

TRABAJO FIN DE MASTER

ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

TRABAJO FIN DE MASTER PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MASTER EN
INGENIERÍA MECÁNICA

SEPTIEMBRE 2025

Marlon Efrain Espinoza Gonzalez

DIRECTOR DEL TRABAJO FIN DE MASTER:

Enrique Alcalá Fazio

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con profundo cariño a mis padres, cuyo amor inquebrantable, esfuerzo y respaldo permanente han sido la inspiración para alcanzar mis metas. Cada uno de mis logros es reflejo de sus enseñanzas y ejemplo de vida. Asimismo, dedico estas páginas a mis docentes, cuya guía y conocimientos han sido fundamentales en mi desarrollo académico y profesional.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza a lo largo de este camino, dándome perseverancias necesarias para completar este proyecto. A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y su confianza en mí, A mi tutor por su invaluable orientación, paciencia y dedicación, que fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis

Resumen

Este Trabajo de investigación se centra en el análisis del uso de los materiales compuestos en la industria automotriz, un sector en constante evolución que, en los últimos años, ha experimentado transformaciones profundas a raíz de las crecientes exigencias ambientales, la búsqueda de eficiencia energética y el avance hacia una movilidad sostenible. El estudio plantea una revisión técnica y crítica de los diferentes tipos de materiales compuestos, sus aplicaciones reales en sistemas automotrices, sus ventajas y limitaciones, así como las tendencias tecnológicas que están marcando su evolución en el diseño de vehículos.

El objetivo principal del trabajo es evaluar el papel que juegan los materiales compuestos en la innovación automotriz, considerando no solo sus propiedades técnicas, sino también los factores económicos, productivos y medioambientales que condicionan su implementación. A tal efecto, se realiza una revisión documental de fuentes académicas, técnicas y comerciales, abordando el desarrollo histórico de estos materiales y su penetración en diferentes sistemas del vehículo.

Se parte de una introducción conceptual en la que se describen los elementos fundamentales que conforman los materiales compuestos: la matriz, como fase continua, y el refuerzo, como fase resistente. La matriz puede ser termoestable o termoplástica, cada una con ventajas y restricciones particulares. Por ejemplo, las matrices termoestables (epoxi, poliéster) ofrecen excelente estabilidad térmica y mecánica, pero son difíciles de reciclar, mientras que las matrices termoplásticas (PP, PA, PEEK) permiten procesos más rápidos y reciclaje más eficiente, aunque requieren tecnologías de procesamiento avanzadas.

En cuanto a los refuerzos, el trabajo diferencia entre fibras sintéticas (como la fibra de vidrio o la fibra de carbono), fibras naturales (kenaf, lino, sisal) y fibras híbridas, explicando su influencia en el comportamiento mecánico, térmico y medioambiental del compuesto. También se analizan distintas configuraciones de refuerzo: unidireccional, tejido bidireccional, multiaxial y mats aleatorios, que permiten adaptar las propiedades del material a las exigencias del diseño estructural automotriz.

Una parte sustancial del trabajo está dedicada a los sistemas automotrices donde los compuestos tienen aplicación directa o potencial. Estos incluyen: bastidor, carrocería, interiores, sistemas de suspensión, dirección, transmisión, protección del tren motriz, compartimento de batería, entre otros. La incorporación de compuestos no solo ha permitido una notable reducción de peso en los vehículos, sino también la mejora de propiedades de absorción de energía, aislamiento acústico y resistencia a la corrosión. Se presentan ejemplos industriales concretos como el monocasco de CFRP del BMW i3, los paneles interiores con fibras naturales en Mercedes-Benz Clase A, o la bandeja estructural de batería fabricada en PA6-GF del Volkswagen ID.4.

En términos estructurales, el documento examina las ventajas comparativas de utilizar compuestos frente a metales tradicionales (acero y aluminio), tanto en estructuras monocasco como en estructuras tipo Body-in-White (BIW). Si bien los compuestos presentan mejores prestaciones específicas (resistencia/peso), su adopción masiva en automoción aún presenta barreras significativas, especialmente en lo relativo a su coste, procesamiento, y dificultad de integración con otros materiales. Por ejemplo, la fibra de carbono presenta costes elevados tanto en su materia prima como en su procesamiento (curado lento, necesidad de autoclave o RTM), lo que limita su uso a modelos premium, deportivos o eléctricos de gama alta.

Desde el punto de vista técnico, el trabajo distingue claramente entre las dos grandes arquitecturas estructurales del automóvil: el monocasco, que integra todas las funciones en una sola pieza portante, ideal para materiales compuestos, y el BIW, basado en una estructura modular soldada o adherida, más compatible con líneas de montaje convencionales. Aunque el monocasco permite reducir peso y mejorar la rigidez global, su proceso de fabricación es menos flexible, más costoso y complejo en términos de reparación. En cambio, el BIW facilita la producción masiva, pero presenta limitaciones en términos de aligeramiento si se mantiene el uso predominante del acero. No obstante, algunos fabricantes están optando por estructuras híbridas BIW con refuerzos localizados en compuestos, lo que representa una solución intermedia viable.

El estudio dedica también una sección a las dificultades técnicas y económicas asociadas al uso de estos materiales. Entre los principales obstáculos se identifican: el coste elevado de algunos refuerzos (especialmente la fibra de carbono), la complejidad de los procesos de fabricación, los tiempos de ciclo de producción prolongados, la necesidad de tecnologías de unión específicas (adhesivos estructurales, co-moldeado), la falta de estandarización en procesos y normativas, y las limitaciones en el reciclado de matrices termoestables. Además, se analiza cómo estos problemas varían según el tipo de matriz y refuerzo, proponiendo una tabla comparativa de los principales retos asociados a cada familia de compuestos.

Desde una perspectiva más estratégica, el trabajo examina las tendencias tecnológicas actuales, entre las que destacan: el desarrollo de matrices reciclables, el uso creciente de fibras naturales por su bajo impacto ambiental, la automatización de procesos de fabricación como el AFP (Automated Fiber Placement) y el RTM (Resin Transfer Molding), y el empleo de simulaciones numéricas avanzadas y gemelos digitales para optimizar el diseño estructural sin recurrir a prototipos físicos. Estas innovaciones están permitiendo una transición progresiva hacia un uso más racional, eficiente y sostenible de los materiales compuestos en el sector automotriz.

El enfoque metodológico adoptado es de carácter documental y analítico, basado en la revisión de fuentes académicas, literatura técnica de fabricantes, publicaciones de asociaciones como JEC y AVK, y documentación de normativas internacionales (UNE, ISO, SAE). El trabajo no incluye validaciones experimentales ni simulaciones por software, lo que se justifica por su orientación teórica y tecnológica. No obstante, se propone como línea futura de investigación la realización de estudios comparativos basados en simulación o ensayos físicos para validar las conclusiones obtenidas a partir del análisis documental.

Como conclusión principal, el trabajo afirma que los materiales compuestos representan una herramienta clave para la transformación de la movilidad, aportando soluciones que permiten reducir peso, mejorar la eficiencia energética, cumplir con normativas de emisiones y abrir nuevas posibilidades de diseño en automoción. Aunque el coste y la complejidad de su fabricación siguen siendo retos importantes, la evolución tecnológica está impulsando su adopción progresiva, especialmente en modelos eléctricos, híbridos y vehículos de gama media-alta. Se prevé que, en los próximos años, la combinación inteligente de compuestos con metales en arquitecturas multimaterial será la tendencia dominante en el diseño estructural automotriz.

Índice

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
1. Introducción.....	10
1.1. Contexto y motivación	10
1.2. Beneficios de los materiales compuestos en la industria automotriz.....	10
1.3. Aplicaciones de los materiales compuestos en los sistemas del automóvil.....	11
1.4. Tendencias y desafíos en la aplicación de materiales compuestos en la industria automotriz.....	13
2. Definición Objetivos:.....	17
2.1. Objetivos general.....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
3. Metodología.....	18
3.1. Selección de Bases de Datos y Fuentes de Información	18
3.2. Identificación de Palabras Clave	18
3.3. Selección De Estudios	20
3.4. Identificación de Estudios	20
3.5. Cribado (Screening) de Estudios.....	20
3.6. Evaluación de Elegibilidad (Revisión a Texto Completo)	21
3.7. Estudios Incluidos y Diagrama de Flujo PRISMA	21
3.8. Criterios de Selección.....	21
3.9. Extracción y Síntesis de Datos:	24
3.10. Análisis crítico e interpretación	24
3.11. Formulario de Extracción de Datos	24
3.12. Síntesis de Resultados	25
3.13. Redacción del Informe.....	25
4. Materiales compuestos fundamentos.....	26
4.1. Definición y clasificación de materiales compuestos	26
4.2. Tipos de matrices y refuerzos.....	27
4.3. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos.....	28

4.4.	Procesos de fabricación de materiales compuestos.....	30
5.	Aplicaciones de los materiales compuestos en la industria automotriz.....	31
5.1.	Ventajas de los materiales compuestos en carrocerías.....	31
5.1.1.	Ejemplos de aplicación en vehículos comerciales	33
5.1.2.	Desafíos y limitaciones	35
5.2.	Chasis y estructuras.....	36
5.2.1.	Tipos de materiales compuestos para chasis	36
5.2.2.	Diseño y análisis de estructuras de materiales compuestos	39
5.2.3.	Casos de estudio	41
5.3.	Componentes del motor.....	43
5.3.1.	Materiales compuestos en sistemas de admisión y escape.....	43
5.3.2.	Aplicaciones en bloques de motor y culatas	46
5.4.	Sistemas de suspensión y frenos.....	48
5.4.1.	Materiales compuestos en muelles y amortiguadores	49
5.4.2.	Discos de freno de materiales compuestos.....	52
5.4.3.	Ventajas en términos de peso y durabilidad	55
5.5.	Interiores y componentes no estructurales.....	57
5.5.1.	Aplicaciones en paneles de puertas, asientos y salpicaderos	57
5.5.2.	Ventajas en términos de diseño y confort.....	58
5.5.3.	Innovaciones en materiales compuestos para interiores	60
6.	Análisis de casos de estudio.....	61
6.1.	Vehículo eléctrico con carrocería de fibra de carbono.....	61
6.1.1.	Descripción del vehículo y sus componentes.....	62
6.1.2.	Análisis del proceso de fabricación.....	64

6.1.3. Evaluación del rendimiento y la eficiencia	67
6.2. Vehículo de competición con chasis monocasco de materiales compuestos	68
6.2.1. Diseño y construcción del chasis	71
7. Conclusiones	73
8. Referencias Bibliográficas	76

1. Introducción

1.1.Contexto y motivación

La aplicación de materiales compuestos en la industria motriz ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, impulsada por la necesidad de reducir el peso de los vehículos, mejorar su eficiencia energética y cumplir con regulaciones ambientales cada vez más estrictas. Los materiales compuestos, como el carbono reforzado con polímeros (CFRP), ofrecen una combinación única de ligereza y resistencia mecánica superior a los materiales tradicionales como el acero o el aluminio.

El contexto actual es particularmente relevante debido a las regulaciones sobre emisiones de CO₂ que enfrenta la industria automotriz. Según estudios recientes, una reducción del 10% en el peso del vehículo puede traducirse en un mejoramiento del consumo del combustible hasta un 7%. Esto no solo reduce las emisiones contaminantes, sino que también mejora la eficiencia general del vehículo.

Además, los avances tecnológicos han permitido expandir el uso de estos materiales más allá de aplicaciones exclusivas para vehículos deportivos o prototipos. La integración creciente en modelos comerciales está impulsando innovaciones tanto en procesos manufactureros como en soluciones para abaratar costos sin comprometer calidad.

La motivación detrás del estudio sobre esta temática radica no solo en su impacto ambiental y económico sino también por su potencial para transformar completamente cómo se diseñan y fabrican los vehículos futuros. Al explorar estas aplicaciones desde una perspectiva histórica hasta sus desarrollos actuales, se pueden identificar patrones evolutivos que guíen futuras investigaciones hacia soluciones aún más innovadoras.

El trabajo busca proporcionar una visión completa y actualizada del papel de los materiales compuestos en la industria automotriz, con el fin de contribuir al conocimiento y la comprensión de este campo en constante evolución.

1.2.Beneficios de los materiales compuestos en la industria automotriz

La industria automotriz ha incorporado progresivamente materiales compuestos en la fabricación de componentes estructurales y funcionales, impulsada por la necesidad de mejorar el rendimiento mecánico, reducir el peso de los vehículos y cumplir con normativas ambientales cada vez más exigentes (Balasubramanian et al., 2024; Khan et al., 2024).

1. Reducción de peso y eficiencia energética

Uno de los principales beneficios de los materiales compuestos es su baja densidad, lo que permite disminuir el peso total del vehículo. Esta reducción contribuye directamente a una mayor eficiencia en el consumo de combustible y a una menor emisión de gases contaminantes. De acuerdo con Khan et al. (2024), una reducción del 10 % en el peso del vehículo puede suponer un ahorro de hasta un 7 % en consumo energético, lo que refuerza la tendencia hacia una movilidad más sostenible.

2. Alta relación resistencia-peso

Los compuestos, especialmente los polímeros reforzados con fibras (FRP), presentan una excelente relación resistencia-peso, lo que permite mantener o incluso aumentar la rigidez estructural del vehículo sin incrementar su masa. Esta propiedad resulta particularmente valiosa en la fabricación de carrocerías, chasis y componentes sometidos a cargas dinámicas, como los sistemas de suspensión (Wu et al., 2024).

3. Resistencia a la corrosión y a la fatiga

A diferencia de los materiales metálicos tradicionales, los materiales compuestos no presentan procesos de corrosión, lo que contribuye a prolongar la vida útil de los componentes en ambientes agresivos. Sin embargo, pueden verse afectados por otros mecanismos de degradación, como la absorción de humedad o la exposición prolongada a agentes químicos. Asimismo, exhiben una mayor resistencia a la fatiga, lo que los convierte en una alternativa robusta para elementos sometidos a cargas cíclicas (Carvalho et al., 2024).

4. Flexibilidad en el diseño y multifuncionalidad

Otra ventaja destacada es la versatilidad en el diseño. Los compuestos permiten la fabricación de piezas con geometrías complejas y propiedades integradas, lo que facilita la reducción del número de componentes y el ensamblaje de sistemas más compactos y ligeros. Asimismo, es posible integrar funciones como aislamiento acústico, térmico o resistencia al impacto dentro de una misma pieza (Kaspara et al., 2020).

5. Mejora del comportamiento en caso de colisión

Diversos estudios han demostrado que los compuestos pueden ser diseñados para absorber energía de manera eficiente durante un impacto, mejorando la seguridad pasiva del vehículo. Esta característica los convierte en una solución idónea para zonas de deformación controlada como los parachoques o pilares estructurales (Kaspara et al., 2020; Khan et al., 2024).

6. Sostenibilidad y potencial de reciclabilidad

Aunque uno de los retos principales de los materiales compuestos es su limitada reciclabilidad, actualmente se están desarrollando nuevas técnicas de reutilización y recuperación de fibras, así como alternativas con matrices biodegradables y fibras naturales (Witten y Mathes, 2024).

1.3. Aplicaciones de los materiales compuestos en los sistemas del automóvil

Los materiales compuestos se han integrado progresivamente en diversos sistemas de los vehículos modernos debido a sus propiedades físico-mecánicas superiores, como su elevada relación resistencia-peso, resistencia a la corrosión, capacidad de absorción de impactos y versatilidad de diseño. Esta adopción no se limita a un único componente, sino que abarca desde elementos estructurales hasta componentes funcionales y estéticos. A continuación, se

describen los principales sistemas automotrices en los que estos materiales han sido implementados con éxito:

1. Sistema de propulsión

En el sistema de propulsión, los materiales compuestos han sido incorporados en componentes como los colectores de admisión y escape, tapas de válvulas, carcasas de filtros, ventiladores y cubiertas protectoras. Los polímeros reforzados con fibra de vidrio (GFRP) se utilizan comúnmente por su buena resistencia térmica y su capacidad para soportar condiciones químicas adversas. En aplicaciones donde las temperaturas son más extremas, como en el sistema de escape, también se emplean compuestos cerámicos. La utilización de estos materiales permite reducir el peso de los componentes móviles, mejorar el rendimiento térmico del motor y alargar la vida útil de los elementos sometidos a fatiga térmica y vibracional.

2. Sistema de suspensión y dirección

Los compuestos también han sido empleados en el sistema de suspensión y dirección, particularmente en brazos de control, resortes, amortiguadores y columnas de dirección. Materiales como la fibra de carbono reforzada con polímero (CFRP) permiten reducir la masa no suspendida del vehículo, lo cual tiene un impacto directo en la mejora del comportamiento dinámico y la estabilidad en carretera. Además, su elevada rigidez torsional y su capacidad de absorber vibraciones contribuyen al confort del conductor y a una mayor vida útil de los componentes.

3. Sistema de transmisión

En este sistema, los materiales compuestos han sido aplicados en elementos como ejes de transmisión, engranajes de bajo esfuerzo y carcasas de embragues. El uso de CFRP y compuestos de matriz metálica (MMC) permite reducir el momento de inercia de los componentes giratorios, lo que se traduce en una mejor respuesta de aceleración y una disminución en las pérdidas mecánicas por fricción. Asimismo, estos materiales proporcionan una elevada resistencia a la fatiga y al desgaste, esenciales en aplicaciones sometidas a cargas cíclicas.

4. Carrocería exterior

La carrocería es una de las áreas más desarrolladas en cuanto a la aplicación de compuestos. Paneles exteriores como puertas, techos, capós, guardabarros y parachoques se fabrican comúnmente con FRP termoestables o termoplásticos reforzados, como polipropileno con fibra de vidrio. Estos materiales permiten no solo una significativa reducción del peso total del vehículo, sino también una excelente resistencia al impacto y a la corrosión. Modelos como el BMW i3 han adoptado estructuras de CFRP para reducir masa y mejorar el rendimiento energético sin comprometer la seguridad.

5. Estructura del bastidor o chasis

Tanto en estructuras tipo monocasco como en configuraciones configuraciones autoportante, los materiales compuestos han sido aplicados para sustituir parcial o totalmente elementos estructurales metálicos. El uso de materiales compuestos tipo sándwich, CFRP y combinaciones multimaterial ha permitido alcanzar una mayor rigidez estructural, optimizar el comportamiento en colisiones y reducir el peso total del chasis. Este tipo de estructuras son especialmente relevantes en vehículos eléctricos, donde la eficiencia energética es prioritaria y donde la rigidez debe complementarse con una buena absorción de energía en caso de impacto.

6. Interiores del vehículo

En el diseño interior del automóvil, los compuestos se utilizan en la fabricación de paneles de puertas, tableros, consolas, asientos y revestimientos. Se emplean tanto materiales sintéticos (como GFRP) como biocompuestos reforzados con fibras naturales (lino, cáñamo, kenaf), lo cual permite no solo una reducción de peso sino también una mejora en el comportamiento acústico, térmico y medioambiental. Estos compuestos ofrecen además mayor libertad de diseño, posibilitando geometrías complejas y acabados estéticos sin sacrificar resistencia.

7. Sistemas auxiliares y eléctricos

Finalmente, los materiales compuestos se aplican también en sistemas auxiliares, tales como soportes, carcasas de electrónica, bandejas de baterías, cubiertas protectoras y sistemas de gestión térmica. El uso de compuestos funcionalizados con propiedades aislantes o conductivas permite una integración segura de sistemas eléctricos y electrónicos, especialmente en vehículos eléctricos e híbridos. Además, al evitar el uso de metales en ciertas zonas, se reduce el riesgo de corrosión galvánica y se mejora la eficiencia en la distribución de peso.

1.4.Tendencias y desafíos en la aplicación de materiales compuestos en la industria automotriz

A pesar de los avances tecnológicos y los múltiples beneficios que ofrecen los materiales compuestos en el sector automotriz como la reducción de peso, la mejora en la eficiencia energética y el cumplimiento de normativas ambientales, su adopción a gran escala aún enfrenta una serie de barreras técnicas, económicas y logísticas que limitan su aplicación masiva. Estos desafíos varían en función del tipo de material compuesto, su proceso de fabricación y el componente del vehículo en el que se pretende aplicar.

1. Compuestos de fibra de carbono (CFRP)

Los materiales compuestos reforzados con fibra de carbono han sido ampliamente utilizados en vehículos de altas prestaciones debido a su elevada resistencia específica y rigidez. Sin embargo, presentan limitaciones importantes que dificultan su adopción masiva en la producción automotriz convencional.

Procesos de fabricación lentos y costosos, la mayoría de los CFRP requieren procesos de fabricación con temperaturas controladas como el moldeo por autoclave o también denominado la infusión al vacío, que implican tiempos de curado prolongados y condiciones de temperatura y presión controladas, lo cual incrementa significativamente los costes de producción (Feraboli et al., 2007).

Precio elevado de la materia prima: Las fibras de carbono tienen un coste por kg notablemente superior al del acero o aluminio, debido a su complejo proceso de obtención a partir de precursores como el PAN (poliacrilonitrilo) (Feraboli et al., 2007).

Uniones estructurales complejas: La combinación de CFRP con materiales metálicos requiere tecnologías avanzadas de unión como adhesivos estructurales, uniones híbridas o remachado selectivo, cuyo rendimiento a largo plazo aún está en estudio (Feraboli et al., 2007).

2. Compuestos de fibra de vidrio (GFRP)

Los materiales reforzados con fibra de vidrio se han posicionado como una alternativa de coste moderado en múltiples aplicaciones automotrices, aunque también presentan algunas dificultades técnicas que deben considerarse.

Propiedades mecánicas inferiores a la fibra de carbono: A pesar de su bajo coste, los GFRP ofrecen menor rigidez específica, lo que limita su uso en componentes altamente exigentes estructuralmente.

Los procesos de moldeo por compresión y de proyección simultánea de fibra de vidrio y resina poco eficientes para grandes series, aunque viables para pequeñas producciones o geometrías simples, estos procesos pueden no alcanzar las tasas de producción requeridas por la industria automotriz a gran escala.

3. Biocompuestos y fibras naturales

Los compuestos a base de fibras naturales (lino, cáñamo, kenaf) se están consolidando como una opción sostenible, especialmente en aplicaciones no estructurales del interior del vehículo. Sin embargo, su adopción también está sujeta a importantes retos.

Variabilidad en propiedades mecánicas: Las fibras naturales presentan dispersiones elevadas en términos de resistencia y rigidez, debido a factores como clima, cosecha o tratamiento, lo cual afecta la reproducibilidad de las piezas (Carvalho et al., 2024).

Sensibilidad a la humedad y biodegradabilidad: Estos materiales absorben humedad, lo que puede generar hinchamiento o deterioro a largo plazo si no se aplican tratamientos adecuados.

Compatibilidad con matrices poliméricas: La adherencia entre fibra natural y matriz sintética suele requerir el uso de aditivos o agentes de acoplamiento, lo que complejiza el proceso de fabricación.

4. Costes asociados a los materiales compuestos

El coste continúa siendo una de las principales barreras para la adopción masiva de materiales compuestos en la industria automotriz, especialmente cuando se comparan con soluciones metálicas tradicionales.

Coste de materias primas: Como se ha mencionado, la fibra de carbono representa un coste elevado por unidad de masa. Incluso en el caso de la fibra de vidrio o de las fibras naturales, los aditivos, las matrices y el tratamiento superficial encarecen el conjunto final.

Coste de fabricación y ciclo de producción: Muchos procesos asociados a los compuestos (inyección, infusión, curado en autoclave, termoformado) requieren maquinaria especializada, ciclos de producción prolongados y control térmico, lo que implica altos costes de capital y operación.

Coste de desarrollo y validación: La necesidad de diseñar nuevos utillajes, simular comportamientos estructurales complejos y realizar ensayos específicos incrementa los costes de ingeniería.

5. Limitaciones normativas y de estandarización

Otro obstáculo crítico para la implementación de compuestos en automoción es la falta de normativas ampliamente aceptadas:

- La ausencia de estándares universales dificulta la certificación de compuestos en entornos altamente regulados como el transporte o la seguridad estructural .
- Las normativas actuales están adaptadas en su mayoría a materiales metálicos tradicionales, lo cual ralentiza la transferencia o el diseño de regulaciones para los compuestos.

6. Tendencias actuales para superar estas barreras

- Frente a estos desafíos, la industria y la comunidad científica están impulsando múltiples líneas de innovación:
- Desarrollo de precursores de fibra de carbono más económicos, como el lignin o el rayón, para abaratar la producción.
- Automatización de procesos, como el RTM (moldeo por transferencia de resina) o el pultrusionado, para incrementar la productividad y reducir costos.
- Diseño de compuestos reciclables mediante matrices termoplásticas y fibras naturales, integrando los principios de economía circular.
- Integración de simulación avanzada y diseño estructural optimizado, para reducir los costos de validación mediante gemelos digitales.

- Desarrollo de normativas internacionales específicas para compuestos en automoción, lideradas por organismos como SAE o ISO.

Además, los compuestos tienen el poder de cambiar completamente la industria automotriz al hacer vehículos más ligeros, económicos, seguros y ecológicos. Se espera que a medida que se superen estos desafíos, el uso de compuestos en la industria automotriz aumente en los próximos años.

2. Definición Objetivos:

2.1. Objetivos general

Evaluar y analizar comparativamente el impacto de los materiales compuestos aplicados a la industria automotriz, considerando tanto los beneficios técnicos, estructurales y medioambientales como los desafíos asociados a su implementación. Esta evaluación se enfoca en dos enfoques constructivos predominantes: la estructura monocasco y la estructura Body-in-White (BIW), con el fin de determinar qué configuración resulta más eficiente, ligera y viable desde el punto de vista del rendimiento y la sostenibilidad.

2.2 Objetivos específicos

- Clasificar y describir los principales tipos de materiales compuestos utilizados en la industria automotriz, analizando sus propiedades físico-mecánicas, su comportamiento estructural, su procesabilidad y su compatibilidad con diferentes configuraciones de carrocería.
- Comparar las dos principales configuraciones estructurales del automóvil (monocasco y Body-in-White), destacando sus diferencias constructivas, ventajas mecánicas, criterios de diseño, nivel de integración de materiales compuestos y viabilidad de aplicación en vehículos eléctricos y de combustión.
- Analizar los beneficios técnicos y ambientales asociados a los materiales compuestos, especialmente en lo referido a la reducción de peso, mejora de la eficiencia energética, incremento de la rigidez estructural y disminución del impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del vehículo.
- Identificar y examinar los principales desafíos que enfrenta la industria automotriz en la adopción de compuestos, diferenciando los problemas según el tipo de material (fibra de carbono, fibra de vidrio, fibras naturales, matrices termoestables o termoplásticas), así como sus implicancias económicas, normativas y productivas.
- Explorar las tendencias emergentes en el desarrollo e integración de compuestos automotrices, incluyendo nuevos procesos de fabricación (RTM, SMC, termoconformado), automatización industrial, soluciones reciclables y ecodiseño, con el fin de anticipar escenarios futuros de aplicación

3. Metodología

La metodología de este trabajo se fundamenta en los aportes de diversos estudios de Aiza et al. (2021), Ajayi et al. (2025), Naik et al. (2021), Tuli et al. (2024) y Wazeer et al. (2023), los cuales abordan de manera complementaria la aplicación de materiales compuestos en estructuras de tipo monocasco y Body-in-White (BIW) en vehículos eléctricos. A partir de su análisis, se diseña una revisión bibliográfica sistemática que permite identificar, seleccionar y evaluar la literatura científica más relevante sobre el tema, con el fin de establecer comparaciones y extraer conclusiones sólidas sobre las ventajas y limitaciones de ambos enfoques estructurales.

3.1. Selección de Bases de Datos y Fuentes de Información

Se tomaron en cuenta las siguientes bases de datos académicas:

- Pubmed,
- Google Scholar.
- ScienceDirect.
- Dialnet.
- Scielo y Redalyc
- Scopus
- Web of Science
- IEEE Xplore
- SAE Mobilus (Society of Automotive Engineers)
- Engineering Village (Compendex)

En ellas, se consideraron aspectos como:

- Publicaciones de la industria automotriz.
- Informes técnicos de fabricantes de vehículos eléctricos.
- Actas de congresos y asambleas sobre materiales compuestos y vehículos eléctricos.
- Organizaciones de investigación y desarrollo.

3.2. Identificación de Palabras Clave

Se ha desarrollado una estrategia de búsqueda estructurada para cada base de datos, utilizando una combinación de palabras clave y operadores booleanos (AND, OR, NOT). Es fundamental usar términos tanto en inglés como en español para una búsqueda más amplia e intentar abarcar la mayor cantidad de estudios relevantes posibles. Las palabras clave se conjugan en base al documento de referencia de García Peñalvo (2017) como guía de desarrollo de la búsqueda de información.

Palabras Clave propuestas

- **Para Monocasco:**
 - ✓ "Monocoque" OR "Unibody"
 - ✓ "Monocoque structure" OR "Unibody structure"

- ✓ "Monocoque design" OR "Unibody design"
- ✓ "Composite monocoque" OR "Carbon monocoque" OR "Aluminium monocoque"
- **Para BIW:**
 - ✓ "Body in White" OR "BIW"
 - ✓ "BIW structure" OR "BIW design"
 - ✓ "Space frame" (a menudo un precursor o alternativo al BIW moderno, importante para contextualizar)
 - ✓ "Vehicle body structure"
 - ✓ "Steel BIW" OR "Aluminum BIW" OR "Multi-material BIW"
- **Términos de Contexto y Comparación (a combinar con los anteriores usando AND):**
 - ✓ "Vehicle" OR "Car"
 - ✓ "Structural analysis" OR "Finite Element Analysis"
 - ✓ "Lightweighting"
 - ✓ "Crashworthiness" OR "Safety"
 - ✓ "Torsional rigidity" OR "Stiffness"
 - ✓ "Manufacturing process" OR "Assembly"
 - ✓ "Material selection"
 - ✓ "Comparison" OR "Comparative study" OR "Versus" OR "Vs"
 - ✓ "Advantages" OR "Disadvantages" OR "Benefits" OR "Drawbacks"
 - ✓ "Application" OR "Case study"
- **Cadenas de Búsqueda (a adaptar a cada base de datos):**
 - ✓ ("Monocoque" OR "Unibody") AND ("Body in White" OR "BIW") AND ("Automotive" OR "Vehicle") AND ("Comparison" OR "Comparative study")
 - ✓ ("Monocoque structure" OR "Unibody structure") AND ("Automotive" OR "Vehicle") AND ("Design" OR "Material" OR "Manufacturing")

- ✓ ("Body in White" OR "BIW") AND ("Automotive" OR "Vehicle") AND ("Design" OR "Material" OR "Manufacturing" OR "Assembly")
- ✓ ("Composite monocoque") AND ("Automotive" OR "Vehicle") AND ("Application" OR "Advantages")
- ✓ ("Multi-material BIW") AND ("Automotive" OR "Vehicle") AND ("Application" OR "Advantages")

Se recomienda realizar búsquedas de prueba y refinar las cadenas de búsqueda para optimizar la sensibilidad (capturar todos los estudios relevantes) y la especificidad (excluir estudios irrelevantes).

