



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Evaluación de la factibilidad técnica y económica de la fabricación de
autopartes en fibra de carbono en Ecuador.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención de título de:
INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

Nombre de los autores:

**GERMÁN EDUARDO CUESTA CHIRIBOGA
JOSÉ MIGUEL TOBAR CANDO**

Nombre del Director:

DANIEL CORDERO MORENO

CUENCA – ECUADOR

2020

Dedicatoria:

A mi familia, por su apoyo en todos los
ámbitos durante mi etapa de estudios.

Germán Eduardo

Dedicatoria:

A mis padres, Carlos y Lina, a mi hermano Carlos Patricio y a mi abuelo Miguel Cando por el ejemplo y apoyo incondicional brindado a lo largo de mi vida.

José Miguel

Agradecimiento:

A los profesores: Daniel Cordero, Robert Rockwood,
Damián Encalada, Mateo Coello y Francisco Torres,
por el apoyo brindado en el desarrollo de la investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
A. Factor peso.....	1
B. Factor aerodinámico	3
II. METODOLOGÍA	3
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
IV. CONCLUSIONES.....	10
V. REFERENCIAS	10

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura molecular de la fibra de carbono [3].	2
Figura 2. Ordenamiento de las fibras. a) Anisótropo, b) ortótropo (dos direcciones), c) isótropo.	2
Figura 3. Clasificación de la fibra de carbono por su módulo de Young y su origen [6].	2
Figura 4. Coeficientes de arrastre de diferentes geometrías [11].	3
Figura 5. Layout del proceso de producción.	4
Figura 6. Agujeros para pernos en el brazo del retrovisor.	5
Figura 7. Ejemplo de sujeción del retrovisor en el vehículo [18].	5
Figura 8. Tipos de ángulo de liberación. a) Sin ángulo, b) ángulo positivo, c) ángulo negativo.	5
Figura 9. Dimensiones mínimas del retrovisor.	5
Figura 10. Denominaciones de medidas del retrovisor. a) Gap y ancho de brazo. b) Ángulo de ataque.	5
Figura 11. a) Geometría 1. b) Geometría 2.	6
Figura 12. Proceso para análisis CFD.	6
Figura 13. Medidas del túnel de viento (L = longitud del retrovisor).	6
Figura 14. Error en resultados finales según el tamaño de elementos finitos.	7
Figura 15. Proceso para análisis CAE.	7
Figura 16. Resultados del Cd de la geometría 2 en rango de velocidades de 60 a 200 km/h.	9
Figura 17. Resultados de niveles acústicos de la geometría 2 en rango de velocidad de 60 a 200 km/h.	9
Figura 18. Contornos de esfuerzo máximo en la fijación del retrovisor.	10
Figura 19. Render del retrovisor.	10

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de propiedades de diferentes tipos de materiales [3]–[5].	2
Tabla 2. Propiedades de fibras de carbono de diferente módulo [3].	2
Tabla 3. Ventajas y desventajas de la fibra de carbono regular y prepreg.	4
Tabla 4. Propiedades de los tipos de fibra de carbono [16].	4
Tabla 5. Etapas del proceso de producción y sus actividades [17].	4
Tabla 6. Proceso para análisis CFD.	6
Tabla 7. Condiciones de frontera del túnel de viento.	6
Tabla 8. Condiciones de frontera.	7
Tabla 9. Análisis de resultados de la encuesta.	8
Tabla 10. Fuerzas de Porter.	8
Tabla 11. Resultados de Cd en las geometrías.	9
Tabla 12. Resultados de análisis financiero.	10
Tabla 13. Comparación del Cd.	10
Tabla 14. Comparación de niveles acústicos.	10

EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA FABRICACIÓN DE AUTOPARTES EN FIBRA DE CARBONO EN ECUADOR.

RESUMEN

Este estudio consiste en determinar teóricamente la factibilidad técnica y económica de la producción de retrovisores en fibra de carbono. Este trabajo se realizó en cuatro etapas: a) evaluación de materia prima, b) evaluación del diseño del producto, c) evaluación de manufactura y d) análisis financiero. Para la evaluación de materia prima, se consideraron los materiales compuestos disponibles y sus propiedades; para la evaluación del diseño, se utilizó software CAD/CAE; para la evaluación de manufactura, se consideraron los tipos de procesos de producción y, el análisis financiero, se lo realizó mediante estudio de mercado. Los resultados obtenidos fueron: una geometría de los retrovisores validada vía simulación CFD (coeficiente de arrastre, sonido) y análisis CAE (esfuerzos), para la cual, se seleccionó como materia prima la fibra de carbono y un proceso de producción por lotes. Finalmente se determinó la factibilidad económica proyecto con los resultados de VAN, TIR y PE calculados.

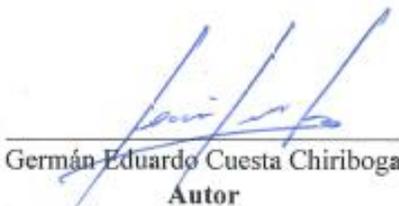
Palabras Clave—fibra de carbono, retrovisores, producción, rentabilidad.



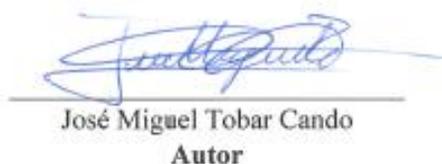
Ing. Daniel Cordero Moreno, PhD
Director del trabajo de titulación



Ing. Robert Rockwood Iglesias
Director de Escuela



Germán Eduardo Cuesta Chiriboga
Autor



José Miguel Tobar Cando
Autor

EVALUATION OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF CARBON
FIBER MANUFACTURING IN ECUADOR.

ABSTRACT

This study consists in the theoretical determination of the technical and economic feasibility of the production of carbon fiber rear-view mirrors. This work was carried out in four stages: a) raw material evaluation, b) product design evaluation, c) manufacturing evaluation and d) financial analysis. For the evaluation of raw material, the available composite materials and their properties were considered. CAD/CAE software were used for design evaluation. The types of production processes were considered for manufacturing evaluation and the financial analysis was performed through a market study. As a result, a geometry of the mirrors validated via CFD simulation (drag coefficient, sound) and CAE analysis (stress) was obtained. For this, carbon fiber as raw material and a batch production process were selected. Finally, the economic feasibility was determined with the results of calculation of NPV, IRR and PE.

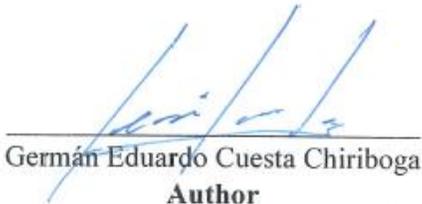
Keywords— carbon fiber, rear-view mirrors, production, profitability.



