



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

“Selección de materiales sostenibles para aplicación en un guardafango vehicular”

Realizado por:

Ing. Pablo Rolando Salazar Martínez

Director del proyecto:

Javier Martínez Gómez PhD.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Pablo Rolando Salazar Martínez ecuatoriano con cédula de ciudadanía número 0603365644, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



Ing. Pablo Rolando Salazar Martínez

C.C.: 060336564-4

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos



Javier Martínez Gómez PhD.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN
GUARDAFANGO VEHICULAR

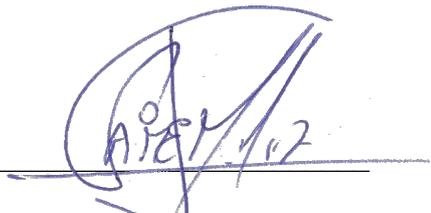
LOS PROFESORES INFORMANTES:

Michel Eduardo Vargas Vallejo PhD

Mgs, Jaime Vinicio Molina Osejos

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa
oral ante el tribunal examinador.

Michel Vargas PhD.



Mgs. Jaime Molina

Quito, 21 de octubre de 2022

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN
GUARDAFANGO VEHICULAR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



Ing. Pablo Rolando Salazar Martínez

C.C.: 060336564-4

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

DEDICATORIA

La vida de cada uno de nosotros se compone de caminos para llegar a una cima, pero la vida no es el hecho que llegues arriba y estés allí, si no que el éxito se compone del sacrificio que has hecho en el camino para ser cada día mejor, culminar esta maestría es uno de ellos.

Dedicarle el trabajo a Dios, al gran ser que permite que sucedan todo. A mi madre por siempre ser un apoyo incondicional en mi vida, a mi esposa Ruth y a mis hijos Ian e Inna por día a día ser la luz, mi aliciente y mi base para seguir adelante en todo lo propuesto.

Ing. Pablo R. Salazar M.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Índice de Contenido

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE	5
Índice de Contenido.....	7
Índice de Figuras	11
Índice de Tablas.....	14
Resumen	16
Palabras Clave	17
Abstract.....	18
1. Introducción.....	20
2. Objetivos.....	24
2.1 Objetivo Principal	24
2.2 Objetivos Específicos.....	24
3. Justificación	25
4. Estado del arte	26
4.1 Guardafango automotriz.....	26
4.2 Funciones del guardafango.....	29
4.3 Clasificación de los guardafangos.....	30
4.3.1 Guardafangos completos	30
4.3.2 Guardafangos semi completos.....	31
4.4 Materiales de los guardafangos convencionales.....	32
4.4.1 Aceros para elementos de carrocerías	33
4.4.2 Automóvil con mayor número de ventas en Ecuador entre el año 2018 y 2021.	36
4.4.3 Aspectos Ambientales	39
4.5 Materiales Bio compuestos	43
4.5.1 Aplicación de los materiales Bio compuestos	45

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

4.6	Fibras Naturales.....	47
4.6.1	¿Qué son las fibras naturales?	47
4.6.2	Aplicaciones de fibras naturales	49
4.7	Materiales Sostenibles.....	55
4.7.1	Fibras de refuerzo natural.....	55
4.7.2	El lino	56
4.7.3	El Cñamo	57
4.7.4	El Sisal.....	61
5.7.2	El Banano	63
5.7.3	El Yute.....	65
5.7.4	El Coco	67
5.8	Material matriz.....	71
5.8.2	Materiales termo plásticos y termo estables	72
5.8.3	Base polimérica	73
5.8.4	¿Por qué el uso del Polipropileno (PP), como material base para compuestos de fibra natural?.....	76
5.9	Efecto de la orientación de fibras naturales mezcladas con polipropileno sobre las propiedades mecánicas del compuesto.....	77
5.10	Métodos de selección multicriterio y toma de decisiones.....	77
5.10.1	Aplicación de selección de materiales sostenibles a partir de los métodos de decisión multicriterio.....	80
5.10.2	Teoría del método de ponderación de la entropía (EWM)	81
5.10.3	Teoría del método COPRAS	82
5.10.4	Teoría del método VIKOR	82
5.10.5	Teoría del método ARAS	83
5.10.6	Teoría del método MOORA	84
5.11	Coefficiente de correlación Spearman (ρ).....	84
5.11.1	Interpretación de la correlación Spearman	84
5.11.2	Escalas de interpretación del coeficiente de correlación Spearman	85
5.12	Latin NCAP.....	86
5.12.1	Objetivos de la Latin NCAP	86
5.12.2	Velocidades de las pruebas de impacto realizadas por NCAP	87

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

5.13	Uso de Software especializado.....	87
5.13.1	Información de datos de materiales con Granta CES EduPack 2019 versión 19.2	87
5.13.2	Análisis FEA, simulación de impacto, por ALTAIR Radioss 2019.....	89
6	Metodología	93
6.10	Obtención de propiedades del material sostenible con Software CES EduPack,	
Nivel 3 – Eco Design		94
6.10.1	Pasos para la creación de un material a partir de la herramienta Synthesizer.	95
6.11	Métodos multicriterio, pasos para la selección de mejor material	102
6.11.1	Método de ponderación de la entropía (EWM).....	104
6.11.2	Método COPRAS	106
6.11.3	Método VIKOR	107
6.11.4	Método ARAS	110
6.11.5	Método MOORA.....	112
6.12	Pasos para Cálculo de la correlación Rho Spearman	113
6.13	Diseño CAD de la geometría para la simulación de impacto de guardafango vehicular.	114
6.14	Pasos para el uso de software de impacto, Altair Radioss	116
7.	Resultados.....	142
7.1	Resultado de la Obtención de propiedades del material sostenible con Software CES EduPack, Nivel 3 – Eco Design	142
7.2	Resultados de los Métodos de Selección Multicriterio	143
7.2.1	Resultado del método de ponderación de la entropía (EWM).....	143
7.2.2	Resultado del desarrollo del método COPRAS.....	144
7.2.3	Resultado del desarrollo del método VIKOR.....	144
7.2.4	Resultado del desarrollo del método ARAS.....	145
7.2.5	Resultado del Desarrollo del método MOORA.....	146
7.2.6	Conclusiones de resultados de los métodos de selección multicriterio.	146
7.3	Resultados del cálculo del coeficiente de correlación de Spearman	150
7.3.1	Interpretación del valor del coeficiente de correlación de Spearman.....	150

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

7.4	Resultados del análisis de impacto de un guardafango a través del programa	
	HyperMesh 2019, módulo Radioss 2019	151
7.4.1	Resultado de deformación por desplazamiento	152
7.4.2	Resultado de falla por esfuerzo plástico	153
7.4.3	Resultado de falla de energía específica del material.....	153
7.4.4	Resultado de falla por esfuerzo de Von Mises	154
7.4.5	Evaluación y criterio de los resultados obtenidos del impacto del guardafango con material original y material sostenible a través del uso de software Radioss.	155
	Conclusiones.....	163
	Recomendaciones	165
	Referencias bibliográficas	167
	ANEXOS	180

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Guardafango, capó y parachoques frontal, Porsche Motorsport 718 Cayman GT4 CS MR hecho de fibra de material sostenible.</i>	27
Figura 2 <i>Guardafango frontal izquierdo en Porsche Motorsport 718 Cayman GT4 CS MR hecho de fibra de material sostenible</i>	28
Figura 3 <i>Guardafango Frontal, Chevrolet Tahoe 2020.</i>	29
Figura 4 <i>Clasificación de los guardafangos, por su forma y por material.</i>	30
Figura 5 <i>Guardafango completo, frontal derecho, Dodge Plymouth.</i>	31
Figura 6 <i>Guardafango semi completo, frontal izquierdo, Chevrolet Sail 2018.</i>	32
Figura 7 <i>Clases de aceros utilizados en carrocerías.</i>	34
Figura 8 <i>Estructura del Chevrolet Sail 2018.</i>	36
Figura 9 <i>Diferentes clases de acero de la carrocería Chevrolet Sail 2018.</i>	37
Figura 10 <i>Aspectos ambientales KIA, flujo de entrada y salida de materiales.</i>	40
Figura 11 <i>Plásticos respetuosos con el medio ambiente presentado por Grey Italia y Volvo Car Italia.</i>	42
Figura 12 <i>Clasificación de las fibras naturales.</i>	48
Figura 13 <i>Ingresos de los compuestos de fibra natural por aplicación 2016.</i>	51
Figura 14 <i>Distribución y utilización de la fibra</i>	52
Figura 15 <i>Principales países productores de fibras naturales.</i>	53
Figura 16 <i>Producción mundial de fibras vegetales, excluido el algodón, de 1961 a 2019.</i> 53	
Figura 17 <i>Acrodur® aglutinante sin formaldehído de base acuosa, aplicaciones automotrices.</i>	55
Figura 18 <i>Cosecha de plantas de lino.</i>	57
Figura 19 <i>Plantas de cáñamo.</i>	58

