibers.

#### 2.2 Sample preparation

The bio-composites of PLA/kenaf fiber were prepared using a carding machine (Kyowa Co. Ltd, Japan). Carding provides a uniform blend of the two fibers [4], this is followed by needle punching, then pre-pressing and finally hot-pressing to form the composite material. The PLA/kenaf non-woven web produced after the carding process was pressed to reduce the thickness of the matt. In the final step, the prepressed matt was hot-pressed for 5 minutes at 200 °C under a pressure of 0.7 MPa (70 kgf/cm<sup>2</sup>). This process enabled melting of the PLA and good impregnation provided a well consolidated formed sheet. Figure 1 shows the carding process. Headliner and package tray were manufacture by carding process.

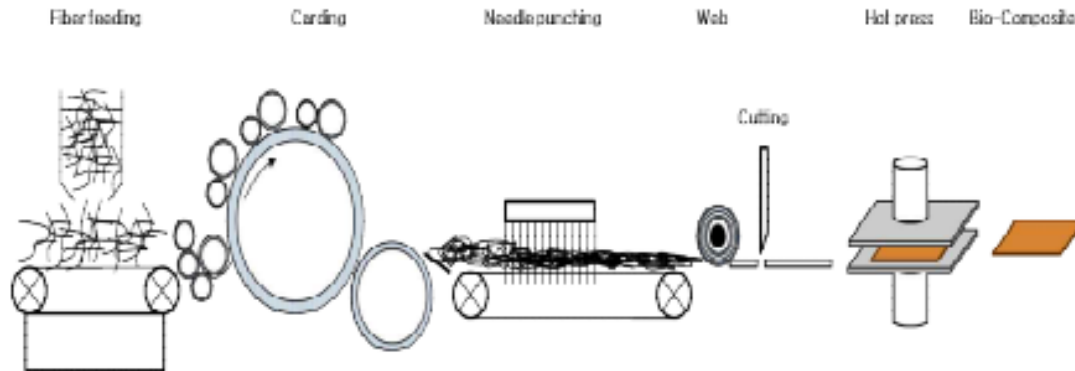


Fig. 1. Carding process for PLA/kenaf bio-composites.

### 2.3 Characterization

Mechanical properties and physical properties of headliner and package tray were conducted. The VOCs emission and formaldehyde were measured 20L small chamber method which is very useful equipment to catch up the sample gas that gas was taken by Tenax-TA after the sample specimens were installed into the dynamic thermal extractor chamber and analyzed by TDS-GC/MSD.

## 3 Results and Discussion

### 3.1 Mechanical test of headliner



Fig. 2. Prototype headliner composed of PLA/kenaf fiber bio-composites.

Figure 2 shows the prototype headliner interior part composed of PLA and kenaf fiber by carding process.

Table 1 shows that the test results on the headliner utilizing standard test methods from the automotive industry. These tests were conducted with prototype headliner composed of PLA/kenaf 50 wt%. All test results satisfied the needs for automotive headliner.

Table 1. Mechanical properties of headliner mad of bio-composites

Assessment			Unit	Needs	Result	
Tensile Strength	Normal	lengthwise	kgf/5cm	95	192.7	OK
		widthwise			115	203.9
	Wetproof	lengthwise		85	172.0	OK
		widthwise		110	209.6	OK
Flexural Strength	Normal	lengthwise	kgf/5cm	1.6	3.62	OK
		widthwise			2.8	4.89
	Wetproof	lengthwise		1.5	3.32	OK
		widthwise		2.5	4.70	OK
Dimensional Shrinkage	lengthwise	%	± 1.0	0.46	OK	
	widthwise			0.99	OK	

### 3.2 VOCs emission of headliner

Table 2 lists the VOCs emission and formaldehyde levels, as detected by TDS-GC/MSD, of various VOCs from the bio-composites. As a result, the VOCs emission levels of PLA/kenaf bio-composites were very low emission levels. And formaldehyde emission levels are also emitted.

Table 2. Formaldehyde and VOCs emission of prototype headliner

VOCs	Limited <sup>a</sup>	Headliner
Formaldehyde	250	219.6
Toluene	1000	4.6
Xylene	870	0
Benzene	30	0
Ethyl benzene	1600	0
Styrene	300	0

<sup>a</sup> The standard in Korea.

### 3.3 VOCs emission of package tray

Table 3 lists the TVOCs emission and formaldehyde levels of prototype package tray, as detected by TDS-GC/MSD, of various VOCs from the bio-composites. As a result, VOCs emission levels are very low. And formaldehyde emission levels are also emitted. So, VOCs and formaldehyde emission levels satisfy with the regulation. Figure 3 shows the prototype package tray.



Fig. 3. Prototype headliner composed of PLA/kenaf fiber bio-composites.

Table 3. Formaldehyde and VOCs emission of prototype package tray

VOCs	Limited <sup>a</sup>	Package tray
Formaldehyde	250	8.9
Toluene	1000	10.5
Xylene	870	Not detected
Benzene	30	Not detected
Ethyl benzene	1600	Not detected
Styrene	300	Not detected

<sup>a</sup> The standard in Korea.

### 3.4 Module for automotive interior part

Interior headliner and package tray modules for an automobile are shown in the photograph of Figure 4 and Figure 5; headliner is the interior ceiling in automobiles and package tray is shelf. The headliner and package module are made of PLA/kenaf 50 wt%.



Fig. 4. Module of headliner made from a 50/50 PLA/kenaf fiber biocomposite.

## ANEXOS MARCO TEÓRICO

**Anexo 8.** Revista en línea Mansur Solar. (30 de septiembre de 2025). Obtenido de <https://www.mansur-solar.com/2023/10/impacto-ambiental-industria-automotriz-y-energia-limpia/>

¡Llámanos! 442 199 0885 | energia@mansur-solar.com

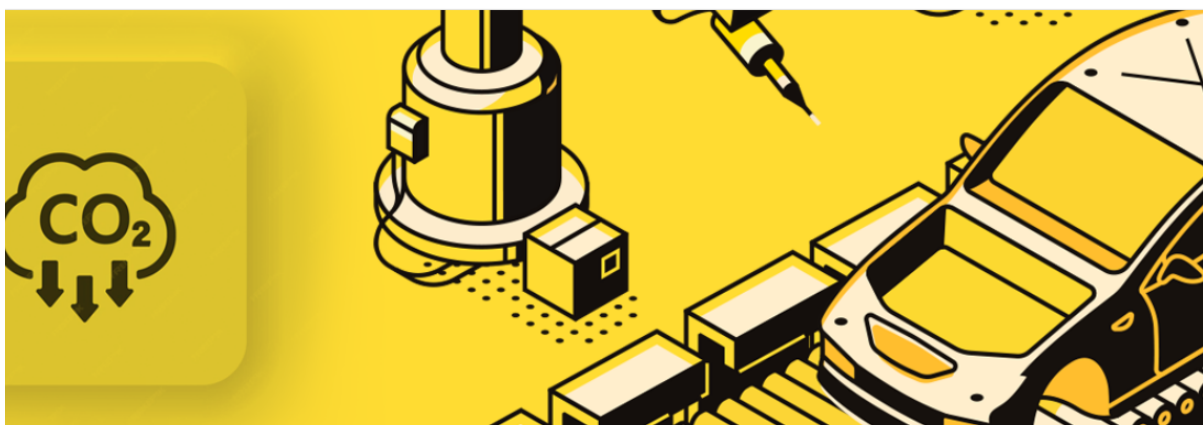


NOSOTROS ▾

INDUSTRIAL ▾

RESIDENCIAL ▾

ALMACENAMIENTO ▾



**El verdadero impacto ambiental de la industria automotriz: un enfoque en la huella de carbono y la transición hacia la energía limpia**

Re

## El verdadero impacto ambiental de la industria automotriz: un enfoque en la huella de carbono y la transición hacia la energía limpia

¿Alguna vez te has preguntado cuál es el impacto ambiental de la industria automotriz? ¿Te encuentras en la búsqueda de soluciones sostenibles para tu empresa de partes automotrices en México? Si es así, estás en el lugar correcto. En este artículo, exploramos el tema de la huella de carbono y cómo tu empresa puede dar el salto hacia la energía limpia.

La industria automotriz ha sido una pieza fundamental en la economía global durante décadas. Sin embargo, este éxito ha venido con un alto costo ambiental. Las emisiones de carbono, la contaminación del aire y la degradación del entorno natural son algunos de los problemas que la industria ha enfrentado.

Pero la buena noticia es que la conciencia sobre estos problemas está en constante aumento, y la industria automotriz está comenzando a tomar medidas para reducir su huella de carbono.

### ¿Qué es la huella de carbono?

Antes de sumergirnos en el impacto de la industria automotriz, es esencial comprender qué significa la «huella de carbono». En pocas palabras, es «la suma total de todas las emisiones de gases de efecto invernadero que han tenido lugar para que se produzca un producto o se realice una actividad». (1) ¿Por qué es relevante? Porque nos permite evaluar el impacto total que nuestras acciones y costumbres tienen sobre

Related F



CFE 20  
estatuto  
solar  
30/09/2025

## El impacto de la industria automotriz en el medio ambiente

La visión global que se está adoptando en el sector automotriz, así como en el resto de las industrias a nivel mundial con respecto al impacto en el cambio climático, implica considerar un enfoque holístico. Esto significa que no solo debemos evaluar el impacto de la planta de manufactura, sino también el impacto del producto final que se crea. Además, es esencial tener en cuenta cómo toda la cadena de suministro y proveedoría contribuye a este impacto ambiental. Analicemos cómo se desglosa este impacto.

### ¿Cuál es la contribución de la industria automotriz a las emisiones de CO<sub>2</sub>?

A nivel global, emitimos 36,800 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año (2). Para ponerlo en perspectiva, el sector industrial (incluida la industria automotriz) es responsable del 30%, mientras que la movilidad contribuye con el 19% de las emisiones.



% de Emisiones de Dióxido de Carbono por Sector (2019)

Y analizando a detalle el sector de la movilidad, las emisiones de manera porcentual se desglosan de la siguiente manera:

### % de Emisiones de CO<sub>2</sub> dentro del Sector de Movilidad



Anexo 9. Biblioteca de la CEPAL. (19 de octubre de 2023). Obtenido de <https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=587382&p=4058152>

Biblioteca CEPAL » Biblioguias » Huella Ambiental y de Carbono en las Exportaciones y el Comercio Internacional » Huella Ambiental @ CEPAL

## Huella Ambiental y de Carbono en las Exportaciones y el Comercio Internacional

Principales Publicaciones, proyectos, Recursos y Actividades de la Comisión en relación al tema.

- Inicio
- Huella Ambiental @ CEPAL
- Huella Ambiental @ ONU
- Recursos de Información
- Estadísticas e Indicadores
- Red Latinoamericana y del Caribe de la Huella Ambiental del Café

CEPAL: Producción de Conocimientos y Asesoría a la Región



La División de Comercio Internacional e Integración, ha estado

Libros y Doc



La División de Comercio Internacional e Integración, ha estado profundizando en el tema de la huella ambiental y de carbono, relacionado con la producción, distribución, comercio y consumo de bienes. A través de sus publicaciones, proyectos, y eventos en los que participa, se crea conciencia acerca de la importancia de comprender las variables incorporadas en las actividades relacionadas con el comercio y su impacto en lo económico, social y ambiental.

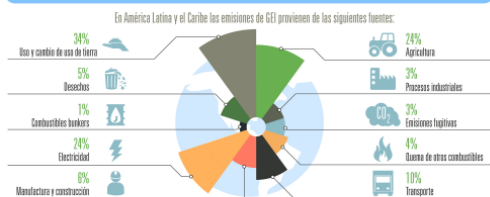
### Infografía sobre la Huella de carbono y el Comercio

#### La huella de carbono y el comercio

América Latina y el Caribe ya está sufriendo los efectos del calentamiento global. Producir un bien, exportarlo, consumirlo y gestionarlo (o no) sus residuos genera emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que son medidas a través de la llamada "huella de carbono". La reducción de esta huella puede ser una oportunidad para hacer más competitivas las exportaciones de la región, especialmente las de alimentos.