Ing. Daniel Cordero Moreno, PhD
Thesis Director



Ing. Robert Rockwood Iglesias
Faculty Director



Germán Eduardo Cuesta Chiriboga
Author



José Miguel Tobar Cando
Author



Translated by
Ing. Paul Arpi

Evaluación de la factibilidad técnica y económica de la fabricación de autopartes en fibra de carbono en Ecuador.

Germán Cuesta Chiriboga Facultad de Ciencia y Tecnología, Ingeniería en Mecánica Automotriz. Universidad del Azuay Cuenca, Ecuador. gercuesta@es.uazuay.edu.ec	José Miguel Tobar Cando Facultad de Ciencia y Tecnología, Ingeniería en Mecánica Automotriz. Universidad del Azuay Cuenca, Ecuador. miguelo_1996@es.uazuay.edu.ec	Daniel Cordero Moreno Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Automotriz (ERGON). Universidad del Azuay Cuenca, Ecuador. dacorderom@uazuay.edu.ec	Robert Rockwood Iglesias Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Automotriz (ERGON). Universidad del Azuay Cuenca, Ecuador. rrockwood@uazuay.edu.ec	Francisco Torres Moscoso Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Automotriz (ERGON). Universidad del Azuay Cuenca, Ecuador. ftorres@uazuay.edu.ec
--	---	--	--	--

Resumen— Este estudio consiste en determinar teóricamente la factibilidad técnica y económica de la producción de retrovisores en fibra de carbono. Este trabajo se realizó en cuatro etapas: a) evaluación de materia prima, b) evaluación del diseño del producto, c) evaluación de manufactura y d) análisis financiero. Para la evaluación de materia prima, se consideraron los materiales compuestos disponibles y sus propiedades; para la evaluación del diseño, se utilizó software CAD/CAE; para la evaluación de manufactura, se consideraron los tipos de procesos de producción y, el análisis financiero, se lo realizó mediante estudio de mercado. Los resultados obtenidos fueron: una geometría de los retrovisores validada vía simulación CFD (coeficiente de arrastre, sonido) y análisis CAE (esfuerzos), para la cual, se seleccionó como materia prima la fibra de carbono y un proceso de producción por lotes. Finalmente se determinó la factibilidad económica proyecto con los resultados de VAN, TIR y PE calculados.

Palabras clave: *fibra de carbono, retrovisores, producción, rentabilidad.*

Abstract— This study consists in the theoretical determination of the technical and economic feasibility of the production of carbon fiber rear-view mirrors. This work was carried out in four stages: a) raw material evaluation, b) product design evaluation, c) manufacturing evaluation and d) financial analysis. For the evaluation of raw material, the available composite materials and their properties were considered. CAD/CAE software were used for design evaluation. The types of production processes were considered for manufacturing evaluation and the financial analysis was performed through a market study. As a result, a geometry of the mirrors validated via CFD simulation

(drag coefficient, sound) and CAE analysis (stress) was obtained. For This, carbon fiber as raw material and a batch production process were selected. Finally, the economic feasibility was determined with the results of calculation of NPV, IRR and PE.

Keywords: *carbon fiber, rear-view mirrors, production, profitability.*

I. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz es un sector económico importante que está relacionado con diferentes áreas como diseño, desarrollo, manufactura, marketing y ventas [1]. Una de las áreas de la industria automotriz es el deporte motor, en donde, los vehículos se equipan con autopartes que aportan a la disminución del peso y mejorar el desempeño aerodinámico. Estas piezas o autopartes son, por ejemplo: rines, alerones, tomas de aire y retrovisores; de los cuales, estos últimos, son el tema de este estudio.

A. Factor peso

Para aportar con la disminución del peso, se analizan los materiales de los cuales pueden fabricarse las autopartes, buscando una combinación de propiedades entre buena resistencia y baja densidad. Uno de los grupos de materiales que cumplen con estas características, son los materiales compuestos, estos son conformados por la unión de dos o más materiales, que, combinados, forman un material con características diferentes a los materiales individuales. Se pueden identificar dos tipos de materiales compuestos: reforzados por partículas y reforzados por fibras; este último consta de una matriz que es la que distribuye las cargas al agente reforzante (resina) y el agente reforzante que es el que soporta las cargas (fibra de vidrio y fibra de carbono) [2]. En la Tabla 1 se muestra que, los materiales compuestos como la fibra de carbono, cumplen con los

requisitos para la disminución del peso, al ser un 77 % menos densa que el acero y 15 % más resistente.

Tabla 1. Comparación de propiedades de diferentes tipos de materiales [3]–[5].

Material	Densidad [kg/m ³]	Resistencia a la tracción [GPa]	Módulo de Young [GPa]
Aluminio	2870	0.1 – 0.37	69
Acero	7840	0.32 -0.59	207
Fibra de vidrio	2600	2.05	85
Fibra de carbono	1800	3.5	244

La estructura de la fibra de carbono es cristalina, similar a la del acero, en donde los átomos de carbono están distribuidos en forma de capas hexagonales con un empaquetado denso en los planos de las capas; además, el enlace fuerte entre los átomos de carbono y el plano de la capa resulta en un módulo de Young alto (Figura 1) [3].

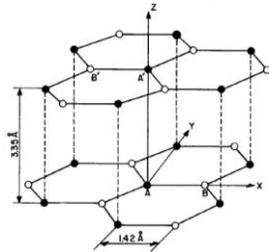


Figura 1. Estructura molecular de la fibra de carbono [3].

Adicionalmente, la fibra de carbono es anisotrópica, lo cual significa que la resistencia depende la orientación de las fibras, presentando superior resistencia a cargas que actúan paralelas a su longitud y baja resistencia en el eje perpendicular a su longitud. Una de las ventajas que presentan las fibras anisotrópicas es que se puede controlar la dirección de la resistencia de sus fibras efectivamente, es por ello que la fibra es tejida a 90° y para los procesos de manufactura de componentes se usa un laminado a 45°, con el que se busca mejorar la resistencia del tejido en su plano, también, se ubican las fibras en función de la direccionalidad de las cargas a soportar como se indica en la Figura 2 [3].

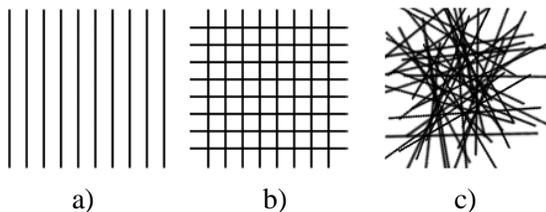


Figura 2. Ordenamiento de las fibras. a) Anisótropo, b) ortótropo (dos direcciones), c) isótropo.