3.3. Selección De Estudios

El proceso se adhiere a las directrices PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses; Page et al., 2021) para garantizar la rigurosidad y reproducibilidad de la selección. Este procedimiento se articula en varias etapas secuenciales: identificación, cribado (screening), evaluación de elegibilidad e inclusión final de estudios, y será documentado mediante un diagrama de flujo PRISMA.

3.4. Identificación de Estudios

Una vez definidas las estrategias de búsqueda, se procederá a su ejecución en las bases de datos científicas y académicas seleccionadas donde todos los registros bibliográficos identificados son exportados a un software de gestión de referencias “Mendeley” por lo simple de su uso y por una mejor comprensión del mismo. Esta herramienta facilitará la organización de las referencias y la eliminación inicial de duplicados. Se documentará el número total de registros obtenidos de cada fuente de información antes de la eliminación de duplicados.

3.5. Cribado (Screening) de Estudios

Tras la importación de los registros al gestor de referencias, se iniciará el proceso de cribado, que comprende sub-etapas:

- **Eliminación de Duplicados:** Se utilizarán las funcionalidades automáticas del software de gestión de referencias para identificar y eliminar estudios duplicados. Posteriormente, se realizará una revisión manual complementaria para detectar posibles duplicados no identificados por el software. Se registrará el número de duplicados eliminados.
- **Revisión de Títulos y Resúmenes (Abstracts):** Los títulos y resúmenes de los registros restantes serán revisados de forma independiente por el investigador principal aplicando los criterios de inclusión y exclusión preestablecidos en el protocolo de revisión.
- Aquellos estudios cuya relevancia no pueda determinarse con certeza a partir del título y el resumen serán conservados para su evaluación en la siguiente etapa de revisión a texto completo.
- Se llevará un registro de los estudios excluidos en esta fase y las razones para su exclusión.

3.6. Evaluación de Elegibilidad (Revisión a Texto Completo)

Los estudios que superen la fase de cribado de títulos y resúmenes serán sometidos a una evaluación más exhaustiva mediante la lectura de sus textos completos.

- **Obtención de Textos Completos:** Se realizarán todos los esfuerzos razonables para obtener las versiones completas de los artículos seleccionados. Esto incluirá el uso de los recursos bibliotecarios de la universidad, bases de datos académicas, motores de búsqueda como Google Scholar, y, si fuera necesario, el contacto directo con los autores a través de plataformas como ResearchGate o correo electrónico. Se documentarán aquellos estudios para los cuales no sea posible obtener el texto completo.
- **Revisión de Textos Completos:** El investigador principal, leerá íntegramente cada artículo preseleccionado. En esta etapa, se aplicarán de manera rigurosa los criterios de inclusión y exclusión definidos en el protocolo. Se prestará especial atención a la pertinencia del estudio para abordar la diferenciación conceptual, estructural, material, de fabricación, aplicabilidad y ventajas/desventajas de las estructuras monocasco y BIW.
- Los estudios que no cuenten con información, métodos o resultados relevantes serán descartados.
- Se documentarán de forma detallada las razones específicas para la exclusión de estudios durante esta fase de revisión a texto completo.

3.7. Estudios Incluidos y Diagrama de Flujo PRISMA

Los estudios que cumplan satisfactoriamente con todos los criterios de elegibilidad tras la revisión a texto completo constituirán la muestra final de artículos para la extracción de datos y la posterior síntesis y análisis.

Todo el proceso de selección de estudios, desde la identificación inicial hasta la inclusión final, será documentado de manera transparente y detallada. Se elaborará un diagrama de flujo PRISMA que ilustrará el número de estudios identificados, cribados, evaluados para elegibilidad y finalmente incluidos en la revisión, especificando las razones de exclusión en cada etapa.

A continuación, se presenta el diagrama PRISMA que resume el proceso completo de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios revisados durante esta investigación sistemática.”

3.8. Criterios de Selección

Fue necesario establecer criterios de inclusión y exclusión específicos para seleccionar los estudios relevantes:

- **Criterios de Inclusión:**
 - ✓ Estudios que definan, describan, comparen o analicen explícitamente los conceptos de "monocasco" (o "unibody") y/o "Body in White" (BIW) en el contexto de vehículos (automóviles, vehículos comerciales ligeros, competición, etc.).

- ✓ Artículos que discutan la estructura, diseño, materiales, procesos de fabricación, características (rigidez, peso, seguridad), ventajas o desventajas de monocasco y BIW.
 - ✓ Estudios que presenten aplicaciones específicas o casos de estudio de vehículos con estructuras monocasco o BIW.
 - ✓ Publicaciones en inglés y español para ampliar el alcance (ajustable según los recursos y el enfoque del TFM).
 - ✓ Se establece una ventana temporal de los últimos 15 años, para asegurar la relevancia con la tecnología actual, aunque estudios fundamentales más antiguos podrían considerarse cuando su impacto trascienda el periodo de estudio.
 - ✓ Tipos de estudio: Artículos de revistas científicas revisadas por pares, capítulos de libros técnicos, actas de congresos de prestigio, informes técnicos de fabricantes o instituciones de investigación reconocidas.
-
- **Criterios de Exclusión:**
 - ✓ Estudios no relacionados con la industria automotriz o estructuras vehiculares.
 - ✓ Artículos que mencionen los términos "monocasco" o "BIW" de forma tangencial sin un análisis o descripción sustancial.
 - ✓ Estudios centrados exclusivamente en otros componentes del vehículo sin relación directa con la estructura principal (monocasco/BIW).
 - ✓ Artículos de opinión, editoriales, o literatura gris no verificable (blogs, sitios web no académicos), a menos que aporten datos de fuentes primarias claramente citadas.
 - ✓ Artículos duplicados.
 - ✓ Estudios a los que no se pueda acceder en texto completo después de intentos razonables (e.g., contacto con autores, bibliotecas).
 - ✓ Artículos considerados de baja calidad metodológica tras una evaluación.

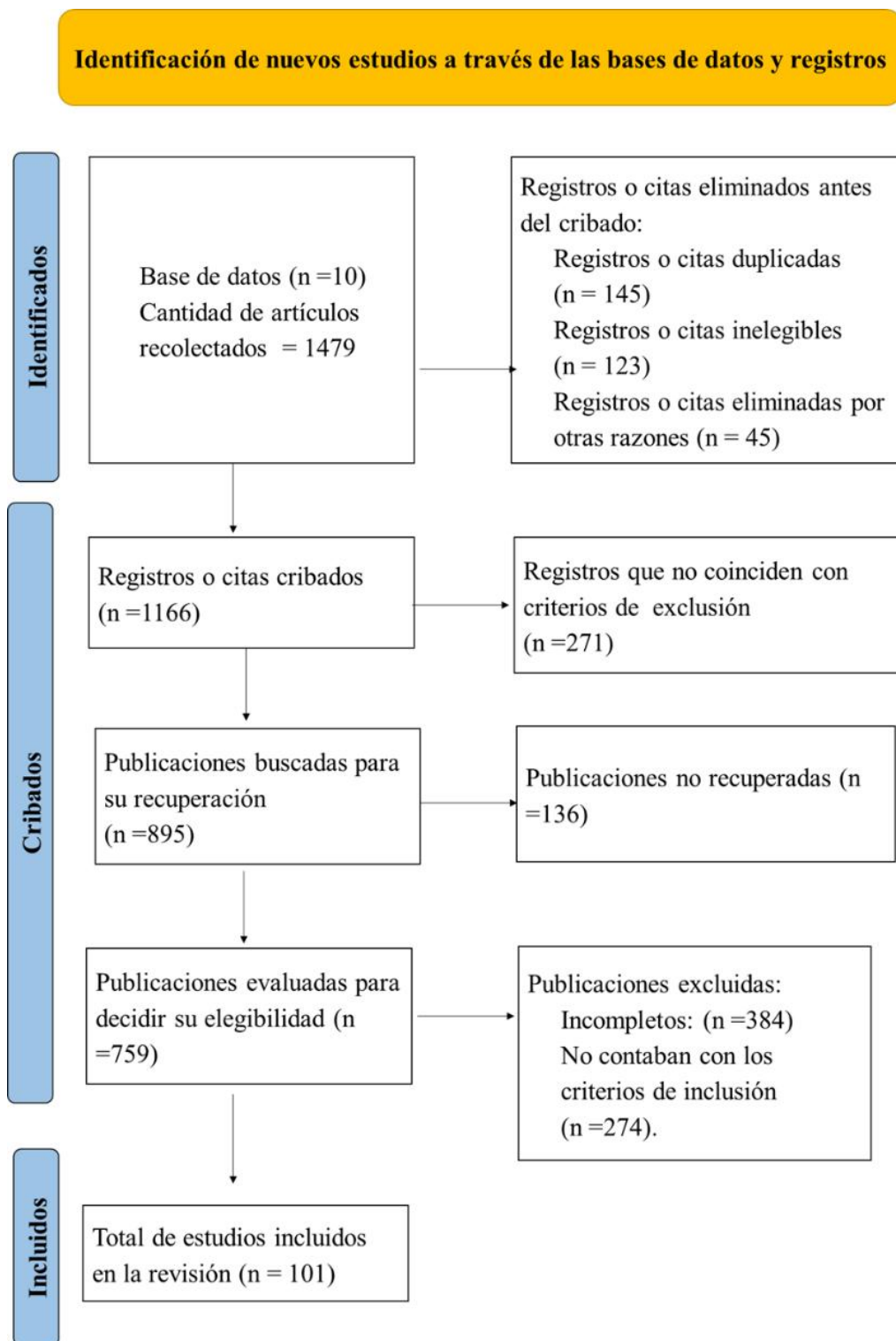


Figura 1: PRISMA flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only [68].

3.9.Extracción y Síntesis de Datos:

En este aspecto, se consideró relevante desarrollar una plantilla o elementos para extraer datos relevantes de los artículos seleccionados:

- Tipo de material compuesto utilizado.
- Método de fabricación.
- Propiedades mecánicas.
- Reducción de peso obtenida.
- Análisis de costos.
- Resultados del análisis de ciclo de vida o el impacto ambiental.
- Limitaciones y desafíos señalados.
- Sintetizar los datos extraídos para identificar patrones, tendencias y brechas en la investigación.

3.10.Análisis crítico e interpretación

- Evaluar las metodologías de investigación y los resultados de los estudios seleccionados.
- Comparar y contrastar diferentes enfoques y hallazgos.
- Identificar las fortalezas y debilidades de cada estudio.
- Interpretar los resultados en el contexto de los objetivos que se han planeado en esta revisión de estudios.
- Considerar la influencia de factores como el año de publicación.

3.11.Formulario de Extracción de Datos

En el presente trabajo se contempló el desarrollo de un formulario de extracción de datos estandarizado como parte del proceso metodológico de la revisión sistemática. Este formulario, usualmente elaborado en Excel, tiene como finalidad recopilar de manera estructurada la información relevante de los estudios incluidos, diferenciando los conceptos de monocasco y Body-in-White (BIW). Dicho formulario contempla categorías como:

- Información general del artículo (autor, año, título, tipo de publicación, fuente de origen).
- Definición conceptual de monocasco y/o BIW.
- Principio estructural descrito en el estudio.
- Materiales utilizados y su justificación.
- Procesos de fabricación y ensamblaje empleados.
- Características clave (peso, rigidez, comportamiento en colisión, costes, complejidad de diseño, reparabilidad, NVH).
- Aplicaciones típicas y casos de uso.
- Ventajas y desventajas identificadas.
- Comparaciones directas entre monocasco y BIW.
- Resultados relevantes y conclusiones de los autores.

Sin embargo, dado el alcance académico y documental del presente TFM, no se ha desarrollado una matriz completa en Excel que contenga todos los artículos revisados. En su lugar, la

extracción de información se realizó aplicando estas mismas categorías de forma directa durante el análisis, y los resultados se organizaron mediante síntesis narrativa y tablas comparativas incluidas en los apartados de resultados.

3.12.Síntesis de Resultados

Una vez extraídos los datos, se procederá a su síntesis. El objetivo es presentar una visión clara y comparativa de los conceptos de monocasco y BIW.

- **Síntesis Narrativa:** Se agruparán los hallazgos por temas (definiciones, principios estructurales, materiales, etc.). Se describirán las tendencias, similitudes, diferencias y contradicciones encontradas en la literatura.
- **Tablas Comparativas:** Se crearán tablas para resumir y comparar directamente las características, aplicaciones, ventajas y desventajas del monocasco y el BIW basándose en los datos extraídos.
- **Análisis Crítico:** Se interpretarán los resultados en el contexto de la pregunta de investigación, discutiendo la evolución de ambos conceptos, su coexistencia, y las tendencias futuras (influencia de la electrificación, nuevos materiales). Se identificarán posibles lagunas en la investigación actual.

3.13.Redacción del Informe

La estructura del TFM seguirá las directrices de la institución académica, pero la revisión sistemática constituirá los siguientes elementos:

- **Introducción:** Justificación del estudio, pregunta de investigación y objetivos.
- **Metodología:** Descripción detallada del proceso de revisión sistemática seguido (basado en este protocolo).
- **Resultados:** Presentación de los hallazgos, incluyendo el diagrama de flujo PRISMA, características de los estudios incluidos, y la síntesis de datos (narrativa y tablas).
- **Discusión:** Interpretación de los resultados, comparación con literatura existente, identificación clara de las diferencias, aplicaciones, características y ventajas del monocasco y BIW, limitaciones de la revisión, e implicaciones para la ingeniería automotriz.
- **Conclusiones:** Resumen de los hallazgos principales respondiendo a la pregunta de investigación y sugerencias para futuras investigaciones.
- **Referencias:** Listado completo de todas las fuentes citadas

4. Materiales compuestos fundamentos

4.1. Definición y clasificación de materiales compuestos

Los materiales compuestos son aquellos que se forman a partir de la combinación de dos o más materiales distintos, estos al unirse, producen un material con mejores propiedades a las de sus componentes de manera individual. Esta combinación resultante, permite aprovechar las características positivas de cada uno, con la intención de lograr un producto final que sea más fuerte, más ligero y con mejor resistencia a diferentes condiciones y contextos (Khan et al., 2024). En este sentido, Balasubramanian et al. (2024), señalan que los compuestos se utilizan ampliamente en la industria automotriz debido a la capacidad de estos recursos para provocar efectos beneficiosos en cuanto a la reducción del peso de los vehículos, hacer que el combustible sea más eficiente y minimizar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), lo que ha vuelto importante para las regulaciones ambientales, que son cada vez más estrictas.

En este sentido, Yan et al. (2025) menciona que los materiales compuestos se pueden clasificar en varias categorías, en función de su matriz y refuerzo, donde la más común divide a los compuestos en tres tipos: compuestos de matriz polimérica (PMC), compuestos de matriz metálica (MMC) y compuestos de matriz cerámica (CMC). De esta manera, los autores señalan que PMC estos son utilizados en la industria automotriz debido a la buena relación resistencia-peso y su versatilidad en el diseño, permitiendo una gran flexibilidad en el diseño y una considerable reducción de peso.

Al respecto, la investigación de Wu et al. (2024) expone los materiales compuestos de matriz polimérica (PMC) que hacen referencia al vidrio, al carbono o compuestos naturales, los cuales proporcionan propiedades mecánicas mejoradas, como una mayor resistencia a la tracción y en cuanto a la rigidez. De igual forma, los autores mencionan los materiales compuestos de matriz metálica (MMC), que son conocidos por su capacidad para soportar altas temperaturas y su resistencia al desgaste, haciéndolos ideales para objetos como pistones y para los ejes en motores.

Por su parte, Dua et al. (2023) hace referencia a que, dentro de la clasificación basada en la matriz, los compuestos también se pueden categorizar según su forma de refuerzo, los cuales pueden ser continuos o discontinuos, dependiendo de la extensión de las fibras a lo largo de todo el material o si estas fibras son cortas y dispersas. Esta clasificación tiene un impacto considerable en las propiedades mecánicas del compuesto, donde los refuerzos continuos tienden a proporcionar una mayor resistencia y rigidez, mientras que los discontinuos pueden ofrecer ventajas en términos de costo y ser de fácil fabricación.

A modo resumen, de la investigación de Velickovic et al. (2019) permite la elaboración del siguiente esquema para comprender de manera integral los materiales compuestos:

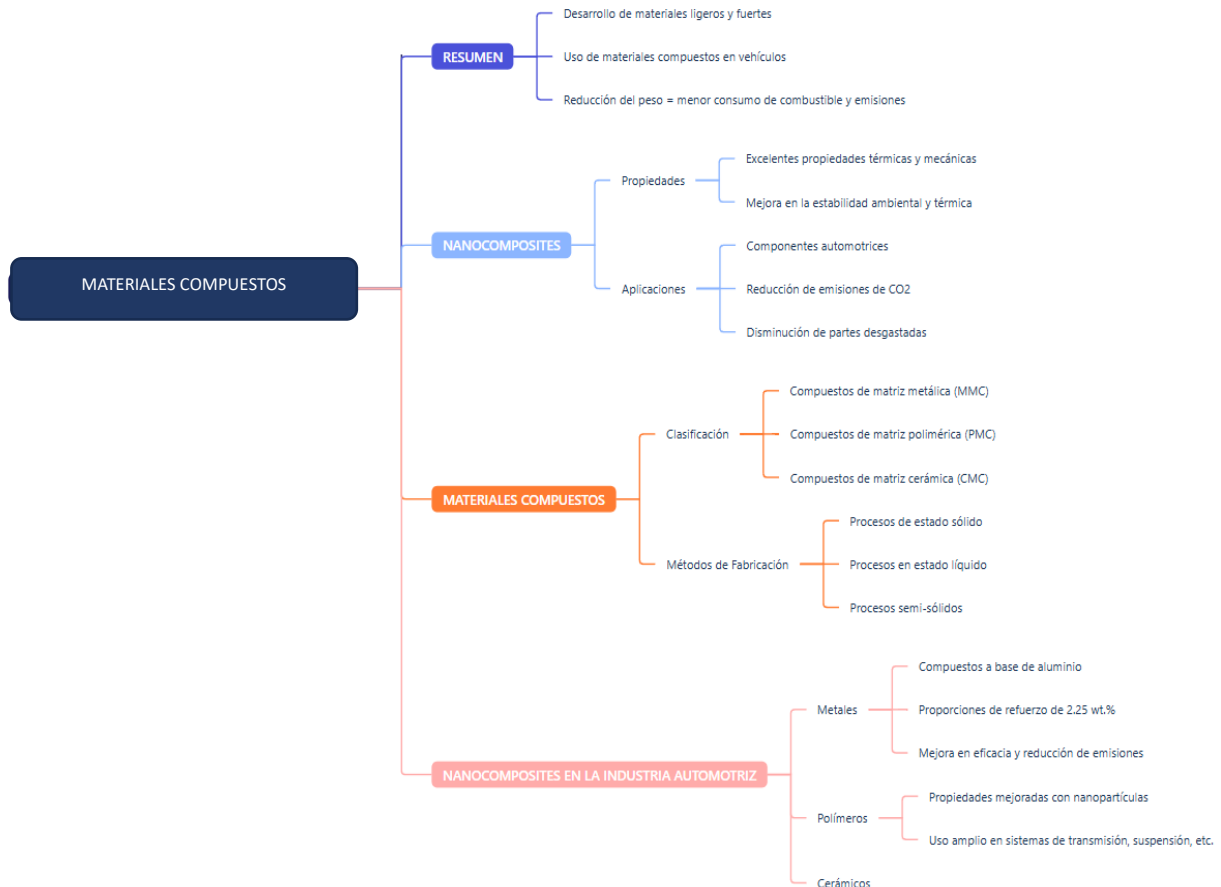


Figura 2: Materiales compuestos (Elaboración propia)

Realizando un análisis concluyente, los materiales compuestos son una categoría de materiales que potencian la industria automotriz, donde la capacidad para combinar diferentes materiales y obtener mejores propiedades se adapta de manera generalizada en la fabricación de vehículos. Por lo que, al clasificar los compuestos en función de su matriz y refuerzo se puede comprender mejor sus aplicaciones y sus características, lo que es necesario para el desarrollo de soluciones sostenibles y eficientes en la industria automotriz.

4.2. Tipos de matrices y refuerzos

La selección de la matriz y el refuerzo es un aspecto relevante en el diseño y la fabricación de materiales compuestos, ya que determina en gran medida las propiedades finales del material, de acuerdo con lo que se expone en la investigación de Carvalho et al. (2024). En este sentido, los autores mencionan que las matrices de fase continua del material encapsulan y sostienen los refuerzos, mientras que los refuerzos son las fases dispersas que proporcionan resistencia y rigidez. Por estos motivos, la elección de la matriz y el refuerzo influye directamente en la resistencia mecánica, la durabilidad, la resistencia al impacto y la capacidad de reciclaje del compuesto.

De igual forma, Yan et al. (2025) menciona que las matrices más comunes utilizadas en compuestos son las siguientes: poliméricas, metálicas y cerámicas. En primer lugar, las matrices poliméricas, como los epóxidos y el poliéster y sus derivados, son ampliamente utilizadas en la

industria automotriz debido a su ligereza, facilidad de procesamiento y resistencia a la corrosión, las cuales son efectivas en aplicaciones donde se requiere un equilibrio entre resistencia y peso, como en los paneles de carrocería y los componentes interiores; luego, las matrices metálicas, como el aluminio y el magnesio, son elegidas por su alta resistencia y capacidad para soportar altas temperaturas. Finalmente, las matrices cerámicas, aunque menos comunes en la industria automotriz, ofrecen propiedades de resistencia al calor y al desgaste, que son ideales para aplicaciones a temperaturas extremas, como en sistemas de frenos y componentes de motores.

Al respecto, Dua et al. (2023) mencionan que, aunque los compuestos de matriz cerámica tienen un gran potencial, presentan mayor fragilidad y dificultad de procesamiento y limitan su uso en la industria automotriz. Mientras que Wu et al. (2024), destaca que los compuestos de matriz metálica son ideales para componentes de alto rendimiento donde la resistencia y la durabilidad son esenciales, pero la fabricación de estos compuestos puede ser más costosa y compleja en comparación con los demás.

En cuanto a lo que respecta a los refuerzos, estos pueden ser de varios tipos, incluyendo fibras de vidrio, carbono y naturales (Wu et al., 2024; Yan et al., 2025). Las fibras de vidrio representan un bajo costo y buena resistencia mecánica, volviéndolas las más utilizadas; aunque las fibras de carbono ofrecen una mejor relación resistencia-peso para aplicaciones de alto rendimiento. Es así como la incorporación de fibras de carbono ha favorecido la fabricación de vehículos deportivos y esto ha repercutido en una reducción importante del peso sin comprometer la manejabilidad, la velocidad ni la seguridad. De igual forma, las fibras naturales como el cáñamo y el lino, están ganando popularidad debido a su sostenibilidad y bajo impacto ambiental (Carvalho et al., 2024), reduciendo el peso de los vehículos y contribuyendo con la economía circular al ser biodegradables. Sin embargo, la variabilidad en las propiedades mecánicas de las fibras naturales puede ser un obstáculo si se compara con las fibras sintéticas.

Finalmente, apoyados en los estudios de Carvalho et al. (2024) y Dua et al. (2023), se afirma que la interacción entre la matriz y el refuerzo es fundamental para el rendimiento del material compuesto, donde la adherencia adecuada entre ambos asegura que las cargas se transfieran de manera eficiente, mejorando así las propiedades mecánicas. También, las técnicas de tratamiento de superficie de los refuerzos, como el tratamiento químico y físico, son necesarios para mejorar esta interacción y optimizar el rendimiento del compuesto final.

A modo de conclusión, se observa que la elección de la matriz y el refuerzo en los materiales compuestos es un proceso importante que influye directamente las propiedades y aplicaciones de estos materiales en la industria automotriz; por lo que, comprender las características e interacción de las diferentes matrices y refuerzos favorece el desarrollo de soluciones que se mantengan en el tiempo en la fabricación de vehículos. Con el avance de la tecnología y la demanda de materiales duraderos, se considera que los compuestos continúen en constante evolución, asegurando el futuro de la industria automotriz.

4.3. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos

Los materiales compuestos han ganado una importante atención en la industria automotriz debido a sus propiedades mecánicas, las cuales han sido mejores que los materiales convencionales. Según Lattanzi et al. (2024), los compuestos de matriz metálica, como los que incorporan partículas de SiC (partículas de carburo de silicio, a base de carbón) en una matriz

de aluminio, han demostrado notables mejoras en la resistencia mecánica y en la estabilidad térmica, lo cual es necesario para componentes que operan bajo condiciones extremas, como los discos de freno.

Por su parte, Ganesarajan et al. (2022) destacan que la incorporación de fibras de vidrio y polímeros puede resultar en un aumento significativo de la resistencia a la tracción y la flexión o la capacidad de deformarse del material, sin un aumento proporcional del peso, lo cual es considerado importante en el diseño automotriz, donde la reducción de peso puede mejorar la eficiencia del combustible y el rendimiento general del vehículo. Los compuestos que combinan refuerzos naturales, como el α -1,3-glucano, con fibras de vidrio, han mostrado incrementos en la resistencia y la rigidez, mientras que al mismo tiempo se reduce la densidad, lo que contribuye a un diseño más ligero.

Como se puede percibir, la resistencia al desgaste es una propiedad mecánica relevante que se busca en los materiales compuestos, especialmente en aplicaciones de fricción, como por ejemplo los frenos. Al respecto, Singh et al. (2021) mencionan que el uso de polvo de cáscara de periwinkle (vieiras o almejas) y otros materiales residuales, han mostrado propiedades tribológicas prometedoras en la fabricación de pastillas de freno, incluyendo una alta resistencia al desgaste y una valoración de fricción favorable. Estos compuestos no solo cumplen con los requisitos de rendimiento, sino que también ofrecen una alternativa sostenible a los materiales basados en asbesto, que son perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

De igual forma, la resistencia a la temperatura es fundamental para los compuestos utilizados en aplicaciones automotrices, donde Lattanzi et al. (2024) han investigado cómo la adición de elementos de aleación como el níquel y cobre en compuestos de matriz de aluminio pueden mejorar la resistencia mecánica en calor sobre los 420 °C, esencial para componentes que tienen que funcionar bajo estas condiciones. Esto ha provocado la formación de fases intermetálicas, como el Al₃Ni (polvo intermetálico de aluminio y níquel) que proporciona estabilidad térmica y mecánica en condiciones extremas.

En esta misma línea de información, Dirisu et al. (2024) expresan que la ductilidad (capacidad de un material para deformarse) y la tenacidad (capacidad de un material para absorber energía) también son propiedades importantes que deben existir en los compuestos, ya que determinan su capacidad para absorber energía y resistir fracturas bajo los esfuerzos del funcionamiento. También, la combinación de fibras naturales con resinas biocompatibles puede resultar en compuestos que no solo son fuertes, sino también flexibles, lo que es ideal para aquellas situaciones donde se requiere deformación sin falla, como en la suspensión de los vehículos.

Otro aspecto a considerar es la influencia de los métodos de fabricación en las propiedades mecánicas de los compuestos, por lo que Ganesarajan et al. (2022) discuten cómo el proceso de mezcla y moldeo afectan la distribución del refuerzo y, con ello, su influencia en las características del material producido. La uniformidad en la distribución del refuerzo es esencial para asegurar que las propiedades mecánicas sean consistentes en todo el material compuesto, por lo que constantemente se realizan investigaciones sobre los métodos de fabricación y su impacto en las propiedades mecánicas, lo que permite mejorar el rendimiento de los compuestos en aplicaciones automotrices.

Para concluir, las propiedades mecánicas de los materiales compuestos son elementos determinantes en la aplicación de la industria automotriz, donde la combinación de resistencia,

rigidez, durabilidad y resistencia al desgaste, junto con ser más ligeros y sostenibles, hace que los compuestos sean una opción atractiva para su producción masiva. Por estos motivos, la investigación y el diseño continuo de estrategias en este campo es necesario para avanzar en producción y en el mejoramiento de materiales que puedan ser utilizados en la producción de vehículos, contribuyendo a un futuro de la industria eficiente.

4.4. Procesos de fabricación de materiales compuestos

La fabricación de materiales compuestos es un proceso que debe ser llevado a cabo de manera minuciosa y con la capacitación adecuada, ya que esto determina las propiedades finales del producto y su rendimiento en aplicaciones específicas. Para Ganesarajan et al. (2022), existen diferentes métodos de fabricación que se utilizan en la industria automotriz y la selección de uno u otro depende de factores como el tipo de matriz, el refuerzo, la geometría del componente y los requisitos de producción, por lo que estos métodos deben ser eficientes y permitir la producción de componentes de alta calidad que cumplan con los estándares de la industria.