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 20 <i>Componentes fabricados a partir de materias primas renovables y material secundario.</i>	59
Figura 21 <i>Planta de Sisal.</i>	61
Figura 22 <i>Cuerdas de Sisal, para uso pesquero.</i>	62
Figura 23 <i>Transformación de la fibra de banano para usos industria automotriz.</i>	63
Figura 24 <i>Fibras de banano extraídas por procesos de presión de la empresa Inpadesa.</i> ..	65
Figura 25 <i>Plantas de yute.</i>	66
Figura 26 <i>Bolsas de Yute con estampados.</i>	67
Figura 27 <i>Fibras de la parte externa del fruto de coco.</i>	68
Figura 28 <i>Cojines de asiento de fibra de coco para automóviles Mercedes Benz.</i>	69
Figura 29 <i>Geo manto de fibra de coco para control de erosión.</i>	70
Figura 30 <i>Clasificación de los materiales matriz poliméricos.</i>	71
Figura 31 <i>Clasificación de los Bioplásticos.</i>	74
Figura 32 <i>Capacidad de producción global de bioplásticos en 2020, volumen total 2.11 millones de toneladas.</i>	75
Figura 33 <i>Captura de pantalla del universo de materiales en Software CES EduPack.</i>	88
Figura 34 <i>Captura de pantalla de ingreso al programa HyperMesh y selección del módulo Radioss.</i>	91
Figura 35 <i>Selección Nivel 3 Eco Design, nivel avanzado.</i>	94
Figura 36 <i>Orientación de las fibras de material compuesto.</i>	95
Figura 37 <i>Selección de herramienta Synthesizer.</i>	96
Figura 38 <i>Selección de la opción Compuestos (fibras y partículas), Software CES EduPack.</i>	96
Figura 39 <i>Menú opciones fibra continua.</i>	97
Figura 40 <i>Opciones de fibras naturales disponibles CES EduPack 2019.</i>	98

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 41 *Opciones de matriz termoplástica disponibles en las opciones PP*

(Polipropileno), CES EduPack 2019. 99

Figura 42 *Registro de pantalla propiedades de fibra creada. 100*

Figura 43 *Propiedades creadas a partir del uso de CES EduPack. 101*

Figura 44 *Collage de fotografías, diferentes vistas para modelado 3D, guardafango*

Chevrolet Sail 115

Figura 45 *Medidas reales en milímetros del guardafango Chevrolet Sail 2018. 116*

Figura 46 *Gráfico de resultados. 147*

Figura 47 *Capó BMW M4 GT4 2022. 149*

Figura 48 *Faldón delantero Mercedes Benz AMG GT4 2022. 149*

Figura 49 *Curvas de resultados de los métodos de selección multicriterio 151*

Figura 50 *Desplazamiento (unidad, milímetros). 152*

Figura 51 *Esfuerzo plástico (unidad MPa). 153*

Figura 52 *Energía específica (unidad mJ). 154*

Figura 53 *Esfuerzos máximos y mínimos del impacto de guardafango por Von Mises. ... 155*

Figura 54 *Gráfica Energías al momento del impacto y gráfica del esfuerzo de Von Mises*

del guardafango compuesto por material sostenible (Cáñamo 50% y polipropileno 50%). 160

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Ventajas y desventajas del uso de acero y plástico</i>	33
Tabla 2 <i>Propiedades del Acero Dulce - Mild Steel</i>	39
Tabla 3 <i>Propiedades mecánicas en matriz en PP, de algunos compuestos Reforzados con fibras naturales</i>	77
Tabla 4 <i>Valor de Correlación Spearman según Escala 2</i>	85
Tabla 5 <i>Valor de Correlación Spearman según Escala 3</i>	86
Tabla 6 <i>Valor de Correlación Spearman según Escala 4</i>	86
Tabla 7 <i>Información de los niveles de las bases de datos CES EduPack</i>	89
Tabla 8 <i>Propiedades que se pueden obtener del software CES EDU Pack conjunto con los criterios beneficiosos y no beneficiosos a utilizar en los métodos de selección multicriterio</i>	102
Tabla 9 <i>Valores de propiedades de los materiales sintetizados en el CES EduPack</i>	104
Tabla 10 <i>Formato de datos para el cálculo Spearman</i>	114
Tabla 11 <i>Pasos para la simulación de impacto, con capturas de pantalla</i>	117
Tabla 12 <i>Resumen de datos ingresados al software Radioss para las simulaciones de material original y material sostenible</i>	141
Tabla 13 <i>Resumen de los valores de las propiedades obtenidas con Software CES EduPack, fibra de las fibras naturales al 50% y PP 50% de base polimérica de impacto retardante de llama</i>	142
Tabla 14 <i>Resultado de la ponderación por método de la entropía</i>	143
Tabla 15 <i>Resultado del índice de rendimiento por el método COPRAS</i>	144
Tabla 16 <i>Resultado del índice de rendimiento superior VIKOR</i>	145
Tabla 17 <i>Resultado del mayor valor entre la función optima y el grado de utilidad del método ARAS</i>	145

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Tabla 18 <i>Resultado del mayor valor entre propiedades del método MOORA.</i>	146
Tabla 19 <i>Resumen de los resultados del uso de los métodos.</i>	147
Tabla 20 <i>Matriz de resultados, comparación de correlación entre métodos de selección multicriterio.</i>	150
Tabla 21 <i>Valores Máximos y mínimos de los resultados de simulación con el módulo Radioss del programa HyperMesh a 64 km/h de dos materiales aplicados a un guardafango vehicular.</i>	156
Tabla 22 <i>Resultados de simulación con diferentes Time Step</i>	162

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Resumen

La selección de materiales sostenibles para aplicación en un guardafango vehicular tiene como necesidad la búsqueda de materiales alternativos para la manufactura de un guardafango, dicho elemento no solo se podría construir con materiales tradicionales como el acero, sino más bien por uno que provenga de la naturaleza. Se procedió a escoger materiales sostenibles, priorizando materia prima de cultivo y producción ecuatoriana; a través del software CES EduPack, 2019 versión 19.2, usando el sintetizador se obtuvo diferentes propiedades, como las monetarias, físicas, mecánicas y ecológicas de las fibras naturales, así como, el material base o matriz de polipropileno retardante de llama.

Obtenidos los datos de las propiedades de materiales sintetizados, se estableció una ponderación de criterio por pesos a través del método de la entropía EWM, luego se estableció los criterios beneficiosos y no beneficiosos, empleando los métodos de selección multicriterio como COPRAS, VIKOR, ARAS y MOORA, del ranking de las alternativas la mejor opción para material sostenible es la fibra natural compuesta por cáñamo al 50% en peso y una base de matriz de polipropileno también al 50% en peso como aglutinante. Se verificó si existe correlación entre los datos obtenidos utilizando rho de Spearman; con el uso de software CAD, se bosquejó el guardafango izquierdo de un vehículo modelo Chevrolet Sail 2018, para la simulación de impacto se utilizó el software HyperMesh y módulo Radioss versión 2019 de la compañía Altair Engineering, implementándose las condiciones de impacto, principalmente la velocidad que según la Latin NCAP para choque frontal es 64 km/h. Además, se realizó simulaciones comparando los resultados de impacto con las propiedades del material del guardafango original acero dulce (mild steel) y con el material de fibra de cáñamo y matriz polipropileno (50%-50%), porcentaje en peso. De los resultados de la simulación de impacto, se pudo observar que la deformación por desplazamiento para el material original acero dulce (mild steel) es 129.6 mm, el

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

material sostenible se deforma a los 128.6 mm, el material original sobrepasa al material compuesto en 0.77%. El esfuerzo plástico máximo del material original, acero dulce se produce a los 0.3068 MPa, este material sobrepasa en un 51.01%, al valor de esfuerzo plástico del material sostenible que es de 0.1503 MPa. La energía específica del material original, acero dulce es menor al momento del impacto con un valor de a los 1.408 E+10 mJ, siendo este valor un 14.56% menos que el guardafango con material compuesto por fibra de cáñamo al 50% y 50% en matriz de base polipropileno PP, con 1.613 E+10 mJ. El esfuerzo máximo de Von Mises para el material original, acero dulce (mild steel), mostró que este soporta de mejor manera el impacto, siendo este igual al esfuerzo principal con un valor máximo de 305 MPa, el material compuesto por fibra de cáñamo al 50% y 50% en matriz de base polipropileno PP, es 63.61% menor en resistencia, obteniendo un valor de 111 MPa, equivalente al esfuerzo principal del material sostenible.