A la fibra de carbono se la puede obtener de dos precursores derivados del petróleo, los cuales son el poliacrilonitrilo (PAN) que es un polímero y el pitch que es un tipo de brea. De estas dos opciones, se obtienen productos con diferentes módulos de elasticidad que se clasifican en cinco clases, las cuales son: SM (standard modulus), HT (high tenacity – high strength) o IM (intermediate modulus), HM (high modulus), LM (low modulus) y UHM (ultra – high modulus). Las propiedades de estas clases se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades de fibras de carbono de diferente módulo [3].

Propiedades	SM	HT -IM	HM	LM	UHM
Contenido de carbono [%]	95	95	>99	>97	>99
Diámetro [μm]	6-8	5-6	5-8	11	10
Densidad [kg/m ³]	180	180	190	190	2200
Resistencia a la tracción [GPa]	3.8	6.2	5.52	3.1	2.41

Las fibras SM e IM son utilizadas para usos generales, las cuales, son obtenidas del poliacrilonitrilo (PAN) y las fibras UHM, HM, IM y LM que son usadas para aplicaciones aeroespaciales son obtenidas del pitch (Figura 3).

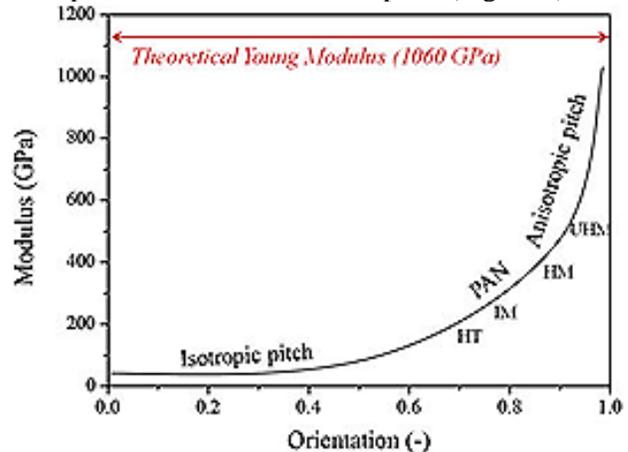


Figura 3. Clasificación de la fibra de carbono por su módulo de Young y su origen [6].

Estas se encuentran comercialmente en diferente cantidad de filamentos de fibra de carbono por hebra como: 3K, 6K, 12K, entre otros (la “K” indica la abreviación de miles). Se selecciona el tamaño de fibra de carbono 3K por su facilidad de moldeo para los diferentes métodos de fabricación de materiales compuestos, los cuales pueden ser: método de transferencia de resina, hand lay – up y

método de infusión/presión [2]. Estos métodos de fabricación pueden ser organizados dependiendo del tipo de producción que se use, que pueden ser: producción bajo pedido, producción en masa, producción continua y producción por lotes [7].

En Ecuador no existen estudios sobre la producción de autopartes en fibra de carbono para ser comercializadas, únicamente se han desarrollado proyectos educativos como un asiento para un vehículo para la formula SAE realizado por Guilcapi y Mejía en la Escuela Politécnica Del Chimborazo (ESPOCH) [8], además, con la misma finalidad, Méndez y Peñafiel desarrollaron un atenuador de impacto en la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) [9].

B. Factor aerodinámico

La fuerza aerodinámica es una de las fuerzas que influyen en la dinámica del vehículo [10], en donde, los retrovisores pueden llegar a incrementar del 2 al 7 % la carga de arrastre en el vehículo [11]. Para el cálculo teórico de esta fuerza, intervienen cuatro factores, dos de ellos influyen según la forma del retrovisor: coeficiente de arrastre (C_d) que depende de la geometría (Figura 4) y el área frontal, que, según Al – Obaidi, corresponde en promedio a 3 % del área total del vehículo [12].

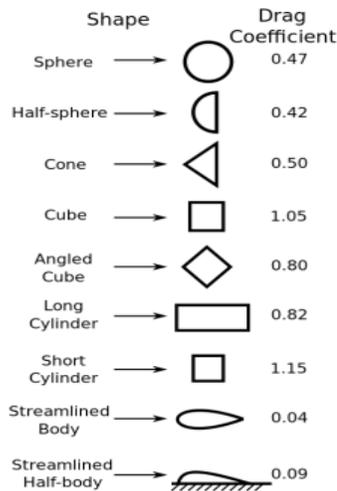


Figura 4. Coeficientes de arrastre de diferentes geometrías [13].

Se puede obtener el C_d de un retrovisor mediante varios métodos, dos de ellos son: túnel de viento y a través de simulaciones computacionales de ingeniería asistida en programas de dinámica de fluidos computacional CFD por sus siglas en inglés. El modelo de CFD utiliza las ecuaciones de Navier – Stokes, y ofrece soluciones utilizando métodos de discretización de derivadas parciales para identificar componentes o superficies en el modelo que

interfieran con las fluctuaciones de presión [14]. Para el área del retrovisor, se consideraron diferentes requisitos de diseño, teniendo en cuenta normas locales como la “NTE INEN 1155: Vehículos automotores. Dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad” del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y el Reglamento Técnico para el Campeonato Nacional de Circuito 2019 de la Federación Ecuatoriana De Automovilismo y Kartismo (FEDAK). Además, internacionalmente, el Reglamento No. 46 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE).

Además, se realiza un análisis financiero, el cual, permite determinar la factibilidad económica del proyecto. El análisis financiero incluye la evaluación de: costo del producto, que es el precio de venta de los retrovisores; costo de producción, que es el que se genera en el proceso de transformar las materias primas en productos elaborados; valor actual neto (VAN), representa la utilidad generada por la empresa dentro de cierto tiempo; la tasa de retorno de inversión (TIR), es el valor porcentual que representa el valor máximo de rendimiento de la inversión; punto de equilibrio (PE), es el volumen mínimo a lograr (ventas y producción) para alcanzar el nivel de rentabilidad deseado y por último, proponer una estrategia de negocio mediante las cinco fuerzas de Porter, que es un modelo estratégico que analiza el nivel de la competencia dentro de una industria [15].

En este sentido, el propósito de este trabajo es determinar la factibilidad técnica y económica de la producción de retrovisores de fibra de carbono en Ecuador de forma teórica teniendo como alcance y mercado los vehículos de competencia en Ecuador.

II. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo esta investigación, se seleccionó como materia prima la fibra de carbono 3K debido a que sus propiedades físicas cumplen con los requisitos necesarios para la elaboración de los retrovisores (las cuales son: baja densidad y alta resistencia), la cual, sirvió como base para definir el proceso de manufactura adecuado y llevar a cabo la producción. Los requisitos para el desarrollo de las geometrías y su posterior análisis se fundamentaron tanto en parámetros de funcionamiento como de manufactura, los cuales, contribuyeron para la elaboración de los modelos en software CAD, que fueron validados mediante análisis CFD, debido a que el presente estudio es de tipo teórico. Además, para el análisis financiero se utilizaron herramientas como el cálculo del TIR y VAN debido a que estos factores son útiles para determinar la viabilidad del proyecto, con lo cual, se determinó la factibilidad técnica y

económica de la producción de los retrovisores de fibra de carbono en Ecuador.

Entre las opciones de tipos de fibra de carbono comerciales para la selección del material base, se analizaron dos: regular (tela de fibra de carbono) y prepreg (tela de fibra de carbono pre impregnada con resina), en donde, se seleccionó la de tipo prepreg debido a sus prestaciones brindadas para el proceso de manufactura las cuales se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de la fibra de carbono regular y prepreg.

Tipos de fibra de carbono	Ventajas	Desventajas
Regular	1. Precio bajo. 2. Almacenamiento simple.	1. Genera desperdicios de material. 2. Obtención de la matriz por separado.
Prepreg	1. Pocos desperdicios. 2. No es necesaria la matriz (ya viene impregnada).	1. Precio alto. 2. Almacenamiento complejo (requiere de congelación).

Dentro de los tipos de fibra de carbono comercializados, se seleccionó el de menor densidad, el cual fue el F6343B-05P que se encuentra constituido de tela T300 (Tabla 4).

Tabla 4. Propiedades de los tipos de fibra de carbono [16].

Tipo de fibra de carbono	Fibra		Compuesto	
	Módulo de Young [GPa]	Densidad [kg/m ³]	Módulo de Young [GPa]	Densidad [kg/m ³]
T300	230	1.76	140	1.82
T400H	250	1.80	145	2.25
M50J	475	1.88	295	2.01
M55J	540	1.91	338	2.02

Una vez seleccionada la materia prima, se determinó el proceso de producción y su distribución interna, seleccionando una producción por lotes, ya que se puede manufacturar una pequeña cantidad de productos idénticos, las máquinas o actividades pueden cambiar de lugar fácilmente para producir un lote de un producto diferente y se necesita de una baja inversión en equipos al ser de propósito y uso general [7]. Las etapas y actividades de este proceso se indican en la Tabla 5, las cuales fueron organizadas en forma de una distribución interna celular (Figura 5), ya que, esta distribución agrupa máquinas y operaciones secuenciales y se aplica para la elaboración de familias de productos o piezas.

Tabla 5. Etapas del proceso de producción y sus actividades [17].

Etapa	Actividades
Preparación de la fibra de carbono.	1. Delineado del retrovisor sobre la fibra. 2. Corte de la fibra.
Preparación del molde	1. Limpiado. 2. Encerado del molde.
Moldeo de la fibra de carbono en el molde	1. Ubicar la fibra en el molde. 2. Utilizar espátulas para contornear aristas.
Enfundado y aplicación de vacío	1. Colocar el molde en funda de vacío. 2. Aplicar vacío.
Curado	1. Ubicar el conjunto en el horno. 2. Curar a 100 °C durante 8 horas.
Desmoldado	1. Retirar del horno y descartar la funda de vacío. 2. Con la ayuda de espátulas, desmoldar el retrovisor.
Post proceso	1. Eliminar imperfecciones en el producto final.

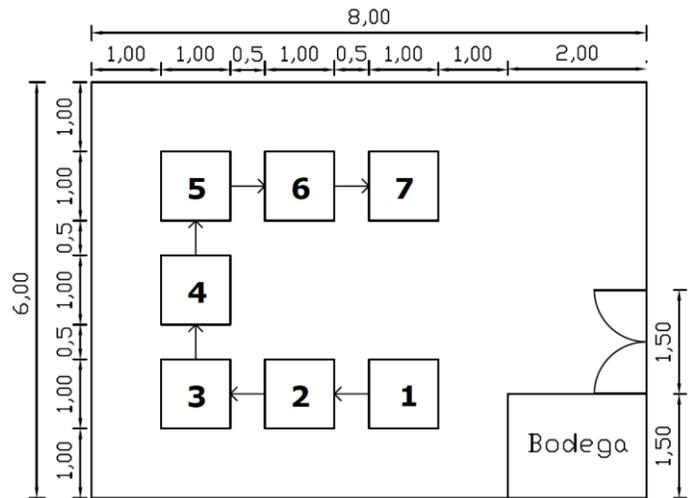


Figura 5. Layout del proceso de producción.

Para la generación de las geometrías de los retrovisores, se consideraron los siguientes requisitos de diseño: calibración, sujeción, manufactura, dimensiones y sonido.

Calibración: se optó por un ajuste en la superficie reflejante en lugar de realizarlo en su estructura externa, debido a que, las articulaciones de este último están expuestas a mayor desgaste y puede presentar facilidad en su descalibración por agentes externos (roce con objetos, irregularidades de la vía, etc.).

Sujeción: se utilizaron 3 pernos colocados en la base del brazo del retrovisor (Figura 6) y será sujeto en la puerta del vehículo (Figura 7).

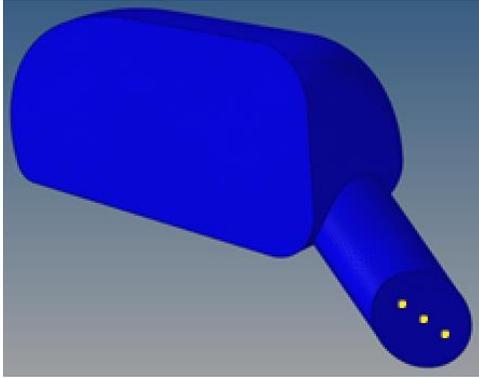


Figura 6. Agujeros para pernos en el brazo del retrovisor.



Figura 7. Ejemplo de sujeción del retrovisor en el vehículo [18].

Manufactura: con la finalidad de permitir la reproducción de los retrovisores, se consideró su viabilidad de manufactura, la cual, necesita contar con un ángulo positivo de desmoldeo (Figura 8) con el afán de que el molde pueda ser reutilizado.