En este sentido, Lattanzi et al. (2024) se enfoca en el método de fabricación de la molienda y mezcla, que de acuerdo a los autores es uno de los más comunes y que se utiliza para crear compuestos a partir de resinas y refuerzos. Este proceso, hace referencia a la incorporación de los materiales en un mezclador, para luego aplicar la extrusión (moldear y fundir) que permita formar un material homogéneo. Es por esta razón, que la selección de equipos y condiciones de procesamiento debe ser cuidadosa, para evitar la degradación de los materiales durante el proceso.

De manera similar, Dirisu et al. (2024) mencionan al proceso de la inyección de moldes que también se ha utilizado por décadas en la fabricación de compuestos. Este proceso se refiere a calentar la mezcla de resina y refuerzo hasta que se convierta en un fluido, y luego trasladarlo en un molde donde se enfría y solidifica, permitiendo la producción de formas complejas y precisas, lo que es ideal para componentes automotrices que requieren geometrías específicas. Sin embargo, la inyección de moldes también presenta retos a tener en cuenta, como el control preciso de la temperatura y la presión que ejerce el molde para asegurar una buena calidad del producto final.

Por su parte, Singh et al. (2023) hacen mención al método de compresión que es utilizado para la fabricación de compuestos a partir de resinas termofijas, el cual implica colocar la mezcla de resina y refuerzo en un molde y aplicar calor y presión para curar la resina. Este método, es efectivo para producir componentes con alta resistencia y rigidez, pero puede ser más lento que otros procesos, y puede resultar en una mayor variabilidad en las propiedades del material, en función de la distribución del refuerzo en el molde.

En este mismo orden de información, han surgido nuevos métodos como la fabricación aditiva, también conocida como la impresión 3D, que ha comenzado a ganar terreno en la producción de compuestos (Ganesarajan et al., 2022; Lattanzi et al., 2024). Este proceso permite la creación de componentes capa por capa, favoreciendo una gran flexibilidad en el diseño y en la personalización, lo que es particularmente útil para la producción de prototipos y piezas de repuesto, aunque todavía enfrenta desafíos en términos de crecimiento de negocio y costo.

También, el uso de materiales reciclados y residuos industriales se están implementando en la fabricación de compuestos y es otra tendencia en crecimiento. Dirisu et al. (2024) discuten

cómo la incorporación de materiales como el polvo de cáscara de periwinkle y el polvo de cemento contribuyen a la sostenibilidad ambiental y puede mejorar las propiedades mecánicas de los compuestos, lo que funciona como una estrategia clave para reducir el impacto ambiental de la industria automotriz.

En otro orden de ideas, es importante mencionar a la interacción entre la matriz y el refuerzo como un aspecto relevante en la fabricación de compuestos. Esta interacción, conocida como adherencia entre estos dos componentes, permite asegurar que las cargas se transfieran de manera efectiva y se maximice el rendimiento del material (Lattanzi et al., 2024). Por estos motivos esta interacción se lleva a cabo a través de tratamientos de superficie y la selección minuciosa de agentes de acoplamiento adecuados, que pueden mejorar la compatibilidad entre la matriz polimérica y los refuerzos naturales.

Para que todos estos procesos de fabricación sean efectivos deben existir ensayos de calidad, aplicando métodos de prueba como la resistencia a la tracción, la flexión y el desgaste, son importantes para garantizar que los materiales cumplan con los estándares de rendimiento requeridos (Singh et al., 2021). Es así como las pruebas de calidad deben ser parte integral del proceso de fabricación para asegurar que los compuestos sean seguros y efectivos en su aplicación final.

A modo de reflexión final, los procesos de fabricación de materiales compuestos son diversos y deben seleccionarse cuidadosamente para mejorar el rendimiento y la calidad de los productos finales a largo plazo. La información expuesta hasta el momento señala que los estudios y la innovación en estos procesos son necesarios para avanzar en la adopción de materiales compuestos en esta industria, contribuyendo a un futuro más ecológico. Además, la combinación de técnicas de fabricación tradicionales y emergentes, junto con el uso de materiales reciclados, ofrece una guía innovadora hacia el desarrollo de soluciones de calidad en la fabricación de vehículos.

5. Aplicaciones de los materiales compuestos en la industria automotriz

5.1. Ventajas de los materiales compuestos en carrocerías

La industria automotriz ha experimentado una transformación en la última década, impulsada por la necesidad de reducir el peso de los vehículos y mejorar su eficiencia. En este contexto, los materiales compuestos han formado parte de una solución innovadora y efectiva para la fabricación de carrocerías, al combinar dos o más elementos para obtener un producto de mayor calidad que ofrezca múltiples ventajas para aplicaciones automotrices (Khan et al., 2024). Es así que, el uso de compuestos no solo contribuye a la reducción de peso, sino que también mejora la resistencia a la corrosión y la durabilidad, elementos determinantes en la construcción de automóviles modernos.

Otra de las ventajas de los materiales compuestos ya mencionadas anteriormente, es su relación resistencia-peso, donde elementos como la fibra de carbono y de vidrio, son significativamente más ligeros que el acero, y esto permite a las empresas de automóviles diseñar vehículos más livianos sin comprometer la seguridad estructural (Wu et al., 2024). En este sentido, la reducción del peso en un vehículo puede llevar a una disminución del consumo de combustible

y con ello a una reducción del CO₂, así cumplir con las regulaciones ambientales. Esta característica se traduce en eficiencia energética, que los consumidores valoran cada vez más.

Además de la reducción de peso, los materiales compuestos tienen la ventaja de ofrecer buena resistencia a la corrosión, propiedad que la diferencia de los metales (se oxidan y se debilitan con el tiempo). Carvalho et al. (2024) destacan que esta resistencia a la corrosión no solo reduce los costos de mantenimiento a largo plazo, sino que también mejora la seguridad del vehículo al garantizar que las estructuras críticas permanezcan intactas durante más tiempo, lo cual no solo es una decisión técnica, sino también económica.

A su vez, la versatilidad en el diseño de los materiales compuestos se presenta como una ventaja gracias a su capacidad para ser moldeados en formas complejas, permitiéndole a los diseñadores automotrices crear carrocerías más aerodinámicas y estéticamente agradables (Khan et al., 2024). Esta flexibilidad en los diseños no solo mejora la apariencia del vehículo, sino que también puede contribuir a una mejor eficiencia aerodinámica, lo que a su vez reduce el consumo de combustible, además de integrar múltiples funciones en un solo componente como el aislamiento acústico y térmico.

En esta misma línea de información, es relevante mencionar que los materiales compuestos también presentan propiedades de absorción de energía, ideales en aplicaciones de seguridad. Al respecto, Kaspara et al. (2020), mencionan que los compuestos pueden diseñarse para deformarse de manera controlada durante un impacto, absorbiendo la energía y reduciendo la transferencia de fuerzas a los ocupantes del vehículo, mejorando la seguridad en caso de accidentes y transformando a los compuestos en una opción atractiva para parachoques y estructuras de soporte.

El equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social, es otro aspecto importante que impulsa la adopción de materiales compuestos en la industria automotriz, ya que a medida que los fabricantes buscan reducir la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que se liberan a la atmósfera, los compuestos basados en fibras naturales y biopolímeros están ganando popularidad en este aspecto (Carvalho et al., 2024; Wu et al., 2024). Estos materiales no solo son biodegradables, sino que también pueden ser producidos a partir de recursos renovables, lo que contribuye a un ciclo de vida más sostenible para los vehículos. Esta tendencia hacia la sostenibilidad es cada vez más importante para los consumidores, quienes buscan productos que no solo sean eficientes, sino también respetuosos con el medio ambiente.

Sin embargo, a pesar de sus numerosas ventajas que se han mencionado, la implementación de materiales compuestos en la carrocería de los vehículos no está libre de obstáculos, entre los que destaca el costo de producción, a pesar de que los precios han disminuido en los últimos años, pero la fabricación de compuestos sigue siendo más costosa en comparación con los métodos tradicionales de fabricación de acero (Wu et al., 2024) y los fabricantes necesitan optimizar sus procesos de producción para hacer que los compuestos sean más accesibles.

Otro reto a tener en cuenta es la complejidad de la unión de diferentes materiales compuestos como aquellos fabricados con materiales metálicos, para lo cual es necesario desarrollar tecnologías de unión que sean efectivas y económicas para asegurar que los compuestos se integren de manera efectiva (Kaspara et al., 2020). Por estos motivos, la investigación en este campo continua en proceso para superar estos desafíos y maximizar las ventajas que ofrecen los materiales compuestos.

En conclusión, los materiales compuestos presentan múltiples ventajas para la fabricación en la industria automotriz, como la reducción de peso, la resistencia a la corrosión, la flexibilidad de diseño y las propiedades de absorción de energía. Estos beneficios no solo mejoran el rendimiento y la seguridad de los vehículos, sino que también contribuyen a la sostenibilidad en el mercado; pero es necesario continuar invirtiendo en investigación y desarrollo para abordar los desafíos de costo y unión de los materiales. A medida que la tecnología avanza, es probable que los materiales compuestos desempeñen un papel cada vez más importante en el futuro de la fabricación automotriz.

5.1.1 Ejemplos de aplicación en vehículos comerciales

La industria automotriz ha experimentado una transformación importante en los últimos años, impulsada por una necesidad de desarrollar vehículos más ligeros, eficientes y amables como el medio ambiente, por lo que los materiales compuestos como aquellos reforzados con fibra, se han producido para ofrecer soluciones innovadoras que permitan a los fabricantes reducir el peso de los vehículos, sin provocar desventajas en cuanto a la seguridad ni el rendimiento.

En este sentido, el estudio de Lakshmanan et al. (2025) señala que los compuestos de aluminio y otros materiales avanzados están siendo utilizados en diferentes aplicaciones dentro de la industria para la producción de vehículos comerciales, debido a su relación favorable de resistencia-peso y su capacidad para mejorar la eficiencia del combustible. Al respecto, apoyados en diferentes estudios o artículos se pueden elaborar una serie de aspectos donde se ejemplifican de forma global las aplicaciones de los materiales compuestos:

1. Componentes Estructurales

La aplicación de materiales compuestos en componentes estructurales es considerada uno de los ejemplos comunes en los vehículos comerciales (Velickovic et al., 2019), ya que los paneles de carrocería, techos y estructuras de soporte son áreas donde los materiales compuestos han demostrado una alta calidad y efectividad. En este sentido, se enfatiza que el uso de compuestos de fibra de carbono en la fabricación de paneles de carrocería no solo reduce el peso total del vehículo, sino que también mejora la resistencia a la corrosión y la durabilidad, aspectos importantes para que los vehículos comerciales funcionen bajo diferentes condiciones climáticas y en entornos adversos.

2. Sistemas de Suspensión y Chasis

En este aspecto, el estudio de Lin y Mei (2020) señala que los sistemas de suspensión y chasis también se benefician en gran medida de los materiales compuestos, ya que pueden reducir considerablemente el peso del vehículo, resultando en una mejor maniobrabilidad y eficiencia de combustible. Es así que, aquellos vehículos comerciales que requieren de un alto rendimiento en términos de carga y estabilidad necesitan de materiales compuestos para absorber las vibraciones y mejorar la comodidad del viaje, ofreciendo garantías de un viaje confortable para los usuarios u objetos frágiles.

3. Componentes internos

Los materiales compuestos no solo se utilizan en la estructura externa como la suspensión o el chasis de los vehículos, sino que también se encuentran en componentes interno como los paneles interiores, los asientos y los tableros de instrumentos (Elmar y Mathes, 2024), ya que estos elementos están siendo fabricados con compuestos de polímero reforzado con fibra (PRFV), los cuales son más ligeros que los metales tradicionales y permiten una mayor flexibilidad en el diseño y en la personalización de

los mismos, aspectos considerados importantes para satisfacer las demandas del mercado actual de vehículos comerciales.

4. Turbinas eólicas y energías renovables

Además de utilizar los materiales compuestos en la conformación y en el rendimiento vehículos, estos materiales están desempeñando un papel importante en el medio ambiente para la industria automotriz, donde los compuestos de FRP se utilizan en la fabricación de palas de turbinas eólicas reciclables (Witten y Mathes, 2024), contribuyendo a la inclusión de las denominadas tecnologías limpias. Esta asociación entre la industria automotriz y las energías renovables resalta la capacidad de los materiales compuestos para mantener el ambiente libre de sustancias tóxicas que dañan tanto a los seres humanos como a las plantas y animales.

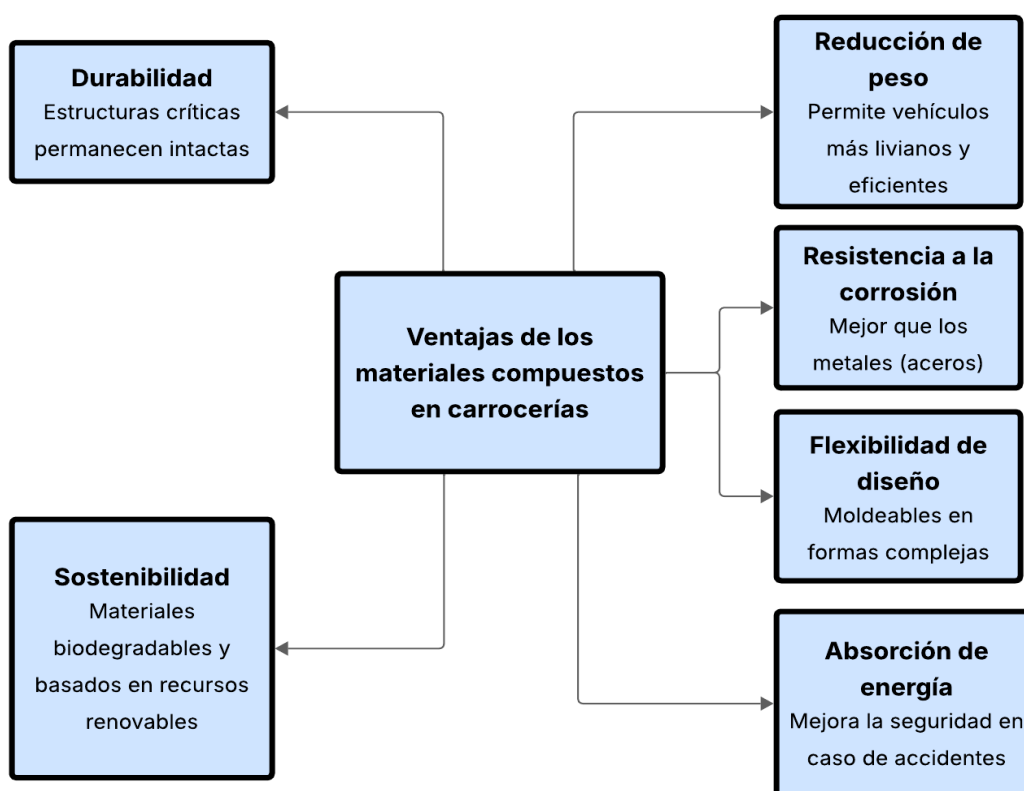


Figura 3: Ventajas de los materiales compuestos (elaboración propia)

En conclusión, de este epígrafe, los materiales compuestos están transformando la industria automotriz, con especial atención en la fabricación de vehículos comerciales, donde los componentes estructurales abarcan los elementos internos por su capacidad para reducir el peso, mejorar la resistencia y fomentar la contribución con el medio ambiente. En este sentido, a medida que la demanda de vehículos más eficientes y ecológicos se mantiene en creciendo, hay mayor probabilidad de que la aplicación de materiales compuestos se expanda e impulse la innovación en industria automotriz.

5.1.2 Desafíos y limitaciones

A pesar de las numerosas ventajas que ofrecen los materiales compuestos en la industria automotriz, su implementación también presenta desafíos y limitaciones. El artículo de Rea et al. (2022) señala que los materiales compuestos presentan complejidad en su producción, debido a los costos elevados y a una falta de estandarización de los procesos, obstáculos que enfrentan los fabricantes de vehículos comerciales. Por estos motivos, es importante contar con un personal calificado y mantenerse en una constante investigación para abordar estos desafíos y maximizar el potencial de los compuestos en la industria automotriz.

En este sentido, en función de diferentes estudios consultados, se agrupan los principales desafíos en los siguientes grupos:

1. Costos de Producción

El costo de producción es considerado como uno de los principales desafíos en la aplicación de materiales compuestos, ya que la fabricación de componentes de compuestos como es el caso de la fibra de carbono implica procesos complejos y contar con maquinaria y personal especializado que elevan los costos tanto de producción como en el precio final del vehículo (Lakshmanan et al., 2025). También hay que considerar que, aunque los costos han disminuido en los últimos años, la inversión económica inicial en tecnología y maquinaria especializada sigue siendo un obstáculo para muchos fabricantes o empresas, especialmente para aquellos que producen vehículos comerciales de bajo costo.

2. Procesos de Fabricación

Los procesos de fabricación de materiales compuestos también son un desafío, ya que se requiere de técnicas avanzadas como es la moldura por compresión y la inyección de resina, que pueden ser difíciles de implementar a gran escala (Velickovic et al., 2019). Esto puede llevar a tiempos de producción más largos y a una menor flexibilidad en el diseño, por lo que es necesario de capacitación especializada para el personal que maneje esta tecnología, lo que se suma a las barreras ya mencionadas para la producción de estos materiales.

3. Reciclabilidad y sostenibilidad

Es bien sabido que los materiales compuestos ofrecen ventajas en cuanto a peso y a rendimiento, pero la capacidad de estos reutilizarse sigue siendo un tema de debate. Según el estudio de Witten y Mathes (2024), gran parte de los compuestos no son fácilmente reciclables, lo que ocasiona que existan preocupaciones sobre el impacto ambiental a largo plazo. Esto se debe a que la industria automotriz avanza hacia prácticas más sostenibles, pero mantiene una falta de opciones de reciclaje para materiales compuestos, limitando su aceptación y su uso en la fabricación de vehículos.

4. Estandarización y normativas

La falta de estandarización en la producción y el uso de materiales compuestos es otro desafío considerado importante por estudios como el de Rea et al. (2022), quienes enfatizan que, sin normativas claras y estándares de calidad, los fabricantes pueden enfrentar dificultades para garantizar la consistencia y la seguridad de los materiales fabricados con compuestos. Esto es importante en la industria automotriz, donde se tiene como prioridad la seguridad en los vehículos, y sin las regulaciones que ya existen se generan incertidumbres en la adopción de estos materiales.

5. Propiedades Mecánicas y Rendimiento

A pesar de sus ventajas, los materiales compuestos pueden presentar limitaciones en términos de propiedades mecánicas, a pesar de su alta resistencia a la tracción, ya que su comportamiento bajo cargas de compresión puede ser menos predecible (Lakshmanan et al., 2025). Esto puede afectar la durabilidad y el rendimiento de los componentes en condiciones de uso real y esto crea la necesidad de realizar pruebas exhaustivas para garantizar que los compuestos cumplan con los estándares de rendimiento, lo que es un aspecto que no se puede descuidar.

A modo resumen, se presenta el siguiente esquema:

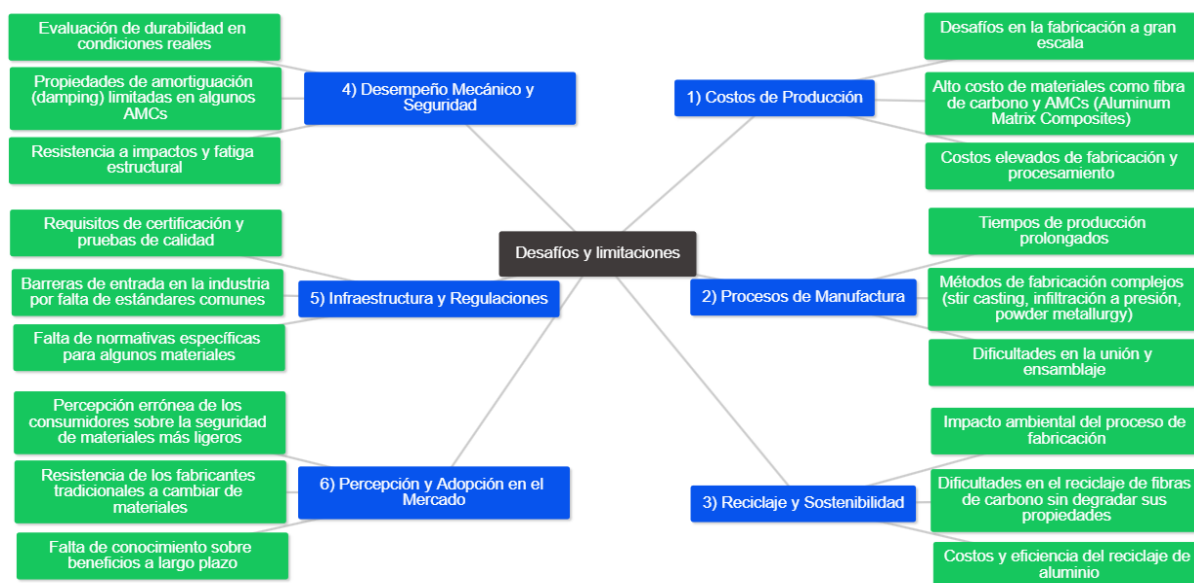


Figura 4: Esquema de los desafíos y limitaciones (elaboración propia).

A modo de conclusión o resumen de la información expuesta en este epígrafe, se hace mención a que los materiales compuestos ofrecen numerosas ventajas para la industria automotriz, pero también enfrentan desafíos importantes que deben ser abordados, como son los altos costos de producción, la falta de reciclabilidad y la falta de estandarización. Estos obstáculos pueden limitar la aplicación y el uso de compuestos en vehículos comerciales, por lo que es necesario que la industria continúe evolucionando y que los fabricantes y los investigadores colaboren para superar estos desafíos y maximizar la capacidad de los materiales compuestos.

5.2. Chasis y estructuras

5.2.1. Tipos de materiales compuestos para chasis

La industria automotriz ha mantenido un enfoque creciente en la utilización de materiales compuestos para la fabricación de componentes estructurales, especialmente en los chasis de vehículos, ya que como se ha mencionado, estos ofrecen ventajas como una mejor relación

resistencia-peso, flexibilidad en el diseño y resistencia a la corrosión, lo que los convierte en una opción atractiva para los fabricantes de automóviles. Por estos motivos, para el análisis de este aspecto, se hace un enfoque en los diferentes tipos de materiales compuestos utilizados en la construcción de chasis mencionado por una serie de autores o artículos de investigación, así como sus propiedades y aplicaciones específicas.

1. Materiales Compuestos de Fibra de Carbono

Los compuestos de fibra de carbono (CFRP) son uno de los tipos de materiales compuestos más utilizados y destacados en la industria automotriz por autores como Feraboli et al. (2007), quienes señalan que los CFRP ofrecen una combinación excepcional de alta resistencia y bajo peso, lo que los hace ideales para aplicaciones en vehículos como los superdeportivos, además de su capacidad para absorber energía en caso de colisiones, junto con su resistencia a la deformación, transformándolos en una elección preferida para componentes críticos como el chasis y los paneles de la carrocería. También, los autores mencionan que los CFRP permiten la fabricación de piezas con formas complejas, lo que optimiza la aerodinámica y la estética del vehículo.

2. Materiales Compuestos de Fibra de Vidrio

En cuanto a los compuestos de fibra de vidrio, estos son otra opción común en la construcción de chasis y son menos costosos que los CFRP, ofreciendo una buena resistencia mecánica, aunque su relación resistencia-peso no es tan favorable (Gheorghe et al., 2021). Es de destacar que los compuestos de fibra de vidrio se utilizan a menudo en componentes que requieren una buena resistencia a la corrosión y una buena durabilidad, esto se puede observar en la fabricación de puertas y paneles laterales. Es así que, la versatilidad de los compuestos de fibra de vidrio también permite su uso en una variedad de aplicaciones que va desde los componentes estructurales hasta elementos estéticos.

3. Compuestos de Plástico Reforzado con Fibra

Los plásticos reforzados con fibra (FRP) son materiales compuestos que combinan resinas plásticas con fibras de refuerzo, como la fibra de vidrio o la fibra de carbono, los cuales son altamente personalizables y pueden ser diseñados para cumplir con requisitos específicos de resistencia y peso (Yifeng et al., 2019). En este sentido, los autores mencionan que los FRP son particularmente útiles en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia a impactos y una reducción del peso, como es el caso de los chasis de vehículos ligeros, donde la capacidad de los FRP para ser moldeados en formas complejas también los hace ideales para componentes de diseño innovador.

4. Materiales Compuestos Sandwich

Los compuestos sandwich son una categoría de materiales compuestos que consisten en dos capas externas de material (generalmente de alta resistencia) que encierran un núcleo ligero, que proporciona una alta rigidez y baja densidad resultando en un excelente rendimiento en aplicaciones estructurales (Gheorghe et al., 2021). Los compuestos sandwich son ideales para aplicaciones en chasis donde se requiere una alta resistencia estructural sin un aumento significativo del peso y son comúnmente utilizados en la construcción de paneles de carrocería y estructuras de soporte.

5. Compuestos de Materiales Naturales

La industria automotriz también está explorando el uso de compuestos que incorporan materiales naturales, como fibras de cáñamo o lino, en combinación con resinas sintéticas por ofrecer una alternativa más sostenible y ecológica en comparación con los materiales tradicionales. En este sentido, investigaciones como las de Gheorghe et al. (2021) sugiere que los compuestos de materiales naturales pueden tener propiedades mecánicas competitivas similares con los compuestos sintéticos, reduciendo el impacto ambiental y contribuyendo con mejorar la estética de los componentes del vehículo.

Sin embargo, la implementación de los materiales compuestos para el chasis de los vehículos presenta desafíos en los procesos de fabricación, como en el moldeo por compresión y la curación en autoclave, los cuales pueden ser costosos y requerir habilidades especializadas (figura 3), según se menciona en el artículo de Feraboli et al. (2007). Además, la dificultad para reciclar algunos compuestos, especialmente los CFRP, plantea preocupaciones ambientales. Por lo tanto, es fundamental que la industria continúe investigando métodos de producción más sostenibles y eficientes para maximizar los beneficios de los materiales compuestos.

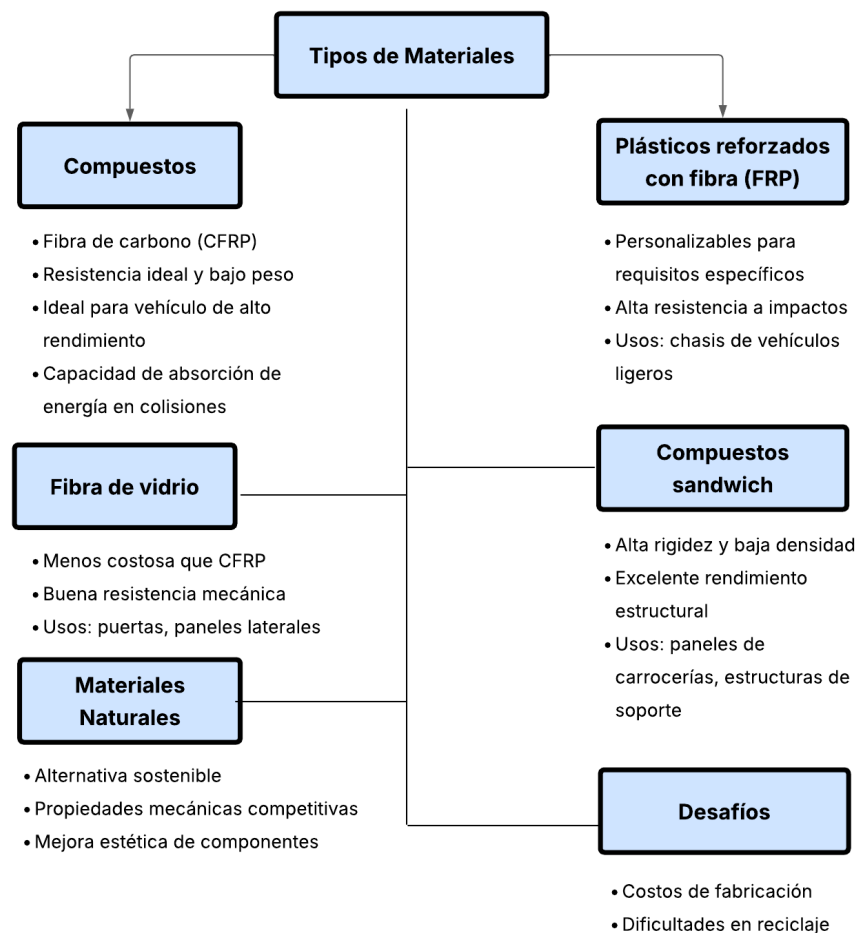


Figura 5: Características de los materiales compuestos para el chasis de los automóviles (elaboración propia).

Como análisis final de este aspecto en la investigación, se debe mencionar que los materiales compuestos están revolucionando la industria automotriz, ofreciendo soluciones innovadoras para la construcción de chasis, donde cada tipo de material tiene sus propias ventajas y limitaciones, y a medida que la tecnología avanza, es probable que exista una mayor adopción de estos materiales en la producción de vehículos, impulsada por la necesidad de reducir el peso, mejorar la eficiencia y cumplir con regulaciones ambientales cada vez más estrictas.

5.2.2. Diseño y análisis de estructuras de materiales compuestos

En la industria automotriz, el diseño y análisis de estructuras de materiales compuestos han cobrado una relevancia en aplicaciones de alto rendimiento como los vehículos de competición, con una especial atención en los paneles sándwich de fibra de carbono que ha permitido a los ingenieros optimizar la rigidez de las estructuras, lo que se traduce en un mejor rendimiento y eficiencia. Por estos motivos, el análisis de este epígrafe se centra en las metodologías de diseño, los principios de análisis y las consideraciones prácticas en la implementación de estructuras compuestas en el contexto de la ingeniería automotriz, de la siguiente manera:

1. Principios de diseño de estructuras compuestas

El diseño de estructuras compuestas comienza con una comprensión profunda de los materiales y sus propiedades, donde la selección de los elementos es esencial ya que las propiedades mecánicas, como la resistencia y el módulo de elasticidad, varían significativamente entre diferentes tipos de compuestos (Nevache, 2023). La teoría de laminado clásico (CLT) se utiliza comúnmente para predecir el comportamiento mecánico de laminados compuestos, proporcionando una base para el diseño estructural, permitiendo a los ingenieros calcular la rigidez y la resistencia de las estructuras compuestas, así como optimizar la disposición de las capas de material para cumplir con los requisitos específicos de carga y deformación.