La huella de carbono o cantidad de carbono manifestado en un producto depende en gran medida de los métodos de producción y de procesamiento, transporte y el largo de la cadena de suministro.

En el caso del transporte internacional, la vía marítima es la más eficiente ya que emite la menor cantidad de GEI por tonelada/kilómetro o milla.



---

## Proyectos

- [Proyecto "Huella de Carbono y Exportaciones de Alimentos"](#)



Objetivo: Capacitación a un público amplio de representantes de los gobiernos y exportadores para: Identificar buenas prácticas de gobiernos y empresas para abordar los requisitos ambientales en la actividad exportadora y presentar los resultados de los estudios de caso.

## Eventos Anteriores

- [Taller III de la Red Latinoamericana y del Caribe de la Huella Ambiental del café. Santiago, Chile - 15-16 Dic 2015](#)

Objetivo: Continuar con la articulación de los países de la región en el proceso de elaboración del estándar ambiental europeo del café, a través de las presentaciones de expertos nacionales y capacitación en temas metodológicos relacionados con el impacto ambiental a través del análisis de ciclo de vida.

- [Seminario Taller "Huella de carbono para productos de exportación del sector de alimentos de América Latina: Prácticas empresariales". Santo Domingo, República Dominicana. 26 de noviembre de 2012](#)

Objetivo: Capacitación a representantes de los gobiernos y exportadores sobre la relación entre comercio y cambio climático y las principales metodologías y etiquetados de huella de carbono experiencias público-privadas existentes en cada país

BÚ

•

•

Anexo 10. Blog en línea Elementos Amovibles y Fijos no estructurables. (16 de junio de 2016). Obtenido de <https://amoviblesio.blogspot.com/2016/06/1.html>



jueves, 16 de junio de 2016

## MATERIALES SINTÉTICOS - 2

### 1. MACROMOLÉCULAS, MONÓMEROS Y POLÍMEROS.

Los materiales plásticos son compuestos químicos formados por grandes moléculas, llamadas **macromoléculas** (moléculas constituidas por más de mil átomos), de peso molecular muy elevado. Las macromoléculas se designan también con el nombre de **polímeros**, y las moléculas que se combinan para formar un polímero o macromolécula, se conocen como **monómeros**, que se repiten a lo largo de toda una cadena.

- Un polímero es como si uniésemos con un hilo muchas monedas perforadas por el centro, al final obtenemos una cadena de monedas, en donde las monedas serían los monómeros y la cadena con las monedas sería el polímero.

**Polietileno**

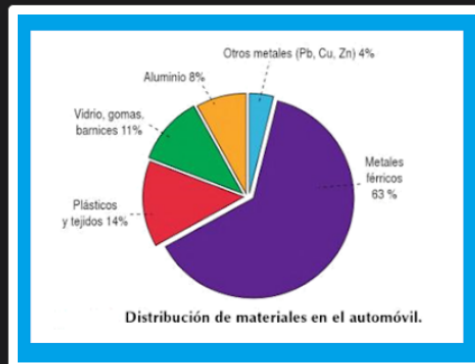
**Etileno**

## 2. ¿QUÉ ES UN PLÁSTICO?(UN POLÍMERO).

### Introducción

La palabra plástico deriva del griego plastiko que significa moldeable. Los plásticos son polímeros (del griego poly, muchos; meros, parte, segmento). Los plásticos pueden definirse como un conjunto de materiales de origen orgánico, sólidos a temperatura ambiente, fácilmente moldeables mediante calor y de elevado peso molecular.

- En el año 1832, experimentando con el caucho (primer elastómero conocido), se descubrió que reticulándose (tejido en forma de red) con sulfuro, se vulcanizaba, obteniéndose caucho sintético, cuyas propiedades elásticas eran excepcionales.
- En 1838, el científico francés Victor Renault logró obtener policloruro de vinilo en laboratorio a partir de acetileno, cloruro de hidrógeno, de etileno y cloro. Actualmente, y por polimerización de este cloruro de vinilo, se obtiene el cloruro de polivinilo (PVC), empleando peróxidos como catalizadores. Con aquel descubrimiento, quedaba abierto el camino a la evolución de los plásticos.
- En 1869, se inició la producción técnica de celuloide por parte de los hermanos Hyatt, un material que fundía a temperaturas muy bajas que no se transformaba bruscamente en líquido, como los metales, sino que daba una masa plástica y viscosa capaz de adoptar las formas más variadas. Ellos patentaron la primera máquina de inyección del mundo.
- En 1904 se inició la producción de galatina.
- Siguió en 1905 la producción de resinas felónicas o baquelitas.
- Otra etapa importante en la historia de los plásticos está marcada por el año 1930, en que se dio un paso decisivo para la verdadera producción en masa de materias plásticas al reconocerse las múltiples propiedades de aplicación.



En la industria española del automóvil se utilizaron en 1957 aproximadamente 1,1 kg de plástico por automóvil, siendo en 1970 el consumo de más de 50 kg, y en la actualidad, los fabricantes emplean una media de 110 kg por automóvil. Se calcula que para los próximos años, los plásticos utilizados en los vehículos serán aproximadamente el 30% del peso. De este porcentaje, en el interior de los turismos puede llegar al 70%, mientras que en el exterior será del 30%. Así pues, fabricantes y proyectistas, en busca de confort, reducción de peso y de ruidos, emplean cada vez más el plástico en los automóviles. Una simple mirada a los vehículos que hoy en día circulan, nos da una idea de la importancia que ha adquirido la presencia de los plásticos en el automóvil, y cómo han desbancado a los materiales clásicos.

La mayoría de los plásticos se emplean en el interior del vehículo: salpicaderos, pulsadores, paneles, mandos, etc. Asimismo, la aplicación en la carrocería también está muy extendida: paragolpes, portones, capós, elementos de ornamentación como estriberas, spoilers y alerones. Las principales razones que han llevado a los fabricantes de automóviles a incorporar plásticos de forma masiva han sido:

Anexo 11. Blog de internet EsPlásticos. (21 de abril de 2021). Obtenido de <https://esplasticos.es/blog/el-coche-del-futuro-la-seguridad-como-eje-central/>

EsPlásticos info@esplasticos.es

Quiénes somos Estrategia de la Industria Blog

---

Movilidad

## El coche del futuro: la seguridad como eje central

21 de abril de 2021

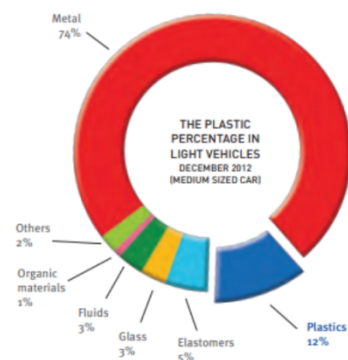
A la hora de elegir un coche nos fijamos en muchas cosas siendo una de las más relevantes la seguridad. Los cinturones de seguridad, los sistemas de retención infantil, los airbags o el parachoques, **son elementos que intervienen en la seguridad de los automóviles y están hechos de plástico**. Sin estos materiales, la seguridad sería mucho menor. ¡veamos todo lo que los plásticos hacen por la seguridad en los coches!

EsPlásticos info@esplasticos.es

Quiénes somos Estrategia de la Industria Blog

## ¿Cuánto plástico lleva mi coche?

El uso de los plásticos en la fabricación de vehículos se remonta a los años 20 y, hoy en día, es difícil imaginar un vehículo que no utilice plástico. Un coche moderno medio que pese 1.500kg contiene entre un 12%-15% de materiales plásticos. Esto equivale a más de 2.000 piezas de todos los tamaños y formas, desde las luces hasta los parachoques, partes del motor, pantallas, techos, airbags cinturones... ¡se podría decir que el plástico es parte de la esencia del coche! Es por esto por lo que no debería sorprendernos que el plástico sea el segundo material más utilizado en la automoción después del metal.



Source: Association Française de Mécanique (AFM)

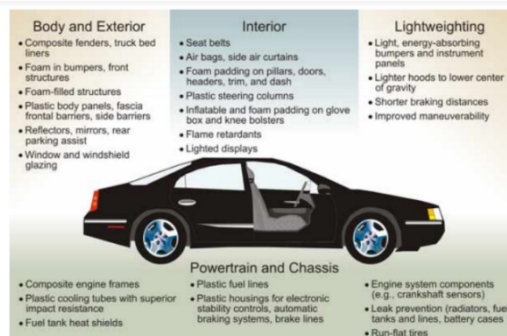
## Los mayores avances en la seguridad han sido gracias a los plásticos

Una de las promesas de los vehículos autónomos es que reducirán drásticamente las colisiones gracias entre otras cosas a su sensorización. Pero, mientras se da esa transición, esos accidentes que a medio plazo parece que podrían ser evitables, siguen produciéndose. La seguridad es crítica y fundamental. Los cinturones, los airbags, las capas interiores de los parabrisas, los elementos de seguridad para los peatones en caso de colisión, los salpicaderos acolchados y los propios sensores son, entre muchos otros, **objetos que sin el plástico no existirían**.

De entre todos los materiales de seguridad hechos de plástico, los airbags son una de las innovaciones de seguridad más importantes de las últimas décadas. Gracias a ellos las muertes de conductores en colisiones frontales se reducen un 29%.

## El uso de los plásticos en automoción que ayudan a la seguridad a día de hoy

Hoy en día existe una gran cantidad de objetos en nuestro automóvil que está hecho de plástico. Aquí te mostramos cuáles son las **principales piezas hechas de esos materiales**.



## El presente y el futuro de los plásticos en tu coche

A día de hoy el uso de los plásticos en los automóviles es crucial para una conducción segura, pero el futuro no está exento de importantes retos asociados a la mejora de esa seguridad. **Para hacerles frente, los fabricantes de automóviles y la industria de los plásticos identifican un conjunto de prioridades mientras, entre todos, andamos el camino hacia el coche del futuro.**

Veamos qué aplicaciones tienen a día de hoy la inmensa oportunidad que estos ofrecen de cara a la movilidad del futuro.

Anexo 12. Joshi, M., Gupta,

A., Netravali, A., & Sahu, O. (2019). Recent advances in lightweight composites for automotive applications: Materials, manufacturing and performance. *Composite Structures*, 216, 201-220. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.03.002>

..... 1- 3

## El presente y futuro de los materiales compuestos

Un **material compuesto** es una combinación a escala macroscópica de dos o más materiales para producir un tercer material.

El diseño de un material compuesto incluye el diseño del propio material y la estructura. Estos materiales tienen un comportamiento anisotrópico, lo cual es una ventaja inherente, ya que las diferentes orientaciones de las fibras pueden adaptarse según las distintas aplicaciones (0°, 90°, ±45°).

Su excelente comportamiento frente a corrosión, alta resistencia, buena relación peso-rigidez y su alto grado de integración, son otras de las ventajas del uso de estos composites. Concretamente, esta última permite un ahorro de peso considerable, lo que supone también ahorro de combustible y la posibilidad de aumentar la carga de pago de los aviones, siendo así más eficientes.

### Materiales compuestos en la industria aeronáutica

La **industria aeronáutica** ha sido, hasta las últimas décadas, la abanderada de los materiales compuestos. Sus beneficios más que demostrados han hecho que otros sectores como el eólico, la automoción, el ferroviario o la construcción se hayan unido al uso de estos materiales. Antes, era el sector aeronáutico el que marcaba los pasos de la tecnología en composites; ahora, podemos hablar de tecnologías ping-pong en las que son otras industrias que llevan el paso adelantado y la industria aeronáutica la que extrapola estos conocimientos a sus procesos.

A nivel de materias primas, los materiales **termoplásticos** se presentan como la alternativa a los termoestables. Su principal ventaja es la reciclabilidad, en cambio necesitan altas temperaturas para ser procesados. La nanoingeniería de polímeros mejora las propiedades de los composites añadiendo nanorefuerzos en la matriz.

En este sentido, el grafeno seguirá siendo una de las tecnologías emergentes que darán mucho juego cubriendo carencias y mejorando la funcionabilidad de las aplicaciones finales. Los biocomposites también han visto aumentada su demanda. Este interés es debido a los beneficios que ofrecen desde el punto de vista medioambiental, ya que permiten reducir la dependencia de materias primas de origen fósil, así como las emisiones de gases invernadero a la atmósfera al final de su vida útil.