Para la validez de los resultados se observaron las curvas de absorción de energía durante el lapso de la simulación, donde la energía total se mantuvo constante, la energía cinética del movimiento del guardafango a los 64 km/h decreció y la energía interna aumentó, porque el elemento guardafango absorbió la energía, además se comprobó que el factor de seguridad del material compuesto por fibra natural y matriz base polipropileno es igual a la unidad, también se realizó simulaciones con diferentes lapsos (time step) e indicaron que la deformación por desplazamiento es diferente con la prolongación de tiempo del impacto y una similitud de los resultados obtenidos en esfuerzo plástico, energía específica y esfuerzos de Von Mises, lo cual corrobora los resultados obtenidos.

Palabras Clave

Material sostenible, guardafango, material de refuerzo compuesto con fibra natural, CES EduPack, métodos de selección multicriterio, toma de decisiones, método COPRAS,

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

VIKOR, ARAS, MOORA, correlación Spearman, simulación, impacto, Altair HyperMesh, Radioss.

Abstract

The selection of sustainable materials for application in a vehicular fender has as a necessity the search for alternative materials for the manufacture of a fender, such element could not only be built with traditional materials such as steel, but rather by one that comes from nature. We proceeded to choose sustainable materials, prioritizing raw material of Ecuadorian cultivation and production; through the CES EduPack software, 2019 version 19.2, using the synthesizer we obtained different properties, such as monetary, physical, mechanical and ecological properties of natural fibers, as well as the base material or flame-retardant polypropylene matrix. Once the data of the properties of the synthesized materials were obtained, a weighting of criteria by weights was established through the EWM entropy method, then the beneficial and non-beneficial criteria were established, using multi-criteria selection methods such as COPRAS, VIKOR, ARAS and MOORA. From the ranking of the alternatives, the best option for sustainable material is the natural fiber composed of hemp at 50% by weight and a polypropylene matrix base also at 50% by weight as binder. It was verified if there is correlation between the data obtained using Spearman's rho; with the use of CAD software, the left fender of a Chevrolet Sail 2018 model vehicle was sketched, for the impact simulation the HyperMesh software and Radioss module version 2019 of the company Altair Engineering were used, implementing the impact conditions, mainly the speed that according to Latin NCAP for frontal crash is 64 km/h. In addition, simulations were performed comparing the impact results with the properties of the original mild steel fender material and with the hemp fiber material and polypropylene matrix (50%-50%), percentage by weight. From the results of the impact simulation, it could be observed that the displacement deformation for the original mild

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

steel material is 129.6 mm, the sustainable material deforms at 128.6 mm, the original material exceeds the composite material by 0.77%.

The maximum plastic stress of the original material, mild steel, occurs at 0.3068 MPa, this material exceeds the plastic stress value of the sustainable material by 51.01%, which is 0.1503 MPa. The specific energy of the original material, mild steel, is lower at the moment of impact with a value of 1.408 E+10 mJ, being this value 14.56% less than the fender with material composed of 50% hemp fiber and 50% in PP polypropylene-based matrix, with 1.613 E+10 mJ. The maximum Von Mises stress for the original material, mild steel, showed that it supports the impact in a better way, being equal to the main stress with a maximum value of 305 MPa, the material composed of 50% hemp fiber and 50% in PP polypropylene-based matrix, is 63.61% lower in resistance, obtaining a value of 111 MPa, equivalent to the main stress of the sustainable material.

For the validity of the results, the energy absorption curves were observed during the simulation period, where the total energy remained constant, the kinetic energy of the fender movement at 64 km/h decreased and the internal energy increased, because the fender element absorbed the energy, and it was also proved that the safety factor of the material composed of natural fiber and polypropylene-based matrix is equal to unity, Simulations were also carried out with different time steps and indicated that the deformation by displacement is different with the prolongation of the impact time and a similarity of the results obtained in plastic stress, specific energy and Von Mises stresses, which corroborates the results obtained.

Key words.

Sustainable material, fender, natural fiber composite reinforcement material, CES EduPack, multi-criteria selection methods decision making, COPRAS, VIKOR method, ARAS, MOORA, Spearman correlation, simulation, impact, Altair HyperMesh, Radioss.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

1. Introducción

A lo largo de la historia las herramientas y elementos que ha creado el hombre han sido de gran ayuda para a su vez intervenir en diferentes procesos creativos, entonces hablamos que dichos elementos son hechos de materiales específicos, la tecnología implementada en ellos tiene relación directa con el conjunto de técnicas utilizadas para hallar el mejor material para una u otra aplicación, si bien es cierto el hombre ha venido consumiendo recursos como el hierro, el cobre, aluminio, y otros materiales que se adquieren del manto terrestre y son preparados, procesados y mezclados químicamente para tomar nuevas características pero siempre partiendo de recursos minerales que provee la naturaleza. Entonces, por distintos procesos de manufactura y a través de la revolución industrial, la materia prima se transforma, en una gran variedad de elementos y herramientas útiles, se debe comprender que esta materia prima no constituye un recurso infinito, y que el impacto que se produce en el medio ambiente para extraerlas y explotarlas se ve plasmado en factores climáticos, sociales, energéticos, ambientales (Ashby, Background: Materials, Energy and Sustainability, 2016).

A nivel mundial los fabricantes de autos de distintas marcas utilizan un sin número de fibras sintéticas para la producción de las unidades, en las diferentes partes que conforman un vehículo, los materiales sostenibles pueden ayudar a reforzar e incluso reemplazar a los materiales convencionales para mejorar las propiedades mecánicas y ecológicas, mejorando las características biodegradables de los elementos (Khan y otros, 2020). Entonces, se debe pensar en la posibilidad de usar otros materiales que cumplan características y propiedades similares o superiores a los convencionales, hablamos de utilización de materiales sostenibles. ¿Qué es un material sostenible?, según (Fernández, 2016) considera que un material es sostenible, cuando cumple cuatro características

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

básicas: 1. Que provenga de la naturaleza, 2. Debe ser saludable para los humanos, 3. Debe durar con el transcurrir el tiempo y 4. Que sean de procedencia local en el país.

A medida que va incrementando la población también lo hacen los vehículos (Gómez y Noroña, 2018), se debe priorizar la optimización y rendimiento del ciclo de vida de las partes y elementos que conforman un automóvil, pensar en la seguridad que debe brindar cierto elemento, asegurar el mundo que dejaremos a las futuras generaciones, el aire que respiraremos en el futuro y que la explotación de materias primas que provienen de la corteza terrestre se vea menormente impactadas y consumidas al no utilizar los métodos tradicionales de extracción de fuentes minerales o fósiles, y entonces ser reemplazados, por materiales sostenibles.

El término "Sostenibilidad" es un término que aparece en el Reporte de la comisión mundial de medio ambiente y desarrollo de las Naciones Unidas (United Nations, 1988) donde se refirieron al consumo de manera responsable de aquella época y del aseguramiento de los recursos necesarios para el futuro, es decir un desarrollo sostenible esto sería entonces una forma de vida que nos hace pasar de un estado menos sostenible hacia uno más sostenible, el cual abarca tres dimensiones, que pueden resumirse como las "3P": Prosperidad, Personas y Planeta. La Sostenibilidad significa (Ashby, What is a "Sustainable Development"?, 2016) conservar los materiales y recursos, ahorrar energía, el uso eficiente de los mismos, es la administración del medio ambiente, el estado de derecho, la igualdad social y lo que conlleve a los derechos humanos de los trabajadores que exploten a la tierra.