2. Estructuras monocasco y su optimización

La implementación de estructuras monocasco en vehículos de competición, como los de la categoría Formula Student, ha demostrado ser efectiva en la mejora de la rigidez torsional y la reducción de peso, donde el uso de un diseño de panel sándwich con un núcleo de espuma, honeycomb de aluminio o aramida que permite una mayor libertad en la forma del chasis, lo que a su vez optimiza el rendimiento aerodinámico (Mononen, 2023). La optimización del diseño se logra mediante un análisis de elementos finitos (FEA), que permite simular el comportamiento estructural bajo diferentes condiciones de carga, lo que no solo ayuda a maximizar la eficiencia del material, sino que también minimiza el riesgo de fallos estructurales durante la competición.

3. Análisis experimental y validación

El análisis experimental es un componente considerable en el diseño de estructuras compuestas, de acuerdo con lo señalado por Wikström (2023), quien hace énfasis en la importancia de realizar pruebas que validen la equivalencia estructural de los materiales compuestos en comparación con las estructuras de acero tradicionales a través de ensayos de flexión y tracción para conocer la resistencia y la rigidez de los laminados compuestos. Por estos motivos, la validación de los modelos numéricos mediante datos experimentales es fundamental para garantizar que los diseños cumplan con las normativas de seguridad y rendimiento exigidas en competiciones como la Formula Student.

4. Consideraciones en el Proceso de Fabricación

La fabricación de estructuras compuestas presenta desafíos únicos que deben ser considerados en primera instancia en la fase de diseño (Nevache, 2023) donde la calidad de producción tiene un impacto significativo en el rendimiento mecánico final de las piezas. Por lo tanto, es importante registrar el proceso de fabricación, desde la preparación de los moldes hasta la aplicación de las resinas, utilizando técnicas como adhesivo de rellano para la fijación de insertos, el cual es un ejemplo de cómo se pueden optimizar los métodos de producción para asegurar una transferencia de carga adecuada entre los componentes.

5. Integración de Tecnología Avanzada

La integración de tecnología avanzada en el diseño y análisis de estructuras compuestas está generando importantes adelantos en la industria automotriz, donde la utilización de software de modelado y de simulación permite a los ingenieros realizar análisis complejos y optimizar diseños en fases tempranas del desarrollo (Mononen, 2023). Además, el uso de herramientas CAD y FEA para crear modelos 3D precisos, facilitan el análisis de la distribución de tensiones y la identificación de puntos críticos en la estructura. En consecuencia, la capacidad de modelado avanzado no solo mejora la precisión del diseño, sino que también acelera el proceso de desarrollo, permitiendo a los equipos de competición adaptarse rápidamente a los cambios en las regulaciones o en el rendimiento esperado.

A pesar de los beneficios evidentes ya mencionados, el diseño de estructuras compuestas presenta desafíos como la variabilidad en la calidad de los materiales y la complejidad de los procesos de fabricación, lo que puede afectar la integridad estructural de las piezas, de acuerdo a lo expresado en la investigación de Wikström (2023), quien además señala que la necesidad de pruebas rigurosas y la validación de los modelos son necesarias para abordar estos problemas. Por otra parte, la sostenibilidad se está convirtiendo en un aspecto crítico en el diseño de estructuras compuestas (figura 4), donde la investigación en materiales reciclables y los procesos de fabricación más sostenibles está ganando espacio en la industria, transformando la forma en que se diseñan y producen las estructuras compuestas en el futuro.

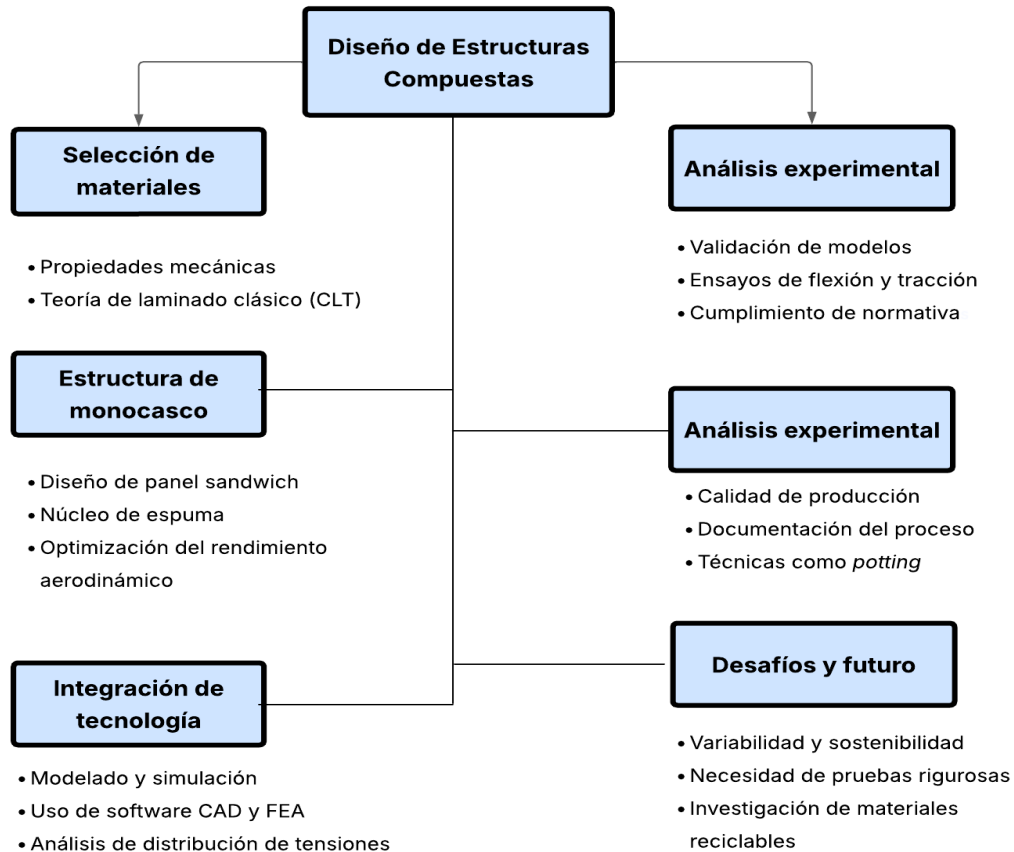


Figura 6: Consideraciones en el diseño y en el análisis de estructuras de materiales compuestos. (elaboración propia)

Como análisis concluyente de la información expuesta, se debe mencionar que el diseño y análisis de estructuras de materiales compuestos en la industria automotriz son fundamentales para el desarrollo de vehículos de alto rendimiento, pero se requiere de la aplicación de principios de diseño sólidos, análisis experimental riguroso y de la integración de la tecnología avanzada para que los ingenieros pueden crear estructuras que no solo cumplen con los requisitos de rendimiento, sino que también ofrecen ventajas significativas en términos de peso, rigidez, soporte de cargas, diseño, soporte de fricción y resistencia a los elementos climáticos.

5.2.3. Casos de estudio

La aplicación de materiales compuestos en la industria automotriz ha generado importantes cambios con relación al diseño y a la fabricación de chasis, ofreciendo ventajas en términos de peso, rigidez y eficiencia. A través de una serie de estudios de caso, se ha demostrado cómo estos materiales pueden ser utilizados para optimizar las estructuras de los vehículos, mejorando su rendimiento y seguridad, por lo que este análisis se enfoca en diferentes estudios que abordan aspectos de la utilización de materiales compuestos en el diseño de chasis automotrices.

El estudio de Ary et al. (2020) hace una referencia general a la evaluación del chasis de un vehículo urbano, donde se realiza un análisis de elementos finitos (FEA) y se resalta la importancia de comprender cómo las variaciones en el grosor del material y el tipo de material utilizado influyen en el comportamiento del chasis bajo cargas específicas. A través de

simulaciones realizadas con Autodesk Fusión 360, los autores encontraron que la reducción del grosor del material conlleva a una disminución en la resistencia del chasis. Este hallazgo es adecuado para el diseño de vehículos eficientes en energía, como los que participan en competiciones como la Shell Eco-Marathon. Por estos motivos, la investigación sugiere que la optimización del grosor del material puede mejorar la eficiencia estructural, permitiendo a los diseñadores equilibrar el peso y la resistencia.

En otro estudio, Wang et al. (2024) investigaron el rendimiento de paneles sándwich de bambú laminado con diferentes núcleos de celosía, centrándose en cómo las variaciones en la estructura del núcleo afectan la capacidad de carga y la rigidez de los paneles. En sus evaluaciones, aplicaron pruebas de flexión de cuatro puntos, analizando los modos de fallo y la variación de la deflexión en el medio del panel, donde los resultados mostraron que los paneles con núcleo de celosía triangular presentaron la mejor capacidad de carga, lo que sugiere que este diseño podría ser beneficioso para aplicaciones en chasis de vehículos. Este estudio no solo resalta la versatilidad del bambú como material compuesto, sino que también abre la puerta a la utilización de recursos renovables en la industria automotriz.

Por su parte, Chacón et al. (2024) llevaron a cabo un estudio sobre la mejora de procesos térmicos en servidores utilizando simulaciones térmicas y el método de Taguchi. Este enfoque se centra en la optimización del flujo de aire y la gestión térmica tiene implicaciones significativas para el diseño de vehículos, aunque no hay una implicación directa en chasis automotrices. La optimización de la circulación del aire puede ser un factor importante en el diseño de chasis compuestos, especialmente en vehículos de alto rendimiento donde la gestión del calor es esencial y esto se refleja en los hallazgos de este estudio, los cuales pueden ser reproducidos para mejorar la eficiencia térmica de los chasis, asegurando que los componentes no se vean comprometidos por el sobrecalentamiento durante su funcionamiento.

De manera similar, el estudio de Esfandiari et al. (2023) analiza el comportamiento de estructuras de refuerzo de pandeo que utilizan aditivos de fibra en el concreto, donde los principios de mejora de la resistencia estructural son relevantes para el diseño de chasis automotrices. En ese sentido, la investigación muestra cómo la adición de fibras de acero y polipropileno mejora la ductilidad y la resistencia a cargas cíclicas, lo que podría extrapolarse a la optimización de la rigidez y la resistencia de los chasis compuestos. Finalmente, este enfoque multidisciplinario destaca la importancia de considerar diferentes materiales y técnicas en el diseño de estructuras automotrices, lo que puede resultar en innovaciones significativas en la industria.

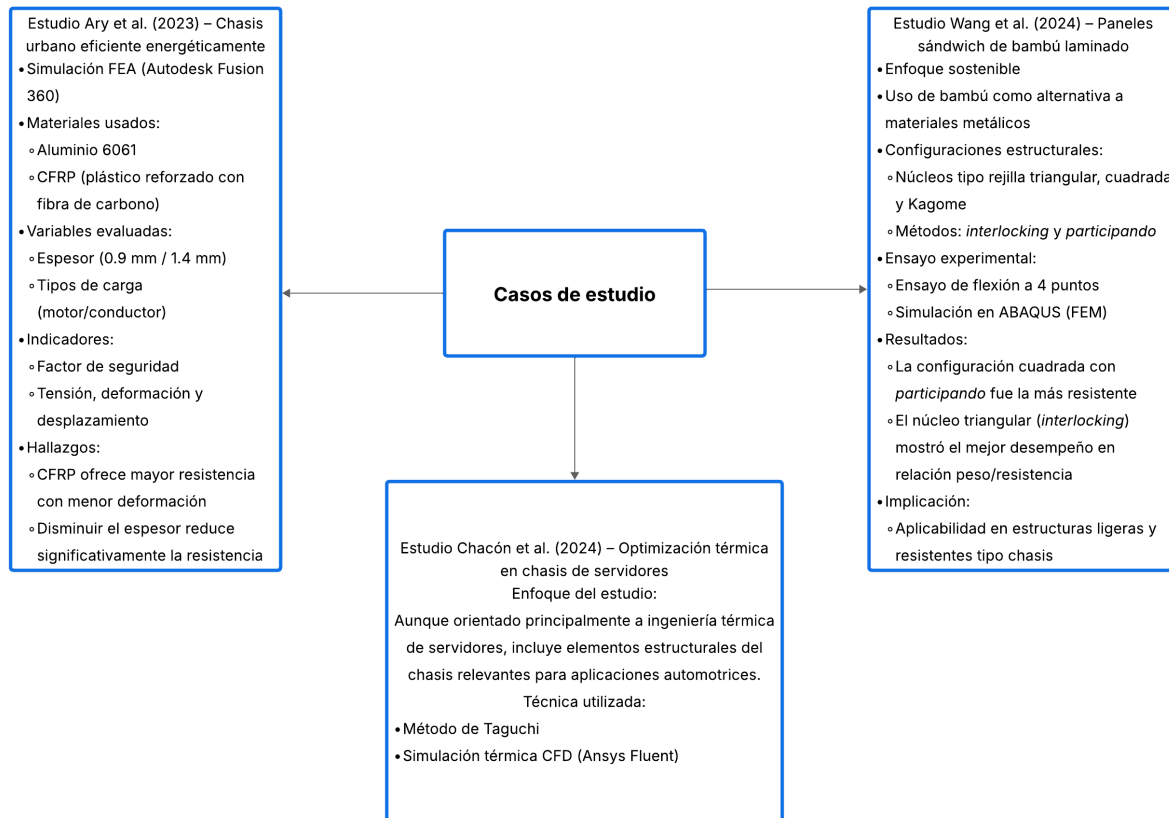


Figura 7: Resumen de los estudios de caso (elaboración propia).

En resumen, los resultados de estos estudios destacan la importancia de un enfoque basado en la investigación para el diseño de chasis automotrices, donde la combinación de análisis numérico y experimental permite a los ingenieros optimizar las propiedades de los materiales compuestos, asegurando que cumplan con las exigencias de rendimiento y seguridad. Además, la incorporación de nuevos materiales y técnicas de fabricación puede ofrecer soluciones innovadoras que no solo mejoran la eficiencia del vehículo, sino que también contribuyen a la sostenibilidad de la industria automotriz.

5.3. Componentes del motor

5.3.1. Materiales compuestos en sistemas de admisión y escape

La industria automotriz, dentro de la transformación que ha experimentado en las últimas décadas, ha presentado como solución a los materiales compuestos para la fabricación de componentes críticos como son los sistemas de admisión y escape, impulsado por la necesidad de mejorar la eficiencia y minimizar el impacto ambiental de los vehículos. Estos sistemas son importantes para el rendimiento del motor, ya que afectan la eficiencia del combustible, las emisiones de los gases y la durabilidad del vehículo. Por estos motivos, el análisis de este apartado se examina y se exponen los avances en el uso de materiales compuestos en estos sistemas en función de la literatura reciente.

Al respecto, el sistema de escape es relevante para la regulación de las emisiones de los motores de combustión interna, donde la selección de materiales para los componentes de este sistema como puede ser el colector de escape y el silenciador es necesario por las condiciones extremas a las que están expuestos (Aniekan et al., 2017). En ese sentido, los materiales deben resistir altas temperaturas y la corrosión causada por los gases de escape, por lo que los compuestos basados en polímeros y cerámicas han mostrado un gran potencial para superar estas limitaciones. Además, la investigación de Aniekan et al. (2017) indica que los compuestos cerámicos ofrecen una resistencia térmica importante y pueden soportar las condiciones agresivas del sistema de escape, lo que prolonga la vida útil de los componentes.

En cuanto a los compuestos del sistema de admisión, estos desempeñan una función importante en la optimización del rendimiento del motor, controlando la cantidad de aire que entra en la cámara de combustión (Delogu et al., 2015), por lo que la aplicación de materiales plásticos en los colectores de admisión, pueden ofrecer ventajas considerables en cuanto al peso y los costos, ya que pueden ser más ligeros que sus contrapartes metálicas, además de permitir un diseño más versátil y complejo, lo que puede mejorar el flujo de aire y, en consecuencia, el rendimiento del motor.

Los materiales compuestos también ofrecen propiedades de aislamiento térmico que son beneficiosas para el sistema de admisión, donde un mejor aislamiento térmico hace referencia a que el aire que entra en el motor se mantiene a una temperatura óptima, lo que mejora la eficiencia de la combustión. Esto es importante en motores de alto rendimiento, para que la temperatura del aire de admisión puede afectar directamente la potencia y la eficiencia del motor (Delogu et al., 2015; Aniekan et al., 2017).

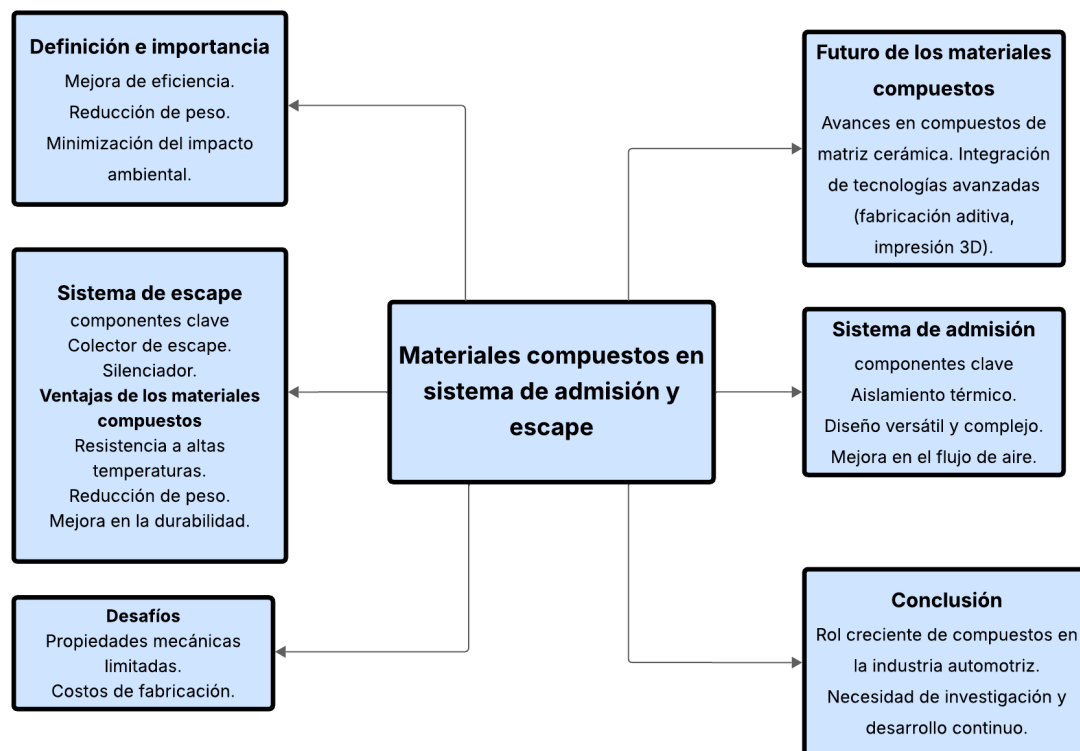


Figura 8: Esquema resumen de los materiales compuestos en los motores (elaboración propia).

A pesar de las ventajas que ofrecen los materiales compuestos en los sistemas de admisión y escape, existen desafíos que no deben ignorarse y abordarse de manera eficiente. El estudio de Parveez et al. (2022) menciona que, aunque los compuestos ofrecen beneficios en términos de peso y resistencia a la corrosión, todavía existen limitaciones relacionadas con las propiedades mecánicas y la durabilidad a largo plazo. Es por estos motivos que debe continuar la investigación especializada en esta área para desarrollar compuestos que no solo sean ligeros y resistentes a la corrosión (como se muestra en la figura 6), sino que también mantengan su integridad estructural bajo condiciones de operación extremas.

Además, la fabricación de componentes compuestos puede ser más costosa que la de componentes metálicos tradicionales, lo que puede limitar su adopción en la industria automotriz. Sin embargo, a medida que la tecnología avanza y los procesos de fabricación mejoran, puede ocurrir una reducción de los costos y fomentar una mayor implementación de estos materiales en el futuro (Delogu et al., 2015; Parveez et al., 2022).

Estudios como el de Glass et al. (2024) señala que el futuro de los materiales compuestos como el caso de matriz cerámica está avanzando, lo que va a permitir nuevas posibilidades para su uso en sistemas de admisión y escape, donde este tipo de materiales no solo podrían ofrecer una resistencia térmica, sino que también podrían contribuir a la sostenibilidad al reducir el peso y las emisiones del vehículo. Además, los autores mencionan que la integración de tecnologías avanzadas, como es el caso de la fabricación aditiva y la impresión 3D, se presenta como una revolución en la forma de diseñar y fabricar los componentes para estos sistemas, donde los

ingenieros pueden crear geometrías complejas que optimicen el flujo de aire y mejoren el rendimiento del motor.

A modo de conclusión de la información expuesta, se debe mencionar que los materiales compuestos están desempeñando un rol protagónico en la industria automotriz, donde ha aumentado la demanda de vehículos más eficientes y sostenibles, donde la investigación en los sistemas de admisión y escape va adquiriendo mayor interés. Todo ello, permite combinar propiedades como la ligereza, la resistencia a la corrosión y el aislamiento térmico para influir en la forma en que se diseñan y fabrican los componentes del motor, mejorando así el rendimiento general del vehículo y contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

5.3.2. Aplicaciones en bloques de motor y culatas

En este epígrafe, se expone como los materiales compuestos han surgido como una alternativa viable para la fabricación de componentes críticos como los bloques de motor y las culatas, los cuales son esenciales para el funcionamiento del motor debido a su capacidad para soportar las cargas mecánicas y térmicas generadas durante la combustión. Por estos motivos, en los siguientes párrafos se analizan y resaltan las aplicaciones de materiales compuestos en bloques de motor y culatas, basándose en investigaciones o estudios recientes.

Los bloques de motor son componentes que contienen los cilindros y proporcionan la estructura necesaria para el funcionamiento del motor, donde estos materiales pueden ser diseñados para soportar las altas presiones y temperaturas generadas durante el funcionamiento del automóvil (Cheng et al., 2022). Entre estos materiales, se encuentra la fibra de carbono y este es capaz de igualar o incluso superar las propiedades mecánicas de los bloques de aluminio y acero tradicionales. Según Patel et al. (2018), una de las principales ventajas es la reducción de peso, lo que se traduce en una mejora en la eficiencia del combustible. Dado que los vehículos modernos buscan cumplir con normativas de emisiones de gases cada vez más estrictas, el uso de materiales más ligeros se ha vuelto importante, no solo mejorando la eficiencia del combustible, sino que también permite un diseño más flexible y optimizado de los componentes del motor.

De igual forma, se debe mencionar que los materiales compuestos poseen la capacidad de ser moldeados en formas complejas para el diseño de bloques de motor más eficientes. Estudios como el de Verma et al (2023), señala que la inclusión de aletas en el diseño de estos bloques puede mejorar la disipación del calor y contribuye en la prevención del sobrecalentamiento, además de garantizar un rendimiento óptimo del motor. Además, los compuestos presentan una resistencia a la corrosión superior en comparación con los metales, donde culatas fabricadas con materiales compuestos pueden resistir mejor las condiciones adversas a las que están expuestas, como la humedad y los gases corrosivos generados durante la combustión (Bandpatte et al., 2017). Esta resistencia prolonga la vida útil de los componentes y reduce los costos de mantenimiento, lo que representa un beneficio significativo para los fabricantes y los consumidores.

Por su parte, las culatas desempeñan un papel considerable en el funcionamiento del motor, sellando los cilindros, permitiendo la entrada de aire y de combustible y favoreciendo la salida de los gases de escape. Al respecto, Shankar et al. (2022) hacen referencia que la incorporación de materiales compuestos en la fabricación de culatas puede mejorar significativamente su rendimiento cuando el motor está en funcionamiento, ya que son más ligeras y permiten un mejor control térmico, lo que se traduce en una mayor eficiencia de combustión.

Estos estudios también sugieren que los compuestos pueden ser diseñados para optimizar el flujo de aire y de combustible en la cámara de combustión, lo que es particularmente relevante en motores de alto rendimiento donde una función adecuada resulta en un aumento de la potencia y los compuestos pueden resistir la deformación bajo altas temperaturas y presiones, contribuyendo a la durabilidad de las culatas (Verma et al., 2023; Shankar et al., 2022),

A pesar de las ventajas que ofrecen los materiales compuestos en las culatas ya mencionados, su implementación en bloques de motor presenta desafíos en el costo de producción, ya que materiales como aquellos que utilizan fibras de carbono, pueden ser significativamente más caros que los metales tradicionales y esto puede limitar su adopción en la industria automotriz, donde la industria considera el elemento costo como un factor determinante en el proceso de fabricación (Shankar et al., 2022; Cheng et al., 2022). Sumado a ello, la fabricación de componentes compuestos requiere técnicas especializadas que pueden no estar disponibles en todas las instalaciones de producción (figura 7) y es requerido una serie de procesos de fabricación más eficientes y rentables para facilitar la adopción de materiales compuestos en la producción de bloques de motor y culatas.

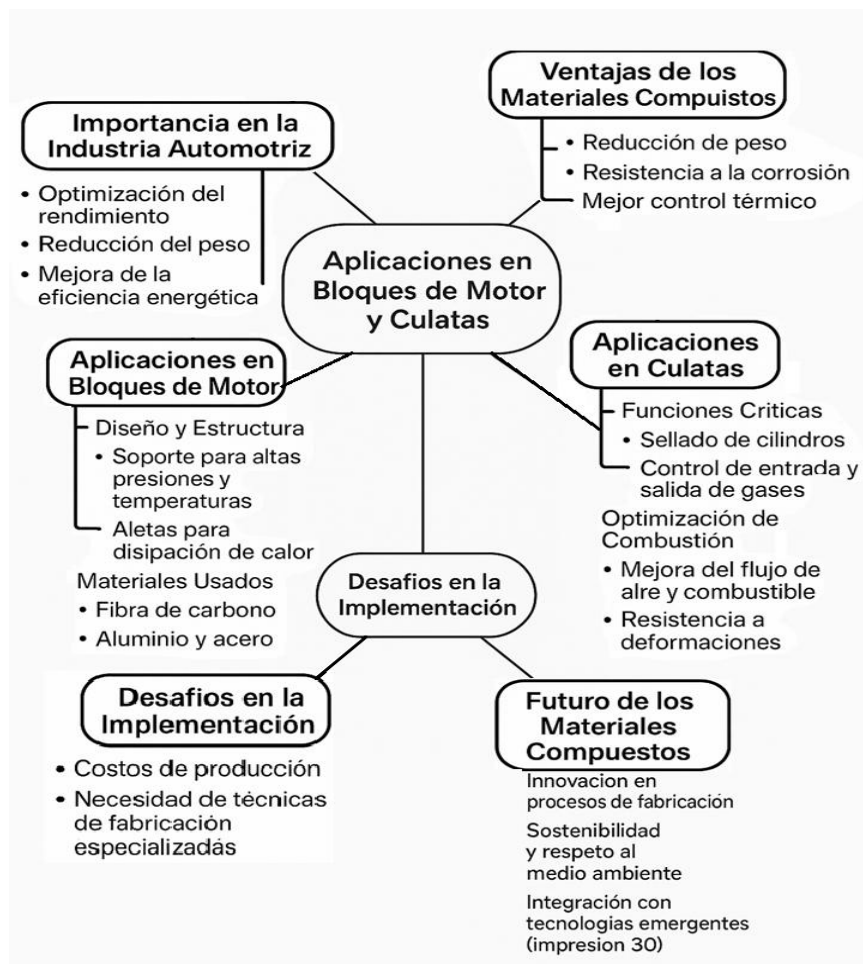


Figura 9: Esquema a modo resumen de las aplicaciones de los materiales compuestos en bloques de motor y culatas (elaboración propia)

Sin embargo, para Patel et al. (2018) el futuro de los materiales compuestos en bloques de motor y culatas es alentador, ya que la investigación en esta área señala que los procesos de fabricación podrían reducir los costos y mejorar sus propiedades al combinarse con tecnologías como la impresión 3D, mejorando la relación con el medio ambiente sin descuidar la eficiencia.

Finalmente, los materiales compuestos están transformando la forma en que se diseñan y fabrican los bloques de motor y las culatas en la industria automotriz, aportando ventajas, como la reducción de peso, la resistencia a la corrosión y la capacidad de diseño, ofreciendo soluciones innovadoras que pueden mejorar significativamente el rendimiento y la eficiencia de los motores. Sin embargo, es importante abordar los desafíos asociados con su implementación para maximizar sus beneficios a través de investigación continua y el desarrollo de procesos de fabricación más eficientes, de esta manera los materiales compuestos tendrán el potencial de desempeñar un buen papel en los próximos años

5.4.Sistemas de suspensión y frenos

En este contexto, el uso de materiales compuestos presenta relevancia en los componentes críticos como pueden ser los sistemas de suspensión y en los frenos, los cuales son fundamentales para la seguridad y el manejo de los vehículos, además que, su optimización a través de materiales avanzados puede tener una influencia considerable en el rendimiento general del automóvil (Papacz et al., 2013)

Al respecto, los materiales compuestos como los polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) y los polímeros reforzados con fibra de vidrio (GFRP), ofrecen una combinación excepcional de ligereza y resistencia, de acuerdo con el estudio de Kaliyanda y Singh (2023), ya que ofrece una reducción de peso en los vehículos de alto rendimiento que influye en la aceleración, la frenada y la maniobrabilidad. Por lo que, los compuestos permiten construir estructuras más ligeras que las metálicas tradicionales, mejorando la eficiencia energética y el rendimiento dinámico del vehículo. Este aspecto, presenta influencia en un mercado donde la competencia se basa en la velocidad y la agilidad, haciendo que el uso de compuestos sea cada vez más atractivo.