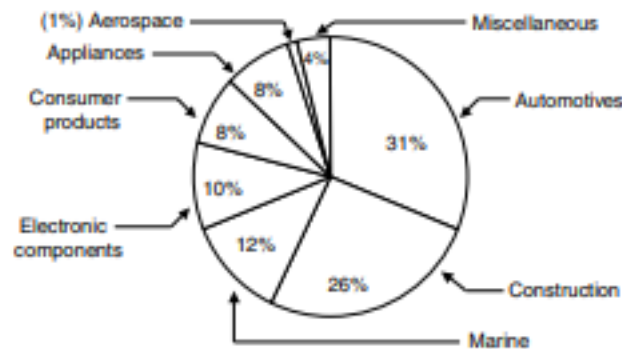
### Industria 4.0 y materiales compuestos

En cuanto a la industria 4.0, los procesos fuera de autoclave y la integración en una única estructura ya son una realidad. Procesos cada vez más automatizados y la eliminación de operaciones intermedias, consolidándolas en una sola etapa, son algunos de los grandes retos. La industria

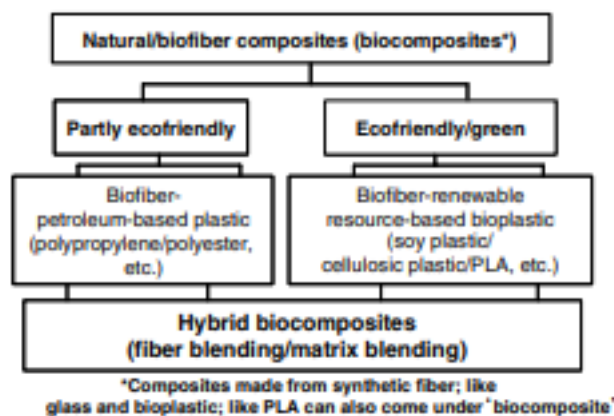


**Anexo 13.** Kim, H.-S., & Pal, K. (2018). Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: Recent Advances in Automotive Applications. *Advanced Composite Materials*, 27(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/09243046.2017.1422780> ..... 3 - 4

(Figure 1.1) is a multibillion-dollar business.<sup>15</sup> Glass fiber is the dominant fiber and is used in 95% of cases to reinforce thermoplastic and thermoset composites. Current research findings show that in certain composite applications, natural fibers demonstrate competitive performance to glass fibers. Broadly defined, biocomposites (Figure 1.2) are composite materials made from natural fiber and petroleum-derived nonbiodegradable polymers like PP, PE, and epoxies or biopolymers like PLA and PHAs. Composite materials derived from biopolymer and synthetic fibers such as glass and carbon also come under biocomposites. Biocomposites derived from plant-derived fiber (natural/biofiber) and crop/bioderived plastic (biopolymer/bioplastic) are likely more ecofriendly, and such biocomposites are sometimes termed “green composites.”



**FIGURE 1.1** Fiber-reinforced plastic composites used in 2002 —  $2.28 \times 10^9$  lb. (Adapted from *Plast. News*, August 26, 2002.)



**FIGURE 1.2** Classification of biobased composites.

After decades of development of high-performance artificial fibers like carbon, aramid, and glass, natural fibers have gained renewed interest, especially as a glass fiber substitute in automotive industries. Advantages of natural fibers over synthetic or man-made fibers such as glass and carbon are as follows: low cost, low density, acceptable specific strength properties, ease of separation, carbon dioxide sequestration, and biodegradability. Natural fiber composites are now emerging as a realistic alternative to wood-filled and glass-reinforced plastics. Ecofriendly biocomposites have the potential to be the new material of the 21st century and be a partial solution to many global environmental problems.

---

#### 1.4 Natural/Biofibers as Reinforcements in Biocomposites

The world's supply of natural resources is decreasing and the demand for sustainable and renewable raw materials continues to rise. In 1997, approximately 25 million metric tons of man-made fibers and about 20 million metric tons of natural fibers were produced worldwide.<sup>19</sup> Biofiber-reinforced composites represent a potential nontraditional, value-added source of income to the agricultural community.<sup>3</sup> Jute is from India and Bangladesh; coir is produced in the tropical countries of the world, with India accounting for 20% of the total world production; sisal is also widely grown in tropical countries of Africa, the West Indies, and the Far East, with Tanzania and Brazil being the two main producing countries; kenaf is grown commercially in the United States; flax is a commodity crop grown in the European Union as well as in many diverse agricultural systems and environments throughout the world, including Canada, Argentina, India, and Russia. Flax fiber accounts for less than 2% of world consumption of apparel and industrial textiles, despite the fact that it has a number of unique and beneficial properties. Hemp originated in Central Asia, from which it spread to China, and is now cultivated in many countries in the temperate zone. Ramie fibers are the longest and one of the strongest fine textile fibers and mostly available and used in China, Japan, and Malaysia. The price for natural fiber varies depending on the economy of the countries where such fibers are produced.

Most plastics by themselves are not suitable for load-bearing applications due to their lack of sufficient strength, stiffness, and dimensional stability. However, fibers possess high strength and stiffness but are difficult to use in load-bearing applications by themselves because of their fibrous structure. In fiber-reinforced composites, the fibers serve as reinforcement by giving strength and stiffness to the structure while the plastic matrix serves as the adhesive to hold the fibers in place so that suitable structural components can be made. A broad classification (nonwood and wood fibers) of natural fibers is represented schematically in Figure 1.3, whereas Figure 1.4 displays images of several natural fibers with reinforcement potential.

**Anexo 14.** Shinde, N., & Patel, D. (2020). Study of composite materials used in automotive industry. *Materials Today: Proceedings*, 26(2), 1815-1821. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.372> .....



Received: 11 April 2022 | Revised: 26 May 2022 | Accepted: 3 June 2022  
DOI: 10.1002/pat.5771

REVIEW ARTICLE



# Advances in polymeric nanocomposites for automotive applications: A review

Vraj Shah<sup>1</sup> | Jaydip Bhaliya<sup>1</sup> | Gautam M. Patel<sup>2</sup> | Kalim Deshmukh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, School of Science, ITM SLS Baroda University, Vadodra, India

<sup>2</sup>Department of Industrial Chemistry, Institute of Science & Technology for Advanced Studies & Research (ISTAR), CVM University, India

<sup>3</sup>New Technologies - Research Centre, University of West Bohemia, Pízeň, Czech Republic

Correspondence

Gautam M. Patel, Department of Industrial Chemistry, Institute of Science & Technology for Advanced Studies & Research (ISTAR), CVM University, V.V.Nagar 388120, India. Email: [gautampatel1573@yahoo.co.in](mailto:gautampatel1573@yahoo.co.in)

## Abstract

The relevance of polymer nanocomposites (PNCs) in the automobile industry has been booming for the last few decades because this kind of material can fulfill the need for lightweight vehicles, and that leads to low gasoline intake and drain gas emission. This review covers the fundamental aspects of polymer-based nanocomposites and their application in the automotive sector. Following an introduction that comprises the need for PNCs and their rewards over traditional materials for instance, excellent thermal and mechanical strength, eco-friendliness, affordable corrosion resistance, low density, and so on. In addition, the review also covers how these composites can be useful in automotive sector applications. Apart from this, the second section covers the different synthetic approaches (solution casting, melt blending, electrodeposition, electrospinning, in-situ polymerization, and others) for the manufacturing of PNCs and their characterizations using scanning electron microscopy, transmission electron microscopy, Fourier transform electron microscopy, X-ray diffraction spectroscopy, energy dispersive X-ray analysis, and other techniques. Afterward, the applications of PNCs in different parts of vehicles such as automotive coatings, tires, glasses, and inner parts of the vehicles, extra will be discussed. Finally, discussions related to key areas of PNCs and future perspectives are explained.

## KEYWORDS

automobile applications, characterization, polymeric nanocomposites, synthesis

## 1 | INTRODUCTION

In recent times, automotive manufacturing companies have been continuously trying to achieve the vehicle that should consist the parameters like, low cost of production, lightweight materials that replace the metals, decrease the amount of fuel consumption, less emission of hazardous gases, as well as also surge the safety and comfort of the vehicle.<sup>1,2</sup> The automotive industry is a materials-based industry that is composed of different metals, plastics, and fillers. In the past, the whole body, roof, bonnet, and other parts of the car were made of steel and that causes the high cost of manufacturing and increase the weight of the vehicle.<sup>3</sup> To eliminate these problems, industries are putting their emphasis on composite-based materials in which various

alloys and metals, structural plastics, fillers made by reinforcing, and glass fiber composites have been used.<sup>4</sup> However, each one of these tactics is having demerits. Surface post-forming modifications were often required for structural polymers as well as time-consuming cycle periods and that increases the cost. In addition, the metals and their alloys which have lower weight properties have been observing an upsurge in use, mostly in non-cosmetic compositions, for reducing the mass. Here, this metal, in contrast, consists of the same processing disadvantages as iron and steel, which generally increase the cost. To implement the greater stiffness, reinforcing fillers are used, for instance, mica, talc, and calcium carbonate, at the same time they enhanced weight, soften viscosity, as well as reduce toughness, clarity of optical property, and quality of the surface. Though glass-fiber

## Anexo 15. Thermoplastics Selection Guide for Automotive Applications. *Protolabs White Paper.*

Disponibile en: <https://www.protolabs.com/resources/guides/>

More than 85,000 commercial options for plastic materials are listed in materials databases, and, within those, 45 polymer families can be broadly classified into two categories: thermosets and thermoplastics. At Protolabs, we primarily focus on the latter category, offering hundreds of stocked engineering-grade thermoplastic resins through our [rapid injection molding service](#). In addition to our stocked supply of resins, we have the capabilities to support many more customer-supplied resins as well.

Narrowing down that extensive list of materials can sometimes seem like a formidable task, so we've prepared this list that outlines the benefits and applications of some of our most commonly molded materials. By choosing the right material, you can improve the form, fit, and function of your parts.

### ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

**Benefits:** ABS is a tough, impact-resistant plastic that is widely used across many different industries. It has low shrink and high dimensional stability, and it has good resistance to acids and bases. ABS is a good choice for handheld consumer devices. It's also relatively inexpensive.

**Applications:** cosmetic parts, handheld devices, housings, and moldings for electrical tools, remote controls, computers, telephone components.

**Considerations:** ABS-molded parts will show knit lines and can have sink and voids in thick areas. Reduction of sink can possibly be had by switching to an ABS/PC-blended material. ABS also mates well to PC parts.

### ABS/PC

**Benefits:** ABS/PC combines the strength and heat resistance of polycarbonate with the flexibility of ABS. ABS/PC also provides improved processing during injection molding, increased toughness and dimensional stability, higher heat resistance than ABS, and improved low temperature impact resistance than PC.

**Applications:** These blends are typically used in the automotive, electronic, and telecommunications industries among others applications.

**Considerations:** ABS/PC materials oftentimes can minimize thick molding concerns found in ABS or PC materials when molded alone. It is frequently used when increased mechanical properties are required when using ABS or when a lower cost PC is required.

### PC (Polycarbonate)

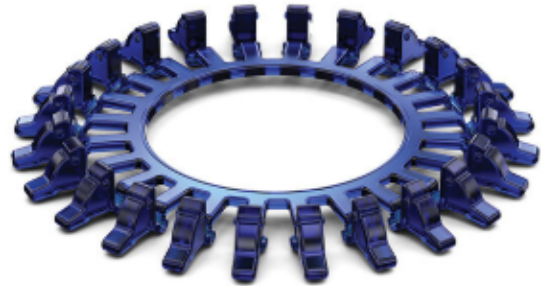
**Benefits:** PC is strong and extremely impact resistant with low shrink and good dimensional stability. It's a transparent plastic that is available in optically clear grades. PC has good heat resistance and accepts high cosmetic finishes well.

**Applications:** [Lenses](#), indoor and outdoor lighting, cell phone housings, electrical components, medical devices, bulletproof glass.

**Considerations:** There can be sensitivities in thick sections of parts that may cause voids, bubbles and sink, and PC parts possess poor chemical resistance. An ABS/PC blend is a good alternative for opaque parts with these issues, and Acrylic (outlined below) is another option for parts with thick geometries.