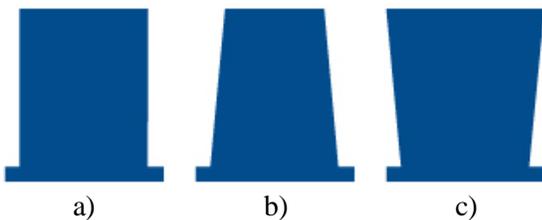


Figura 8. Tipos de ángulo de liberación. a) Sin ángulo, b) ángulo positivo, c) ángulo negativo.

Dimensiones: Sus dimensiones se basaron en las exigencias impuestas en el Reglamento No.46 de la UNECE en el cual establece las medidas mínimas de la superficie reflejante (Figura 9).

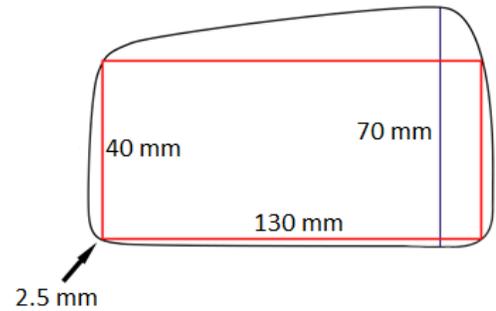


Figura 9. Dimensiones mínimas del retrovisor.

Las dimensiones del brazo de sujeción se determinaron con base en estudios iterativos en donde variando las medidas del gap y ancho de brazo mostradas en la Figura 10 (a), Olsson obtuvo una variación despreciable de Cd; además el ángulo de ataque de la Figura 10 (b) fue analizado con 60° y 70°, ya que, mediante estudio estadístico, Al-Obaidi y Otten obtuvieron los ángulos utilizados en retrovisores de vehículos comerciales.

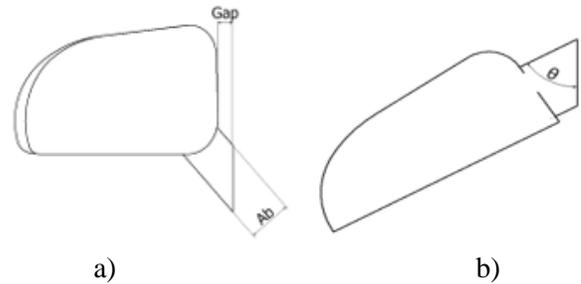


Figura 10. Denominaciones de medidas del retrovisor. a) Gap y ancho de brazo. b) Ángulo de ataque.

Sonido: Este parámetro sirvió para determinar la forma geométrica de la carcasa. Se revisó el estudio de Murukesavan [19], en donde se analizan las fluctuaciones de presión en diferentes geometrías de retrovisores (hemisférica, triangular y mixta) concluyendo que el diseño adecuado para usarse en automóviles de pasajeros es el hemisférico.

Con base en los 5 requisitos analizados se generaron las geometrías a analizar mediante CAD (Figura 11).

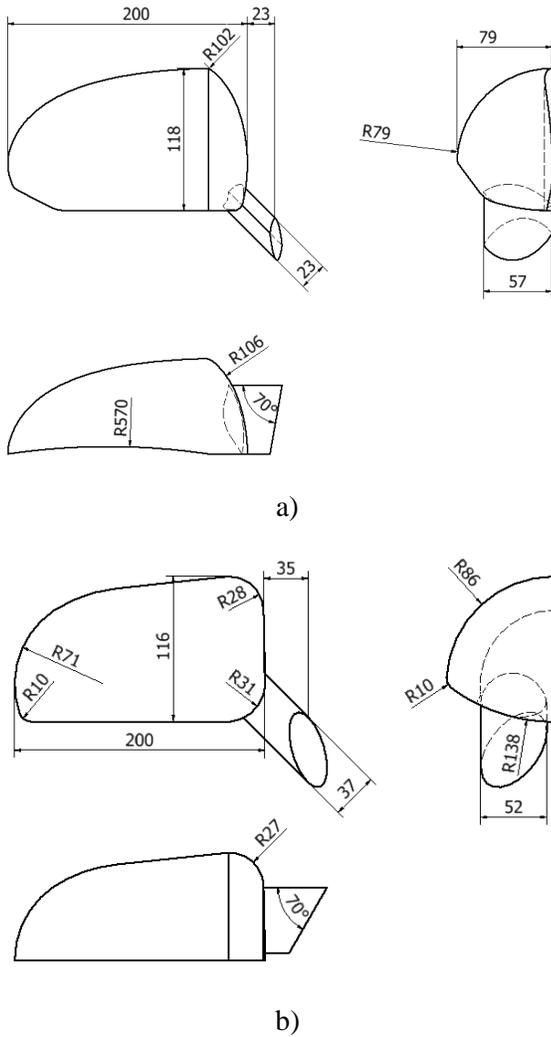


Figura 11. a) Geometría 1. b) Geometría 2.

Uno de los análisis que se realizó a los modelos CAD fue el CFD, para el cual se siguió la secuencia de pasos que son: pre proceso, proceso y post proceso (Figura 12) y se indica en la

Figura 12. Proceso para análisis CFD.

Tabla 6. Proceso para análisis CFD.

Proceso	Pasos
Pre proceso	1. Limpieza de geometría.
	2. Mallado.
	3. Análisis de calidad de la malla.
	4. Asignación de condiciones de frontera.
	5. Exportación del archivo a software CFD.
Proceso	1. Importación de malla.
	2. Designación de materiales.
	3. Condiciones de operación.
	4. Condiciones de contorno.
Post proceso	1. Resultados.

El túnel de viento, según Barlow, debe ser lo suficientemente largo para que las regiones de flujo que se separan al pasar por el retrovisor, se "cierren" antes de encontrar el final del túnel para evitar influencias en los resultados obtenidos (Figura 13) [20] y con condiciones de frontera indicadas en la Tabla 7.

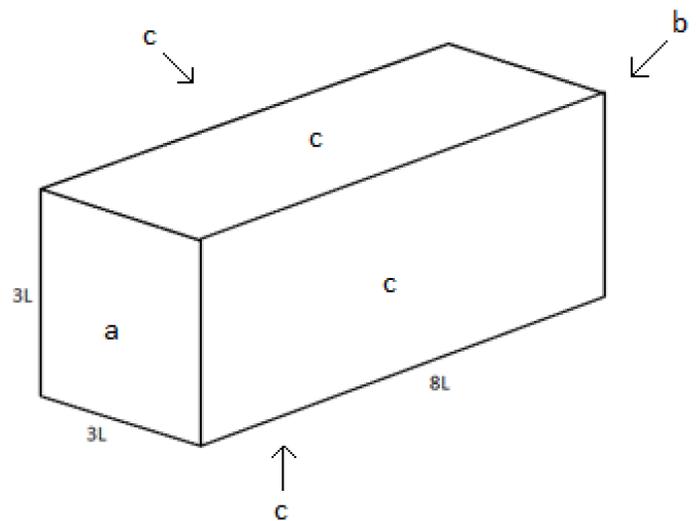


Figura 13. Medidas del túnel de viento (L = longitud del retrovisor).