De acuerdo con Papacz et al. (2013), un componente clave en los sistemas de suspensión son los brazos de control, que tradicionalmente han sido fabricados en acero, motivos por los cuales los autores analizaron la posibilidad de reemplazarlos por versiones compuestas para reducir el peso no suspendido del vehículo, mejorar la capacidad de amortiguación y la respuesta dinámica del sistema de suspensión, ya que la menor masa no suspendida permite un mejor contacto de los neumáticos con la carretera, genera mayor estabilidad y un manejo más preciso, especialmente en condiciones de alta velocidad y en curvas.

En este mismo orden de ideas, el estudio de Khafidh et al. (2023) destaca la importancia de los materiales compuestos en los frenos, adaptados y caracterizados para pastillas de freno, combinando resinas epóxicas con refuerzos como el arroz, el óxido de aluminio y el hierro. Estos compuestos ofrecen propiedades mecánicas como resistencia al desgaste y estabilidad térmica, necesarios para el rendimiento de los frenos.

De igual forma, se considera importante señalar que otra de las ventajas más notables del uso de materiales compuestos en sistemas de suspensión y frenos es en la mejora de la eficiencia del combustible, la reducción del estrés y de la fatiga de las piezas (Kaliyanda y Singh, 2023). No obstante, la implementación de materiales compuestos en frenos y sistemas de suspensión presenta desafíos comunes a otros segmentos como es el costo de producción, los cuales suelen

ser más caros que los materiales tradicionales y se transforman en un impedimento para su adopción masiva en la industria automotriz.

También, la fabricación de componentes compuestos en la producción de piezas como brazos de control y pastillas de freno requiere técnicas especializadas, como el método de lay-up manual, que puede ser laborioso y requerir habilidades específicas (Pinto, 2023), aunque los beneficios en términos de rendimiento y seguridad justifican la inversión en la capacitación y en el desarrollo de la infraestructura necesaria para la producción.

Por otro lado, la sostenibilidad o el cuidado del medio ambiente debe considerarse en la producción de sistemas de suspensión y de frenos, donde la industria automotriz se enfrenta a una presión creciente para reducir su huella de carbono y adoptar prácticas más sostenibles con el uso de residuos agrícolas como el arroz, en la fabricación de pastillas de freno que promueve la economía circular y la reducción de desechos, contribuyendo con el cuidado del ecosistema (Pinto, 2023)

En conclusión, la aplicación de materiales compuestos en los sistemas de suspensión y frenos de vehículos representa una evolución a tomar en cuenta en la industria automotriz, con beneficios demostrados en términos de reducción de peso, mejora del rendimiento y sostenibilidad, con la visión de que los compuestos se conviertan en una opción predominante en la fabricación de componentes automotrices, contribuyendo a un futuro más eficiente y respetuoso con el medio ambiente

5.4.1. Materiales compuestos en muelles y amortiguadores

La aplicación de materiales compuestos en la fabricación de muelles en la industria automotriz presenta relevancia debido a la necesidad de mejorar la eficiencia y el rendimiento de los vehículos donde los fabricados principalmente de acero inoxidable presentan limitaciones importantes en cuanto a peso y esto influye negativamente en el consumo de combustible, especialmente en vehículos eléctricos (Babu et al., 2024). Al reemplazar estos muelles de acero por compuestos híbridos, Babu et al. (2024) señalan que se reduce el peso sin comprometer la confiabilidad estructural y esto trae un uso más eficiente de la energía en los vehículos.

Otro aspecto considerado importante relevante mencionado por Babu et al. (2024) es el proceso de fabricación de estos muelles compuestos, que aplican técnicas como el moldeo por hand layup y se han podido producir muelles que cumplen con las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), garantizando productos de calidad y consistencia, además de ser eficientes y favorecer la personalización de los mismos según las preferencias del fabricante de automóviles, lo que es necesario para mantenerse en el mercado.

De igual forma, la investigación realizada por Kader et al. (2021) destaca las ventajas de los muelles compuestos y los compara con los de acero, donde los primeros son elaborados con una combinación de resina epóxica, fibra de carbono y fibra de vidrio, lo cual mejora la resistencia a la corrosión y la capacidad de almacenamiento de energía elástica, además de reducir el peso. De acuerdo con los mismos autores, estas propiedades son necesarios para garantizar un mejor rendimiento en cualquier condición exigente que se presente en la carretera, permitiendo una mayor flexibilidad en el diseño y facilitando la adaptación del producto a las necesidades específicas de cada vehículo.

El estudio anterior se complementa con el trabajo de Kattimani et al. (2019) al comparar directamente los muelles de hoja convencionales con los compuestos, en la que estos últimos ofrecen una mayor resistencia a la tensión y al impacto, así como una mejor durabilidad a largo

plazo, cuyas características son fundamentales en los sistemas de suspensión donde deben soportar cargas dinámicas y estáticas. De esta manera, no solo se pretende mejorar el rendimiento de los vehículos, sino que también traiga beneficios para el medio ambiente, al ser diseñados con materiales reciclables o biodegradables.

En relación con los artículos mencionados sobre los muelles, se puede deducir que las propiedades mecánicas y térmicas de los muelles compuestos demuestra que estos materiales ofrecen ventajas de peso, resistencia, mantienen un buen rendimiento en condiciones adversas y resisten deformaciones para mantener la integridad estructural tanto del vehículo como de los pasajeros, elementos que los fabricantes de automóviles toman en cuenta al diseñar nuevos modelos.

En cuanto a los amortiguadores, en diferentes estudios se observa que estos dispositivos son necesarios para el confort y la seguridad durante conducción, debido a su función principal de absorber y disipar la energía generada por las irregularidades del terreno. Al respecto, autores como Poornamohan y Kishore (2012), señalan que el diseño y análisis de los amortiguadores debe tomar en cuenta la capacidad de absorción de impactos, para lo cual los materiales compuestos ofrecen propiedades como resistencia y flexibilidad mejoran el rendimiento de estos elementos.

En este sentido, los amortiguadores tradicionales a menudo utilizan acero en su construcción, lo que trae consigo un peso adicional y una menor eficiencia energética, de acuerdo a lo señalado en el estudio de Mahesh Kumar et al. (2021), quienes también sostienen que la elección de materiales esencial para mejorar la respuesta del amortiguador, y con la incorporación de materiales compuestos se reduce el peso sin sacrificar la resistencia y la durabilidad. Esto se complementa con el estudio de Nurmetov et al. (2021), quienes hacen relevancia al desarrollo de “materiales compuestos tribotécnicos” que ofrecen resistencia al desgaste, la estabilidad térmica, el soporte de cargas repetitivas y resistir a la degradación por la influencia del medio ambiente, ofreciendo garantías de rendimiento a largo plazo.

Otro aspecto de los amortiguadores, considerado innovador por Poornamohan y Kishore (2012), se relaciona con la posibilidad de utilizar los materiales compuestos para diseñar estructuras que mejoren la disipación de energía, ya que pueden absorber mejor las vibraciones y contribuyen a una adecuada estabilidad del vehículo (figura 9). Esto no solo contribuye a una experiencia de conducción más cómoda, sino que también mejora la maniobrabilidad y la seguridad en situaciones difíciles en el camino.

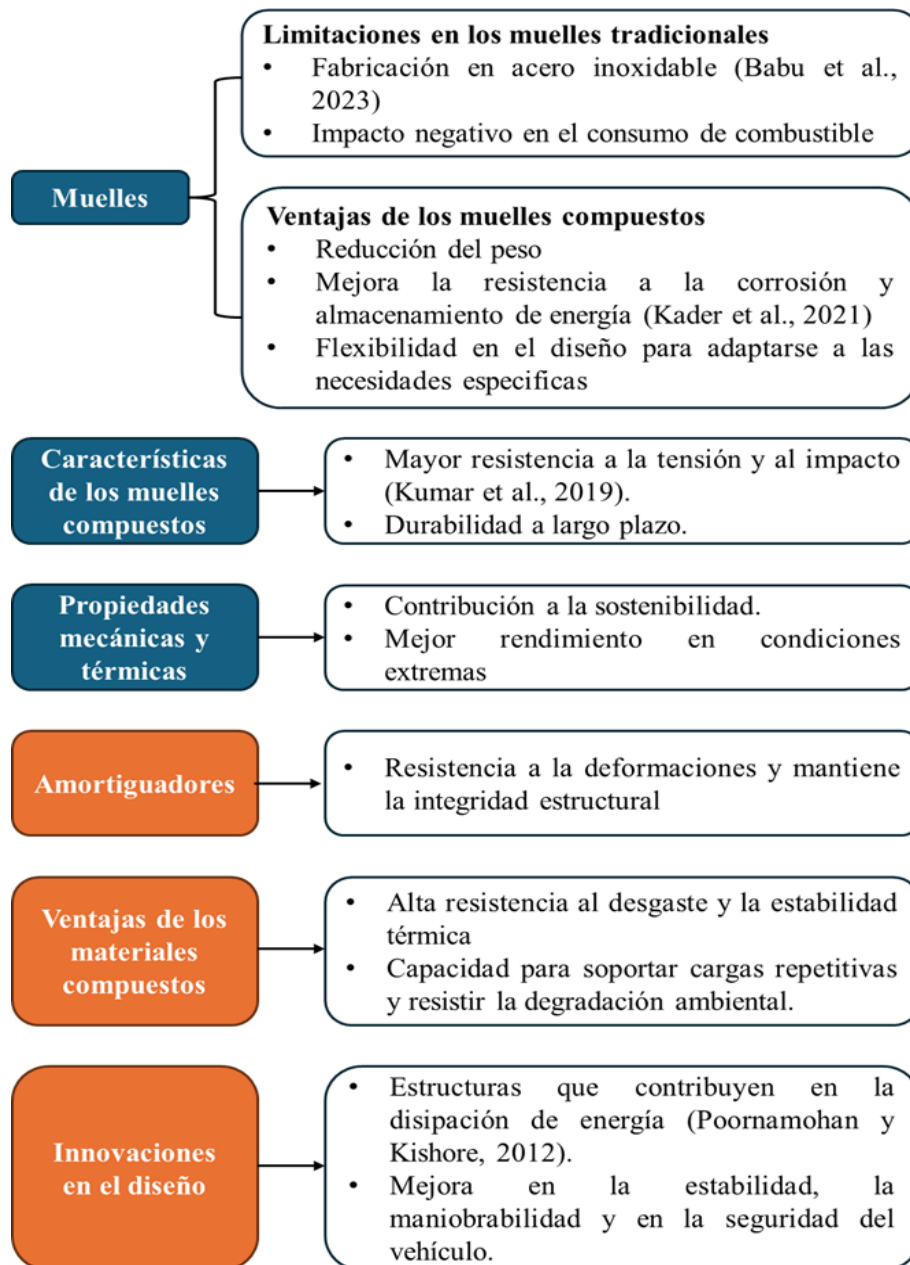


Figura 10: Diagrama de elementos claves relacionados con los materiales compuestos en muelles y amortiguadores (elaboración propia).

Finalmente, se debe hacer mención a los métodos de modelado y análisis, como el CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) o el ANSYS (software de simulación y análisis) que permiten a los ingenieros simular el comportamiento de los amortiguadores bajo diferentes condiciones de carga y material (Mahesh Kumar et al., 2021), lo cual es importante para identificar la mejor combinación de materiales compuestos que aumente la eficiencia y el rendimiento del amortiguador, como es el caso del acero de resorte DIN 1722 y otros tipos de acero, que ofrece ventajas competitivas en cuanto a peso y rendimiento.

5.4.2. Discos de freno de materiales compuestos

En este epígrafe, se hace un análisis de como la industria automotriz se ha interesado en la implementación de materiales compuestos en la fabricación de discos de freno, ya que los materiales tradicionales como el hierro fundido presentan obstáculos en cuanto a peso, corrosión, entre otros (Kumar et al., 2016). Para ello, se exponen estudios como el de Szymański et al. (2020), Kumar et al. (2016), Dattu et al. (2020), Singh et al. (2023) y Barik y Khadari (2020), que permiten una visión y una comprensión sobre el diseño, las características y la aplicación de discos de freno elaborados con materiales compuestos, haciendo referencia a las ventajas para mejorar el rendimiento y la seguridad de los vehículos, en función de los siguientes elementos:

1. Ventajas de los Materiales Compuestos

Szymański et al. (2020), señalan que los materiales compuestos como el aluminio reforzado con fibra de carbono o los composites cerámicos permiten aumentar la resistencia al desgaste, garantizando un buen soporte de las condiciones de fricción extrema y disipando el calor, lo que reduce el riesgo de pérdida de los frenos bajo condiciones de uso prolongado ("fading"). Esto se percibe de mejor manera en aplicaciones de alto rendimiento como es el caso de los vehículos de carreras, pero es igual de importante para los vehículos de uso cotidiano.

2. Comportamiento térmico y mecánico

El análisis térmico y mecánico de los discos de freno, permite entender el comportamiento de estos elementos bajo condiciones de carga, y en el estudio de Kumar et al. (2016) al utilizar el software ANSYS de rendimiento térmico de compuestos de carbono y cerámica, demostraron que los discos fabricados con estos materiales no solo tienen una mejor capacidad de enfriamiento, sino que también mantienen su rigidez y resistencia a la deformación bajo cargas térmicas elevadas, concluyendo que existe una mayor confiabilidad y seguridad durante la operación del vehículo.

3. Comparación con Materiales Tradicionales

Dattu et al. (2020) se enfocaron en la comparación entre discos de freno de hierro fundido y discos de compuestos de matriz de metal (aluminio reforzado con partículas de titanio) y sus resultados mostraron que los discos de compuestos fueron más ligeros con una mejor resistencia al desgaste, repercutiendo en la reducción del peso para una mayor eficiencia en el manejo del vehículo y en el consumo de combustible. Sin embargo, estos compuestos presentan un costo inicial alto, pero son más rentables a largo plazo, con una menor tasa de desgaste y la reducción de mantenimiento, que compensa la inversión económica.

4. Innovaciones en el diseño de discos de freno

Singh et al. (2023) realizaron un nuevo diseño de disco de freno utilizando un compuesto híbrido de matriz de aluminio (Al6061/SiC/Gr), que mejoraron las propiedades mecánicas y térmicas del disco y concluyeron que este nuevo material aumenta el rendimiento de frenado y permite reemplazar los discos de hierro fundido en aplicaciones automotrices.

5. Análisis de fallos y mantenimiento

La durabilidad de los discos de freno compuestos también fue de interés en el estudio de Barik y Khadari (2020), donde el deterioro de los discos de freno está relacionado con la selección de materiales que contribuyan a resistir las fuerzas que se presentan durante el frenado. Por estos motivos, los hallazgos de este estudio mostraron que los discos de freno compuestos con carbono, silicio, grafito y /o material orgánico pueden ser diseñados de tal manera que minimicen el desgaste y la fatiga, lo que se traduce en una vida útil más prolongada.

6. Desafíos en la implementación

La investigación de Szymański et al. (2020) señala que el costo de producción de estos materiales es un obstáculo para considerar para la adopción generalizada en la industria automotriz, pero con el avance de la tecnología surgen métodos de fabricación más eficientes como el dispositivo TRN S/N 18-324, el sistema TriboX v.2.96, entre otros, que se espera que los costos disminuyan, facilitando la incorporación de estos materiales en vehículos de producción masiva.

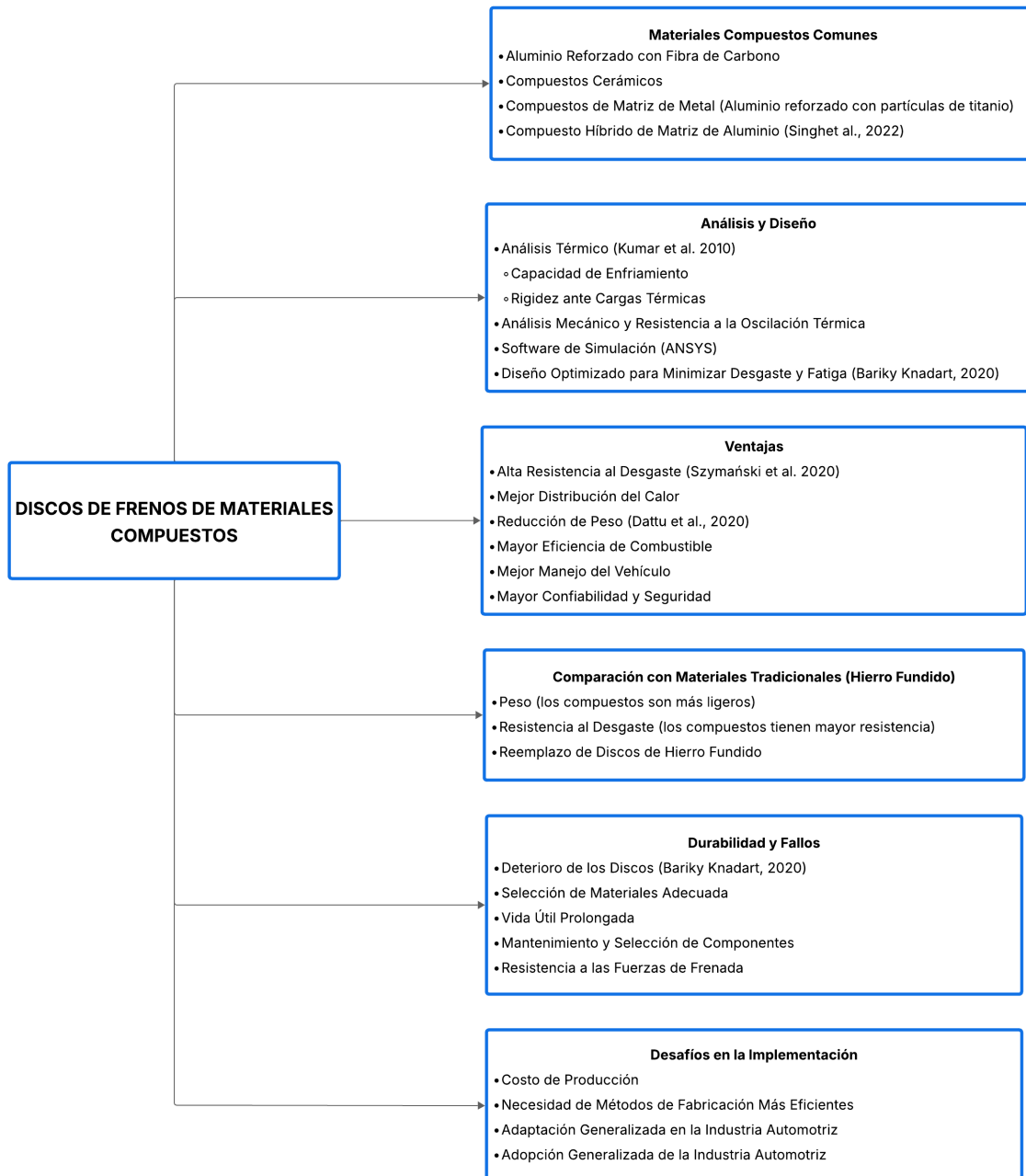


Figura 11: Elementos esenciales de los discos de freno de materiales compuestos (elaboración propia)

En función de los artículos expuestos, se puede afirmar y concluir que el futuro de los discos de freno compuestos es prometedor pero todo ello está condicionado por la continua investigación en este campo, donde los materiales compuestos ya están encaminados a marcar una evolución de los sistemas de frenos automotrices. Finalmente, la combinación de propiedades como la resistencia al desgaste, la capacidad de enfriamiento y la reducción de peso, ubica a los discos de freno compuestos como una opción ideal para las próximas generaciones de vehículos.

5.4.3. Ventajas en términos de peso y durabilidad

La información consultada hasta el momento ha demostrado que los fabricantes buscan optimizar el rendimiento de los vehículos y esto ha permitido el surgir de una transición de los componentes tradicionales de acero hasta los materiales compuestos de muelles, amortiguadores y discos de frenos que se ha vuelto cada vez más atractiva. Por estas razones, el análisis este epígrafe se centrará en los beneficios o las ventajas de los materiales compuestos en cuanto al peso y la durabilidad de los vehículos y la eficiencia operativa de los sistemas de suspensión.

En función de ello, Babu et al. (2024), señala que los muelles de hoja tradicionales de acero inoxidable presentan limitaciones en cuanto a peso, lo que impacta directamente en el consumo de combustible, con atención especial en los vehículos eléctricos que dependen de la eficiencia energética, y al ser reemplazados por compuestos híbridos, se logra una disminución en el peso total del vehículo que contribuye a un mejor manejo y aceleración, factores importantes en el rendimiento general del vehículo.

De igual forma, la investigación de Kader et al. (2021) destaca que los muelles compuestos, elaborados con resina epóxica, fibra de carbono y fibra de vidrio, no solo son más ligeros, sino que también ofrecen una mayor capacidad de distribución de energía, es decir, son capaces de absorber y liberar energía de manera más eficiente, resultando en una mejora en la suspensión del vehículo. Esto permite a los fabricantes de automóviles crear vehículos más ligeros y eficientes sin sacrificar la calidad o el rendimiento.

En cuanto a la mejora de la durabilidad y la resistencia, el estudio de Kattimani et al. (2019) menciona que los muelles compuestos no solo son más ligeros, sino que también presentan una resistencia a la tensión y al impacto, en comparación con los muelles de acero tradicionales, haciendo que sean más eficientes ante las cargas variables y las condiciones adversas en la carretera. La durabilidad y la resistencia guarda relación con la sostenibilidad, ya que estos materiales pueden ser diseñados para ser reciclables o biodegradables y se pueden abordar las presiones o exigencias para reducir la huella ambiental que afronta la industria automotriz. La durabilidad de los materiales compuestos significa que los componentes pueden tener una vida útil más larga y se reduce la necesidad de reemplazos con frecuencia.

Por otra parte, los procesos de fabricación también han mejorado gracias a técnicas avanzadas como el moldeo por hand layup, que permite producir componentes de alta calidad (Babu et al., 2024), además de permitir la personalización de los muelles según las especificaciones del fabricante de automóviles. Esto es importante en un mercado que exige innovación constante y soluciones a medida que van surgiendo diferentes modelos de vehículos, donde también se espera que los costos de producción disminuyan para se facilite la adopción de estos materiales en la industria automotriz.

Estos procesos de fabricación han permitido mejorar el comportamiento de los componentes de los vehículos en Condiciones Extremas, principalmente en condiciones extremas de temperatura y soporte de cargas o pesos, donde los estudios revisados señalan un mantenimiento de la integridad estructural y la resistencia a la deformación bajo estrés (Kumar et al., 2016), aplicando técnicas como el ANSYS para evaluar el rendimiento térmico de discos de freno compuestos que demuestran que estos materiales no solo tienen una mejor capacidad de disminuir el calor intenso y ser más resistentes, en comparación con los tradicionales. A modo de conclusión, esta capacidad de los compuestos para soportar condiciones adversas es necesaria para la seguridad del vehículo.

Todo este conjunto de ventajas o beneficios favorece la posibilidad de generar innovaciones en el diseño de amortiguadores, donde estudios como el de Poornamohan y Kishore (2012) sugieren que los amortiguadores fabricados con materiales compuestos permiten absorber mejor las vibraciones y mejora la estabilidad del vehículo. Esto no solo contribuye a una experiencia más cómoda de una persona para conducir un vehículo, sino que también mejora la maniobrabilidad y la seguridad en situaciones de dificultad

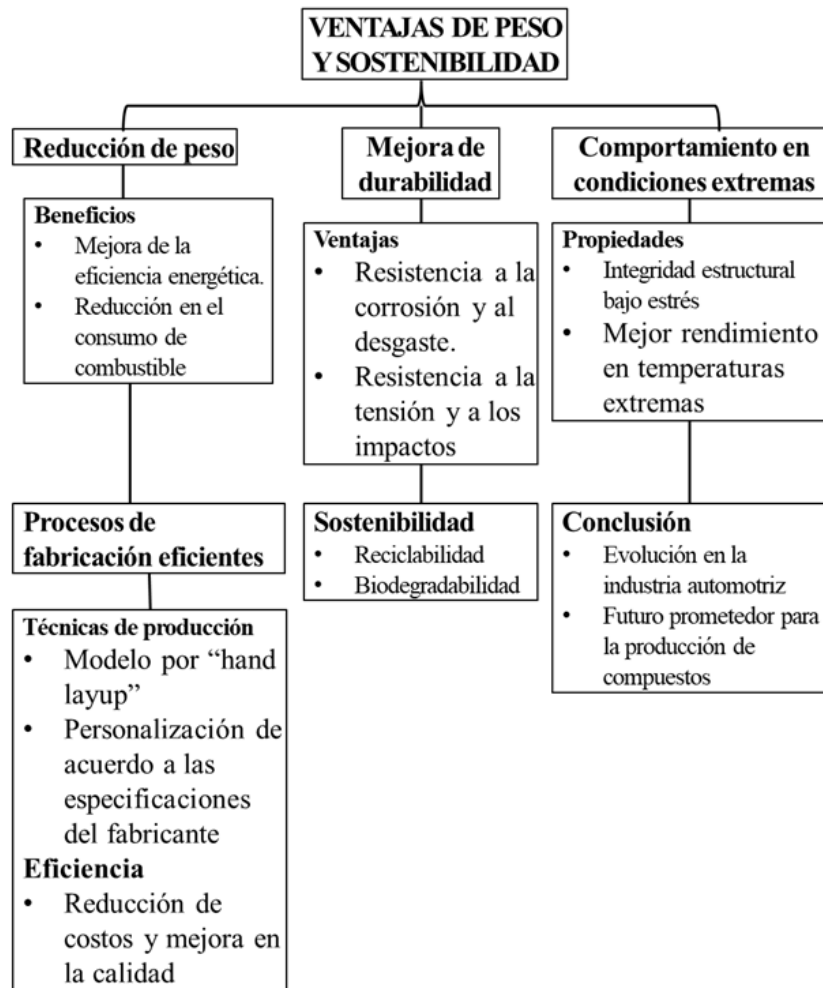


Figura 12: Visión esquemática de las ventajas en cuanto a sostenibilidad y peso (elaboración propia)

Finalmente, el análisis estructural y modal realizado en las investigaciones permite a los ingenieros simular el comportamiento de los amortiguadores bajo diferentes condiciones de carga y material (Mahesh Kumar et al., 2021), con lo cual se puede identificar la mejor combinación de materiales compuestos que maximice la eficiencia y el rendimiento del amortiguador, del muelle o de los discos de frenos.

5.5. Interiores y componentes no estructurales

5.5.1. Aplicaciones en paneles de puertas, asientos y salpicaderos

La incorporación de los materiales compuestos a los paneles de puertas, los asientos y en los salpicaderos, se ha convertido en un avance dentro de la industria automotriz debido a la necesidad de reducir el peso de los vehículos principalmente, pero también está relacionada con la búsqueda de ahorrar energía y brindar mayor seguridad en los automóviles. En este contexto, se analizan las investigaciones de diferentes autores (Ma et al., 2020; Pawsey, 2018; Shinde y Patel, 2020; Du et al., 2022) relacionadas con las propiedades mecánicas de los compuestos y su influencia tanto en el diseño como en la funcionalidad de los vehículos, estructurado de la siguiente manera:

1. Paneles de puertas

Los paneles de puertas, es considerado por Ma et al. (2020) como uno de los elementos donde es necesario implementar los materiales compuestos, ya que compuestos como el Baydur (referido a un poliuretano reforzado) permite el diseño de vigas de puertas más ligeras y resistentes, mejorando la seguridad durante una colisión debido a la capacidad que tiene en la absorción de energía, una alta resistencia a la tracción y al impacto, convirtiéndolo en un factor importante para la seguridad y la durabilidad. También, Ma et al. (2020) hacen referencia a la versatilidad del Baydur permitiendo la creación de formas complejas para mejorar el espacio y la estética del diseño automotriz, resultando en un producto final más interesante para los compradores.

2. Los asientos

En cuanto a la fabricación de asientos, los materiales compuestos ofrecen una combinación de ligereza y resistencia, sin descuidar los aspectos de ergonomía y comodidad, donde los polímeros y la fibra de vidrio han demostrado tener una influencia positiva en estos beneficios mencionados (Pawsey, 2018). Estos materiales, no solo son más ligeros que los metales tradicionales, sino que también permiten una mayor flexibilidad en el diseño, mejor comodidad por su adaptación a al biotipo de los usuarios, demostrando mejor absorción de vibraciones y del ruido

3. Los salpicaderos (tablero de instrumentos o panel de instrumentos)

Los salpicaderos, son de los elementos más visibles que se encuentran dentro de un vehículo y por este motivo necesitan estar conformados por materiales que sean funcionales y con una estética atractiva (Shinde y Patel, 2020), razones por la cuales los plásticos reforzados están siendo utilizados para fabricar estos paneles, otorgando la posibilidad de brindar diferentes acabados y texturas que pueden ser personalizados ante los gustos del consumidor. De igual forma, en el estudio de Shinde y Patel (2020) se demuestra que los plásticos reforzados tienen gran resistencia a la deformación y al desgaste, conservando la apariencia y funcionalidad a largo plazo, además de que están siendo complementados con componentes electrónicos para mejorar la funcionalidad.