### PA or PPA (Aliphatic Polyamides)

**Benefits:** There are many types of PAs, or nylons (4, 6/6, 6, 6/10, 6/12, 12, etc.), each with its own advantages. Generally, nylon parts provide high strength and high-temperature strength, especially when reinforced, and are chemically resistant, except to strong acids and bases. Some, like nylon 6/6, offer great hardness and stiffness, and are abrasion resistant. Nylon 6 is extremely hard and tough at low temperatures, but nylon 6/12 has the better impact strength.



Manufactured for a customizable mounting system for iPads, laptops, and more, this is an example of a plastic injection-molded part using polycarbonate material.

## 6 Thermoplastic Elastomers

**Geoffrey Holden**

Holden Polymer Consulting, Incorporated, PMB 473, 1042 Willow Creek Road, A101 Prescott, AZ 86305-1670, USA

### 6.1 Introduction

Thermoplastic elastomers have become a significant part of the elastomers industry since they were first produced about 55 years ago. Several books [1–3] and articles [4–6] have covered this subject in detail. Two of the books [1,3] concentrate mostly on the scientific aspects of these polymers, while the other [2] concentrates on their end uses.

The properties of thermoplastic elastomers in relation to other polymers are summarized in Table 6.1. This table classifies all polymers by two characteristics—how they are processed (as thermosets or as thermoplastics) and the physical properties (rigid, flexible, or rubbery) of the final product. All commercial polymers used for molding, extrusion, etc., fit into one of the six resulting classifications—the thermoplastic elastomers are the newest. Their outstanding advantage can be summarized in a single phrase—they allow rubber-like articles to be produced using the rapid processing techniques developed by the thermoplastics industry. They have many physical properties of rubbers, e.g., softness, flexibility, and resilience. However, they achieve their properties by a physical process (solidification) compared to the chemical process (crosslinking) in vulcanized rubbers.

**Table 6.1** Comparison of thermoplastic elastomers with conventional plastics and rubbers

	Thermosetting	Thermoplastic
Rigid	Epoxies Phenol-formaldehyde Urea-formaldehyde	Polystyrene Polypropylene Poly(vinyl chloride) High-density polyethylene
Flexible	Highly filled and/or highly vulcanized rubbers	Low-density polyethylene  EVA Plasticized PVC
Rubbery	Vulcanized rubbers (NR, SBR, IR, etc.)	Thermoplastic Elastomers

In the terminology of the plastics industry, vulcanization is a thermosetting process. Like other thermosetting processes, it is slow, irreversible, and takes place upon heating (see Chapter 7). With thermoplastic elastomers, on the other hand, the transition from a processable melt to a solid, rubber-like object is rapid, reversible, and takes place upon cooling (Figure 6.1).

Thus thermoplastic elastomers can be processed using conventional plastics techniques, such as injection molding and extrusion; scrap can be recycled. Additionally, some thermoplastic elastomers are soluble in common solvents and so can be processed as solutions.

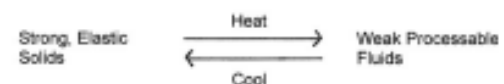
At higher temperatures, the properties of thermoplastic elastomers are usually not as good as those of the conventional vulcanized rubbers. Applications of thermoplastic elastomers are, therefore, in areas where these properties are less important, e.g., footwear, wire insulation, adhesives, polymer blending, but not in areas such as automobile tires.

### 6.2 Classification and Structure

Thermoplastic elastomers can be divided into six basic types:

- Styrenic thermoplastic elastomers
- Multiblock copolymers
- Hard polymer–elastomer combinations
- Graft copolymers

#### Thermoplastic Elastomers



#### Conventional Vulcanizates



**Figure 6.1** Polymer transitions.

- Ionomers
- Core-shell morphologies

Only the first three are commercially important.

Almost all thermoplastic elastomers contain two or more distinct polymeric phases and their properties depend on these phases being finely and intimately mixed. In some cases, the phases are not chemically bonded, but in others they are linked together by block [2] or graft copolymerization.

At least one elastomeric phase and one hard phase must be present, and the hard phase (or phases) must become soft and fluid at higher temperatures so that the material as a whole can flow as a thermoplastic.

### 6.2.1 Styrenic Thermoplastic Elastomers

These are based on simple molecules such as an A-B-A block copolymer, where A is a polystyrene and B an elastomer segment [1a,3,7,8]. If the elastomer is the main constituent, the polymers should have a morphology similar to that shown in Figure 6.2. Here, the polystyrene end segments form separate spherical regions, i.e., domains, dispersed in a continuous elastomer phase. Most of the polymer molecules have their polystyrene end segments in different domains. At room temperature, these polystyrene domains are hard and act as physical crosslinks, tying the elastomeric mid-segments together in a three-dimensional network. In some ways, this is similar to the network formed by vulcanizing conventional rubbers using sulfur crosslinks. The difference is that in thermoplastic elastomers, the domains lose their strength when the material is heated or dissolved in solvents. This allows the polymer or its solution to flow.

When the material is cooled down or the solvent is evaporated, the domains harden and the network regains its original integrity.

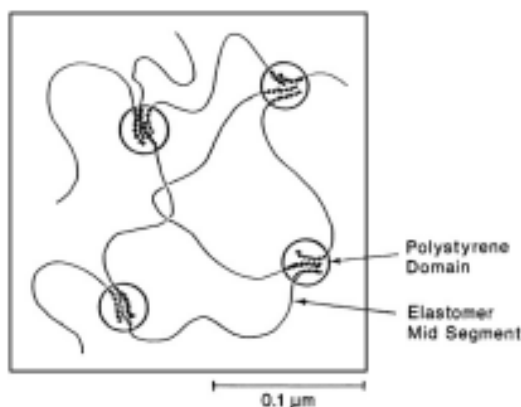


Figure 6.2 Morphology of styrenic block copolymers.

Analogous block copolymers with only one hard segment (e.g., A-B or B-A-B) have quite different properties. The elastomer phase cannot form a continuous interlinked network, since only one end of each elastomer segment is attached to the hard domains. These polymers are not thermoplastic elastomers, but are weaker materials similar to *unvulcanized* synthetic rubbers [8].

In commercial applications, three elastomeric mid-segments have been used for many years—polybutadiene, polyisoprene, and poly(ethylene-butylene). The corresponding block copolymers are referred to as S-B-S, S-I-S and S-EB-S. Later, polymers with poly(ethylene-propylene) mid-segments (S-EP-S) were introduced. A more recent development, now commercialized, is styrenic block copolymers with an isobutylene mid-segment (S-iB-S) [9,10]. These can also be produced with substituted polystyrene end segments.

### 6.2.2 Multiblock Copolymers

The multiblock copolymers have structures that can be written as A-B-A-B-A-B-A-B... or (A-B)<sub>n</sub>. For most of those of commercial importance, the hard (A) segments are crystalline thermoplastics while the softer, elastomeric (B) segments are amorphous. In best known types, the hard segments are thermoplastic polyurethanes [10], thermoplastic polyesters [11], or thermoplastic polyamides [12] and the soft segments are either polyesters or polyethers. Similar materials have been recently introduced in which the hard segments are polyethylene [13,14] or polypropylene [13–16] and the soft segments are copolymers of ethylene and  $\alpha$ -olefins such as propylene, 1-butene, 1-hexene, and 1-octene. The morphology of these (A-B)<sub>n</sub> multiblock copolymers is shown diagrammatically in Figure 6.3. Another type of (A-B)<sub>n</sub> multiblock copolymer has hard segments of polyetherimides (these are amorphous) and polysiloxane soft segments [17].

The structure shown in Figure 6.3 has some similarities to that of a poly(styrene-*b*-elastomer-*b*-styrene) equivalents (Figure 6.2) and also some important differences. First, the

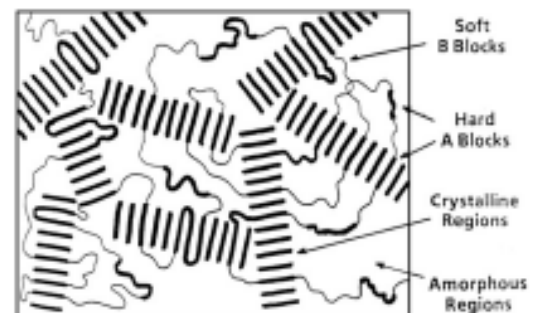


Figure 6.3 Morphology of multiblock polymers with crystalline hard segments.

hard domains are much more interconnected. Second, in most cases, they are crystalline. Third, each long (A-B)<sub>n</sub> molecule may run through several hard and soft regions. A list of thermoplastic elastomers based on block copolymers of all types is given in Table 6.2.

### 6.2.3 Hard Polymer–Elastomer Combinations

Other thermoplastic elastomers are not block copolymers, but instead are fine dispersions of a hard thermoplastic polymer and an elastomer. Some of these are simple blends, while others are produced by dynamic vulcanization (see later). A list of the various polymers used to produce thermoplastic elastomers based on hard polymer–elastomer combinations of all types is given in Table 6.3.

The two materials usually form interdispersed co-continuous phases with a final morphology similar to that shown in Figure 6.4.

Polypropylene is often chosen as the hard thermoplastic because it is readily available, low priced, and solvent resistant, and has a high crystal melting point (165 °C). Combinations with ethylene–propylene–diene monomer (EPDM) or ethylene–propylene copolymer (EPR) are the most important commercial products based on polypropylene [13–15,28]; other elastomers that can be used include nitrile [28], butyl [29], and natural [30] rubbers. Softer, more impact resistant materials can be produced by using propylene copolymers as the hard phase [13,14]. Halogen-containing polyolefins [33] are another option. Two examples are blends of PVC with nitrile rubber [31–33] and blends of halogenated polyolefins with ethylene interpolymers [33]. Mixtures of the last two polymers are claimed to give a single phase system.

In these blends, dispersion of the two phases is most often achieved by intensive mechanical mixing, but in the polypropylene–EPR combinations, polymerizing the finely dispersed elastomer phase simultaneously with the hard polypropylene is possible [13–15].

**Table 6.2** Thermoplastic elastomers based on block copolymers

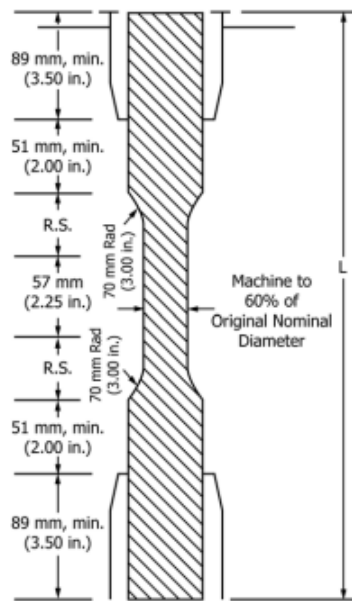
Hard Segment A	Soft or elastomeric segment B	Structure <sup>a</sup>	References
Polystyrene	Polybutadiene and polyisoprene	T, B	1–8
Polystyrene	Poly(ethylene-co-butylene) and Poly(ethylene-co-propylene)	T	1–7
Polystyrene and substituted polystyrenes	Polyisobutylene	T, B	9
Poly( $\alpha$ -methylstyrene)	Polybutadiene, polyisoprene	T	7
Polyurethane	Polyester and polyether	M	10
Polyester	Polyether	M	11
Polyamide	Polyester and polyether	M	12
Polyethylene	Poly( $\alpha$ -olefins)	M	13–15
Polyethylene	Poly(ethylene-co-butylene) and Poly(ethylene-co-propylene)	T	13, 14
Polypropylene(isotactic)	Poly( $\alpha$ -olefins)	M*	13,
Polypropylene(isotactic)	Polypropylene(atactic)	M*	13, 14
Polypropylene(isotactic)	Poly(ethylene-co-propylene)	B	13, 16
Polyetherimide	Polydimethylsiloxane	M	17
Polystyrene	Polydimethylsiloxane	T, M	18
Poly( $\alpha$ -methylstyrene)	Polydimethylsiloxane	T	7, 18
Polysulfone	Polydimethylsiloxane	M	19
Poly(silphenylene siloxane)	Polydimethylsiloxane	M	20
Polycarbonate	Polydimethylsiloxane	M	22–24
Polycarbonate	Polyether	M	25,26
Polymethyl methacrylate	Poly(alkyl acrylates)	T, B	27

<sup>a</sup>T, Triblock, A-B-A; B, branched, (A-B)<sub>n</sub>; M, multiblock, A-B-A-B-A-...; M\*, mixed structures, including multiblock.

# ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS

Anexo 17. Normativa pdf de ATSM D638 . (15 de diciembre de 2014). Obtenido de <https://borgoltz.aoe.vt.edu/aoe3054/manual/expt5/D638.38935.pdf>

## D638 - 14



DIMENSIONS OF ROD SPECIMENS

Nominal Diameter	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.)			
3.2 (1/4)	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 (14.96)	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 (15.65)	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 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

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

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

Classification <sup>b</sup>	Specimen Type	Speed of Testing, mm/min (in./min)	Nominal 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	
	IV	5 (0.2) ± 25 %	0.15
		50 (2) ± 10 %	1.5
500 (20) ± 10 %		15	
Nonrigid	V	1 (0.05) ± 25 %	0.1
		10 (0.5) ± 25 %	1
	100 (5) ± 25 %	10	
	III	50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
50 (2) ± 10 %		1.5	
500 (20) ± 10 %	15		

<sup>a</sup>Select the lowest speed that produces rupture in 0.5 to 5 min for the specimen geometry being used (see 8.2).

<sup>b</sup>See Terminology D683 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.

the speed is not specified, use the lowest speed shown in Table 1 for the specimen geometry being used, which gives rupture within 0.5 to 5-min testing time.

8.3 Make modulus determinations at the speed selected for the other tensile properties when the recorder response and resolution are adequate.

## 9. Conditioning

9.1 *Conditioning*—Condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice D618, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Conditioning time is specified as a minimum. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice D618 unless specified differently by contract or material specification.

9.2 *Test Conditions*—Conduct the tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification.

## 10. Procedure

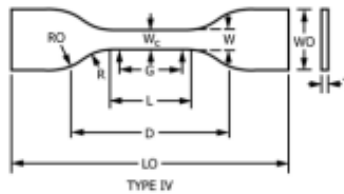
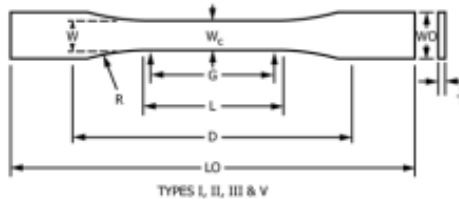
10.1 Measure the width and thickness of each specimen to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) using the applicable test methods in D5947.

10.1.1 Measure the width and thickness of flat specimens at the center of each specimen and within 5 mm of each end of the gage length.

10.1.2 For injection molded specimens, the actual measurement of only one specimen from each sample will suffice when it has previously been demonstrated that the specimen-to-specimen variation in width and thickness is less than 1 %.

10.1.3 For thin sheeting, including film less than 1.0 mm (0.04 in.), take the width of specimens produced by a Type IV die as the distance between the cutting edges of the die in the

**D638 - 14**



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)	$\pm 0.5$ ( $\pm 0.02$ ) <sup>g,h</sup>	
$L$ —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	$\pm 0.5$ ( $\pm 0.02$ ) <sup>g</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)	$\pm 0.25$ ( $\pm 0.010$ ) <sup>g</sup>	
$G$ —Gage length <sup>i</sup>	...	...	...	25 (1.00)	...	$\pm 0.13$ ( $\pm 0.005$ )	
$D$ —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) <sup>j</sup>	25.4 (1.0)	$\pm 5$ ( $\pm 0.2$ )	
$R$ —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	$\pm 1$ ( $\pm 0.04$ ) <sup>g</sup>	
$RO$ —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	$\pm 1$ ( $\pm 0.04$ )	

<sup>a</sup>Thickness,  $T$ , shall be  $3.2 \pm 0.4$  mm ( $0.13 \pm 0.02$  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,  $T$ , shall 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  $14 \pm 0.4$  mm ( $0.55 \pm 0.02$  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  $6.00 \pm 0.05$  mm ( $0.250 \pm 0.002$  in.). The dimensions are essentially those of Die C in Test Methods D412.

<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:

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

The other tolerances are those in the table.

<sup>d</sup>Supporting data on the introduction of the  $L$  specimen of Test Method D1822 as the Type V specimen are available from ASTM Headquarters. Request RR-D20-1038.

<sup>e</sup>The tolerances of the width at the center  $W_c$  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.

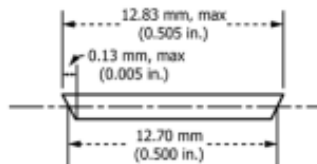
<sup>f</sup>For molded specimens, a draft of not over 0.13 mm (0.005 in.) is allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm (0.13 in.) in thickness. See diagram below and this shall be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having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

<sup>g</sup>Overall widths greater than the minimum indicated are used for some materials in order to avoid breaking in the grips.

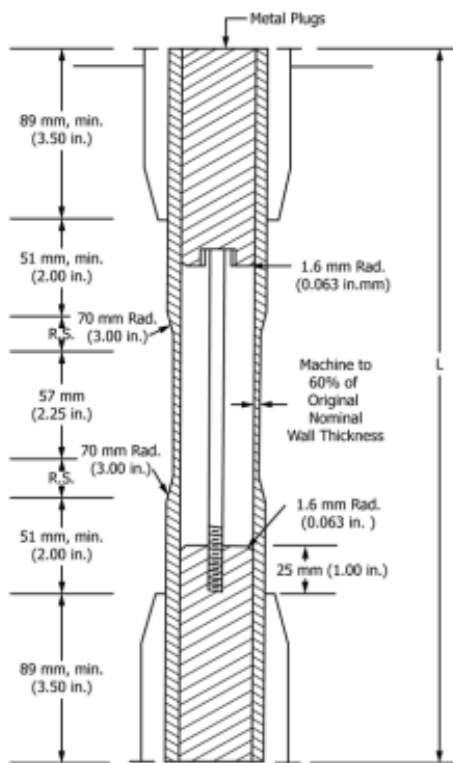
<sup>h</sup>Overall lengths greater than the minimum indicated are used for some materials to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

<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**



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 (1/8)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
4.8 (3/16)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
6.4 (1/4)	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 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

machining shall be 60 % of the original nominal wall thick-

ness. 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 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.

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 For anisotropic materials, when applicable, test five specimens, normal to, and five parallel with, the principle axis of anisotropy.

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.

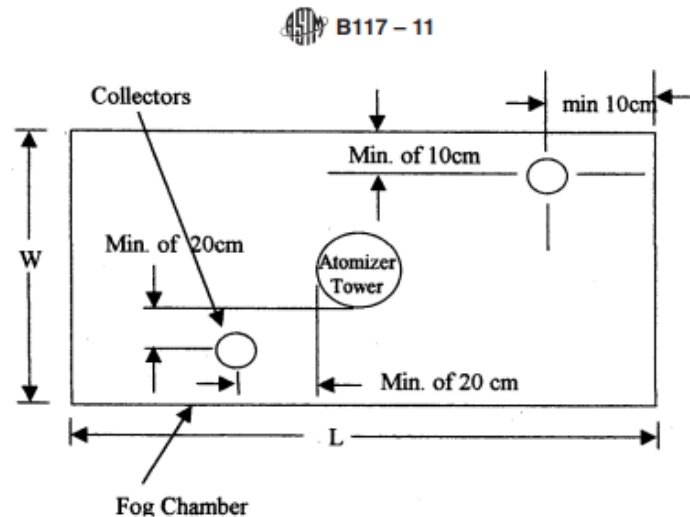
NOTE 10—Before testing, all transparent specimens should be inspected in a polariscope. Those which show atypical or concentrated strain patterns should be rejected, unless the effects of these residual strains constitute a variable to be studied.

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

## Anexo 18. Normativa pdf de ATSM B117 .(2011). Obtenido de

<https://www.galvanizeit.com/uploads/resources/ASTM-B-117-yr11.pdf>



Note—This figure shows a typical fog collector arrangement for a single atomizer tower cabinet. The same fog collector arrangement is also applicable for multiple atomizer tower and horizontal (“T” type) atomizer tower cabinet constructions as well.

FIG. 1 Arrangement of Fog Collectors

10.2 *Atomization and Quantity of Fog*—Place at least two clean fog collectors per atomizer tower within the exposure zone so that no drops of solution will be collected from the test specimens or any other source. Position the collectors in the proximity of the test specimens, one nearest to any nozzle and the other farthest from all nozzles. A typical arrangement is shown in Fig. 1. The fog shall be such that for each 80 cm<sup>2</sup> (12.4 in.<sup>2</sup>) of horizontal collecting area, there will be collected from 1.0 to 2.0 mL of solution per hour based on an average run of at least 16 h (Note 9). The sodium chloride concentration of the collected solution shall be 5 ± 1 mass % (Notes 9-11). The pH of the collected solution shall be 6.5 to 7.2. The pH measurement shall be made as described in 8.2 (Note 3). Both sodium chloride concentration (measured as specific gravity) and volume of condensate collected (measured in mL) shall be recorded once daily (except on weekends, or holidays when the salt spray test is not interrupted for exposing, rearranging, or removing test specimens or to check and replenish the solution in the reservoir. The maximum interval between these data collection measurements shall not exceed 96 h).

Note 9—Suitable collecting devices are glass or plastic funnels with the stems inserted through stoppers into graduated cylinders, or crystallizing dishes. Funnels and dishes with a diameter of 10 cm (3.94 in.) have an area of about 80 cm<sup>2</sup> (12.4 in.<sup>2</sup>).

Note 10—The specific gravity of salt solution will change with temperature. Table 3 shows salt concentration and density versus temperature<sup>3</sup> and can be used to determine if the sample measured is within

<sup>3</sup> “Thermodynamic Properties of the NaCl + H<sub>2</sub>O system II. Thermodynamic Properties of NaCl(aq), NaCl·2H<sub>2</sub>O(cr), and Phase Equilibria.” *Journal of Physics and Chemistry Reference Data*, Vol. 21, No. 4, 1992.

specification. The sample to be measured may be a composite sample from multiple fog-collecting devices within a single cabinet, if necessary, to obtain sufficient solution volume for measurement.

Table 3 shows the salt concentration and salt density of 4%, 5% and 6% salt solution between 20°C and 40°C. A measurement that falls within the range between 4% and 6% is acceptable.

It is important to understand the equipment being used to measure specific gravity. One common practice for specific gravity measurement is the use of a hydrometer. If used, careful attention to the hydrometer type is important as most are manufactured and calibrated for measurements at 15.6°C (60°F). Since salt density is temperature dependent, an offset will be necessary to make an accurate measurement at other temperatures. Contact the hydrometer manufacturer to find the proper offset for the hydrometer being used.

Note 11—Salt solutions from 2 to 6 % will give the same results, though for uniformity the limits are set at 4 to 6 %.

10.3 The nozzle or nozzles shall be so directed or baffled that none of the spray can impinge directly on the test specimens.

## 11. Continuity of Exposure

11.1 Unless otherwise specified in the specifications covering the material or product being tested, the test shall be continuous for the duration of the entire test period. Continuous operation implies that the chamber be closed and the spray operating continuously except for the short daily interruptions necessary to inspect, rearrange, or remove test specimens, to check and replenish the solution in the reservoir, and to make necessary recordings as described in Section 10.

Note 12—Operations should be so scheduled that the cumulative maximum time for these interruptions are held to 60 min or less per day. It is recommended to have only one interruption per day if possible. If interruption time is longer than 60 min, it should be noted in the test report.