Tabla 6 [14]:



Tabla 7. Condiciones de frontera del túnel de viento.

Lado del túnel	Condición de frontera
a	Entrada de velocidad
b	Salida de presión
c	Pared

El mallado de las geometrías 2D se lo realizó con elementos triangulares de tamaño 5mm para el cual, el porcentaje de error de resultados será de un máximo del 5 % (Figura 14) [21]. Posteriormente se generó el mallado CFD 3D que duró aproximadamente 4 minutos con un ordenador con las siguientes prestaciones: procesador Intel® Core™ i5-4200U @ 2.3 GHz, sistema operativo Windows 10 Home y memoria RAM de 8 GB para posteriormente ser exportada a software CFD.

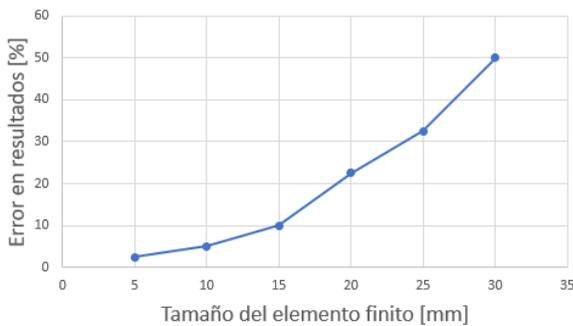


Figura 14. Error en resultados finales según el tamaño de elementos finitos [21].

Para el análisis CFD, como propiedades del fluido (aire) se utilizó la temperatura ambiente a nivel del mar (Standard Atmosphere) establecido por *International Organization for Standardization (ISO)* [22]. Las condiciones de frontera se indican en la Tabla 8, en donde el área frontal del retrovisor se determinó mediante software CAD y el rango de velocidades aplicado fue a partir de 60 km/h hasta 200 Km/h, debido a que según Olsson, el Cd es relevante a partir del límite inferior, ya que sobre este valor, la resistencia aerodinámica es mayor a la resistencia a la rodadura [11]. Se obtendrá como resultados el valor del Cd, los niveles acústicos, la fuerza aerodinámica y el centro de presión del retrovisor.

Tabla 8. Condiciones de frontera.

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad del aire	1.225	kg/m ³
Temperatura	288.16	K
Viscosidad del aire	1.7894 x 10 ⁻⁵	kg/m-s
Área	0.02118	m ²
Velocidad	16.67 – 55.55	m/s

Para culminar con el estudio de los retrovisores se realizó el análisis CAE, para el cual, se siguió el siguiente proceso (Figura 15):

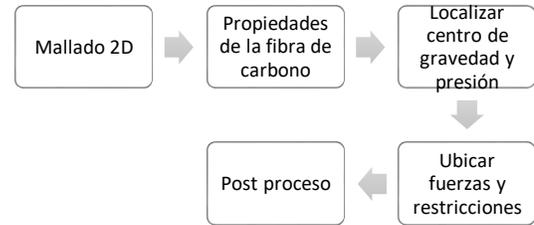


Figura 15. Proceso para análisis CAE.

Utilizando el mallado 2D del análisis CFD, se procedió a ingresar las propiedades mecánicas del compuesto de fibra de carbono en el software, las cuales son: módulo de Young y densidad (considerando el porcentaje de constitución del compuesto siendo 56 % de fibra de carbono y 44 % de resina [16]) para simular la propiedades y condiciones de funcionamiento con las cuales se puede identificar el centro de gravedad del elemento.

A continuación, se ubicó la fuerza aerodinámica en el centro de presión y el peso del retrovisor (suma del peso de la superficie reflejante y del elemento obtenido del software) en el centro de gravedad. Además, se ubicó las restricciones de empotramiento en los puntos de sujeción para obtener los resultados de los esfuerzos máximos y compararlos con la resistencia del compuesto.

Finalmente, para determinar la factibilidad económica de la producción de los retrovisores en fibra de carbono en Ecuador se realizó el análisis financiero que partió del estudio de mercado, teniendo como inicio la recolección de datos, para la cual, se determinó el tamaño de muestra necesario con técnicas de muestreo [23] y se realizaron las encuestas a los pilotos de los vehículos inscritos en la FEDAK.

$$N = \frac{n * z^2 * p * q}{e^2 * (n - 1) + z^2 * p * q} = 167.7 = 168$$

Donde:

n = número de vehículos (450) (FEDAK)

z = estimación estadística (1.96)

p = probabilidad de éxito (0.5)

q = probabilidad de fracaso (0.5)

e = error máximo admisible (6 %)

Obteniendo los siguientes resultados que determinaron aspectos importantes (

Tabla 9) para el estudio de la factibilidad económica.

Tabla 9. Análisis de resultados de la encuesta.

Resultados	Análisis
El 74.07 % de los encuestados utilizan autopartes fabricadas con fibra de carbono en su vehículo.	Determinan la aceptación del producto en el mercado
El 68.52 % de los encuestados comprarían retrovisores de fibra de carbono fabricados en el Ecuador.	
El 62.5 % de los encuestados estaría dispuesto a pagar entre \$150 a \$250 por los retrovisores de fibra de carbono.	Determina el rango de precio de venta de los retrovisores
El 74.07 % de los encuestados cambia de 1 a 2 veces sus retrovisores.	Base para determinar la demanda anual

La demanda anual se calculó con una media de 1.5 veces en que los pilotos reemplazan sus retrovisores al año, obteniendo como resultado una demanda anual de 500 pares de retrovisores.

A continuación, para calcular el PE, VAN y TIR se consideró una inversión de \$ 77 708.79 (tomando en cuenta maquinaria, equipos de oficina, software, entre otros) y se necesitó determinar el precio de venta unitario (PVu) basándose en el rango de precio en que los encuestados adquirirían el producto (

Tabla 9) y el valor del costo de producción de los retrovisores que fue calculado considerando la materia prima, la mano de obra y los cargos indirectos. Se obtuvo como valor de costo de producción de un par de retrovisores de \$ 169.55 donde se lo comparó con el rango que está dispuesto a pagar el cliente y se determinó un PVu de \$250.