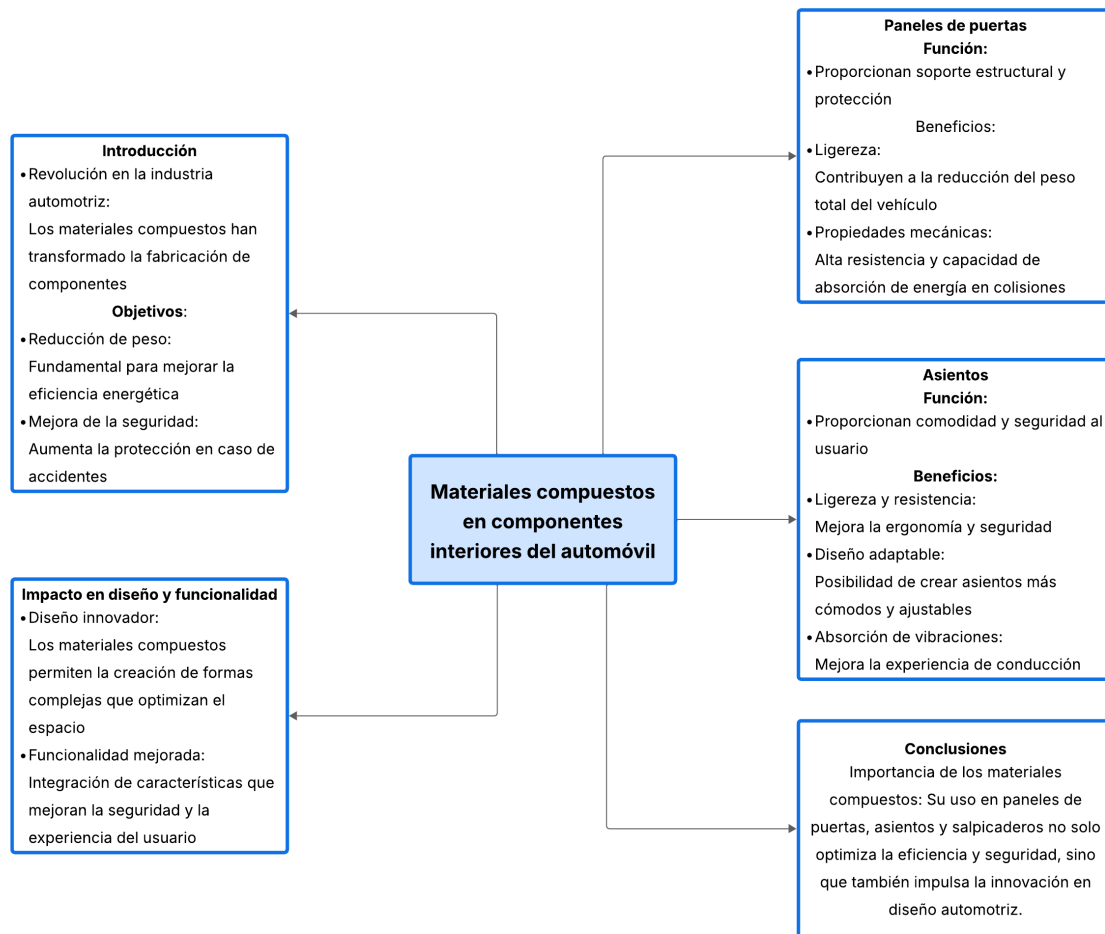


Figura 13: Diagrama de ideas principales sobre los compuestos en paneles de puertas, asientos y salpicaderos (elaboración propia)

En función de los artículos analizados y la información expuesta en este epígrafe, se considera importante mencionar que entre las ventajas o beneficios más relevantes es que los asientos, los paneles de puertas y los salpicaderos se pueden construir con materiales reciclables y biodegradables (Du et al., 2022), adecuado para cumplir con las regulaciones en el cuidado del medio ambiente cada vez más estrictos.

5.5.2. Ventajas en términos de diseño y confort

El uso de materiales compuestos ha demostrado ser adecuado para mejorar el rendimiento mecánico de paneles de puertas, asientos y salpicaderos, y de los vehículos en general, pero también ofrece ventajas importantes en cuanto al diseño y al confort. Por estos motivos, se realiza una exploración de diferentes estudios que permitan comprender cómo la implementación de materiales compuestos puede mejorar la experiencia del usuario y la estética del vehículo.

En este sentido, las ventajas en el diseño de asientos con materiales como la fibra de vidrio y las resinas permiten crear estructuras más ligeras y adaptables, aligerando el peso y manteniendo la resistencia (Pawsey, 2018), además de ofrecer la posibilidad de diseñar formas complejas y que estén ajustadas a la forma corporal del usuario para reducir las molestias

lumbares ya que permite una distribución adecuada del peso, repercutiendo en una conducción más placentera. Además, en el estudio de Du et al. (2022) expone que el uso de compuestos en los asientos permite incorporar tecnologías como la calefacción y la ventilación, sin añadir un peso relevante, con diseños personalizados para mayor satisfacción del cliente.

En cuanto a las innovaciones en los paneles de puertas, Ma et al. (2020) hace énfasis en que el Baydur permite diseñar paneles que son más ligeros y, al mismo tiempo, más resistentes a impactos, mejorando la seguridad de los ocupantes en caso de un accidente y con un consumo de combustible más amigable con el medio ambiente. Sumando a ello, Stevens et al. (2016) mencionan que estas ventajas atraen a los consumidores, generando ganancias que han superado el 50% que se obtenían con los materiales tradicionales, contribuyendo una mejor percepción en el mercado y manteniendo la competitividad.

Por su parte, Shinde y Patel (2020) debaten sobre el confort y los diseños en los salpicaderos con plástico reforzado con fibra y destacan la capacidad moldeable para soportar las vibraciones y reducir el ruido mientras se complementan con los componentes electrónicos que se conectan al vehículo como los sistemas de infotainment, permitiendo un diseño moderno (Negera, 2022), explorando nuevas formas y texturas que pueden hacer que el interior del vehículo se perciba atractivo para los pasajeros.

Haciendo mención a la sostenibilidad y al confort, donde Negera (2022) también hace mención a la creciente preocupación por el medio ambiente y esa búsqueda de alternativas más ecológicas a través del uso de fibras naturales que no solo son biodegradables, sino que también pueden reducir la huella de carbono de la producción automotriz, trayendo consigo un doble beneficio: primero la mejora del confort y la estética del vehículo; segundo, el cumplimiento con las nuevas o más estrictas normativas ambientales.



Figura 14: Ilustración de los elementos claves sobre las ventajas de diseño y confort (elaboración propia)

5.5.3. Innovaciones en materiales compuestos para interiores

La innovación de los materiales compuestos, además de las ya mencionadas, abarca también en el diseño y la confección en los interiores de los automóviles, mejorando aspectos como la resistencia, el peso y la estética, contribuyendo en la funcionalidad de los vehículos modernos (Henriksson, 2017). Además, la introducción de la fibra de carbono y los plásticos reforzados reducen la corrosión de los interiores y mejorar la durabilidad del vehículo, contribuyendo a una mayor comodidad con los conductores y pasajeros (Hovorun et al., 2017).

En esta misma línea de información, los compuestos de fibra natural están ganando popularidad en la fabricación de paneles interiores, como es el caso del cáñamo y el yute (fibras naturales vegetales), ya que reducen la utilización de los materiales sintéticos y permite competir en un mercado que exige componentes que cuiden el medio ambiente (Jabu et al., 2024).

Sin embargo, la innovación en materiales compuestos también está relacionada con la funcionalidad de los interiores de los vehículos, como es el caso de los materiales inteligentes que reaccionan a la influencia de la temperatura y de la presión como son los polímeros electroactivos que pueden cambiar de forma o de rigidez en respuesta a las señales eléctricas, mejorando la comodidad de los usuarios por la adaptación a sus cuerpos (Reddy et al., 2024). Pero todos estos beneficios, vienen acompañados de una serie de desafíos como los estándares estéticos en combinación con la ayuda al medio ambiente (figura 14), creando la necesidad de educar a los consumidores y promover la información adecuada sobre los beneficios de los nuevos materiales y como se está trabajando para mejorar las propiedades de los vehículos (Wellbrock et al., 2020).

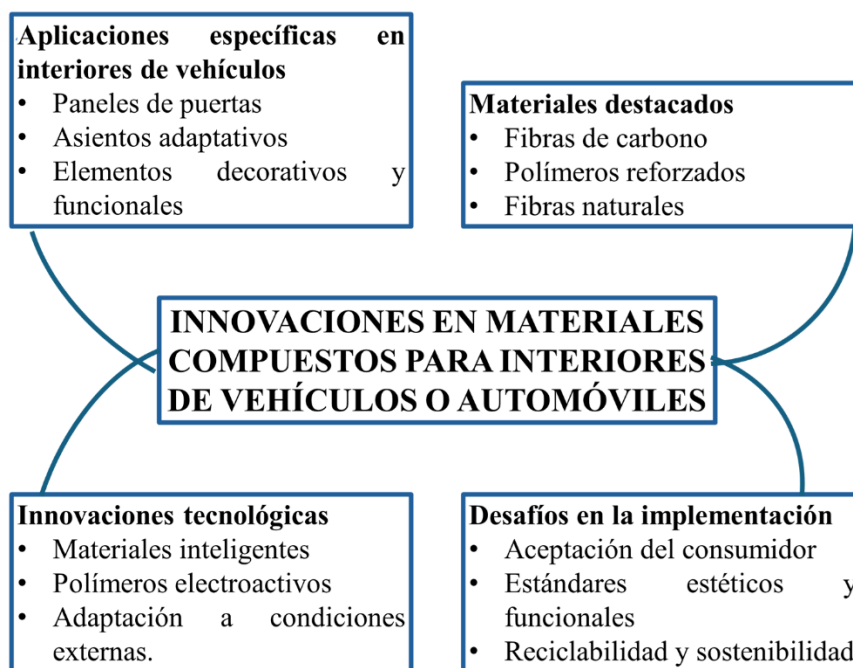


Figura 15: Estructura de las innovaciones de los materiales compuestos para interiores (elaboración propia).

Otro aspecto considerado importante para Jabu et al. (2024) es la reciclabilidad de los materiales compuestos, haciendo énfasis en que los compuestos de fibra natural por ser más fáciles de reciclar que los sintéticos, también requieren innovaciones en los procesos para ofrecer garantías de que no terminen en los vertederos, haciendo un llamado a la industria automotriz para que cuente con investigadores y expertos en reciclaje en el desarrollo de métodos eficientes que permitan reutilizar los compuestos cuando lleguen al final de su vida útil.

A modo de conclusión para este epígrafe, las innovaciones en materiales compuestos para interiores de vehículos están realizando un camino hacia una producción automotriz más amigable con el medio ambiente, combinando la ligereza y la resistencia para transformar el diseño automotriz y permitiendo a los fabricantes cumplir con las exigencias de un mercado moderno. A medida que la tecnología continúa avanzando, es probable que exista una adopción mayor de estos materiales, aunque para lograrlo, es necesario abordar los desafíos de aceptación del consumidor y reciclabilidad, asegurando que las innovaciones en materiales compuestos no solo beneficien a la industria, sino también al medio ambiente y a la sociedad en general.

6. Análisis de casos de estudio

6.1. Vehículo eléctrico con carrocería de fibra de carbono

La evolución hacia vehículos eléctricos (EVs) está transformando la industria automotriz, según lo señalado por Albatayneh (2024), quien no solo hace referencia a la sostenibilidad y eficiencia energética, sino también existe una consideración por los diseños y los procesos de fabricación de los automóviles. Al respecto, los mismos autores señalan que la fibra de carbono en la carrocería de los vehículos eléctricos ofrece ventajas en cuanto a la resistencia y a un bajo peso, lo que va a permitir lograr un 60% de las ventas globales de automóviles para el año de 2030, resaltando la necesidad de continuar innovando en los materiales de fabricación.

De igual forma, Fantuzzi et al. (2021) señala que la fibra de carbono se destaca por su relación positiva entre resistencia y el peso, lo que permite a los fabricantes de automóviles crear estructuras más ligeras pero robustas, reduciendo el peso total de los vehículos eléctricos y mejorando su consumo energético, repercutiendo en una mayor autonomía, la optimización del rendimiento y mejor atractivo para los consumidores. Además, la fibra de carbono también permite mantener la seguridad en función de una alta resistencia del material en caso de que ocurra alguna colisión del vehículo (Lipman y Maier, 2022), por sus capacidades de absorción y dispersión de la energía durante un impacto.

Sin embargo, Albatayneh (2024) hace mención a los obstáculos que presenta la fibra de carbono en la industria automotriz, donde resalta es el costo de producción, especialmente en la comparación con el acero o el aluminio, elevando los precios en los vehículos eléctricos que incorporan este material, aunque también se ha demostrado que los costos de mantenimiento de los EVs pueden reducirse en un 40% en comparación con los vehículos tradicionales o de combustión interna, pero esto requiere de una inversión inicial considerable para los consumidores. Por lo tanto, la investigación en esta temática debe continuar para que los fabricantes encuentren formas de optimizar los procesos de producción y diseñar estrategias para reducir costos.

Otro aspecto a considerar en la producción de vehículos eléctricos para Fantuzzi et al. (2021), es la sostenibilidad de la producción de fibra de carbono que implica un alto consumo de energía y esto puede generar una influencia ambiental importante, invitando a la utilización de

biocompuestos como alternativas a la fibra de carbono convencional y repercutir en una mejor percepción pública de los vehículos eléctricos como una opción ecológica.

En cuanto al tema del reciclaje, la integración de la fibra de carbono en la producción de vehículos eléctricos requiere de atención a los componentes de fibra de carbono, ya que pueden ser difíciles de reciclar y afectar a largo plazo el medio ambiente, una vez que se acabe su vida útil (Lipman y Maier, 2022). Por estos motivos, Lipman y Maier (2022) mencionan que deben existir cadenas de suministro que involucren los procesos de reciclaje para los materiales utilizados en la fabricación de vehículos eléctricos.

A pesar de estos desafíos, Albatayneh (2024) señala que la tendencia hacia el uso de fibra de carbono en los vehículos eléctricos se amntiene en una creciente demanda debido a la innovación en los materiales implementados y en los procesos de fabricación. En funcion de ello, mientras más fabricantes de automóviles adopten la fibra de carbono y otros materiales avanzados, se puede mejorar la calidad en cuanto a la eficiencia de los vehículos y obtener una mayor aceptación en el mercado.

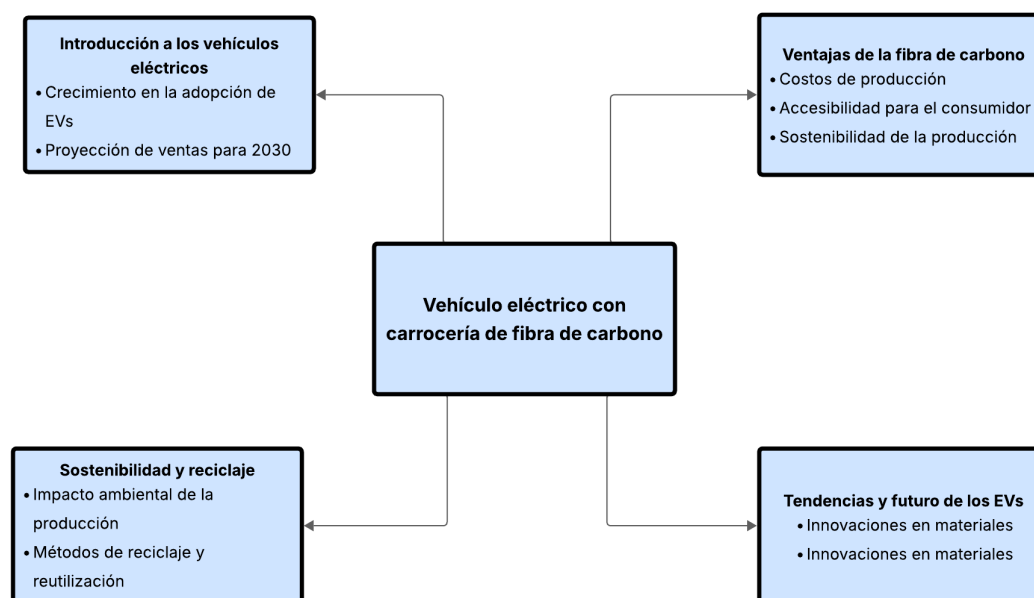


Figura 16: Información relevante sobre vehículo eléctrico con carrocería de fibra de carbono (elaboración propia).

Concluyendo con la exposición de este epigrafe, se debe mencionar que la incorporación de fibra de carbono en la carrocería de los vehículos eléctricos representa una oportunidad si se pretende mejorar el rendimiento, la seguridad y la sostenibilidad de estos automóviles, aunque en el camino se presenten desafíos en términos de costos y reciclabilidad, pero sin ocultar que el uso de materiales avanzados representan pasos importantes hacia un futuro más sostenible, y una opción cada vez más atractiva para los consumidores.

6.1.1. Descripción del vehículo y sus componentes

En este apartado, se realiza una descripción de un vehículo a través de un análisis de su estructura física y sus componentes, incluyendo los materiales utilizados en su fabricación para

una comprensión de su estructura y el impacto de esta en el rendimiento, además de su relación con el medio ambiente. Por estos motivos, a través del análisis de diferentes estudios (Stroia et al., 2020; Abraham et al., 2017; Chand et al., 2020; Chand et al., 2020; Pedrosa et al., 2014), se pretenden abordar diferentes estudios de casos en función de los materiales compuestos utilizados para la producción de vehículos.

En este sentido, Pedrosa et al. (2014) menciona que la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos es la principal transformación de la industria automotriz, ya que implica mejorar los sistemas de propulsión, los sistemas eléctricos y las principales estructuras de los vehículos con materiales mas ligeros, pero igual o mas resistentes que los metales tradicionales, cuya resistencia se ve reflejada en la utilidad del vehículo y las exigencias ambientales.

Abordando la estructura de los vehículos, el estudio de Stroia et al. (2020) señala que el chasis, la carrocería, el sistema de propulsión, la suspensión, el sistema para los frenos y los sistemas eléctricos, son los principales elementos para brindar un funcionamiento adecuado, brindando soporte, estabilidad, aerodinámica y estética a los vehículos, por lo que la industria automotriz ha adaptado y promovido el uso de polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) o fibra de vidrio (GFRP), ofreciendo mejoras en la reducción del peso principalmente, ya que antes eran elaborados con hierro o acero fundido.

Ante esta situación, Stroia et al. (2020) exponen que los CFRP y los GFRP proporcionan mayor resistencia a la torsión o a la deformación, potencia más eficiente, reducción de ruidos y vibraciones que desgastan el material, mayor adherencia del vehículo a las superficies y mejor estabilidad, influyendo positivamente en la maniobrabilidad por la incorporación de estos materiales en los sistemas de suspensión con una estructura de frenos eficiente y confiables, repercutiendo en mejor confort para los usuarios y mayor durabilidad de las estructuras.

Sin embargo, la utilización de estos compuestos de fibra de carbono o fibra de vidrio no es un tema nuevo para Abraham et al. (2017), quienes en su momento estimaron que cada 10% de reducción del peso de un vehículo tiene un promedio de reducción de CO₂ de 5% al 7% para vehículos que cuentan con combustión interna, principalmente en la elaboración de piezas como paneles de carrocería, los refuerzos estructurales y los componentes internos del vehículo, mejorando la competencia en el mercado.

La reducción de CO₂ mencionada, se ve reflejada en estos últimos años con la aparición de los vehículos modernos, los cuales se producen con complejos sistemas eléctricos y electrónicos como los asistentes de conducción y los sistemas de infoentretenimiento, que optimizan el funcionamiento del vehículo y la experiencia del conductor, evitando la sobrecarga energética o el trabajo excesivo de los compuestos para que perduren en el tiempo y sean amigables con el medio ambiente (Abraham et al., 2017).

En cuanto al sistema de propulsión, Chand et al. (2020) hace referencia a que es uno de los componentes de mayor relevancia para los vehículos por su relación directa con el rendimiento (figura 15), evaluando la evolución de los motores de combustión interna hasta llega a los motores eléctricos y los motores híbridos, donde los dos últimos requieren de mecanismos como son las carcasas de motores, los soportes de baterías, las estructuras de chasis para resguardar el sistema de suspensión e incluso las nuevas transmisiones, le otorgan a los vehículos mayor eficiencia por tener menor peso, una mejor administración energética y menos contaminante al medio ambiente.

No obstante, en la investigación de Chand et al. (2020) también se señalan una serie de desafíos que conlleva el avance tecnológico en la industria automotriz, como son los procesos

especializados, los altos de costo producción y la necesidad de contratar a un personal especializado para satisfacer las demandas del mercado, además de la dificultad de reparar los materiales como los polímeros reforzados con fibra una vez que han cumplido su ciclo de vida, ya que necesitan de procedimientos complejos que generar residuos y no suelen ser materiales accesibles en el mercado, a diferencia de los metales que se pueden fundir y reutilizarse.

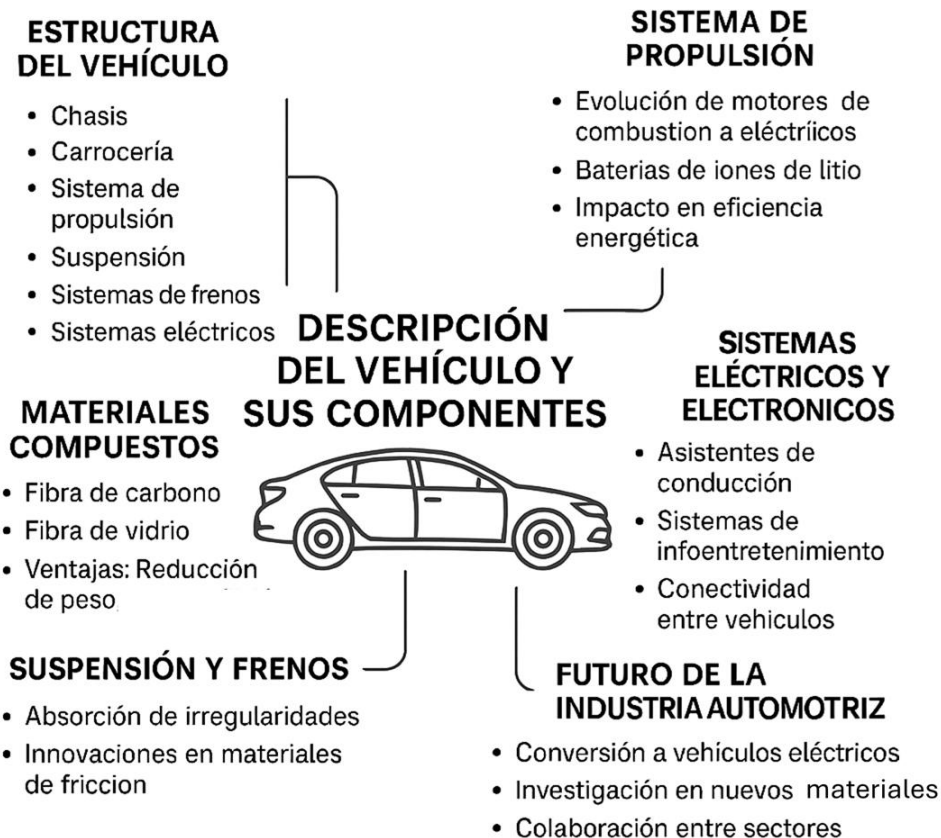


Figura 17: Visión general de la descripción del vehículo y sus componentes (elaboración propia)

Concluyendo con lo expuesto en este epígrafe, es posible mencionar que la descripción de un vehículo y sus componentes requiere de la comprensión de diferentes áreas, que van desde el esqueleto de los vehículos hasta los sistemas eléctricos que los hacen funcionar como los sistemas de propulsión, volviendo más compleja la temática. Todo esto requiere de un personal académicamente capacitado y con la experiencia necesaria para atender a las exigencias ambientales y de los compradores, además de tener el compromiso de continuar investigando para optimizar los componentes y el funcionamiento de los vehículos

6.1.2. Análisis del proceso de fabricación

En este apartado se realiza un análisis en el proceso de fabricación dentro de la industria automotriz, explorando una serie de estudios (Rahman, 2021; Bebetidoh y Takim, 2015; Thomas et al., 2022; Liu, 2024; Fabri et al., 2020) donde se señala a la fabricación como un sistema complejo y en el cual deben intervenir diferentes etapas y diversas tecnologías que abarcan la elaboración de los diseños y llegan hasta la producción del vehículo. Por estos

motivos, se pretende examinar diferentes aspectos del proceso de fabricación, de la identificación de los defectos, de la gestión de producción y la adaptación de las nuevas tecnologías para comprender de mejor manera esta complejidad.

Indagando en el estudio de Rahman (2021), se pueden identificar una serie de etapas que conforman el proceso de fabricación, iniciando con el diseño de los vehículos o de los compuestos, luego se lleva a cabo la gestión para adquirir los materiales necesarios, inmediatamente inicia la producción, el ensamblaje y finalmente la distribución del producto final. Aunque, para Rahman (2021) el diseño es la etapa mas importante de todo este proceso, ya que se realiza de manera detallada y no debe contener errores para no afectar las fases posteriores, retrasando toda la planificación y pueda generar desconfianza en los consumidores

Sin embargo, para Bebetidoh y Takim (2015) la etapa mas importante es la del ensamblaje, ya que es donde se pueden identificar los defectos o posibles elementos a mejorar, ya que todos los componentes deben integrarse y trabajar de manera coordinada tanto para darle la apariencia al vehículo como para garantizar un funcionamiento adecuado. Al respecto, Bebetidoh y Takim (2015) se dedicaron a analizar los problemas de transmisión presentados por Toyota y encontraron que la empresa llevo a cabo 6.5 millones de recalls (acción tomada por el fabricante para corregir problemas de seguridad o rendimiento) en todo ese año, por un defecto en el interruptor de las ventanillas eléctricas, el cual que podía presentar un cortocircuito y un riesgo de incendio, afectando la reputación de la marca o de la empresa y generando costos importantes. Debido a casos como este, los autores recomiendan la implementación del análisis de modos de falla y efectos (FMEA), ejecutándose en las etapas iniciales del proceso de producción.

Por su parte, Thomas et al. (2022) se enfoca en la gestión de la calidad como una etapa importante en la prevención de aparición de los defectos durante la fabricación de los vehículos, en la cual se debe utilizar la simulación basada en rendimiento como una herramienta para ejemplificar diferentes situaciones durante la producción como pueden ser los cuellos de botella o conocer aquellas áreas que se pueden mejorar. De igual forma, Thomas et al. (2022) que las nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático o la implementación de robots dentro del proceso de fabricación de automóviles, mejora el rendimiento de una empresa en cuanto al procesamiento de información y reduciendo el error humano.

En esta misma línea de información, Fabri et al. (2020) expone que la aplicación de sistemas de gestión de la cadena de suministro (SCM) es una herramienta de utilidad para que los fabricantes puedan coordinar adecuadamente los flujos de materiales y ofrecer garantías en relación a la llegada de los componentes a tiempo y sin defectos para la producción. Por estos motivos, Fabri et al. (2020) exponen un caso de estudio sobre SEAT, donde implementa la simulación de eventos discretos para crear un modelo virtual y dinámico de todo el sistema, en el cual pudieron reducir los tiempos en el ciclo de producción, detectar cuellos de botella y validar diseños de planta, mejorando toda la planificación de la producción de vehículos, reduciendo costos y aumentando la eficiencia operativa de la empresa.

En cuanto a las adaptaciones de la tecnología para la fabricación de vehículos, Liu (2024) señala a los vehículos de nueva energía (NEVs) como son los vehículos eléctricos de batería (BEV), vehículos híbridos enchufables (PHEV), vehículos eléctricos híbridos (HEV), vehículos de pila de combustible de hidrógeno (FCEV), han generado la eliminación de aquellos diseños complejos que se encuentran en los motores de combustión interna, en las transmisiones de

multivelocidad, en los sistemas de escape, en los tanques de combustible y en diferentes componentes asociados con los vehículos, generando una mejor integración.

Así mismo, Liu (2024) hace énfasis en que los vehículos de nueva energía (NEVs) han generado un impacto importante en el medio ambiente por la reducción de la huella de carbono a través del cambio de los sistemas de propulsión, donde el avance tecnológico ha provocado cambios hasta en la forma en que son fabricados, ya que vehículos como los eléctricos requieren principalmente de motores eléctricos, un inversor y un paquete de baterías (figura 16). Todo esto se alinea con el trabajo de Rahman (2021), quien hace énfasis en los nuevos diseños de componentes de vehículos menos complejos, se pueden fabricar con material de reciclaje o reutilizar diferentes materiales para abastecer a la industria sin descuidar la competitividad del mercado.

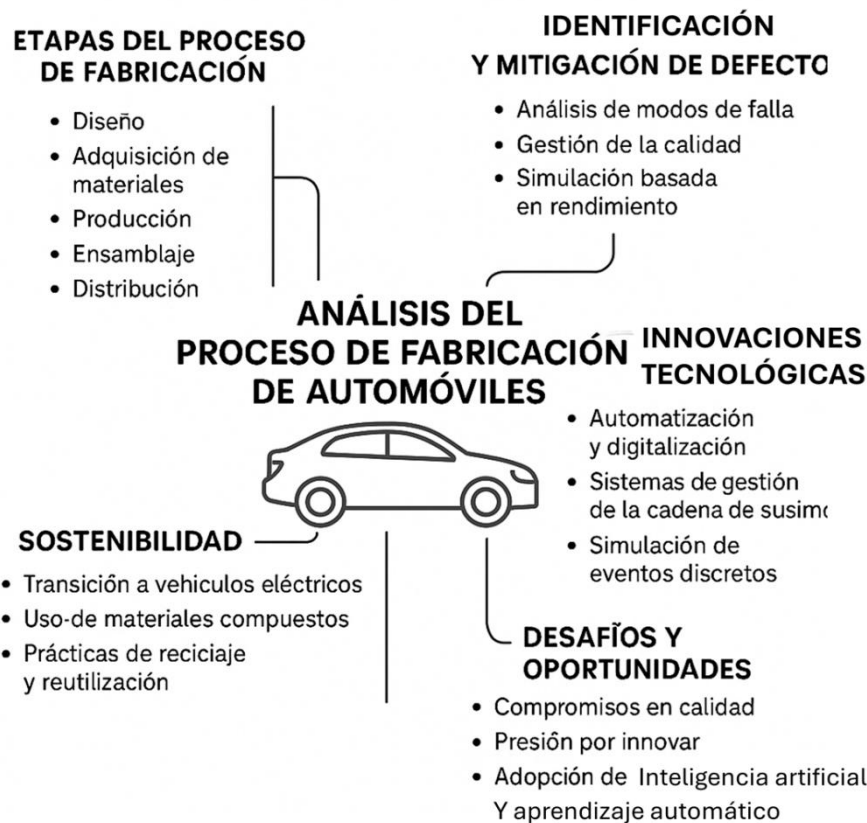


Figura 18: Panorama general del proceso de fabricación. (Elaboración propia)

Como se puede observar en el desarrollo de este apartado, el proceso de fabricación en la industria automotriz presenta una serie de retos que se deben afrontar con la debida capacitación y experiencia para garantizar la calidad del producto final, donde se considera que lo principal es identificar y eliminar a tiempo los defectos que puedan presentar los componentes de los vehículos antes de que lleguen al consumidor, apoyándose en las nuevas tecnologías y contando con el personal adecuado para su ejecución.