TABLE 3 Temperature versus Density Data

Temperature °C (°F)	Density, g/cm <sup>3</sup>		
	4-percent Salt Concentration	5-percent Salt Concentration	6-percent Salt Concentration
20 (68)	1.025758	1.032360	1.038867
21 (69.8)	1.025480	1.032067	1.038560
22 (71.6)	1.025193	1.031766	1.038245
23 (73.4)	1.024899	1.031458	1.037924
24 (75.2)	1.024596	1.031142	1.037596
25 (77)	1.024286	1.030819	1.037261
26 (78.8)	1.023969	1.030489	1.036919
27 (80.6)	1.023643	1.030152	1.036570
28 (82.4)	1.023311	1.029808	1.036215
29 (84.2)	1.022971	1.029457	1.035853
30 (86)	1.022624	1.029099	1.035485
31 (87.8)	1.022270	1.028735	1.035110
32 (89.6)	1.021910	1.028364	1.034729
33 (91.4)	1.021542	1.027986	1.034343
34 (93.2)	1.021168	1.027602	1.033950
35 (95)	1.020787	1.027212	1.033551
36 (96.8)	1.020399	1.026816	1.033146
37 (98.6)	1.020006	1.026413	1.032735
38 (100.4)	1.019605	1.026005	1.032319
39 (102.2)	1.019199	1.025590	1.031897
40 (104)	1.018786	1.025170	1.031469

12. Period of Exposure

12.1 The period of exposure shall be as designated by the specifications covering the material or product being tested or as mutually agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 13—Recommended exposure periods are to be as agreed upon between the purchaser and the seller, but exposure periods of multiples of 24 h are suggested.

13. Cleaning of Tested Specimens

13.1 Unless otherwise specified in the specifications covering the material or product being tested, specimens shall be treated as follows at the end of the test:

13.1.1 The specimens shall be carefully removed.

13.2 Specimens may be gently washed or dipped in clean running water not warmer than 38°C (100°F) to remove salt deposits from their surface, and then immediately dried.

14. Evaluation of Results

14.1 A careful and immediate examination shall be made as required by the specifications covering the material or product being tested or by agreement between the purchaser and the seller.

15. Records and Reports

15.1 The following information shall be recorded, unless otherwise prescribed in the specifications covering the material or product being tested:

15.1.1 Type of salt and water used in preparing the salt solution.

15.1.2 All readings of temperature within the exposure zone of the chamber.

15.1.3 Data obtained from each fog-collecting device of volume of salt solution collected in millilitres per hour per 80 cm<sup>2</sup>(12.4 in.<sup>2</sup>).

15.1.4 Concentration or specific gravity of collected solution and the temperature of that solution when measured. Follow Table 3 for salt concentration and density versus temperature to determine that the sample measured is within specification. Sample to be measured may be a composite sample from multiple fog-collecting devices (within a single cabinet), if necessary to obtain sufficient solution volume for measurement.

15.1.5 pH of collected solution at 23 ± 3°C (73 ± 5°F). Sample to be measured may be a composite sample from multiple fog-collecting devices (within a single cabinet), if necessary to obtain sufficient solution volume for measurement.

15.2 Type of specimen and its dimensions, or number or description of part,

15.3 Method of cleaning specimens before and after testing,

15.4 Method of supporting or suspending article in the salt spray chamber,

15.5 Description of protection used as required in 6.5,

15.6 Exposure period,

15.7 Interruptions in exposure, cause, and length of time, and

15.8 Results of all inspections.

NOTE 14—If any of the atomized salt solution which has not contacted the test specimens is returned to the reservoir, it is advisable to record the concentration or specific gravity of this solution also.

16. Keywords

16.1 controlled corrosive environment; corrosive conditions; determining mass loss; salt spray (fog) exposure

**X1.5 Types of Construction**

X1.5.1 A modern laboratory cabinet is shown in Fig. X1.1. Walk-in chambers are usually constructed with a sloping ceiling. Suitably located and directed spray nozzles avoid ceiling accumulation and drip. Nozzles may be located at the ceiling, or 0.91 m (3 ft) from the floor directed upward at 30 to 60° over a passageway. The number of nozzles depends on type and capacity and is related to the area of the test space. An 11 to 19 L (3 to 5-gal) reservoir is required within the chamber, with the level controlled. The major features of a walk-in type cabinet, which differs significantly from the laboratory type, are illustrated in Fig. X1.2. Construction of a plastic nozzle, such as is furnished by several suppliers, is shown in Fig. X1.3.

**TABLE X1.1 Operating Characteristics of Typical Spray Nozzle**

Siphon Height, cm	Air Flow, dm <sup>3</sup> /min				Solution Consumption, cm <sup>3</sup> /h			
	Air Pressure, kPa				Air Pressure, kPa			
	34	69	103	138	34	69	103	138
10	19	26.5	31.5	36	2100	3840	4584	5256
20	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
30	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
40	19	26.6	31.5	36	0	780	2124	2904

Siphon Height, in.	Air Flow, L/min				Solution Consumption, mL/h			
	Air Pressure, psi				Air Pressure, psi			
	5	10	15	20	5	10	15	20
4	19	26.5	31.5	36	2100	3840	4584	5256
8	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
12	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
16	19	26.6	31.5	36	0	780	2124	2904

**TABLE X1.2 Temperature and Pressure Requirements for Operation of Test at 95°F**

Temperature, °C	Air Pressure, kPa			
		83	96	110
	46	47	48	49
Temperature, °F	Air Pressure, psi			
		12	14	16
	114	117	119	121

www.asap.com

 D 4329

7.2.2 Cycle B:

8 h UV with uninsulated black panel temperature controlled at  $70 \pm 3^\circ\text{C}$   
4 h condensation with uninsulated black panel temperature controlled at  $50 \pm 3^\circ\text{C}$   
(Typically used for automotive applications)

7.2.3 Cycle C:

8 h UV with uninsulated black panel temperature controlled at  $50 \pm 3^\circ\text{C}$   
4 h condensation with uninsulated black panel temperature controlled at  $50 \pm 3^\circ\text{C}$   
(Typically used for plastic building products)

7.3 Practice G 154 lists several other exposure cycles that are used for fluorescent UV exposures of nonmetallic materials. Obtain mutual agreement between all concerned parties for the specific exposure cycle used.

7.4 In order to minimize any effects from temperature or UV light variation, reposition the specimens as follows. Fig. 1 shows a diagram of the specimen repositioning.

7.4.1 Reposition the specimens horizontally once per week by (1) moving the two extreme right-hand holders to the far left of the exposure area, and (2) sliding the remaining holders to the right.

7.4.2 Reposition the specimens vertically so that each specimen spends the same amount of exposure time in each vertical position within the specimen holder. For instance, if two specimens are stacked vertically in each holder, then the top and bottom specimens should switch places halfway through the test. If four specimens are stacked vertically, then the specimens should be repositioned vertically three times during the test.

7.5 Water Purity—The purity of water used for specimen spray is very important. Follow the purity requirements in Practice G 151 for water sprayed on specimen surfaces. It is recommended that deionized water be used for water used to produce condensation.

7.6 It is recommended that a control material be exposed at the same time as the test specimens for comparison purposes, if performance comparisons are not being made between the

test materials themselves. All concerned parties must agree on the control material used.

7.6.1 Identification of any control specimen used shall accompany the report.

8. Periods of Exposure and Evaluation of Test Results

8.1 In most cases, periodic evaluation of test and control materials is necessary to determine the variation in magnitude and direction of property change as a function of exposure time or radiant exposure.

8.2 The time or radiant exposure necessary to produce a defined change in a material property can be used to evaluate or rank the stability of materials. This method is preferred over evaluating materials after an arbitrary exposure time or radiant exposure.

8.2.1 Exposure to an arbitrary time or radiant exposure may be used for the purpose of a specific test if agreed upon between the parties concerned or if required for conformance to a particular specification. When a single exposure period is used, select a time or radiant exposure that will produce the largest performance differences between the test materials or between the test material and the control material.

8.2.2 The minimum exposure time used shall be that necessary to produce a substantial change in the property of interest for the least stable material being evaluated. An exposure time that produces a significant change in one type of material cannot be assumed to be applicable to other types of materials.

8.2.3 The relation between time to failure in an exposure conducted in accordance with this practice and service life in an outdoor environment requires determination of a valid acceleration factor. Do not use arbitrary acceleration factors relating time in an exposure conducted in accordance with this practice and time in an outdoor environment because they can give erroneous information. The acceleration factor is material-dependent and is only valid if it is based on data from a sufficient number of separate exterior and laboratory-accelerated exposures so that results used to relate times to failure in each exposure can be analyzed using statistical methods.

NOTE 6—An example of a statistical analysis using multiple-laboratory and exterior exposures to calculate an acceleration factor is described by Simms.<sup>8</sup> See Practice G 151 for more information and additional cautions about the use of acceleration factors.

8.3 After each exposure increment, evaluate or rate changes in exposed test specimens in accordance with applicable ASTM test methods.

NOTE 7—For some materials, changes may continue after the specimen has been removed from the exposure apparatus. Measurements (visual or instrumental) should be made within a standardized time period or as agreed upon between the interested parties. The standardized time period needs to consider conditioning prior to testing.

8.4 Use of results from exposures conducted in accordance with this practice in specifications:

8.4.1 If a standard or specification for general use requires a definite property level after a specific time or radiant exposure

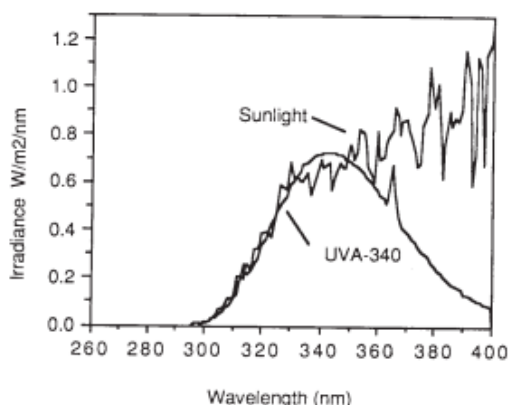


FIG. 1 Representative Spectral Power Distribution of UVA-340 Fluorescent Lamps

<sup>8</sup> Simms, J.A., *Journal of Coatings Technology*, Vol 50, 1987, pp. 45-53.

in an exposure test conducted in accordance with this practice, base the specified property level on results from round-robin experiments run to determine the test reproducibility from the exposure and property measurement procedures. Conduct these round robins in accordance with Practice E 691 or Practice D 3980 and include a statistically representative sample of all laboratories or organizations who would normally conduct the exposure and property measurement.

8.4.2 If a standard or specification for use between two or three parties requires a definite property level after a specific time or radiant exposure in an exposure test conducted in accordance with this practice, base the specified property level on two independent experiments run in each laboratory to determine the reproducibility for the exposure and property measurement process. The reproducibility of the exposure/property measurement process is then used to determine the minimum level of property after the exposure that is mutually agreeable to all parties.

8.4.3 When reproducibility in results from an exposure test conducted in accordance with this practice has not been established through round-robin testing, specify performance requirements for materials in terms of comparison (ranked) to a control material. All specimens shall be exposed simultaneously in the same device. All concerned parties must agree on the specific control material used.

8.4.3.1 Conduct analysis of variance to determine whether any differences between test materials and control materials is statistically significant. Expose replicates of the test specimen and the control specimen so that statistically significant performance differences can be determined

NOTE 8—Fischer illustrates use of rank comparison between test and control materials in specifications.<sup>9</sup>

NOTE 9—The ASTM Committee G-3 on Weathering and Durability is developing a Standard Guide for Application of Basic Statistical Methods to Weathering Tests, which will include examples showing use of analysis of variance to compare materials.

<sup>9</sup> Fischer, R., Ketola, W., "Impact of Research on Development of ASTM Durability Testing Standards," *Durability Testing of Non-Metallic Materials*, ASTM STP 1294, Robert Herling, ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1995.

## 9. Report

9.1 Report the following information:

9.1.1 Type and model of exposure device.

9.1.2 Age of fluorescent lamps used at the start of the exposure, and whether any lamps were changed during the period of exposure.

9.1.3 If required, irradiance in  $\text{Wm}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ , or radiant exposure in  $\text{Jm}^{-2}$  at the sample plane, and the wavelength region in which the measurements were made.

9.1.3.1 Do not report irradiance or radiant exposure unless direct measurement of irradiance was made during the exposure.

9.1.4 Elapsed exposure time.

9.1.5 Light- and dark-water condensation or humidity cycle employed.

9.1.6 Operating black panel temperature.

9.1.7 If required, operating relative humidity.

9.1.8 Type of spray nozzle, if used.

9.1.8.1 If used, total solids and silica level of water used for specimen spray (if above limits specified in Practice G 151).