La definición de Desarrollo Sostenible según (WCED, 1987) es:

“... El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (...)”.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

(Ghassemieh, 2011), indicó que cualquier material que se pueda incluir para ser probado y aprobado en la industria automotriz, debe cumplir varios criterios técnicos de ingeniería que tienen relación con las legislaciones y normas de cada país u organizaciones que manejan criterios de seguridad, medioambientales, ligereza y fortaleza de los materiales, sin embargo estos mismo criterios pueden cada uno traducirse en un elevado costo al momento del proceso de fabricación, la evaluación del coste de un nuevo material es importante en vista que indicará si este se puede ocupar en grandes masas para su implementación, Además del criterio legal y del ingenieril el tercero más importante es la resistencia al impacto, esta propiedad mecánica en los automóviles se define como la capacidad de un material para absorber energía con un fallo controlado y una descomposición gradual cuando haya sido sometido a un impacto además, la deformación, rigidez, el porcentaje de alargamiento y la tensión de rotura son propiedades fundamentales para verificar en el comportamiento del material y su deformación.

La industria y los gobiernos se encuentran en la lucha contra el cambio climático, se dice que el automovilismo está desempeñando un papel crucial como banco de pruebas para las tecnologías sostenibles (Nehls, 2020). La industria del automovilismo permite que los productos se comercialicen y se prueben nuevos diseños y materiales en periodos de tiempo extremadamente cortos y luego, una vez probados, estas tecnologías se pueden aplicar a mercados verticales de alto volumen, incluidos los automotrices, aeroespaciales y marinos.

En los procesos de construcción industriales se ven introducido un cúmulo de gases contaminantes que se transmiten hacia la atmosfera, el efecto con mayor perjuicio al ambiente en el que nos encontramos es el calentamiento global que viene progresivamente dándose en nuestro mundo, por la acción de los gases de efecto invernadero provocado por la polución de las industrias (Salazar y Villacrés, 2014).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

El presente trabajo de investigación en una primera etapa realizará una selección de materiales sostenibles y además que se encuentre en nuestro país, el cual es un recurso que muestra la importancia de la mejor selección para un material, la tesis trata sobre la mezcla o mixtura que se puede dar al material termoplástico con un material sostenible, se obtendrán las propiedades de los materiales de diferentes investigaciones científicas y a partir de los documentos seleccionados se coligen estudios previos desarrollados de materiales sostenibles, también de documentos de materiales utilizados en la industria automotriz, de experiencias de varios autores acerca de la composición y reforzamiento con fibras naturales.

Las partes externas del vehículo están sujetas diariamente al agrietamiento por tensión (stress cracking) medioambiental, condiciones de temperatura alta y baja, golpes laterales y frontales o lo que se traduce en mecánica como esfuerzos de compresión y esfuerzo de flexión y pandeo (Bhalla, 2018). El material por seleccionar debe entonces elegirse en función de mantener las más altas características de estos dos tipos de esfuerzo. Se realiza el uso de software CES EduPack 2019 versión 19.2, una vez obtenidos los atributos de los materiales sostenibles se realiza una toma de decisiones multicriterio para la selección del material.

Con el uso del método jerárquico de procesos se podrá ponderar cual es el posible mejor material para la selección según las características mecánicas requeridas para un guardafango automotriz. Con el uso de artilugios matemáticos se utilizan los métodos de selección multicriterio (MCDM), se establecen las mejores opciones y se obtiene resultados con varios métodos de selección multicriterio, una vez obtenidos los valores se establece una correlación tipo Spearman para verificar que el resultado obtenido es el adecuado.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Luego de obtener la selección de mejor material sostenible, se toman las herramientas de dibujo CAD en el software Autodesk Inventor, donde se diseña el guardafango, con medidas reales y una vez esbozado el elemento se podrá dar uso del software Hypermesh y el módulo Radioss de la compañía Altair Engineering, para verificar que tanto el material original como el material compuesto (material sostenible con base en matriz polipropileno) seleccionado cumplan con parámetros e integridad de fabricación del elemento. Se atribuye entonces una importancia en el desarrollo del estudio de selección y simulación de materiales sostenibles para aplicación en guardafango vehicular, visto que se desea investigar tanto la selección de un material sostenible de procedencia nacional, para su correcta categorización. Dando así solución para aplicaciones futuras en la fabricación y procesos de manufactura que se puedan desarrollar en el Ecuador transmitiendo los resultados para valoraciones de futuras investigaciones o aportes a la industria.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Principal

Seleccionar materiales sostenibles para aplicación en un guardafango vehicular.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar una investigación de materiales sostenibles de procedencia local, adecuados que puedan servir para refuerzos de un guardafango automotriz.
- Utilizar las propiedades y características de materiales sostenibles con el uso de software CES EduPack, para desarrollar una matriz de decisión.
- Seleccionar a partir de los métodos multicriterio el mejor material sostenible tomando en cuenta los criterios y metodología para la aplicación.
- Simular el comportamiento de material compuesto aplicado a guardafango automotriz.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

3. Justificación

El presente trabajo parte del pensamiento y necesidad que para la estructuración del diseño de materiales para manufactura de los elementos externos que conforman un vehículo, y como referencia el guardafango, este no solo podría realizarse con materiales tradicionales, sino más bien se plantea el uso de una fibra natural como refuerzo, ya que esta puede ser extraída a partir de la siembra y cultivo de plantas que al unirse con un material matriz llegarían a obtener propiedades mecánicas similares e incluso superiores a las que actualmente se construyen y así lograr una manufactura sostenible, mejorando calidad de vida de productores agrícolas y costes industriales.

La necesidad de encontrar una alternativa sostenible para reemplazar a algunos materiales utilizados en la carrocería de los autos ha contribuido con el desarrollo de nuevos materiales es decir hoy en día los fabricantes de piezas y partes piensan en pasar de las fibras artificiales utilizadas convencionalmente a los compuestos de refuerzo de fibra natural.

Antiguamente las fibras de refuerzo únicamente se limitaban a la fabricación de piezas no estructurales; sin embargo, con la intensa investigación y varios estudios desarrollados en la utilización de fibras naturales de refuerzo, se ha introducido en más piezas estructurales, en exteriores y en interiores, las fibras vegetales son la principal clase de fibras naturales utilizadas en la automoción, debido a sus altas propiedades específicas, además de un alto aislamiento térmico y acústico. La historia de la adopción de materiales de los Compuestos de Fibra Natural conocido por sus siglas en inglés como NFC que en inglés significa Natural Fiber Composites, van desde el coche de cáñamo de Henry Ford en 1930 (Infobae, 2020) hasta los paneles de asientos interiores de lino de la marca de automóviles sueca Polestar (Polestar, 2020).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

En el estudio de selección del presente trabajo para la búsqueda del mejor material sostenible, se utiliza los métodos multicriterio con el fin de encontrar las mejores propiedades mecánicas de las fibras naturales la cual contribuya al desarrollo de un nuevo material, para que a futuro fabricantes de piezas o partes puedan pasar de utilizar una fibra artificial a una fibra natural. Se presenta también el análisis de impacto simulando las condiciones de las propiedades del material original y del mejor material compuesto por fibra natural de refuerzo con polipropileno, para efectos de observar el comportamiento de este, se presenta los datos técnicos incluidas las fibras naturales y del material matriz.

4. Estado del arte

4.1 Guardafango automotriz

Los guardafangos automotrices (Davies, 2012) son una parte externa de los vehículos, este elemento enmarca cada una de las cuatro ruedas de un automóvil y evita la presencia de sustancias duras y pegajosas como barro, arena, rocas, etc., como se observa en la *Figura 1* y *Figura 2*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 1

Guardafango, capó y parachoques frontal, Porsche Motorsport 718 Cayman GT4 CS MR hecho de fibra de material sostenible.