Con base en el PVu determinado, se calculó el punto de equilibrio con la aplicación de las siguientes fórmulas [24]:

$$CVu = \frac{CV}{VP}$$

$$PEI = \frac{CF}{1 - \frac{CVu}{PVu}}$$

$$PE = \frac{PEI}{PVU}$$

En donde:

CF = Costos fijos (\$30 000)

CV = Costo Variable (\$51 198.16)

PVu = Precio de venta del producto (\$250)

VP = Volumen de producción (500)

CVu = Costo variable unitario

PEI = Punto de equilibrio de ingresos

El cálculo del VAN y TIR se realizó aplicando la fórmula:

VAN

$$VAN = C0 + \frac{C1}{1+r} + \frac{C2}{(1+r)^2} + \dots$$

En donde:

C0 = Inversión.

C1=Flujo de caja neto año 1.

C2=Flujo de caja neto año 2.

r = Costo de oportunidad del capital.

Y el cálculo del TIR se obtuvo mediante el despeje de “r” cuando el VAN es cero.

Finalmente, se analizaron las cinco fuerzas de Porter para establecer la estrategia de negocio (Tabla 10).

Tabla 10. Fuerzas de Porter.

Amenaza de entrada de nuevos competidores	Importadores que puedan traer productos similares a menor precio.
Amenaza de ingreso de productos sustitutos	Ninguna
Poder de negociación de compradores	Compras al por mayor
Poder de negociación de proveedores	Nuevos importadores de materiales y compras al por mayor
Rivalidad entre competidores	Rivalidad con los importadores de autopartes

Y se propone una oferta competitiva, introducción al mercado por parte de promotores y comercialización directa y a través de redes sociales; teniendo como valor agregado del producto la validación de los retrovisores mediante análisis aerodinámico.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se ilustrarán los resultados CFD (Cd, niveles acústicos, fuerza aerodinámica) y el estudio de prestaciones mecánicas del retrovisor utilizando un

programa de ingeniería asistida CAE (esfuerzos máximos) realizados a las geometrías generadas, además, se presentará la factibilidad económica mediante el análisis financiero para la fabricación de retrovisores en fibra de carbono en Ecuador.

El cálculo del Cd se realizó en ambas geometrías a 60° y 70°, obteniendo los valores indicados en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de Cd en las geometrías.

Ángulo [°]	Cd [-]	
	Geometría 1	Geometría 2
60	0.732	0.676
70	0.734	0.669

La geometría 2, a un ángulo de ataque de 70°, presentó el menor Cd de entre las cuatro iteraciones analizadas con un valor de 0.669, el cual es aproximadamente un 15 % menor al analizado por Ram en su proyecto *Analysis of drag for side mirrors of an automobile* [25]. A partir de este resultado, se continuó con las iteraciones en esta geometría con el rango de velocidades presentado anteriormente (Figura 16).

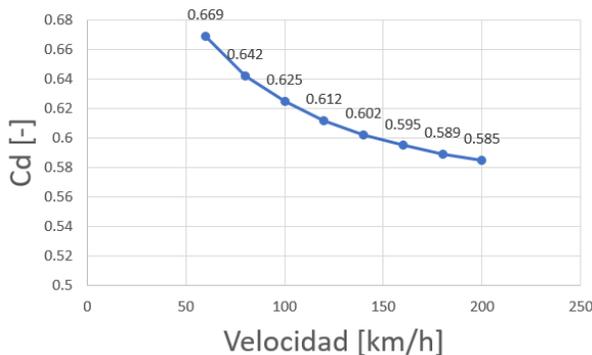


Figura 16. Resultados del Cd de la geometría 2 en rango de velocidades de 60 a 200 km/h.

Obteniendo un Cd promedio de 0.615 ± 0.029 .

En cuanto a los niveles acústicos, el modelo produce un máximo de 117.57 dB a una velocidad de 200 km/h como se indica en la Figura 17, el cual, con respecto al estudio de Wang: *Evaluation of aerodynamic noise generation by a generic side mirror* [26], que obtuvo un nivel acústico máximo de 95 dB a 140 km/h, es 7 % menor al obtenido en este estudio a la misma velocidad, sin embargo, el diseño de su modelo de retrovisor analizado no es el de una geometría comercial, sino, perfectamente hemisférica. Además, Bowes y Hassan realizaron un estudio similar, pero, con un diseño de retrovisor tomado del vehículo Vauxhall Zafira, obteniendo un nivel acústico máximo de

aproximadamente 150 dB a una velocidad similar (144 km/h), siendo un 32 % mayor a los decibeles analizados a 140 km/h en este estudio [27].

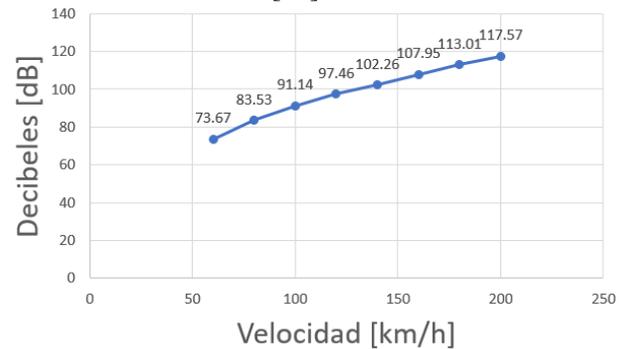


Figura 17. Resultados de niveles acústicos de la geometría 2 en rango de velocidad de 60 a 200 km/h.

Previo al análisis de esfuerzos, se obtuvo la fuerza aerodinámica que influye sobre el retrovisor usando la fórmula [11]:

$$F_A = 0.5 * \rho * v^2 * C_d * A$$

Donde:

ρ = densidad del fluido (1.225 kg/m³)

v = velocidad del fluido (55.55 m/s)

C_d = coeficiente de arrastre (0.585 @ 200 km/h)

A = área frontal del retrovisor (0.02118 m²)

obteniendo un valor de 23.42 N a 200 km/h, en esta velocidad, la fuerza aerodinámica será el límite superior en nuestro rango de estudio, debido a que la velocidad es directamente proporcional a la fuerza aerodinámica.

Una vez obtenida la fuerza aerodinámica, se procedió a realizar el análisis de esfuerzos en el retrovisor con la fuerza aerodinámica ubicada en el centro de presión de la geometría y el peso de los componentes ubicado en el centro de gravedad del modelo, donde se obtuvo un esfuerzo máximo de 108.9 MPa alrededor de la fijación mediante pernos del retrovisor a la puerta del vehículo (Figura 18), comparado este valor con el módulo de Young de la fibra de carbono (140 GPa), es aproximadamente 1 300 veces menor, por lo que existe baja probabilidad de que el retrovisor se fracture por ambas fuerzas.