6.1.3. Evaluación del rendimiento y la eficiencia

La evaluación del rendimiento y la eficiencia en la industria automotriz es una de las etapas o de los momentos que requieren especial atención por ser un factor que mantiene la competitividad de una empresa en el mercado, principalmente en la industria automotriz donde el avance de la tecnología ha aumentado las demandas de vehículos modernos, eficientes y amigables con el medio ambiente. Por estas razones, en este epígrafe mediante el análisis de diversas investigaciones (Kumari, 2015; Sharma et al., 2016; Nunes et al., 2024; Khan, 2025; Lascu et al., 2021; Khan, 2025) se pretende examinar diferentes enfoques que se aplican para este tipo de evaluaciones de rendimiento y aquellos sistemas de gestión.

En esta dirección de la información, Sharma et al. (2016) proponen utilizar las técnicas de regresión para examinar el rendimiento de los motores en los automóviles, la cual es un procedimiento estadístico que permite identificar variables que detectan aspectos como la eficiencia del combustible, las emisiones de gases o de desechos, entre otras cuestiones que les permite a los fabricantes comprender la relación de todos estos elementos y mejorar los diseños y la producción de vehículos. Este estudio se complementa con el trabajo de Kumari (2015), quienes a través de la técnica de regresión analizaron la implementación de materiales reciclables para la industria automotriz en India, ya que han podido detectar y entender como las modificaciones en los componentes del vehículo (la carrocería, el chasis y los elementos internos) influyen en el rendimiento del motor, principalmente la sustitución de metales pesados para reducir el peso, y su repercusión en el consumo de combustible.

Otra metodología para la evaluación del rendimiento se refiere a los sistemas de gestión de calidad total (TQM) mencionados en la investigación de Lascu et al. (2021), los cuales evalúan la calidad de cada una de las etapas de fabricación de los automóviles haciendo un análisis integral, con el propósito de reducir los costos de los defectos y los recalls para ofrecer un producto de calidad.

Por su parte, Nunes et al. (2024) hacen una mención especial a los indicadores clave de rendimiento (KPI), los cuales tienen características como ser medible (cuantificable en números, porcentajes y tiempo en segundos), se relaciona directamente con los objetivos de la empresa, con objetivos reales, se pueden monitorear y analizar constantemente y la información que emerge de ellos sirve en la toma de decisiones, favoreciendo en los cálculos de las tasas de defectos, los tiempos de producción y la satisfacción de los consumidores.

Además, Khan (2025) expresa que la aparición de los vehículos de nueva energía (NEVs) ha provocado el desarrollo de elementos como los sistemas de propulsión avanzados o las nuevas tecnologías para gestión térmica que condicionan el rendimiento de estos nuevos vehículos y obligan a las empresas realizar protocolos de evaluación más rigurosos, donde los dueños de las empresas pueden tomar decisiones oportunas para atender este moderno mercado de automóviles amigables con el medio ambiente y adaptarse rápidamente a los cambios en la demanda. En este sentido, Khan (2025) hace mención a la eficiencia energética como un aspecto clave a evaluar dentro del rendimiento de un vehículo, donde se pueden reducir los costos y mejorar la eficiencia de estos, tomando en cuenta también a la digitalización para el procesamiento de datos y la transmisión de información en tiempo real y más rápido, sin descuidar la eficiencia durante el proceso.

Sin embargo, en el estudio de Lascu et al. (2021) se mencionan algunos obstáculos dentro de la evaluación del rendimiento como es la recopilación y análisis de datos precisos, ya que no todas las empresas cuentan con los sistemas necesarios para realizar un seguimiento adecuado del

proceso de producción o bien, de como ha quedado el producto final, complicando los procesos de detección de fallas o las áreas que requieren mayor atención. Otro desafío mencionado por Lascu et al. (2021), es la preparación del personal para utilizar las nuevas tecnologías, ya que puede haber una resistencia para la implementación de estos recursos digitales debido a un desconocimiento y experiencia en el área, y es allí donde las empresas deben promover la capacitación continua de todos los involucrados en la producción de vehículos, para que puedan realizar el procedimiento de evaluación de rendimiento de manera eficiente.

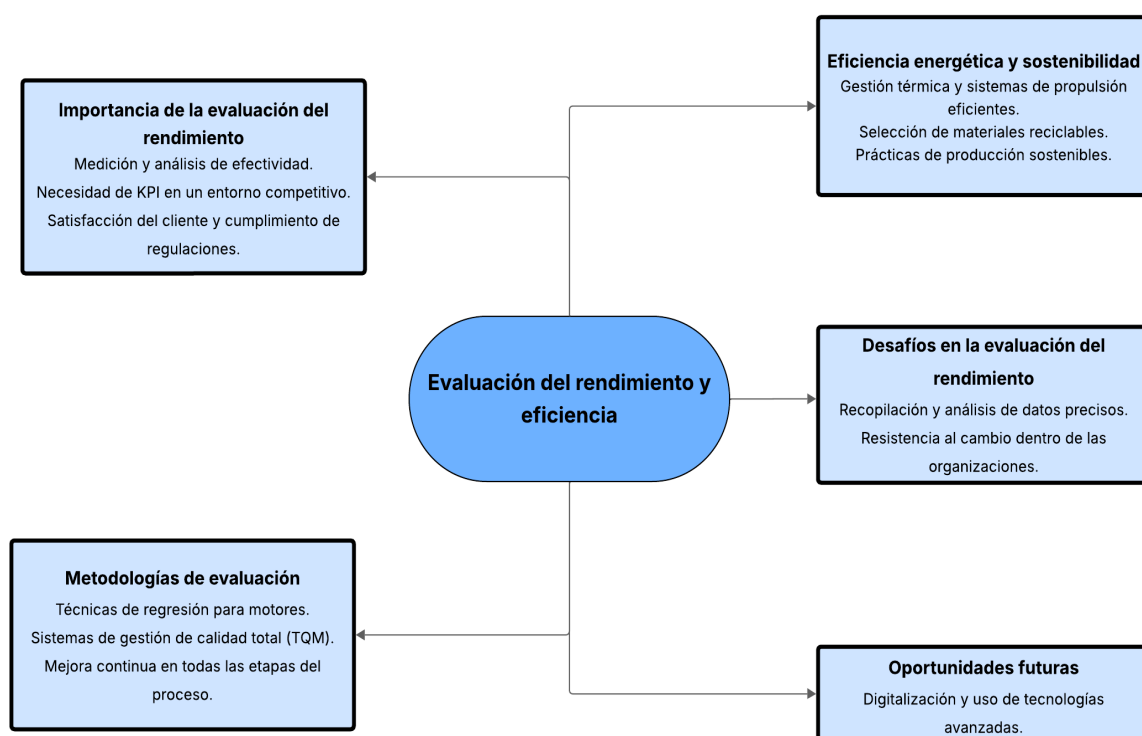


Figura 19: Panorama general de la evaluación de rendimiento (elaboración propia).

A modo de conclusión, la evaluación del rendimiento y la eficiencia debe ser un procedimiento continuo, integral y con la capacidad de adaptarse a las necesidades del mercado, a las nuevas tecnologías y los nuevos consumidores, utilizando herramientas como las técnicas de regresión, los sistemas de gestión de calidad total (TQM) y los indicadores clave de rendimiento (KPI) basados en las nuevas tecnologías que van mas orientadas a los vehículos eléctricos para un mejor cuidado del medio ambiente.

6.2.Vehículo de competición con chasis monocasco de materiales compuestos

En este apartado, a través de estudios como los de Olesen et al. (2020), Shete et al. (2025), Wikarta et al. (2023), Hamilton et al. (2013), Kamble (2019) y Olesen et al. (2020), se observa que la implementación de materiales compuestos ha provocado un desarrollo importante en el diseño y fabricación de vehículos dedicados a la competición con una especial atención en el casis de monocasco, el cual debe proporcionar rigidez estructural, pero sin comprometer el rendimiento. Con el avance de la tecnología y el nacimiento de la fibra de carbono y la fibra de

vidrio, los estudios antes mencionados demostraron que es posible disminuir el peso del vehículo y mantener tanto la eficiencia como la seguridad.

Al respecto, Olesen et al. (2020) señala que el chasis monocasco se refiere a una estructura que integra a la carrocería y al chasis como un solo elemento, lo cual contribuye a mejorar la rigidez de torsión para una mejor respuesta en la dirección una mejor estabilidad en aquellos momentos donde hay que tomar una curva. En este sentido, los autores comprobaron estos beneficios al incorporar el chasis monocasco de fibra de carbono en un auto de la Fórmula Student (equipos universitarios diseñan, construyen y ponen a prueba monoplazas de carreras), contribuyendo en un diseño más compacto y mejorando la aerodinámica.

Esto se debe a que, la fibra de carbono proporciona una mejor relación resistencia – peso que también contribuye con el consumo eficiente del combustible, algo que es esencial en las competiciones donde unos pocos gramos pueden ser la diferencia entre la victoria y la derrota, debido a su influencia en los pocos segundos que le puede sacar un vehículo a otro (Shete et al., 2025).

En cuanto al diseño y la fabricación de un chasis monocasco de materiales compuestos, debe tener en cuenta la complejidad que conlleva, ya que se trata de una geometría, manufacturabilidad y propiedades mecánicas que exigen estudios especializados y una experiencia adecuada, motivos por los cuales Wikarta et al. (2023) han presentado un enfoque en cual se combinan los análisis analíticos, las simulaciones y las pruebas experimentales que están orientados a optimizar el diseño del chasis. Con este enfoque, los autores lograron evaluar el comportamiento estructural del chasis en función de diferentes condiciones de carga y, a su vez, pudieron realizar ajustes en el diseño para maximizar el rendimiento.

Previamente, Hamilton et al. (2013) ha hecho mención a técnicas del proceso de fabricación de chasis monocasco como es la técnica de moldeo por compresión, para asegurar que haya una producción eficiente y controlada donde las propiedades del material se mantengan dentro de los rangos deseados. Sin embargo, esta técnica representa un desafío a tomar en cuenta para los autores antes mencionados, por la necesidad de un control estricto de calidad del material y de la materia prima para que no existan defectos en el material, ya que se podría comprometer la seguridad del conductor y el rendimiento del vehículo.

A pesar de las numerosas ventajas del chasis monocasco de materiales compuestos, Hamilton et al. (2013) y Wikarta et al. (2023) mencionan que el costo de producción es un obstáculo importante de esta temática, ya que requieren de procedimientos especializados y un personal capacitado para garantizar un producto adecuado, en comparación con los metales utilizados tradicionalmente, limitando su implementación de manera masiva, aunque en el mundo de las competiciones los equipos están más dispuestos a asumir esos costos con la seguridad de obtener triunfos y títulos.

En cuanto a los requisitos de rendimiento y de seguridad, Kamble (2019) hace énfasis en llevar a cabo simulaciones y seguimientos detallados basados en pruebas de impacto, análisis de fatiga, entre otros, para monitorear el comportamiento del chasis bajo diferentes tipos de condiciones climáticas y diferentes tipos de cargas, con lo cual se puede comprender de mejor manera las fuerzas que influyen sobre el vehículo durante su transitar por las pistas de carrera, al mismo tiempo que permite a los fabricantes identificar puntos débiles en la estructura y aplicar aquellos ajustes antes de llegar a la producción final. Por estos motivos, la capacidad que tenga una empresa de anticipar y corregir problemas importantes es una de las principales

ventajas que los va a diferenciar en el mercado y en las competiciones deportivas, y la utilización de materiales compuestos es necesario para ello.

Además, Kamble (2019) hace mención particular a la sostenibilidad, la cual se está convirtiendo en un aspecto importante en el desarrollo de nuevas investigaciones y diferentes alternativas para la confección de un vehículo, para que los chasis monocascos disminuyan el impacto negativo que pueda tener un vehículo de carreras en el medio ambiente, sin descuidar el rendimiento.

Por su parte, Olesen et al. (2020) señala que los materiales compuestos en la elaboración de chasis monocasco continúan evolucionando (figura 19), ya que se pueden integrar con las nuevas tecnologías de digitalización como la fabricación aditiva y la implementación de la nanotecnología que pueden mejorar las ventajas que poseen estos materiales, todo esto, repercutiendo en mejores diseños y con mayor durabilidad en el tiempo.

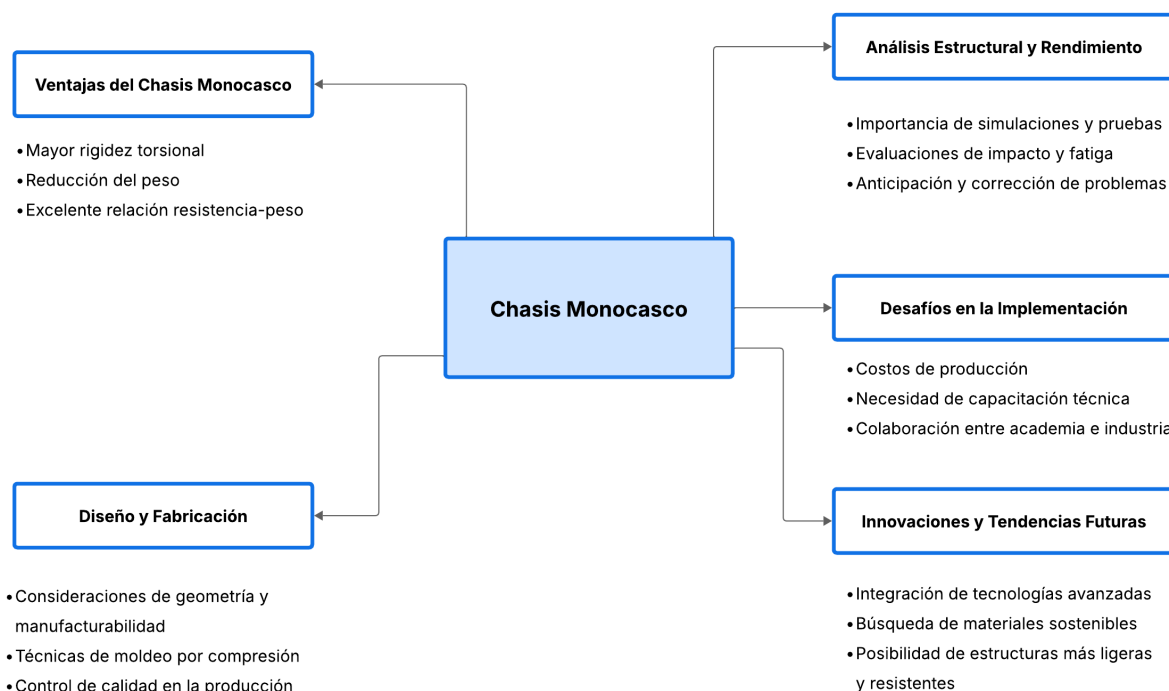


Figura 20: Selección de elementos clave sobre los vehículos de competición con chasis monocasco de materiales compuestos (elaboración propia).

Finalizando con este epígrafe, se concluye que el uso de chasis monocasco de materiales compuestos en vehículos de competición combina ligereza, rigidez torsional y resistencia como muestra del avance que existe hoy en día en la industria automotriz, donde además se han mejorado las técnicas de fabricación, la evaluación y el análisis para ofrecer garantías en el cumplimiento de los estándares de rendimiento, en seguridad para el piloto y cuidando el medio ambiente. Por estos motivos, se deben continuar las investigaciones en este campo para adaptar las tecnologías de digitalización, la nanotecnología, entre otros avances, para llevar estos procesos y los vehículos al siguiente nivel.

6.2.1. Diseño y construcción del chasis

El diseño y la construcción del chasis monocasco en vehículos de competición son procesos considerados por diferentes estudios como complejos, principalmente en el ámbito de la Fórmula Student (Wu et al., 2014; Lučić, 2023; Farabi, 2021; Saplinova et al., 2020; Chandan et al., 2016), ya que requiere del trabajo conjunto de diferentes disciplinas de la ingeniería. Por estos motivos, a continuación, se enumeran una serie de aspectos considerados importantes para comprender de mejor manera el proceso de diseño y de construcción de este tipo de chasis:

En primer lugar, el estudio Wu et al. (2014) hace referencia a que el chasis monocasco es una estructura caracterizada por su capacidad para soportar cargas sin la necesidad de una estructura adicional, motivos por los cuales presenta mejoras importantes en cuanto a la reducción del peso, sin descuidar la rigidez ni la resistencia a la deformación, elementos esenciales en las competiciones donde la victoria esta condicionada por los kilogramos de los vehículos

En este sentido, la construcción de un chasis monocasco requiere de un conocimiento profundo relacionados con los procesos de fabricación de compuestos como es el caso del moldeo por compresión para trabajar la fibra de carbono, como se menciona en el trabajo de Wu et al. (2014), aplicando calor y presión para conformar las capas del material, otorgándole fuerza y ligereza al mismo tiempo. Sin embargo, se debe llevar a cabo un control de calidad cuidadoso para asegurar que no haya defectos en el material y no arriesgar la seguridad del vehículo.

Al respecto, la utilización de materiales compuestos como la fibra de carbono en la fabricación de chasis monocasco permite que exista un balance entre la distribución de las fuerzas a través de este tipo de chasis y les permite mantener o mejorar el rendimiento en general, favoreciendo además la elaboración de formas aerodinámicas que son más difíciles de lograr con los metales tradicionales (Lučić, 2023)

Luego, para el diseño de un chasis monocasco, es necesario comenzar con una serie de requisitos y objetivos que se pretenden conseguir en cuanto a la estructura y el rendimiento, realizando un análisis previo de las fuerzas estáticas y dinámicas, así como la identificación de los puntos débiles para tomar en cuenta las cargas que debe soportar durante un evento competitivo o todas las competiciones en general (Farabi, 2021)

Una vez está el diseño listo, Farabi (2021) menciona que se comienza a preparar el proceso de fabricación del chasis a través de moldes que le van dar la apariencia final y, estos moldes, deben ser de alta calidad para que no exista ninguna imperfección en el resultado final. Una vez que los moldes poseen las características adecuadas, se continua con la aplicación de las capas de material compuesto, siguiendo el diseño predefinido para que exista una distribución uniforme de las fibras para maximizar la resistencia.

Para esas evaluaciones previas, existen herramientas como el software de simulación ANSYS o el SolidWorks, que se han vuelto de uso común para este tipo de evaluaciones, permitiendo realizar análisis por elementos finitos (FEA) para poder predecir cómo será el comportamiento del chasis bajo diferentes condiciones de carga (Saplinova et al., 2020). La importancia de estas simulaciones se expone cuando se logran identificar las fallas en el diseño antes de la construcción física del chasis, ya que se mejora la geometría del chasis y se garantiza de que se cumpla con los estándares de rigidez y resistencia.

En cuanto a la selección de materiales, Chandan et al. (2016) señala que esta es una etapa complicada cuando se quiere elaborar un chasis monocasco, por su implicación directa en las propiedades mecánicas y es necesario tener cuidado al recabar las matrices adecuadas como las

resinas epóxicas, las cuales también van a determinar la resistencia al impacto o la rigidez torsional.

Finalmente, ocurre un proceso de curado donde el material se endurece a través de controles de temperatura y diferentes grados de presión en la búsqueda por la obtención de un compuesto firme, evitando que el chasis este propenso a fallos y previniendo el riesgo de afectar negativamente al conductor (Lučić, 2023).

7. Conclusiones

La revisión bibliográfica presentada en el desarrollo de todo este documento expone de una manera comprensible que los materiales compuestos representan una de las innovaciones de gran importancia en la industria automotriz del siglo XXI, creciendo de una manera sostenida e impulsado principalmente por la búsqueda de vehículos más ligeros, eficientes, seguros y ofreciendo cuidados para el medio ambiente. En este sentido, el uso de compuestos como los polímeros reforzados con fibra como la fibra de carbono (CFRP) y la fibra de vidrio (GFRP), ha permitido mejorar la visión tradicional en cuanto al diseño y a la fabricación de automóviles, ofreciendo ventajas que se deben tomar en cuenta sobre los materiales convencionales como el acero o el aluminio.

En este contexto, esta investigación ha expuesto que la implementación de los materiales compuestos ha provocado la reducción del peso de los vehículos y esto repercute en la reducción de emisiones de CO₂, exponiéndose que al eliminar un 10% en el peso total se puede mejorar el consumo de combustible de hasta un 7%, donde los compuestos se convierten en una solución importante para la industria automotriz moderna, abarcando desde los vehículos deportivos o los prototipos hasta llegar a los modelos de vehículos comerciales, indicando un cambio único en la fabricación automotriz.

Además, se considera necesario mencionar la versatilidad que representan los materiales compuestos, los cuales han permitido su implementación en diferentes componentes automotrices como las carrocerías, los paneles exteriores, aquellos elementos que forman parte del motor, el chasis, la suspensión, los frenos y los elementos interiores de los vehículos. Todo este conjunto de aplicaciones, se evidencian en la capacidad de estos materiales para adaptarse a diferentes diseños, diferentes situaciones ambientales, diferentes superficies, sin comprometer la seguridad ni el rendimiento, contribuyendo en el desarrollo de diseños más aerodinámicos, ergonómicos y estéticamente atractivos, mejorando las ventajas competitivas para las marcas automotrices.

Sin embargo, a pesar de las múltiples ventajas ya mencionadas, las limitaciones o los obstáculos también se exponen en este estudio, especialmente aquellos relacionados con el costo de producción la dificultad de reciclaje de algunos compuestos y la complejidad de los procesos de fabricación, sumado a ello, se percibe una carencia de normativas y estándares internacionales que regulen la producción y la aplicación de los mismos, lo que puede influir en el tipo de calidad del producto final, repercutiendo en una limitación de producción masiva. Aunque, las nuevas tecnologías prometen agilizar estos procesos y que puedan ser mas accesibles para todos, especialmente los relacionados con los métodos de fabricación que es donde se acentúa la dificultad, para poder tener una mayor integración de los compuestos en el mercado automotriz.

En otro orden de ideas, las estructuras monocasco y el Body in White (BIW) son de las más beneficiadas por los materiales compuestos, pero tienden a presentar diferencias en cuanto a su eficiencia, su resistencia, su complejidad de fabricación y sus costos, las cuales se ejemplifican que los monocascos hechos con carbono reforzado con polímeros ofrecen mejor rigidez torsional esenciales en vehículos de alto rendimiento para competición, mientras que las estructuras BIW permiten que se combine el acero, el aluminio y diferentes compuestos para lograr una mejor integración de los componentes en los vehículos comerciales.

La exploración de diferentes estudios también permite observar como la implementación de los compuestos en el interior de los vehículos permite avanzar en cuanto al confort, la estética, la

eficiencia térmica y la eficiencia acústica, a través de los materiales como los polímeros reforzados para desarrollar salpicaderos, asientos y paneles de puertas, favoreciendo la personalización de estos con menor peso. Así mismo, los compuestos cuando combinan con técnicas de moldeo avanzado permiten diseños interiores con mejor ergonomía y brindando una mejor experiencia al usuario.

En cuanto a los sistemas de suspensión y frenos, se ha logrado identificar diferentes aplicaciones relacionadas con el uso de compuestos para producir los discos de freno, los brazos de control y los amortiguadores, los cuales están siendo fabricados con refuerzos de carbono o de cerámica, brindando una mejor respuesta dinámica, mejor resistencia al desgaste y con buen comportamiento térmico, permitiendo mantener los altos requerimientos de seguridad sin descartar la eficiencia, especialmente en vehículos deportivos y comerciales de alto rendimiento.

Por su parte, los estudios de caso analizados sobre los vehículos eléctricos y de competición muestran que al relacionar los compuestos para la elaboración del chasis y de la carrocería mejora la seguridad del conductor, absorbe de mejor manera la energía durante algún impacto, además de reducir el peso del vehículo, mejorar la eficiencia energética, el comportamiento dinámico y la resistencia a la fatiga estructural, extendiendo la vida útil del vehículo. De esta manera, los compuestos no deben ser vistos solo como una alternativa solo en lo material, sino como una estrategia de innovación.

En cuanto a las tendencias actuales y líneas de investigación en el futuro, se expone un creciente interés por parte de los estudios o de las investigaciones en el desarrollo de compuestos híbridos, compuestos reciclables y biocompuestos (fibras naturales), lo cual está acorde con los objetivos del cuidado ambiental y la economía del combustible que se persiguen con solidez en la actualidad. De igual manera, es de destacar la evolución de tecnologías de fabricación como es la incorporación de la impresión en 3D, la automatización de procesos y la simulación computacional, que permiten mejorar los diseños de los vehículos, reducir los tiempos de desarrollo y prevenir el desperdicio incensario de materiales.

Así mismo, el uso de la nanotecnología como parte de las técnicas de fabricación avanzadas están abriendo nuevas oportunidades para la creación de componentes automotrices, mejorando las propiedades que tienen estos materiales y con el potencial de facilitar el diseño de piezas de gran complejidad y adaptadas al gusto de la empresa o de los consumidores, influyendo tanto en el rendimiento como en la estética de los vehículos. A medida que la tecnología avanza y se superan los desafíos actuales, se espera que la adopción de compuestos crezca en cuanto a un aumento de la eficiencia en la producción, la reducción de costos y el desarrollo de técnicas de reciclaje más efectivas, para estos elementos sean una opción estándar en la fabricación automotriz.

Para que todo esto se produzca y se obtengan los beneficios esperados, debe existir una colaboración constante entre las instituciones educativas, la industria y los organismos dedicados a la investigación, con lo cual se podrá impulsar la innovación en este campo a través de estudios continuos enfocados en el desarrollo de nuevas aplicaciones y técnicas de fabricación de estos materiales compuestos, para que continúen desempeñando una función importante en la evolución de la industria automotriz.

Finalmente, este estudio respalda de manera sólida que la incorporación metódica de materiales compuestos en la industria automotriz no es algo pasajero, sino más bien una transformación estructural que se está estableciendo poco a poco, a pesar de las dificultades, donde el futuro

del transporte se está relacionando estrechamente con la implementación de soluciones avanzadas como es el caso de los materiales compuestos que han adquirido gran protagonismo en estos procesos; pero para consolidar este cambio, es necesario continuar invirtiendo en el área de la investigación, en la formación de un personal técnico especializado y en la creación de normativas que promuevan el uso responsable, adecuado y sostenible de estos materiales.

En síntesis, los materiales compuestos son un recurso adecuado para la evolución de la industria automotriz, la cual ha pasado del ámbito experimental hasta llegar a ser una herramienta relevante en la búsqueda de vehículos más livianos, mas eficientes, mas seguros y mas respetuosos con el medio ambiente, con sus desafíos u obstáculos por resolver, pero con oportunidades considerables en cuanto al rendimiento y la innovación, lo cual justifica la promoción y difusión de este tipo de información como un movimiento central para el futuro.