Nota: Adaptado de Guardafango, capó y parachoques compuesto por fibra natural (fotografía), Porsche GT4 2020 Porsche AG. ©2022

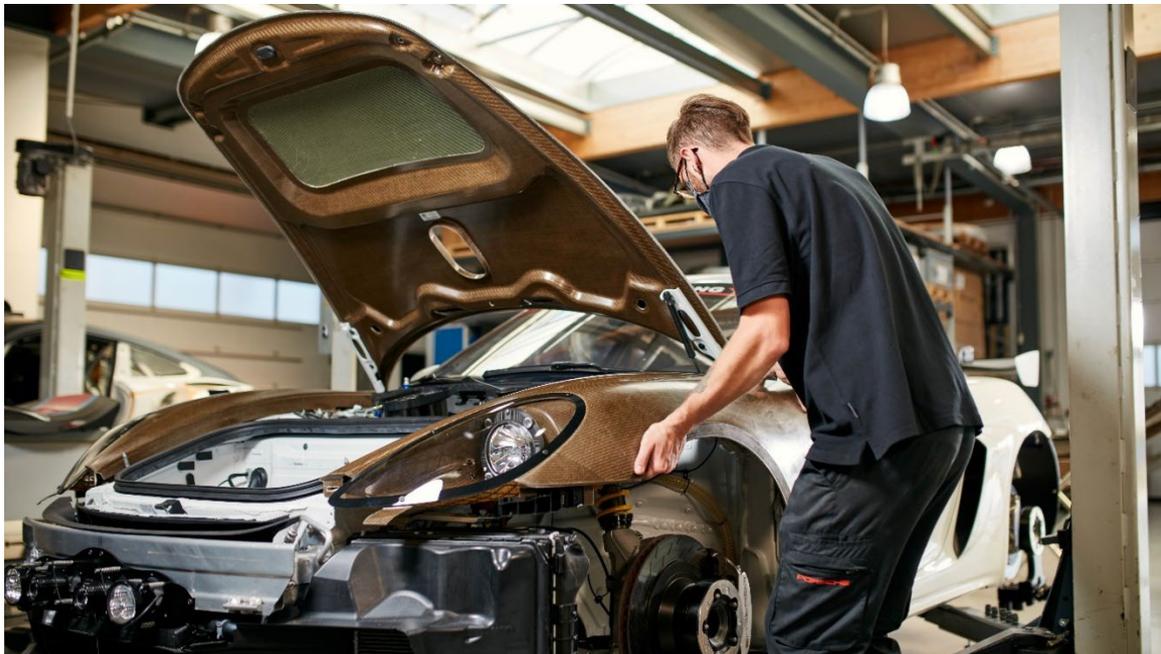
<https://newsroom.porsche.com/en/2020/motorsports/porsche-718-cayman-gt4-clubsport-mr-natural-fibre-composite-body-kit-22439.html> (Porsche Newsroom, 2020).

Según el diccionario de la lengua española el guardafango es también conocido como guardabarros y este se define como un elemento del vehículo que cubre las ruedas y sirve para evitar salpicaduras (Real Academia Española, 2014).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 2

Guardafango frontal izquierdo en Porsche Motorsport 718 Cayman GT4 CS MR hecho de fibra de material sostenible



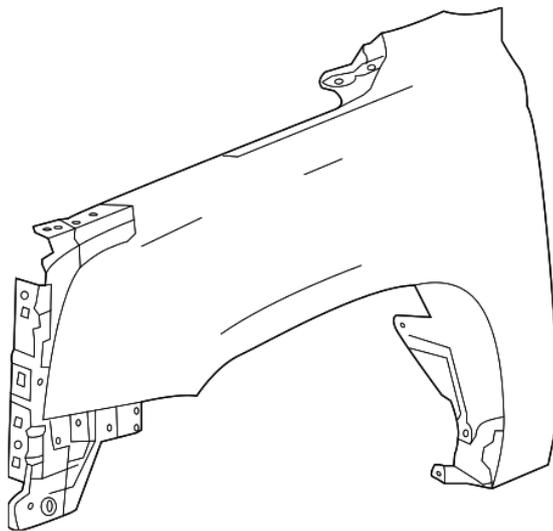
Nota: Adaptado de instalación guardafango izquierdo compuesto por fibra natural (fotografía), Porsche GT4 2020 Porsche AG. ©2022, (<https://newsroom.porsche.com/en/2020/motorsports/porsche-718-cayman-gt4-clubsport-mr-natural-fibre-composite-body-kit-22439.html>), (Porsche Newsroom, 2020).

(McMahon, Clear answer for common questions: Wise Geek, 2018) define a este elemento e indica que son los paneles frontales y posteriores de un automóvil que se encuentran a los lados del automóvil frente a las puertas o detrás de ellas en el caso de las partes posteriores, dicha parte del vehículo cumple con varias funciones, ver *Figura 3*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 3

Guardafango Frontal, Chevrolet Tahoe 2020.



Nota: Adaptado de diseño CAD de guardafango frontal Chevrolet Tahoe 2020.

(fotografía), (<https://www.gmpartsonline.net/v-2019-chevrolet-spark--activ--1-41-14-gas/body--fender-and-components>) © this site is owned/operated by an authorized GM Genuine Parts/ACDelco Seller, (General Motors, 2021).

4.2 Funciones del guardafango

Una de las principales es mantener la suciedad, el polvo y elementos externos que se encuentren en la carretera alejados de las ruedas y del sistema de frenos, dependiendo de su diseño, como otra de las funciones los guardafangos también pueden actuar para hacer que un automóvil sea más aerodinámico (McMahon, WikiMotors, 2022), algunos autos deportivos y de calle tienen guardafangos con cierta estética (ranuras o rejillas) esto se diseña para mejorar el desempeño del auto cuando aumenta la velocidad. Los materiales pegajosos como el barro pueden adherirse a la superficie exterior lisa del neumático, mientras que los objetos sueltos lisos como las piedras puede quedar temporalmente incrustado en las ranuras de la banda de rodadura cuando el neumático rueda por el suelo.

Otra función del guardafango es la estética, tanto a la vista del usuario como para la seguridad del automóvil el armazón o su estructura no debe quedar a la vista, entonces este

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

elemento cubre el armazón y los costados del bloque del motor (Bingham, 2016), también suelen ser usados para añadir estilo a un automóvil; muchos autos en la década de los 50, tenían guardafangos de tipo burbuja, y estos sobresalían de la carrocería de forma prominente, los guardafangos pueden tener una amplia variedad de características tanto de diseño de materiales, forma dinámica y estética su estudio los hace más interesantes y elegantes a la vista.

4.3 Clasificación de los guardafangos

Los guardafangos están clasificados por su forma y por el material utilizados en la construcción, ver *Figura 4*.

Figura 4

Clasificación de los guardafangos, por su forma y por material.



Nota: Clasificación guardafangos, (organigrama), (<https://skill-lync.com/student-projects/fender-design-challenge-55>), © 2022 Skill-Lync Inc. All Rights Reserves. (Skill-Lync, 2020).

4.3.1 Guardafangos completos

El tipo de guardafango completo (Skill-Lync, 2020).es un tipo tradicional donde se observa una mayor cantidad de material, este es un diseño característico de los vehículos antiguos, este elemento aumentaba el peso total de la carrocería por lo tanto reduce el total

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

del rendimiento del vehículo, su mantenimiento es relativamente mayor en vista a una mayor superficie del elemento, ver *Figura 5*.

Figura 5

Guardafango completo, frontal derecho, Dodge Plymouth.



Nota: Pieza original de guardafango completo, frontal derecho, Dodge Plymouth, (fotografía), <https://skill-lync.com/student-projects/fender-design-challenge-55> (Skill-Lync, 2020).

4.3.2 Guardafangos semi completos

El tipo de guardafango semi completo es un tipo de diseño moderno en este elemento se observa una menor cantidad de material por lo tanto la productividad al fabricarlo aumenta ya que existe un reducido tamaño de la pieza lo que proporciona menor peso y mayor rendimiento, el mantenimiento también es relativamente bajo en comparación con el tipo de guardafangos completo (Skill-Lync, 2020), ver *Figura 6*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 6

Guardafango semi completo, frontal izquierdo, Chevrolet Sail 2018.