9.1.9 Specimen repositioning procedure, if different from the procedure described in 7.4.

9.1.10 Results of property tests. Calculate retention of characteristic property in accordance with Practice D 5870 when it is reported.

## 10. Precision and Bias

10.1 *Precision*—The repeatability and reproducibility of results obtained in exposures conducted in accordance with this practice will vary with the materials being tested, the material property being measured, and the specific test conditions and cycles that are used. It is essential to determine reproducibility of the exposure/property measurement process when using the results from exposures conducted in accordance with this practice in product specifications.

10.2 *Bias*—Bias cannot be determined because no acceptable standard weathering reference materials are available.

## 11. Keywords

11.1 degradation; exposure; fluorescent UV; light exposure; ultraviolet

## SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of selected changes to this practice. For the convenience of the user, Committee D-20 has highlighted those changes that may impact the use of this practice. This section may also include descriptions of the changes or reasons for the changes, or both.

*D 4329 - 99:*

(1) Title changed.

(2) Referenced new ASTM performance standard for fluorescent UV exposure tests.

(3) Added specific procedures for conditioning and handling during the exposure test.

(4) Revised section covering evaluation of results.

(5) De-emphasized use of a single required exposure time.

Anexo 20. Normativa pdf de ISO 4892-2.(2013). Obtenido de

<https://cdn.standards.itih.ai/samples/55481/63db083d72bd48e4be1cac31c37df12d/ISO-4892-2-2013.pdf>

---

INTERNATIONAL STANDARD

ISO 4892-2:2013(E)

---

## Plastics — Methods of exposure to laboratory light sources —

### Part 2: Xenon-arc lamps

#### 1 Scope

This part of ISO 4892 specifies methods for exposing specimens to xenon-arc light in the presence of moisture to reproduce the weathering effects (temperature, humidity and/or wetting) that occur when materials are exposed in actual end-use environments to daylight or to daylight filtered through window glass.

Specimen preparation and evaluation of the results are covered in other International Standards for specific materials.

General guidance is given in ISO 4892-1.

NOTE Xenon-arc exposures of paints and varnishes are described in ISO 11341.

#### 2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 4582, *Plastics — Determination of changes in colour and variations in properties after exposure to daylight under glass, natural weathering or laboratory light sources*

ISO 4892-1, *Plastics — Methods of exposure to laboratory light sources — Part 1: General guidance*

ISO 9370, *Plastics — Instrumental determination of radiant exposure in weathering tests — General guidance and basic test method*

#### 3 Principle

3.1 A xenon arc, fitted with filters, is used to simulate the relative spectral irradiance of daylight in the ultraviolet (UV) and visible regions of the spectrum.

3.2 Specimens are exposed to various levels of light, heat, relative humidity and water (see 3.4) under controlled environmental conditions.

3.3 The exposure conditions are varied by selection of

- a) the light filter(s);
- b) the irradiance level;
- c) the temperature during exposure to light;
- d) the relative humidity in the chamber during light and dark exposures, when exposure conditions requiring control of humidity are used;
- e) the way the test specimens are wetted (see 3.4);

## ISO 4892-2:2013(E)

- f) the water temperature and wetting cycle;
- g) the relative lengths of the light and dark periods.

3.4 Wetting is produced by spraying the test specimens with demineralized/deionized water, by immersion in water or by condensation of water vapour onto the surfaces of the specimens.

3.5 The procedure includes measurements of the UV irradiance and UV radiant exposure in the plane of the specimens.

3.6 It is recommended that a similar material of known performance (a control) be exposed simultaneously with the test specimens to provide a standard for comparative purposes.

3.7 Intercomparison of results obtained from specimens exposed in different apparatus should not be made unless an appropriate statistical relationship has been established between the apparatuses for the particular material exposed.

## 4 Apparatus

### 4.1 Laboratory light source

#### 4.1.1 General

The light source shall comprise one or more quartz-jacketed xenon-arc lamps which emit radiation from below 270 nm in the ultraviolet through the visible spectrum and into the infrared. In order to simulate daylight, filters shall be used to remove short-wavelength UV radiation (method A, see [Table 1](#)). Filters to minimize irradiance at wavelengths shorter than 310 nm shall be used to simulate daylight through window glass (method B, see [Table 2](#)). In addition, filters to remove infrared radiation may be used to prevent unrealistic heating of the test specimens, which can cause thermal degradation not experienced during outdoor exposures.

NOTE Solar spectral irradiance for a number of different atmospheric conditions is described in CIE Publication No. 85. The benchmark daylight used in this part of ISO 4892 is that defined in [Table 4](#) in CIE No. 85:1989.

#### 4.1.2 Spectral irradiance of xenon-arc lamps with daylight filters

Filters are used to filter xenon-arc emissions in order to simulate daylight (CIE Publication No. 85:1989, [Table 4](#)). The minimum and maximum levels of the relative spectral irradiance in the UV wavelength range are given in [Table 1](#) (see also [Annex A](#)).

**Table 1 — Relative spectral irradiance of xenon-arc lamps with daylight filters<sup>ab</sup> (method A)**

Spectral passband ( $\lambda$ = wavelength in nm)	Minimum <sup>c</sup> %	CIE No. 85:1989, Table 4 <sup>de</sup> %	Maximum <sup>c</sup> %
$\lambda < 290$			0,15
$290 \leq \lambda \leq 320$	2,6	5,4	7,9
$320 < \lambda \leq 360$	28,2	38,2	39,8
$360 < \lambda \leq 400$	54,2	56,4	67,5

<sup>a</sup> This table gives the irradiance in the given passband, expressed as a percentage of the total irradiance between 290 nm and 400 nm. To determine whether a specific filter or set of filters for a xenon-arc lamp meets the requirements of this table, the spectral irradiance must be measured from 250 nm to 400 nm. The total irradiance in each wavelength passband is then summed and divided by the total irradiance from 290 nm to 400 nm. Typically, this is done in 2 nm increments.

<sup>b</sup> The minimum and maximum limits in this table are based on more than 100 spectral irradiance measurements with water- and air-cooled xenon-arc lamps with daylight filters from different production lots and of various ages,<sup>[3]</sup> used in accordance with the recommendations of the manufacturer. As more spectral irradiance data become available, minor changes in the limits are possible. The minimum and maximum limits are at least three sigma from the mean for all the measurements.

<sup>c</sup> The minimum and maximum columns will not necessarily sum to 100 % because they represent the minima and maxima for the measurement data used. For any individual spectral irradiance, the percentages calculated for the passbands in this table will sum to 100 %. For any individual xenon-arc lamp with daylight filters, the calculated percentage in each passband shall fall within the minimum and maximum limits given. Exposure results can be expected to differ if obtained using xenon-arc apparatus in which the spectral irradiances differ by as much as that allowed by the tolerances. Contact the manufacturer of the xenon-arc apparatus for specific spectral irradiance data for the xenon-arc lamp and filters used.

<sup>d</sup> The data from Table 4 in CIE Publication No. 85:1989 is the global solar irradiance on a horizontal surface for an air mass of 1,0, an ozone column of 0,34 cm at STP, 1,42 cm of precipitable water vapour, and a spectral optical depth of aerosol extinction of 0,1 at 500 nm. These data are target values for xenon-arc lamps with daylight filters.

<sup>e</sup> For the solar spectrum represented by Table 1 in CIE No. 85:1989, the UV irradiance (between 290 nm and 400 nm) is 11 % and the visible irradiance (between 400 nm and 800 nm) is 89 %, expressed as a percentage of the total irradiance between 290 nm and 800 nm. The percentage of the UV irradiance and that of the visible irradiance incident on specimens exposed in xenon-arc apparatus might vary due to the number of specimens being exposed and their reflectance properties.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/14c311eb-cbcb-42c2-b9af-589b5b5168/iso-4892-2-2013>


#### 4.1.3 Spectral irradiance of xenon-arc lamps with window glass filters

Filters are used to filter the xenon-arc lamp emissions in order to simulate daylight which has passed through window glass. The minimum and maximum levels of the relative spectral irradiance in the UV region are given in Table 2 (see also Annex A).

**Table 2 — Relative spectral irradiance for xenon-arc lamps with window glass filters<sup>ab</sup> (method B)**

Spectral passband ( $\lambda$ = wavelength in nm)	Minimum <sup>c</sup> %	CIE No. 85:1989, Table 4, plus effect of window glass <sup>de</sup> %	Maximum <sup>c</sup> %
$\lambda < 300$			0,29
$300 \leq \lambda \leq 320$	0,1	$\leq 1$	2,8
$320 < \lambda \leq 360$	23,8	33,1	35,5

**Anexo 21.** Normativa pdf de NTE INEN 2637 (2012). Obtenido de <https://solsegsa.com/wp-content/uploads/2022/05/LISTADO-DE-NORMAS-INEN.pdf>

CDU: 678.5 :620.172 ICS: 83.140.10	 <small>Instituto Ecuatoriano de Normalización</small>	CIIU: 3560 PL 03.01 309
<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN PARA DETERMINAR EL PUNTO FINAL DE LA DEGRADACIÓN DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO DEGRADABLES.</b>	<b>NTE INEN 2637:2012 2012-07</b>
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma describe el método de ensayo para la determinación de un punto final de la degradación (un punto frágil) para películas y láminas de polietileno/polipropileno degradable de menos de 1,0 mm de espesor.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Esta norma se aplica a películas y láminas de polietileno/polipropileno degradable de menos de 1,0 mm de espesor. Este ensayo no está diseñado para determinar la velocidad del grado de degradación de una película o lámina de polietileno/polipropileno, sino más bien, para evaluar cuando se alcanza un punto frágil en el curso de su degradación bajo cierta condición. Si se quiere vigilar el alargamiento por tracción durante el proceso de degradación (por ejemplo, cuando el alargamiento por tracción es significativamente superior al 5%), se recomienda la NTE INEN 2635 o el método de ensayo ASTM D 882.</p> <p>Este ensayo no debe ser considerado como la única manera de determinar un punto final de degradación.</p> <p>2.2 Las propiedades de tracción de los plásticos de 1,0 mm o más de espesor se determina de conformidad con el método de ensayo ASTM D 638.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p>3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones de términos y los símbolos relativos a los ensayos de tensión de plásticos que se encuentran en el anexo del método de ensayo ASTM D 638, y las que a continuación se detallan:</p> <p>3.1.1 <i>Falla a la rotura.</i> En el ensayo de tracción de películas, una falla caracterizada por la fractura iniciada en un borde de la probeta y que avanza a través de la probeta a una velocidad suficientemente lenta para producir una curva carga-deformación anómala.</p> <p>3.1.2 <i>Mordazas lineales.</i> En máquinas de ensayo de tracción, mordazas con caras diseñadas para concentrar toda la fuerza de agarre a lo largo de una sola línea perpendicular a la dirección de la tensión de ensayo.</p> <p><b>3.2 Descripción de términos específicos para esta norma</b></p> <p>3.2.1 <i>Película.</i> Para propósitos de esta norma, una pieza de material que no excede a 0,250 mm de espesor.</p> <p>3.2.2 <i>Punto frágil.</i> En una película de polietileno/polipropileno degradable, es el punto en el análisis de un material cuando el 75% de las probetas analizadas tienen un alargamiento por tracción en la rotura del 5% o menos.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <p>DESCRIPTORES: Industria del caucho y del plástico, polietileno degradable, polipropileno degradable, punto final de degradación, películas y láminas.</p>		

#### 4. DISPOSICIONES GENERALES

**4.1** Aplicar un ensayo del tipo pesaje estático-velocidad constante de separación de mordazas. Este procedimiento emplea una velocidad constante de separación de las mordazas que sostienen la muestra y una celda de carga estática (ver nota 1).

**4.2** Este procedimiento ha sido exitoso para la determinación del punto final de la degradación de copolímeros de etileno-monóxido de carbono y ha examinado con éxito otros dos polietilenos tipo aditivo en una prueba round robin.

**4.3** Los valores indicados en unidades del Sistema Internacional de Unidades, SI, deben ser considerados como los estándares.

**4.4** Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente sobre seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud, y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias previo a su uso.