8. Referencias Bibliográficas

- [1] A Bledzki, A. K., y Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in polymer science*, 24(2), 221-274.
- [2] Abraham, H., McAnulty, H., Mehler, B., y Reimer, B. (2017). Case Study of Today's Automotive Dealerships: Introduction and Delivery of Advanced Driver Assistance Systems. *Transportation Research Record Journal Of The Transportation Research Board*, 2660(1), 7-14. <https://doi.org/10.3141/2660-02>
- [3] Addcomposites. (2024, 26 septiembre). What are the Applications of Composite Materials Today? <https://www.addcomposites.com/post/where-are-composites-used>
- [4] Aiza Jaafar, C. N., Zainol, I., Ishak, N. S., Ilyas, R. A., y Sapuan, S. M. (2021). Effects of the liquid natural rubber (LNR) on mechanical properties and microstructure of epoxy/silica/kenaf hybrid composite for potential automotive applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 1026–1038. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.020>
- [5] Ajayi, N. E., Rusnakova, S., Ajayi, A. E., Ogunleye, R. O., Agu, S. O., y Amenaghawon, A. N. (2025). A comprehensive review of natural fiber reinforced Polymer composites as emerging materials for sustainable applications. *Applied Materials Today*, 43(102666), 102666. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2025.102666>
- [6] Albatayneh, A. (2024). The electric cars era transforming the car repairs and services landscape. *Advances In Mechanical Engineering*, 16(7). <https://doi.org/10.1177/16878132241266536>
- [7] Albatayneh, A. (2024b). The electric cars era transforming the car repairs and services landscape. *Advances In Mechanical Engineering*, 16(7). <https://doi.org/10.1177/16878132241266536>
- [8] Aniekan, I., Kelly, O. E., & Abdulsamad, G. (2017). Engineering Material Selection for Automotive Exhaust Systems Using CES Software. *International Journal Of Engineering Technologies IJET*, 3(2), 50-60. <https://doi.org/10.19072/ijet.282847>
- [9] Ary, A. K., Prabowo, A. R., y Imaduddin, F. (2020). Structural assessment of an energy-efficient urban vehicle chassis using finite element analysis – A case study. *Procedia Structural Integrity*, 27, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.07.010>
- [10] Balasubramanian, M., Saravanan, R., & Sathish. (2024). Exploring natural plant fiber choices and treatment methods for contemporary composites: A comprehensive review. *Results in Engineering*, 24(103270), 103270. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103270>
- [11] Babu, V. M., y Prasanthi, S. G. (2023). Modelling, Analysis, Fabrication and Experimental Testing of Leaf Spring Material by Hybrid Composite Materials with Natural Fiber for Electric Vehicle. *Journal Of Advanced Zoology*, 70-85. <https://doi.org/10.53555/jaz.v45i1.2938>
- [12] Barik, N., y Khadari, S. A. R. (2021). Analysis of disc brake. *IOP Conference Series Materials Science And Engineering*, 1123(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1123/1/012004>

- [13] Bebetidoh, O., y Takim, S. (2015). Manufacturing defects in the automobile industry, A case study of the remote causes and effects of Toyota's transmission malfunctions in cars. *International Journal Of Engineering And Applied Sciences (IJEAS)*, 2, 8. https://www.researchgate.net/publication/281641788_Manufacturing_defects_in_the_automobile_industry_a_case_study_of_the_remote_causes_and_effects_of_Toyota's_transmission_malfunctions_in_cars
- [14] Callister, W. D., y Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: an introduction*. John Wiley & Sons.
- [15] Campbell, F. C. (2010). *Structural composite materials*. ASM international.
- [16] Carvalho, D., Ferreira, N., França, B., Marques, R., Silva, M., Silva, S., Silva, E., Macário, D., Barroso, L., Silva, C. J., & Oliveira, C. (2024). Advancing sustainability in the automotive industry: Bioprepreps and fully bio-based composites. *Composites Part C: Open Access*, 14(100459), 100459. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2024.100459>
- [17] Chacón, A. M. N., Dominguez, D. S., y Oliveira, F. B. S. (2024). Enhancing heat transfer processes in 2U-Rack Servers: A study case employing thermal simulation and the Taguchi method. *Case Studies in Thermal Engineering*, 54(104006), 104006. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104006>
- [18] Chand, S., Moylan, E., Waller, S. T., y Dixit, V. (2020). Analysis of Vehicle Breakdown Frequency: A Case Study of New South Wales, Australia. *Sustainability*, 12(19), 8244. <https://doi.org/10.3390/su12198244>
- [19] Chandan, N., Vinayaka, N., y Sandeep, G. (2016). Design, Analysis and Optimization of Race Car Chassis for its Structural Performance. *International Journal Of Engineering Research And*, V5(07). <https://doi.org/10.17577/ijertv5is070313>
- [20] Dattu, M. S. S., y Nayeem, S. (2020). Composite Disc Brake Design and Analysis. *Reliability: Theory & Applications*, 15(3). <https://cyberleninka.ru/article/n/composite-disc-brake-design-and-analysis/pdf>
- [21] Debye, Y. (2014). E-car industry analysis from the perspective of business model dynamics. https://essay.utwente.nl/65344/1/Debye_BA_MB.pdf
- [22] Delogu, M., Del Pero, F., Romoli, F., y Pierini, M. (2015). Life cycle assessment of a plastic air intake manifold. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, 20(10), 1429-1443. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0946-z>
- [23] Dirisu, J. O., Okokpujie, I. P., Joseph, O. O., Oyedepo, S. O., Falodun, O., Tartibu, L. K., & Shehu, F. D. (2024). Sustainable biocomposites materials for automotive brake pad application: An overview. *Journal of Renewable Materials*, 12(3), 485–511. <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.045188>
- [24] Du, B., Li, Z., Bai, H., Li, Q., Zheng, C., Liu, J., Qiu, F., Fan, Z., Hu, H., y Chen, L. (2022). Mechanical Property of Long Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composite: From Material to Car Seat Frame and Bumper Beam. *Polymers*, 14(9), 1814. <https://doi.org/10.3390/polym14091814>

- [25] Dua, S., Khatri, H., Naveen, J., Jawaid, M., Jayakrishna, K., Norrrahim, M. N. F., & Rashedi, A. (2023). Potential of natural fiber based polymeric composites for cleaner automotive component production -a comprehensive review. *Journal of Materials Research and Technology*, 25, 1086–1104. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.019>
- [26] Elmarakbi, A. (Ed.). (2013). *Advanced composite materials for automotive applications: structural integrity and crashworthiness*. John Wiley & Sons.
- [27] Elmar Witten, V. M. (2024). *The European market for Fiber-Reinforced Plastics / Composites 2023*. AVK Composites Germany. https://eucia.eu/wp-content/uploads/2024/05/avk_marketreport_2024_final_eng.pdf
- [28] Esfandiari, J., Heidari, O., y Esfandiari, S. (2023). Experimental behavior of buckling restrained braces by adding diferent admixtures concrete and using the steel core under cyclic loads. *Case Studies in Construction Materials*, 18(e01876), e01876. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01876>
- [29] European Social Partner Organisations. (2014). *HUNGARY - CASE STUDY ON AUTOMOBILE/VEHICLE MANUFACTURING SECTOR*. En *Study On Restructuring In New Member States*. <http://erc-online.eu/wp-content/uploads/2014/04/2007-01130-EN.pdf>
- [30] Fabri, M., Ramalinho, H., Oliver, M., y Muñoz, J. C. (2020). Internal logistics flow simulation: A case study in automotive industry. *Journal Of Simulation*, 16(2), 204-216. <https://repositori-api.upf.edu/api/core/bitstreams/a647e5ba-6557-49fb-b02d-263ac97479c4/content>
- [31] Fantuzzi, N., Bacciocchi, M., Benedetti, D., y Agnelli, J. (2020). The use of sustainable composites for the manufacturing of electric cars. *Composites Part C Open Access*, 4, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100096>
- [32] Farabi, J. (2019). The design and analysis of multiple monocoque chassis for Formula Student (FS) racecar. *International Journal Of Mechatronics And Automotive Research (IJMAR)*, 3(1), 19-32. https://www.researchgate.net/publication/362943871_The_Design_and_Analysis_of_Multiple_Monocoque_Chassis_for_Formula_Student_FSracecar
- [33] Feraboli, P., Masini, A., y Bonfatti, A. (2007). Advanced composites for the body and chassis of a production high performance car. *International Journal Of Vehicle Design*, 44(3/4), 233. https://www.researchgate.net/publication/237748744_Advanced_composites_for_the_body_and_chassis_of_a_production_high_performance_car
- [34] Ganesarajan, D., Simon, L., Tamrakar, S., Kiziltas, A., Mielewski, D., Behabtu, N., & Lenges, C. (2022). Hybrid composites with engineered polysaccharides for automotive lightweight. *Composites Part C: Open Access*, 7(100222), 100222. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100222>
- [35] García Peñalvo, F. J. (2017). *Revisión sistemática de literatura en los Trabajos de Final de Máster y en las Tesis Doctorales*. Salamanca, España: Universidad de Salamanca. <https://knowledgesociety.usal.es/sites/default/files/20170316%20-%20Seminarario%20SLR.pdf>

- [36] Gheorghe, V., Scutaru, M. L., Ungureanu, V. B., Chircan, E., y Ulea, M. (2021). New Design of Composite Structures Used in Automotive Engineering. *Symmetry*, 13(3), 383. <https://doi.org/10.3390/sym13030383>
- [37] Gibson, R. F. (2016). *Principles of composite material mechanics*. CRC press.
- [38] Glass, D. E. (2024, 4 octubre). Ceramic Matrix Composites: the next material revolution? [Diapositivas]. NASA. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20240011832/downloads/240927IMAST%20Worksop%20Capri%20David%20Glass.pdf>
- [39] Hamilton, L., Joyce, P., Forero, C., y McDonald, M. (2013). Production of a Composite Monocoque Frame for a Formula SAE Racecar. *SAE Technical Papers On CD-ROM/SAE Technical Paper Series*. https://www.researchgate.net/publication/296642077_Production_of_a_Composite_Monocoque_Frame_for_a_Formula_SAE_Racecar
- [40] Hovorun, T., Berladir, K., Pererva, V., Rudenko, R., y Martynov, A. (2017). Modern materials for automotive industry. *Journal Of Engineering Sciences*, 4(2), f8-f18. [https://doi.org/10.21272/jes.2017.4\(2\).f8](https://doi.org/10.21272/jes.2017.4(2).f8)
- [41] Jabu, M. A., Aa, A., y Nz, N. (2024). Application of Natural Fibre Composites in Interior Panels in the Automotive Industry: A Review. *International Journal Of Engineering Trends And Technology*, 72(3), 91-98. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v72i3p109>
- [42] Kader, E. E., Adwan, R., y Zedan, L. Y. (2021). Fabrication of hybrid composite materials Leaf spring. *Journal Of Mechanical Engineering Research And Developments*, 44(2), ISSN: 1024-1752. https://www.researchgate.net/publication/357186824_Fabrication_of_hybrid_composite_materials_leaf_spring
- [43] Kaliyanda, A., y Singh, B. (2022). Impact of Composite Materials on Weight Reduction in High-Performance Racing Vehicles: A review. *J Mater Sci Manufac Res*, 4(6), ISSN: 2754-4915. https://www.researchgate.net/publication/384205999_Impact_of_Composite_Materials_on_Weight_Reduction_in_HighPerformance_Racing_Vehicles_A_Review
- [44] Kamble, M. (2018). Design and analysis of a composite monocoque for structural performance: a comprehensive approach [Master Thesis, Purdue University]. <https://scholarworks.indianapolis.iu.edu/server/api/core/bitstreams/19ecfa8c-0ba5-4b6d-9db2-0e3c3dc594d8/content>
- [45] Kaspar, J., Choudry, S. A., y Vielhaber, M. (2020). Systemic assessment and selection of material and joining technology exemplarily applied on the automotive bodywork. *Procedia CIRP*, 91, 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.168>
- [46] Kaw, A. K. (2006). *Mechanics of composite materials*. CRC press.
- [47] Khafidh, M., Putera, F. P., Yotenka, R., Fitriyana, D. F., Widodo, R. D., Ismail, R., Irawan, A. P., Cionita, T., Siregar, J. P., y Ismail, N. H. (2023). A Study on Characteristics of Brake Pad Composite Materials by Varying the Composition of Epoxy, Rice Husk,

- Al₂O₃, and Fe₂O₃. *Automotive Experiences*, 6(2), 303-319. <https://doi.org/10.31603/ae.9121>
- [48] Khan, F., Hossain, N., Mim, J. J., Rahman, S. M. M., Iqbal, M. J., Billah, M., y Chowdhury, M. A. (2024). Advances of composite materials in automobile applications – A review. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017>
- [49] Khan, M. y. A. (2025). Enhancing Electric Vehicle Performance: A Case Study on Advanced Motor Drive Systems, Integration, Efficiency, and Thermal Management. *Control Systems And Optimization Letters*, 3(1), 20-27. <https://doi.org/10.59247/csol.v3i1.152>
- [50] Kumar, S., Anurag, S. M., Toshinwal, S., y Sharma, S. (2019). Design, Analysis and Fabrication of Composite Leaf Spring. *International Journal Of Research In Advent Technology*, 2(3), 4-14. https://www.researchgate.net/publication/343655255_Design_Analysis_and_Fabrication_of_Composite_Leaf_Spring
- [51] Kumar, S., Ramesh, A., y Moul, CH. (2016). Design and analysis of composite disk brake. *International Journal Of Scientific Engineering And Technology Research*, 05(28), 5717-5726. https://www.researchgate.net/publication/349279717_Design_and_Analysis_of_Composite_Disk_Brake
- [52] Kumari, M., y Nagarajan, I. (2015). PERFORMANCE APPRAISAL OF AUTOMOBILE INDUSTRY – a COMPARATIVE CASE STUDY OF ASHOK LEYLAND LTD AND TATA MOTORS LTD. *Shanlax International Journal Of Commerce*, 3(1), ISSN: 2320-4168. https://shanlax.com/wp-content/uploads/SIJ_Commerce_V3_N1_009.pdf?srsltid=AfmBOooZYqjCGvBXakEZXhrk9oi-VOGNNjWYprDiAknJShkhWPoVko4n
- [53] Lakshmanan, K., Pandian, P., Sivaprakasam, R., y Sundaram, K. (2025). Studies on Progress of Aluminum Based Composites for Automotive Applications and its Damping Characteristics – A Review. *Mechanics of Advanced Composite Structures*, 12(1), pp. 25-42. <https://doi.org/10.22075/MACS.2024.32547.1589>
- [54] Lattanzi, L., y Awe, S. A. (2024). Thermophysical properties of Al-based metal matrix composites suitable for automotive brake discs. *Journal of Alloys and Metallurgical Systems*, 5(100059), 100059. <https://doi.org/10.1016/j.jalmes.2024.100059> Mallick, P. K. (2007). *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*. CRC press.
- [55] Lin, M., y Mei, Q. (2020). Optimization of the Vehicles Production by Using Lightweight Carbon Fibre Composite Materials. *IOP Conference Series Earth And Environmental Science*, 585(1), 012195. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/585/1/012195>
- [56] Lipman, T. E., y Maier, P. (2021). Advanced materials supply considerations for electric vehicle applications. *MRS Bulletin*, 46(12), 1164-1175. <https://doi.org/10.1557/s43577-022-00263-z>

- [57] Lučić, M. (2023). Structural analysis of Formula student vehicle chassis using ANSYS software. International scientific journal «INDUSTRY 4.0», 52-56. <https://stumejournals.com/journals/i4/2023/2/52.full.pdf>
- [58] Ma, L., Liu, M., y Chen, Z. (2020). Applying Baydur Composite Material in Designing Automotive Door Beams. Journal Of Physics Conference Series, 1622(1), 012127. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1622/1/012127>
- [59] Mahesh Kumar, P. N. D., y Kumar, S. (2021). Modeling and static analysis of shock absorber using different materials. International journal of advance scientific research and engineering trends, 6(4), ISSN (Online) 2456-0774. <https://doi.org/10.51319/2456-0774.2021.4.0003>
- [60] Mononen, J. (2023). Design and manufacturing of a formula student composite chassis. Theseus.fi. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/813704/Mononen_Jussi.pdf;jsessionid=1127E398A351132FA342A51426DB9B29?sequence=2
- [61] Naik, V., Research Scholar (VTU-RC), CMR Institute of Technology, Bengaluru 560037, India, Kumar, M., Kaup, V., Assistant Professor, MVJ College of Engineering, Bengaluru 560067, India, y Professor, CMR Institute of Technology, Bengaluru 560037, India. (2021). A review on natural fiber composite material in automotive applications. Engineered science. <https://doi.org/10.30919/es8d589>
- [62] Negera, D. W. (2022). Fabrication of Hybrid Composite Automotive Dashboard. Zenodo (CERN European Organization For Nuclear Research). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7349797>
- [63] Nevache, M. (2023). FSAE Monocoque Design and Composite Materials Testing [POLITECNICO DI TORINO, Master's Degree Thesis].
- [64] Nunes, F., Alexandre, E., y Gaspar, P. D. (2024). Implementing Key Performance Indicators and Designing Dashboard Solutions in an Automotive Components Company: A Case Study. Administrative Sciences, 14(8), 175. <https://doi.org/10.3390/admsci14080175>
- [65] Nurmetov, K., Riskulov, A., y Avliyokulov, J. (2021). Composite tribotechnical materials for autotractors assemblies. E3S Web Of Conferences, 264, 05012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405012>
- [66] Olesen, A., Simonsen, C., Sørensen, J., Broberg, N., y Radhakrishnan, N. (2020). Design of glass fibre reinforced polyester monocoque for Formula Student race car. Aalborg University, 1-10. <https://www.audxp-cms.aau.dk/media/v2zjuyzg/poster-design-of-glass-fibre-reinforced-polyester-monocoque-for-formula-student-race-car.pdf>
- [67] Papacz, W., Kuryło, P., y Tertel, E. (2013). The Composite Control Arm – Analysis of the Applicability in Conventional Suspension. American Journal Of Mechanical Engineering, 1(7), 161-164. <https://doi.org/10.12691/ajme-1-7-1>
- [68] Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía

- actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología/Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- [69] Parveez, B., Kittur, M. I., Badruddin, I. A., Kamangar, S., Hussien, M., & Umarfarooq, M. A. (2022). Scientific Advancements in Composite Materials for Aircraft Applications: A Review. *Polymers*, 14(22), 5007. <https://doi.org/10.3390/polym14225007>
- [70] Pawsey, C. (2018). Lightweight Automotive Seating Structures – Concepts and Challenges. *Automotive A Division Of IQPC*, 1-5. <https://www.iqpc.com/media/1000611/38664.pdf>
- [71] Pedrosa, D., Monteiro, V., Goncalves, H., Martins, J. S., y Afonso, J. L. (2014). A Case Study on the Conversion of an Internal Combustion Engine Vehicle into an Electric Vehicle. 2014 IEEE Vehicle Power And Propulsion Conference (VPPC), 1-5. <https://doi.org/10.1109/vppc.2014.7006994>
- [72] Peters, S. T. (Ed.). (2013). *Handbook of composites*. Springer Science & Business Media.
- [73] Pimenta, S., & Pinho, S. T. (2011). Recycling carbon fibre reinforced polymers for structural applications: technology review and market outlook. *Waste management*, 31(2), 378-392.
- [74] Pintossi, M. (2020). Carbon fiber reinforced composite suspensions for a solar vehicle. [Tesis de maestría, ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA]. <https://amslaurea.unibo.it/id/eprint/20564/1/TESI%20LAUREA%20EV5%20.pdf>
- [75] *Plastics Magazine*. (2007). *Automotive Plastics & Composites (Segunda)*. ELSEVIER. <https://bronze.ir/wp-content/uploads/2023/07/Automotive-Plastics-Composites.pdf>
- [76] Poornamohan, P., y Kishore, L. (2012). Design and analysis of a shock absorber. *International Journal Of Research In Engineering And Technology*, 01(04), 578-592. <https://doi.org/10.15623/ijret.2012.0104009>
- [77] Rahman, M., Rabbi, & Banik, S. (2021). Investigation of production line defects using root cause analysis: a case study on an automobile industry in bangladesh. *International journal of industrial engineering research and development*, 12(1). <https://doi.org/10.34218/ijierd.12.1.2021.003>
- [78] Rea, A. M. J., Pérez, Á. X. A., Soto, D. X. B., y Moreno Constante, A. S. (2022). Estudio de la utilización del hidrógeno en la industria automotriz: Revisión. *Polo del Conocimiento*, 1–24. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4806/11586>
- [79] Reddy, P. S., Sreenivasulu, M., Nandyala, K., y Esanakula, J. R. (2024). Smart Materials Revolutionizing Automotive Technology: Applications, Challenges, and Future Directions. *International Journal Of Engineering Trends And Technology*, 72(8), 353-363. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v72i8p133>

- [80] Saplinova, V., Novikov, I., y Glagolev, S. (2020). Design and specifications of racing car chassis as passive safety feature. *Transportation Research Procedia*, 50, 591-607. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.071>
- [81] Shete, S., Kumar, N., Bhuvaneshwary, K., y Battul, V. (2025). Design and fabrication of composite monocoque chassis using Carbon fiber – a review. *International journal of innovative research in technology*, 11(8), ISSN: 2349-6002. https://ijirt.org/publishedpaper/IJIRT171555_PAPER.pdf
- [82] Shinde, N. G., y Patel, D. M. (2020). A Short Review on Automobile Dashboard Materials. *IOP Conference Series Materials Science And Engineering*, 810(1), 012033. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/810/1/012033>
- [83] Singh, M., Garg, H. K., Maharana, S., Muniappan, A., Loganathan, M. K., Nguyen, T. V. T., y Vijayan, V. (2023). Design and Analysis of an Automobile Disc Brake Rotor by Using Hybrid Aluminium Metal Matrix Composite for High Reliability. *Journal Of Composites Science*, 7(6), 244. <https://doi.org/10.3390/jcs7060244>
- [84] Singh, T. (2021). Utilization of cement bypass dust in the development of sustainable automotive brake friction composite materials. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(9), 103324. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103324>
- [85] Singh, T. (2023). Comparative performance of barium sulphate and cement by-pass dust on tribological properties of automotive brake friction composites. *Alexandria Engineering Journal*, 72, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.04.010>
- [86] Stroia, M. D., Moșteanu, D. E., Virca, I., Răduca, E., Popescu, C., y Hațiegan, C. (2020). Case studies for automotive components using CAD and CAE techniques. *Journal Of Physics Conference Series*, 1426(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1426/1/012047>
- [87] Strong, A. B. (2008). *Fundamentals of composites manufacturing: materials, methods, and applications*. SME.
- [88] Szymański, P., Czarnecka Komorowska, D., Gawdzińska, K., Trubas, A., & Kostecka, E. (2018). A review of composite materials used in brake disc pad manufacturing process. *Polskie Towarzystwo Materiałow Kompozytowych*, 20(2), ISSN (online): 2299-128X. https://kompozyty.ptmk.net/pliczki/pliki/1341_2020t02_pawel-szymanski-dorota-.pdf
- [89] Thomason, J. L. (2017). *Fatigue and durability of composite materials*. Woodhead Publishing.hmad
- [90] Tuli, N. T., Khatun, S., y Rashid, A. B. (2024). Unlocking the future of precision manufacturing: A comprehensive exploration of 3D printing with fiber-reinforced composites in aerospace, automotive, medical, and consumer industries. *Heliyon*, 10(5), e27328. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27328>
- [91] Uras, M., y Büyük, M. (2018). Design, analysis and simulation of an automotive carbon fiber monocoque. *Sabancı University Program For Undergraduate Research (PURE)*, 1-10. https://pure.sabanciuniv.edu/sites/pure.sabanciuniv.edu/files/project-public-reports/pure_final_report-mine_uras.pdf

- [92] Veličković, S., Stojanović, B., Ivanović, L., Miladinović, S., y Milojević, S. (2019). Application of nanocomposites in the automotive industry. *Mobility and Vehicle Mechanics*, 45(3), 51–64. <https://doi.org/10.24874/mvm.2019.45.03.05>
- [93] Wang, Z., Zhou, L., Zhang, Z., y Mwambala, M. A. (2024). Study on bending performance of laminated bamboo sandwich panels with different lattice core layers: Cleaner production of green material. *Case Studies in Construction Materials*, 20(e03379), e03379. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03379>
- [94] Wazeer, A., Das, A., Abeykoon, C., Sinha, A., y Karmakar, A. (2023). Composites for electric vehicles and automotive sector: A review. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 2(1), 100043. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100043>
- [95] Wellbrock, W., Ludin, D., Röhrle, L., y Gerstlberger, W. (2020). Sustainability in the automotive industry, importance of and impact on automobile interior – insights from an empirical survey. *International Journal Of Corporate Social Responsibility*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40991-020-00057-z>
- [96] Wikarta, A., y Maydiyanto, I. (2023). Design and Fabrication of Composite Monocoque Chassis for Formula Student Racing Car. *The International Journal Of Mechanical Engineering And Sciences*, 7(1), 8. <https://doi.org/10.12962/j25807471.v7i1.13357>
- [97] Wikström, R. (2023). Monocoque Chassis design and optimization (Master’s Programme, Vehicle Engineering) [Internet]. Stefan Hallström. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1782728/FULLTEXT01.pdf>
- [98] Wu, J., Badu, O. A., Tai, Y., y George, A. R. (2014). Design, Analysis, and Simulation of an Automotive Carbon Fiber Monocoque Chassis. *SAE International Journal Of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 7(2), 838-861. <https://doi.org/10.4271/2014-01-1052>
- [99] Wu, X., y Zhang, W. (2024). A review on aluminum matrix composites’ characteristics and applications for automotive sector. *Heliyon*, 10(20), e38576. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38576>
- [100] Yan, L., y Xu, H. (2025). Lightweight composite materials in automotive engineering: State-of-the-art and future trends. *Alexandria Engineering Journal*, 118, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.12.002>
- [101] Yifeng, B., Wenqing, T., y Haidong, J. (2019). Design Considerations for a Composite Chassis of Shielding and Structural Integration. *IOP Conference Series Materials Science And Engineering*, 608(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/608/1/012011>

Índice de figuras

Figura 1: PRISMA flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only	23
Figura 2: Materiales compuestos	27
Figura 3: Ventajas de los materiales compuestos.....	34
Figura 4: Esquema de los desafíos y limitaciones.....	37
Figura 5: Características de los materiales compuestos para el chasis de los automóviles	38
Figura 6: Consideraciones en el diseño y en el análisis de estructuras de materiales compuestos.....	41
Figura 7: Resumen de los estudios de caso.....	43
Figura 8: Esquema resumen de los materiales compuestos en los motores.....	45
Figura 9: Esquema a modo resumen de las aplicaciones de los materiales compuestos en bloques de motor y culatas.....	47
Figura 10: Diagrama de elementos claves relacionados con los materiales compuestos en muelles y amortiguadores	51
Figura 11: Elementos esenciales de los discos de freno de materiales compuestos	54
Figura 12: Visión esquemática de las ventajas en cuanto a sostenibilidad y peso...	56
Figura 13: Diagrama de ideas principales sobre los compuestos en paneles de puertas, asientos y salpicaderos	58
Figura 14: Ilustración de los elementos claves sobre las ventajas de diseño y confort	59
Figura 15: Estructura de las innovaciones de los materiales compuestos para interiores.	60

Figura 16: Información relevante sobre vehículo eléctrico con carrocería de fibra de carbono.....62

Figura 17: Visión general de la descripción del vehículo y sus componentes.....64

Figura 18: Panorama general del proceso de fabricación. (Elaboración propia).....66

Figura 19: Panorama general de la evaluación de rendimiento.68

Figura 20: Selección de elementos clave sobre los vehículos de competición con chasis monocasco de materiales compuestos.70

GLOSARIO

A B C D E F G H I J K L M N Ñ O P Q R S T U V W X Y Z

Absorción de impacto	Capacidad del material o estructura para disipar energía durante una colisión, reduciendo las fuerzas transmitidas a los ocupantes y aumentando la seguridad pasiva del vehículo.
Análisis de ciclo de vida (LCA)	Metodología que evalúa los impactos ambientales de un producto o sistema a lo largo de todas las etapas de su vida útil, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.
BIW (Body-in-White)	Estructura metálica o multimaterial de la carrocería de un vehículo antes del proceso de pintura, que sirve como base estructural para evaluar rigidez, seguridad y ensamblaje.
Biocompuestos	Materiales compuestos que incorporan matrices o refuerzos de origen biológico (como fibras naturales o polímeros biodegradables), promoviendo sostenibilidad y menor impacto ambiental.
CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)	Compuesto formado por una matriz polimérica reforzada con fibras de carbono, destacando por su elevada relación resistencia-peso y rigidez específica.
Crashworthiness	Capacidad estructural de un vehículo o componente para proteger a los ocupantes durante un accidente, absorbiendo energía mediante deformaciones controladas.
Eficiencia energética vehicular	Medida del aprovechamiento de la energía en un vehículo, influenciada por la masa total, la aerodinámica, el tren motriz y el uso de materiales ligeros como compuestos.
Economía circular	Enfoque productivo que promueve la reducción, reutilización y reciclaje de materiales y productos para minimizar residuos y prolongar su valor útil.
Estructura monocasco	Diseño estructural en el cual la carrocería cumple funciones portantes, eliminando la necesidad de un chasis independiente, lo que permite aligerar peso y mejorar rigidez.
Fibra de carbono	Material de refuerzo compuesto por filamentos de carbono extremadamente finos con alta resistencia específica, usado en estructuras de alto rendimiento.

Fibra de vidrio	Tipo de refuerzo fabricado a partir de hilos de vidrio, común en compuestos por su bajo coste, buena resistencia mecánica y resistencia química.
FRP (Fiber Reinforced Polymer)	Material compuesto constituido por una matriz polimérica reforzada con fibras (vidrio, carbono, aramida), usado ampliamente por su ligereza y resistencia.
Gemelo digital	Modelo virtual dinámico que replica el comportamiento físico de un producto o sistema en tiempo real, permitiendo simulaciones estructurales y de diseño.
GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)	Compuesto reforzado con fibra de vidrio y resina polimérica, utilizado por su coste competitivo y buena resistencia a impactos y corrosión.
Material compuesto	Material heterogéneo formado por la combinación de dos o más componentes físicamente distinguibles (matriz y refuerzo), que ofrece propiedades superiores a sus componentes individuales.
Modularidad estructural	Principio de diseño que permite ensamblar sistemas complejos a partir de componentes independientes e intercambiables, facilitando mantenimiento, reparación y personalización.
Moldeo por compresión	Proceso de fabricación de compuestos donde se colocan los materiales en un molde cerrado que aplica presión y temperatura para conformar y curar la pieza.
Normativas SAE e ISO	Conjuntos de estándares técnicos internacionales que regulan procedimientos de diseño, fabricación, ensayo y calidad de materiales y componentes automotrices.
Plástico reforzado con fibra (FRP)	Material compuesto con una matriz plástica y refuerzos fibrosos, como vidrio o carbono, que mejora las propiedades mecánicas frente al plástico sin refuerzo.
Propiedades mecánicas	Conjunto de características físicas de un material, como la resistencia a la tracción, rigidez, dureza, ductilidad, tenacidad y resistencia al desgaste.
Reciclabilidad	Capacidad de un material o componente para ser reprocesado y reutilizado, conservando parte de sus propiedades originales y reduciendo impacto ambiental.
Refuerzo continuo/discontinuo	Clasificación del tipo de refuerzo en un compuesto: continuo si las fibras abarcan toda la longitud del material, o discontinuo si se encuentran cortadas y dispersas.
Resistencia específica	Cociente entre la resistencia mecánica de un material y su densidad; parámetro clave en el diseño estructural de componentes ligeros y eficientes.

RTM (Resin Transfer Molding)	Proceso de fabricación de materiales compuestos en el que la resina líquida es inyectada en un molde cerrado que contiene fibras secas, y posteriormente curada.
Simulación estructural	Análisis computacional (por ejemplo, elementos finitos) que permite evaluar el comportamiento mecánico de una estructura bajo diversas condiciones de carga.
Termoestables	Polímeros que, una vez curados, no se funden nuevamente con el calor, caracterizados por su alta rigidez y resistencia térmica, pero baja reciclabilidad.
Unión estructural híbrida	Método de ensamblaje entre materiales distintos (como metal y compuesto) que combina técnicas como adhesivos, remaches y encastrados para maximizar rigidez y durabilidad.



POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid

Tel.: 91 336 3060

info.industriales@upm.es

www.industriales.upm.es