Nota: Adaptado de pieza original de guardafango semi completo frontal izquierdo Chevrolet Sail 2018. (fotografía), (<https://www.gmpartsonline.net/v-2019-chevrolet-spark--activ--1-4l-l4-gas/body--fender-and-components>) © this site is owned/operated by an authorized GM Genuine Parts/ACDelco Seller, (General Motors, 2019).

4.4 Materiales de los guardafangos convencionales

Los primeros guardafangos de automóviles estaban hechos principalmente de material acero, pero la tecnología ha cambiado desde entonces, ahora la industria automotriz ha adoptado otros materiales como el aluminio y aleaciones, materiales termoplásticos y fibra de vidrio, de todos los materiales utilizados para construir un guardafango el acero ofrece mayor rigidez y resistencia a la abrasión, el acero tiene menos tendencia a abollarse, pero es más propenso a la corrosión que los demás materiales comparados con el acero, el aluminio es más ligero y resistente a la corrosión, ver *Tabla 1*, los termoplásticos no sufren corrosión ni daños químicos, pero son menos rígidos en cuanto a impacto y colisiones (Car Part, 2020).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Tabla 1

Ventajas y desventajas del uso de acero y plástico

Propiedad	Acero	Plástico	Beneficios
Peso	-	+	Menos de 50% de plástico
Rendimiento en pequeños impactos	-	+	% de tensión elástica
Resistencia a la corrosión	-	+	
Rigidez	+	-	Módulo de Young
Estabilidad dimensional	+	-	Fluencia plástica
Expansión térmica	+	-	Plástico: +400%
Libertad en formabilidad	-	+	Limitaciones en procesos de prensado o troquelado
Reciclaje	+	-	Degradación plástica

Nota: Características de diseño de un guardafango frontal (Darshan, 2019).

La criticidad de la sostenibilidad de un material según (Ashby, Materials and Sustainable Development, 2016) depende si el acceso a ellos puede ser limitado o si son esenciales para la seguridad de la nación o imponentes visto desde el marco económico, además se puede desarrollar estrategias locales para garantizar el suministro mediante la negociación de precios y explotación justa además acuerdos de suministro exclusivo que beneficien tanto a productores como exportadores, la búsqueda de nuevas fuentes y acopio adecuado.

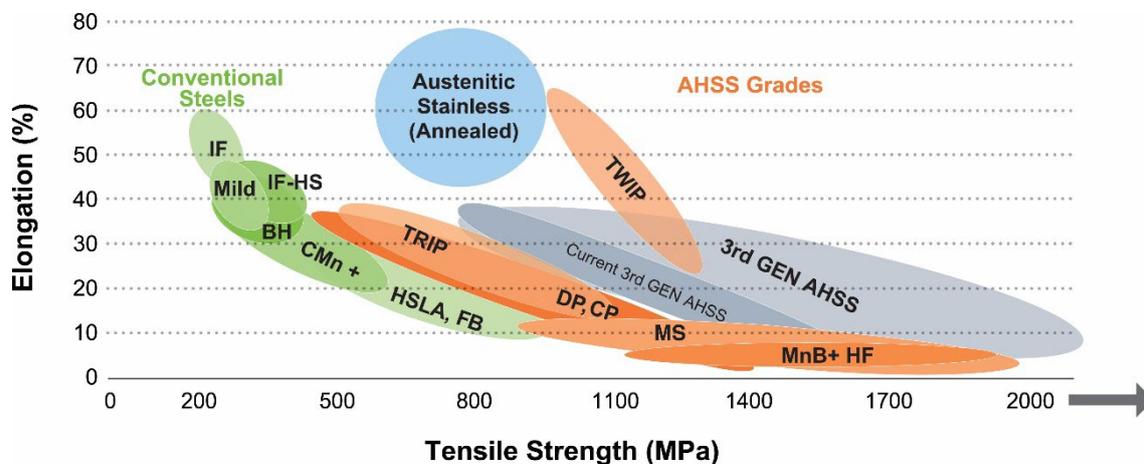
4.4.1 Aceros para elementos de carrocerías

A lo largo de más de 100 años de desarrollo y aplicación, el acero ha sido un material eficaz y versátil para las estructuras de las carrocerías de vehículos, los requisitos de seguridad, durabilidad y economía durante ese tiempo han llevado a los ingenieros y a los productores de acero de vehículos a trabajar en el desarrollo de nuevas calidades para requisitos específicos de las distintas zonas del vehículo a través del estudio de la composición química y la forma de procesar el acero, la variedad de grados de acero puede observar en la *Figura 7*, donde muestra la relación entre el porcentaje de elongación y la resistencia a la tensión de las calidades de acero para automóviles (Hall y Fekete, 2017).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 7

Clases de aceros utilizados en carrocerías.



Nota: Adaptado de clases de acero (gráfico), Steel Strength Ductility Diagram.

(<https://ahssinsights.org/blog/a-new-global-formability-diagram/>) A New Global Formability Diagram (AISI, 2021).

Para realizar la selección del acero para aplicaciones críticas de seguridad (Du Bois y otros, 2004) se sigue al menos dos directrices generales las cuales basan en principio de que una desaceleración repentina producida por un choque, la energía debe disiparse de forma controlada para que la desaceleración de los ocupantes no supere determinados umbrales, maximizando la supervivencia y minimizando las posibilidades de lesiones, entonces la primera directriz, es crear zonas en la estructura cuya función en caso de choque absorba la energía cinética del vehículo y proporcione una desaceleración rápida pero controlada, el objetivo del diseñador estructural en este caso es utilizar el material de la forma más eficiente posible, este requiere:

- Que un miembro estructural determinado implique la mayor cantidad de material posible durante el evento de choque y,
- Que el propio material absorba la máxima cantidad de energía por unidad de material utilizado.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

La segunda directriz para el diseño de una estructura de vehículo segura es que la llamada "célula de seguridad", que contiene a los ocupantes, deba resistir el impacto y mantener su integridad.

Estas dos consideraciones permiten a los ingenieros diseñar el interior del vehículo con cierta seguridad sobre la posición y la velocidad de los ocupantes en caso de accidente (Du Bois y otros, 2004). En el espacio, lugar donde se encuentran los ocupantes en los vehículos, se deben diseñar elementos de absorción de energía, además de incluir sistemas de anclaje, seguridad activa y pasiva para proporcionar la máxima seguridad, para ello los ingenieros de diseño estructural requieren de materiales y componentes cuyo principal objetivo sea el de transferir las fuerzas aplicadas derivadas de los accidentes.

La cantidad de energía absorbida por el material está fuertemente influenciada por el comportamiento de la tensión del material, que a su vez está controlado por la microestructura del material, la energía absorbida por un elemento determinado del material se describe mediante el área bajo la curva de tensión-deformación (Steel Market Development Institute, 2020), así pues, los mejores materiales tendrán tensiones de flujo elevadas a una deformación determinada y podrán seguir deformándose a lo largo de grandes rangos de deformación, maximizando las cantidades de energía absorbida.

Los ingenieros de la (Sociedad de Ingenieros Automotrices [SAE], 2015) seleccionan entre varias calidades de acero, que ofrecen niveles crecientes de conformabilidad con reducciones proporcionales del límite elástico, estas aplicaciones suelen estar motivadas por requisitos de rigidez más que de resistencia, lo que hace que la resistencia del material sea un requisito secundario respecto a la conformabilidad, las calidades altamente conformables pueden aprovecharse para conseguir formas que de otro modo serían imposibles de conformar de forma fiable en grandes volúmenes, aunque muchos fabricantes tienen sus propias especificaciones para estos grados, también pueden

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

encontrarse en una especificación pertinente, respecto a la categorización y propiedades de láminas de acero de bajo carbón para la industria automotriz.

4.4.2 Automóvil con mayor número de ventas en Ecuador entre el año 2018 y 2021.

El AEADE por su acrónimo de, Asociación de Empresas Automotrices Del Ecuador en 2018 catalogó al vehículo Chevrolet Nuevo Sail como el vehículo con el mayor número de ventas en el país (AEADE, 2018), siendo 8.738 las unidades vendidas, en el año 2019 Chevrolet Sail LS AC 1.5 4P 4x2 TM con 3.565 unidades (AEADE, 2019), en el año 2020 1.454 unidades (AEADE, 2020) y en el 2021 1.976 unidades (AEADE, 2021), acorde al número de ventas en el país, el presente documento de investigación realiza el análisis de impacto en el guardafango izquierdo diseñado para la estructura del Chevrolet Sail, de la *Figura 8*.