##### 4.5 Significancia y uso

**4.5.1** La propiedad de alargamiento por tracción, determinada por este ensayo, tiene valor para la caracterización de materiales degradables. La propiedad de alargamiento por tracción puede variar con el espesor de la probeta, el método de preparación, la velocidad de ensayo, el tipo de mordazas utilizadas, y la forma de medir la extensión de ensayo. Por consiguiente, cuando se desean resultados comparativos precisos, estos factores deben ser cuidadosamente controlados.

**4.5.2** La propiedad de alargamiento por tracción puede ser utilizada para proporcionar datos para investigación y desarrollo y diseño de ingeniería, así como especificaciones de control de calidad. Sin embargo, los datos de estas pruebas no pueden ser considerados significativos para aplicaciones que difieren ampliamente de la escala carga-tiempo del ensayo empleado.

**4.5.3** Los materiales que fallan por rotura proporcionan datos anómalos que no pueden compararse con aquellos de talla normal.

**4.5.4** Antes de proceder con este método de ensayo, debería hacerse referencia a las especificaciones del material que está siendo ensayado. Toda preparación de probetas de ensayo, acondicionamiento, dimensiones, o parámetros de ensayo o una combinación de estas, cubiertos en las especificaciones del material tienen prioridad sobre aquellos mencionados en este método de ensayo. Si no hay especificaciones del material, entonces aplican las condiciones predeterminadas.

**4.6 Correspondencia.** Esta norma INEN es la versión oficial, en español, para el Ecuador, de la Norma ASTM D 3826-98 (2008).

#### 5. EQUIPO

##### 5.1 Máquinas de ensayo

**5.1.1** Utilizar una máquina de ensayo del tipo *velocidad constante de separación de mordazas*. La máquina debe estar equipada con un sistema de pesaje que se mueva una distancia máxima del 2% de la extensión de la probeta dentro del intervalo que se está midiendo. Además, debería haber un dispositivo para registrar la carga de tracción y la cantidad de separación de las mordazas; ambos sistemas de medición deben tener una precisión de  $\pm 2\%$ . La velocidad de separación de mordazas debe ser uniforme y susceptible de ajuste de aproximadamente 1,3 a 500 mm/min en incrementos necesarios para producir las velocidades de deformación especificadas en el numeral 9.2.

NOTA 1. Este procedimiento se basa en la utilización de la separación de las mordazas como una medida de la extensión; sin embargo, la conveniencia de emplear indicadores de extensión con una precisión de  $\pm 1,0\%$  o superior como se especifica en el método de ensayo ASTM D 638 es aceptada, y una disposición para el uso de tal instrumentación se encuentra incorporada en el procedimiento.

(Continúa)

**5.2 Mordazas.** Utilizar un sistema de agarre que minimice tanto el deslizamiento como la distribución desigual de la tensión con la probeta de ensayo (ver nota 2).

**5.3 Medidor de espesor.** Un micrómetro de disco de peso muerto, de acuerdo a lo estipulado en el Método C de los métodos de ensayo ASTM D374 de lectura igual a 0,0025 mm o menos.

**5.4 Dispositivos de medición de ancho.** Escalas de ensayo adecuadas u otros dispositivos de medición de ancho capaces de medir 0,25 mm o menos.

**5.5 Cortador de muestra.** Accesorios que utilizan cuchillas de afeitar, cortadoras de papel adecuadas, u otros dispositivos capaces de cortar con seguridad las probetas al ancho adecuado y producir bordes rectos, limpios, paralelos, sin imperfecciones visibles. Un dispositivo formado por dos cuchillos en paralelo montado firmemente contra un bloque de corte con base de precisión (similar a un cortador de papel) ha resultado satisfactorio. El uso de dados de impacto no es recomendable debido a su tendencia a producir bordes de probetas pobres e inconsistentes. Es imperativo que los bordes cortantes se mantengan afilados y libres de rascaduras o muescas visibles.

**5.6 Indicadores de extensión.** Si se emplean, los indicadores de extensión deben ajustarse a los requisitos especificados en el método de ensayo ASTM D638. Además, tales aparatos deben estar diseñados para reducir al mínimo la tensión en la probeta en los puntos de contacto de la probeta y el indicador (ver nota 3).

## 6. PROBETA DE ENSAYO

**6.1** Cortar las probetas de ensayo antes de la exposición. Prestar la máxima atención en el corte de las probetas para evitar hendiduras y grietas que causan fallas prematuras (ver nota 4). Los bordes deben ser paralelos dentro del 5% del ancho a lo largo del tramo de la probeta entre las mordazas.

**6.2** Preparar la probeta de ensayo con ancho y longitud uniformes. Ejemplos típicos de longitudes y anchos son:

Ancho, mm	Longitud, mm
13	152
25	102

**6.2.1** El espesor de la probeta de ensayo depende del espesor de la aplicación final. El espesor de la probeta de ensayo debe ser el mismo que aquel para la aplicación final específica.

**6.3** Siempre que sea posible, seleccionar una probeta de ensayo de modo que el espesor sea uniforme dentro del 10% del espesor a lo largo del tramo de la probeta entre las mordazas en el caso de materiales de 0,25 mm o menos de espesor, y dentro del 5% en el caso de materiales mayores a 0,25 mm de espesor, pero inferiores que 1,00 mm de espesor (ver nota 5).

**NOTA 2.** Se han utilizado con éxito mordazas forradas con caucho delgado, lija o cinta sensible a la presión, así como mordazas con acabado superficial serrado o tipo lima para muchos materiales. La elección de la superficie de agarre depende del material ensayado y del espesor. Las mordazas cubiertas en su cara con papel secante de 1,0 mm han mostrado mejores resultados. Las mordazas accionadas por aire son convenientes, sobre todo en el caso de materiales que tienden a adelgazarse en las mordazas, ya que la presión se mantiene en todo momento. En los casos en que las muestras fallan con frecuencia en el borde de las mordazas, puede ser conveniente aumentar ligeramente el radio de curvatura de los bordes donde las mordazas entran en contacto con la zona de ensayo de la probeta.

**NOTA 3.** Es deseable una alta velocidad de respuesta en el sistema de registro, sobre todo cuando se emplean velocidades de deformación relativamente altas para materiales rígidos. La velocidad de la respuesta de la pluma de los registradores es suministrada por los fabricantes de este equipo. Se debe tener cuidado de llevar a cabo los ensayos en condiciones tales que el tiempo de respuesta (capacidad del registrador para seguir carga real) produzca menos del 2% de error.

**NOTA 4.** Se puede utilizar un examen microscópico de la probeta para detectar fallas debidas a la muestra o a la preparación de la probeta.

**NOTA 5.** En los casos en que las variaciones de espesor exceden a aquellas recomendadas en el numeral 6.3, los resultados no pueden ser característicos del material a prueba.

(Continúa)

**Anexo 22. Probeta ASTM B117**



**Anexo 23. Cámara de niebla salina**



**Anexo 24. Máquina de radiación UV**

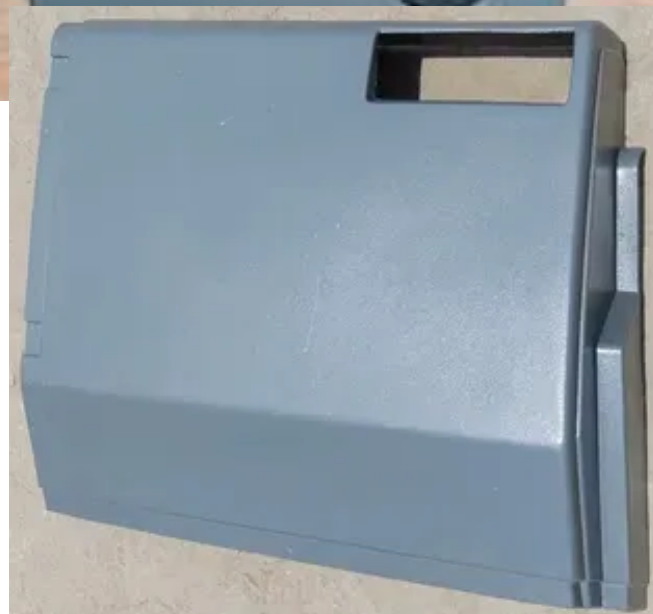


**Anexo 25.** Tablero ABS



**Anexo 26.**  
reciclado

Tablero PC



**Anexo 27.** Tablero Bio-propileno



## ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Anexo 28.

**Tabla 10**

*Normas aplicadas en los ensayos*

Norma	Ensayo aplicado	Propósito principal	Cumplimiento
ASTM B117	Niebla salina	Resistencia a ambientes corrosivos	✓ Sí
ASTM D4329	Radiación UV	Degradación por radiación solar	✓ Sí
ISO 4892-2	Envejecimiento climático	Simulación de ciclos ambientales extremos	✓ Sí
NTE INEN 2637	Tracción	Elongación	✓ Sí

*Fuente: Autores*

### Anexo 29.

**Tabla 11**

*Muestras analizadas en el laboratorio*

Código de muestra	Material	Procedencia / Preparación	Nº de probetas	Normativa aplicada
M-ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno	Inyección de polímero virgen grado automotriz	3	ASTM D638 / ASTM B117 / ASTM D4329
M-PC	Polycarbonato reciclado	Recuperado de residuos post-consumo	3	ASTM D638 / ASTM B117 / ASTM D4329
M-BPP	Biopropileno (con base bio-orgánica)	Extrusión de polímero con refuerzo orgánico	3	ASTM D638 / ASTM B117 / ASTM D4329

*Fuente: Autores*

### Anexo 30.

**Tabla 12**

*Resultados de prueba de niebla salina*

Material	Pérdida de masa (%)	Pérdida de brillo (%)	Índice de microgrietas (0-5)	Nivel de deterioro
ABS	1.8	12	2	Medio
PC reciclado	3.4	28	4	Alto
Bio-propileno	0.9	8	1	Bajo

Fuente: Autores

### Anexo 31.

**Tabla 13**

*Resultados de radiación UV*

Material	Cambio de color $\Delta E^*$	Retención de resistencia (%)	Fragilidad (escala 1-5)	Nivel de degradación
ABS	8.5	72	3	Medio
PC reciclado	15.2	55	4	Alto
Bio-propileno	5.1	81	2	Bajo

Fuente: Autores

### Anexo 32.

**Tabla 14**

*Resultados de envejecimiento climático*

Material	Retención de elasticidad (%)	Deformación superficial (mm)	Índice de fallas (0-5)	Nivel de resistencia
ABS	68	0.45	3	Medio
PC reciclado	49	0.72	5	Bajo
Bio-propileno	83	0.28	1	Alto

Fuente: Autores

### Anexo 33.

**Tabla 15**

*Análisis general*

Material	Niebla salina (ASTM B117, 240 h)	Radiación UV (ASTM D4329, 500 h)	Envejecimiento climático (ISO 4892-2, 1000 h)	Nivel global de desempeño
ABS	Pérdida de masa: 1,8% Pérdida de brillo: 12% Microgrietas: 2 (Medio)	Cambio de color $\Delta E^*$ : 8,5 Retención mecánica: 72% Fragilidad: 3 (Medio)	Elasticidad: 68% Deformación: 0,45 mm Fallas: 3 (Medio)	Intermedio
PC Reciclado	Pérdida de masa: 3,4% Pérdida de brillo: 28% Microgrietas: 4 (Alto)	Cambio de color $\Delta E^*$ : 15,2 Retención mecánica: 55% Fragilidad: 4 (Alto)	Elasticidad: 49% Deformación: 0,72 mm Fallas:	Débil

Material	Niebla salina (ASTM B117, 240 h)	Radiación UV (ASTM D4329, 500 h)	Envejecimiento climático (ISO 4892-2, 1000 h)	Nivel global de desempeño
			5 (Bajo)	
<b>Biopropileno</b>	Pérdida de masa: 0,9% Pérdida de brillo: 8% Microgrietas: 1 (Bajo)	Cambio de color $\Delta E^*$ : 5,1 Retención mecánica: 81% Fragilidad: 2 (Bajo)	Elasticidad: 83% Deformación: 0,28 mm Fallas: 1 (Alto)	Alto

*Fuente: Autores*