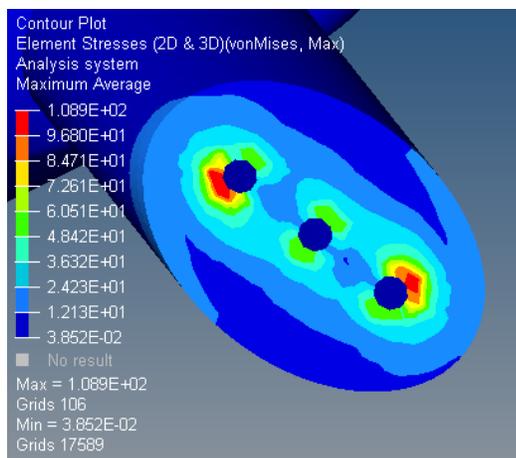


Figura 18. Contornos de esfuerzo máximo en la fijación del retrovisor.

En la Figura 19, se presenta un render, mostrando el diseño y apariencia estética del retrovisor propuesto.



Figura 19. Render del retrovisor.

Finalizada la validación del diseño del retrovisor, se realizó el cálculo de PE, VAN, TIR, obteniendo como resultados los siguientes valores (Tabla 12).

Tabla 12. Resultados de análisis financiero.

VAN	\$47 835.39
TIR	56.88 %
PE	204 ventas

Los cuales son indicadores de que, la utilidad generada por la empresa en cinco años, libre de gastos, es de \$47 835.39. La tasa máxima de retorno de inversión es del 56.88 % y el número de pares de retrovisores mínimos a vender anualmente para que el proyecto se mantenga sin pérdidas es de 204.

IV. CONCLUSIONES

Ya que la producción de autopartes en fibra de carbono en Ecuador es casi nula, en este estudio se determinó la factibilidad técnica y económica para la producción y

comercialización de retrovisores en fibra de carbono dentro del país al considerar los procesos de producción y generar un diseño funcional para el uso en vehículos de competencia, el cual se validó mediante análisis aerodinámico (Tabla 13), de sonido (Tabla 14), de esfuerzos y el peso del componente. Además, a pesar de presentarse una inversión de \$ 77 708.79, con la venta estimada de 500 pares de retrovisores al año, se recuperará la inversión inicial, y en 5 años, se generará una utilidad de \$ 47 835.39 al tener una rentabilidad del 56.88 %.

Tabla 13. Comparación del Cd.

	Ram	Resultados obtenidos
Cd [-] @ 120 km/h	0.717	0.612

Tabla 14. Comparación de niveles acústicos.

	Wang	Bowes	Resultados obtenidos
Decibeles [dB] @ ~140 km/h	~ 95	~ 150	102.26

Al determinar la factibilidad de la producción de retrovisores de fibra de carbono en Ecuador, la industria automotriz nacional podría incursionar en el mercado utilizando como materia prima la fibra de carbono en la fabricación de autopartes.

V. REFERENCIAS

- [1] A. Bindery y J. Bell, «Automotive industry», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/automotive-industry>.
- [2] B. D. Agarwal, L. J. Broutman, y K. Chandrashekhara, *Analysis and Performance of Fiber Composites Third Edition*. 2006.
- [3] D. D. L. Chung, *Carbon Fiber Composites*. 1994.
- [4] A. Kaw, *Mechanics of Composite Material*. 2006.
- [5] H. Petersson, D. Motte, y R. Björnemo, «Carbon fiber composite materials in modern day automotive production lines - A case study», *ASME Int. Mech. Eng. Congr. Expo. Proc.*, vol. 2 A, n.º July 2016, 2013.
- [6] S.-J. Park y S.-Y. Lee, «History and Structure of Carbon Fibers», 2014.

- [7] EAE Bussines School, «El proceso de producción», 2018.
- [8] C. Mejía y R. Guilcapi, *Rediseño e implementación de un asiento de fibra de carbono para el vehículo fórmula SAE de la EIA (ESPOCH) utilizando métodos de elementos finitos y manufacturado por hand lay-up enfocado en reducir la relación peso potencia*. 2017.
- [9] C. Méndez y C. Peñafiel, «Análisis de la eficiencia del atenuador de impacto fabricado con materiales compuestos del vehículo prototipo para competencia en la fórmula SAE.», 2018.
- [10] K. Dietsche, *Manual de la técnica del automóvil*. 2005.
- [11] M. Olsson, «Designing and Optimizing Side-View Mirrors», 2011.
- [12] A. S. M. Al-Obaidi, S. L. Shen Ai, y L. C. Hong, «Effect of size and shape of side mirrors on the drag of a personal vehicle», *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 13, n.º Special Issue on the seventh eureka 2016, pp. 13-26, 2018.
- [13] Wikipedia, «Drag Coefficient». [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient.
- [14] R. Rockwood y E. Cumbe, «Simulación Aerodinámica de un Vehículo Toyota Corolla 2005 en un Programa de Dinámica de Fluidos Computacional -CFD-», Universidad del Azuay, 2009.
- [15] M. Porter, «Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia», 2008.
- [16] Toray Composites, «Toray Composites», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://toraycma.com/>.
- [17] EasyComposites, «Prepreg Materials», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://easycomposites.co.uk/#!/prepreg/>.
- [18] RX7 FD Specialist, «RX7 FD Specialist», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.facebook.com/marcus.mazda/photos/pb.1724160414376593/1724160314376603/?type=3&theater>.
- [19] P. Murukesavan, M. A. N. Mu'Tasim, y I. M. Sahat, «Computational Analysis of an effect of aerodynamic pressure on the side view mirror geometry», 2013.
- [20] J. B. Barlow, W. H. Rae, y A. Pope, «Low-Speed Wind Tunnel Testing», 1999.
- [21] EnterFEA, «Correct mesh size – a quick guide!», 2017. [En línea]. Disponible en: <https://enterfea.com/correct-mesh-size-quick-guide/>.
- [22] ISO, «Standard Atmosphere», 1975.
- [23] W. Cochran, *Sampling Techniques*, 3.ª ed. 1977.
- [24] R. Brealey, S. Myers, y F. Allen, *Principios de Finanzas Corporativas*. 2015.
- [25] A. Ram, «Analysis of drag for side mirrors of an automobile». 2019.
- [26] Y. Wang, Z. Gu, W. Li, y X. Lin, «Evaluation of aerodynamic noise generation by a generic side mirror», *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 37, n.º 1, pp. 1288-1295, 2010.
- [27] A. J. Bowes y R. Hasan, «A Computational Analysis of Flow and Acoustics around a Car Wing Mirror», *Lect. Notes Eng. Comput. Sci.*, vol. 2220, pp. 1052-1057, 2015.