Figura 8

Estructura del Chevrolet Sail 2018.



Nota: Adaptado de Estructura del Chevrolet Sail 2018 (gráfico), Body Structure Chevrolet Sail (GM Corporate Newsroom, 2018).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

En la India se nombra al vehículo Chevrolet como Sail y su par en norte América y Europa como Chevrolet Sonic, estos comparten las mismas piezas y estructura, así mismo el estudio para la desagregación tecnológica para el sedán Chevrolet Sail (Farfán y Plaza, 2015), indicaron que el material del guardafango del Chevrolet Sail, se encuentra construido por chapa de acero dulce (Mild Steel, color plomo) de 1 milímetro de espesor, además el portal de prensa de la compañía General Motors (Chevrolet Pressroom , 2019) y el sitio web Boron Extrication (BoronExtrication, 2011), señalaron que casi el 60 por ciento de la estructura de la carrocería, así como la cuna del motor hidro formada en cuatro puntos, se encuentran reforzados con acero de alta resistencia (HSS, color amarillo) en conjunto con acero de ultra alta resistencia (AHSS, color rojo) y está estratégicamente integrado en la parte delantera de los balancines y en la barra transversal central, tal como se visualiza en la *Figura 9* representada por los 3 colores (plomo, amarillo y rojo).

Figura 9

Diferentes clases de acero de la carrocería Chevrolet Sail 2018.



Nota: Adaptado de clases de acero de la carrocería del Chevrolet Sail 2018 (gráfico), Body Structure Chevrolet Sail (GM Motors, 2018).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

4.4.2.1 Acero Dulce - Mild Steels

El acero dulce, conocido en inglés como Mild Steel, se continúa usando en una cantidad significativa en la mayoría de los paneles exteriores de los vehículos, a pesar del uso cada vez mayor de los aceros tipo HSS y AHSS en la carrocería, esto se debe a que los paneles exteriores determinan la apariencia del coche. Por ello, deben ser bastante moldeables para permitir las formas que pretende el diseñador del coche. Las líneas afiladas, por ejemplo, dan al coche el carácter que buscan los diseñadores y los vendedores y para permitir estas líneas, así como para que sean lo más marcadas posible, se necesita un acero muy moldeable, en el caso de los paneles exteriores, se trata de aceros de bajo contenido en carbono o más a menudo, aceros libres de intersticios (Automotive Circle, 2016).

El acero dulce según (Granta Design Limited, 2019) ha hecho posible lo imposible, ningún otro acero es tan fácil de formar, tan resistente y tan fuerte, los aceros al carbono son aleaciones de hierro con carbono y, a menudo, un poco de manganeso, níquel y silicio, este acero es de bajo carbono o conocido como "*dulce*" en inglés "*mild*" son aquellos que tienen menos del 0,3% de carbono, relativamente blandos, se laminan fácilmente en forma de placas para la industria automotriz sus principales propiedades se describen en la *Tabla 2*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Tabla 2

Propiedades del Acero Dulce - Mild Steel.

Propiedades Generales	Mín.	Máx.	Media de datos	Unidad
Densidad	7.8 e ³	7.82 E+03	7.81 E+03	kg/m ³
Precio	0.75	0.78	0.765	USD/kg
Propiedades Mecánicas				
Módulo de Young (E)	200	220	210	GPa
Módulo de rigidez	79	84	81.5	GPa
Módulo de carga	160	180	170	Gpa
Radio de Poisson	0.28	0.29	0.285	(adimensional)
Límite elástico	255	355	305	MPa
Resistencia a la tracción	379	532	455	MPa
Resistencia a la compresión	255	355	305	MPa
Elongación	25	45	35	% alargamiento
Dureza – Vickers	113	168	140.5	HV
Resistencia a la fatiga a 10 ⁷ ciclos	203	278	240	MPa
Resistencia a la fractura	41.6	79	60.3	MPa.m ^{0.5}
Composición				
Hierro y Carbono entre 0.02 % a 0.3%				

Nota: Datos obtenidos de Software CES EduPack 2019 versión 19.2

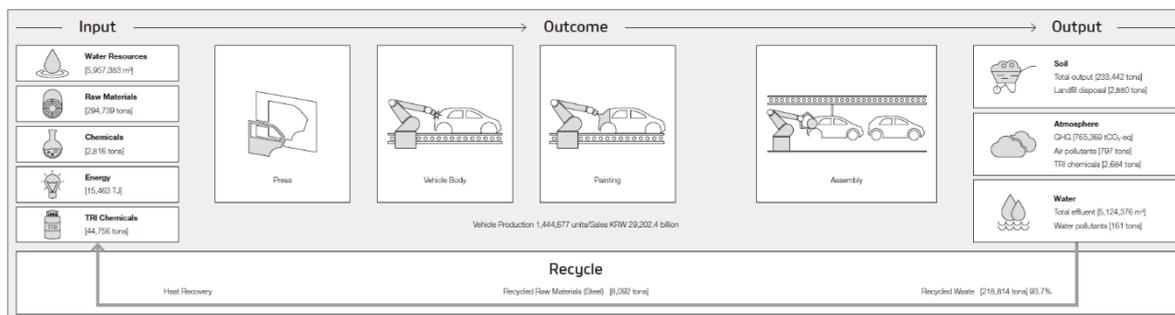
4.4.3 Aspectos Ambientales

Un caso ejemplo de aspectos ambientales y optimización de materiales de construcción de auto partes en la industria automotriz es (KIA, 2016), la empresa encontró usos alternativos para el 93,7% unas 219.000 toneladas para los desechos de acero recubierto de zinc no utilizado como ejemplo en las planchas de las máquinas que recortan las puertas del vehículo, ver *Figura 10*, se envían a los fabricantes de acero en Corea, mientras que el acero no recubierto por ninguna capa de otro metal de refuerzo se utiliza para la fundición en la planta de Gwangju de KIA. Además, KIA se encuentra continuamente llevando evaluaciones externas acerca de emisiones de gases de efecto invernadero de las instalaciones de producción y servicio, con niveles de emisiones monitoreados por la Corporación de Gestión Energética de Corea (KEPCO, 2016).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 10

Aspectos ambientales KIA, flujo de entrada y salida de materiales.



Nota: Adaptado de aspectos ambientales KIA, flujo de entrada y salida de materiales,

([Sustainability | Movement that inspires \(kia.com\)](#)), © Kia Corporation, KIA Sustainability Report 2016.

El informe de materialidad de (Giovanini, 2018) al hablar del medio ambiente de la industria automotriz, señaló que:

“... ¿Qué pueden hacer las empresas automotrices para que se reduzca la contaminación ambiental?, ¿Podrán las compañías crear productos que reduzcan en los vehículos más antiguos emisiones en el escape?, ¿Pueden asociarse las empresas para producir vehículos que utilicen menos gasolina o Diesel contaminante? (...)”.

De tal manera los aspectos ambientales fundamentales a mejorar son entonces la *calidad del aire* al intentar optimizar la producción asegurando cada proceso de construcción reduciendo emisiones generadas, mejorar el *consumo de agua* visto que el fluido es necesario en el revestimiento y tratamiento de superficies, lavado y enjuague de partes, sistemas de aire acondicionado y calderas y uno fundamental y más importante es el consumo de *energías renovables y eficiencia energética* ya que al momento de fabricar las planta generan una amplia gama de residuos y chatarra que requieren una gran cantidad de energía para su eliminación, el reciclaje en circuito cerrado es una forma de optimización para evitar estos residuos al momento de producción.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

La empresa alemana Knauf Automotive Industries, (Knauf Industries, 2019) indicó que los componentes de plástico de un vehículo en general representan aproximadamente entre el 10 y el 20% del peso, sin embargo, este porcentaje irá en aumento, los plásticos modernos y ligeros que permiten reducir el peso del coche y, por tanto, el consumo de combustible, el objetivo se enfoca en la reducción de emisiones de CO2 fijado por la Unión Europea lo cual no sólo implica la necesidad de reducir el tamaño de los motores, sino también un cambio gradual de los motores de combustión a los eléctricos. La empresa Volvo anunció que sus vehículos dispondrán de una huella ecológica notable en sus vehículos de producción, ver *Figura 11*, al menos la mitad de los coches de esta marca estarán equipados únicamente con un motor eléctrico en 2025, la intensificación de la aplicación de plásticos ligeros en el diseño de la carrocería puede resultar fundamental para mejorar la eficiencia energética de los vehículos de este tipo.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 11

Plásticos respetuosos con el medio ambiente presentado por Grey Italia y Volvo Car Italia.



Nota: Adaptado de plásticos respetuosos con el medio ambiente (fotografía)

<https://autodesignmagazine.com/en/2018/09/limpronta-green-di-volvo/>, © Copyright 2022, Privacy Policy-Powered by TosoLab (Auto&Design, 2019).

A partir de la necesidad de huella ecológica en los vehículos de producción, es preciso encontrar un material que reemplace a las fibras artificiales, un sustituto sostenible compuesto de fibras naturales que lleve a las personas a empezar a utilizar estos materiales, los compuestos reforzados con fibras artificiales plantean principalmente dos problemas: la gran cantidad de emisiones de CO₂ y la no biodegradabilidad, sin embargo, los compuestos de fibras naturales pueden ofrecer soluciones a estos problemas (Lotfi y otros, 2019).

El artículo de (M.R. Sanjay y otros, 2020) en la revista de producción limpia acerca de los materiales renovables y sostenibles, basados en biomateriales, una evaluación sobre biofibras, biopelículas, biopolímeros y biocompuestos incluyeron cual es el escenario

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

global actual y como en la actualidad existe un gran impacto en el desarrollo de nuevos materiales de base biológica, debido a sus ventajas vitales que son útiles en la sustitución de materiales sintéticos y peligrosos para el medio ambiente. Esta revisión en perspectiva presenta los avances en las técnicas de procesamiento, las caracterizaciones, el alcance futuro y los métodos para superar las limitaciones de las biofibras, biopolímeros, biopelículas y los biocompuestos. Esto proporciona información vital sobre materiales avanzados de base biológica y sus compuestos para su uso potencial en los sectores biomédico, comercial y de ingeniería para los investigadores y científicos. Concluyen que el uso de materiales de base biológica renovables en el ámbito de la ingeniería y la construcción mejorará la sostenibilidad al reducir los residuos, los vertederos y las emisiones tóxicas, lo que conducirá a un medio ambiente más verde y limpio.

4.5 Materiales Bio compuestos

(Faruk y otros, 2012) en su artículo de investigación biocompuestos reforzados con fibras naturales, a través de su estudio definieron los problemas de medio ambiente y sostenibilidad, siendo testigos de los logros de la tecnología verde en el área de la ciencia e ingeniería de los materiales a través del desarrollo de biocompuestos, el desarrollo de materiales de alto rendimiento hechos a partir de recursos naturales es un reto, visto que al trabajar con compuestos de material plástico reforzados con fibras naturales existe una gran variación de propiedades y características. Las propiedades de un biocompuesto están influidas por una serie de variables, como por ejemplo la característica de la fibra, las medio ambientales los métodos de procesamiento y cualquier modificación de la fibra. La investigación trató también en el análisis de los métodos modificatorios y físicos (tratamiento corona y plasma) y químicos (silano, alcalino, acetilación, acoplamiento maleado y tratamiento enzimático), también abordó la construcción de tipo de matrices en los compuestos reforzados con biofibras basados en recursos petroquímicos y renovables,

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

así como la gran variedad de técnicas de procesamiento de biocompuestos en factores como el contenido de humedad, tipo y contenido de fibra, agentes de acoplamiento y su ponencia sobre en las propiedades del material compuestos y como afectan a estos procesos, donde se debatía el tipo de tecnología de procesamiento de los compuestos reforzados con biofibras basadas en matrices termoplásticas (moldeo por compresión, extrusión por inyección, método LFT-D y termoformado), finalmente recomendaban cuales serían las tendencias futuras de los biocompuestos, así como las cuestiones clave que deben abordarse y resolverse para su uso y aplicación.

La adhesión interfacial entre la fibra natural y la matriz polimérica se ve afectada por el enclavamiento mecánico, las fuerzas de atracción y los enlaces químicos, las fibras naturales tienen grupos hidroxilos y, por lo tanto, se pueden formar enlaces de hidrógeno en la superficie de la fibra natural, la fuerza de unión en el compuesto reforzado con fibras naturales disminuye por la absorción de humedad. Las fibras hidrofílicas absorben la humedad del entorno y se forman enlaces de hidrógeno entre el grupo hidroxilo de la molécula de celulosa y el agua absorbida. La absorción de humedad también afecta a la estabilidad dimensional de la fibra natural. Esto da lugar a una mala adhesión entre la resina y la matriz, lo que provoca la desconexión. El secado de la fibra antes de su procesamiento es muy importante porque aumenta las propiedades mecánicas de los materiales compuestos (Ilomaki, Dissertation on Adhesion between Natural Fiber and Thermosets, 2012).

La revista *Journal of Thermoplastic Composite Materials* (Lotfi y otros, 2019) indicaron en su publicación que el interés por los compuestos reforzados con fibras naturales (NFRC) por sus siglas en inglés está aumentando rápidamente gracias a sus numerosas ventajas, como su bajo coste, su biodegradabilidad, su carácter ecológico, sus propiedades mecánicas relativamente buenas y el creciente énfasis en los aspectos

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

medioambientales y de sostenibilidad de los materiales de ingeniería, sin embargo, el uso a gran escala de los NFRC sigue considerándose un reto debido a las dificultades de fabricación, al conocimiento limitado de su maquinabilidad y los ajustes de parámetros adecuados, ya que dichas materias primas son propensas a los defectos inducidos por el mecanizado. Este artículo presentó una revisión exhaustiva de varios aspectos de los NFRC, centrándose en su fabricación y maquinabilidad, abarcó algunos trabajos recientes relacionados con los NFRC, incluyendo los procesos y parámetros de fabricación, la caracterización de las propiedades mecánicas, las aplicaciones, y la monitorización de la maquinabilidad y del proceso de mecanizado, muchos de ellos por primera vez. Se esbozan los principales retos asociados al mecanizado de los NFRC y los daños inducidos, observando con especial atención el efecto de las propiedades físicas de las fibras y del proceso de fabricación, junto con los parámetros esenciales de mecanizado que afectan a la calidad de la superficie mecanizada, el estudio concluyó que existen propiedades mecánicas extraordinarias y físicas de los compuestos con fibras naturales, ejemplo la alta resistencia, bajo peso, alta rigidez, baja densidad, buen aislamiento térmico y biodegradabilidad lo cual fomenta el uso de estos materiales para sustituir a los recursos basados en el petróleo y no renovables en materiales compuestos de refuerzo.

4.5.1 Aplicación de los materiales Bio compuestos

Los primeros llamados eco materiales dieron a luz en modelos de Mercedes Benz de la clase E, la marca presentó mejoras en sus paneles perteneciente a las puertas, reforzando con fibras de lino, la resina epoxi ocupada en dicha parte, esto a su vez permitía mejorar las propiedades mecánicas y reduciendo el peso del elemento en un 20% (Mohanty y otros, 2004).

El desarrollo del uso de materiales sostenibles es indispensable en la producción industrial, (AL-Oqla y otros, 2014) publicaron en su libro llamado biomasa y bioenergía la

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

posibilidad de utilizar las fibras de palmera datilera como una fibra natural para el reforzamiento de materiales compuestos poliméricos para la industria del automóvil, se llevaron a cabo varias comparaciones con otros tipos de fibras, siendo las fibras de palmera datilera la mejor opción para la industria automotriz, al poseer propiedades adecuadas como aislante y al ser éste un material ligero.

El estudio de (Ahmad y otros, 2014) respecto a la selección de compuestos de fibra natural, una vista a las propiedades mecánicas, de peso ligero y económicas, se analizaron las propiedades y la aplicación de los compuestos de fibras naturales en la industria del automóvil. Las fibras naturales están sustituyendo a las fibras sintéticas en las distintas piezas de los automóviles debido a su ligereza, bajo coste y aspectos medioambientales, el estudio concluyó en que los materiales compuestos de fibra natural han despertado recientemente un gran interés por diversas razones en la industria del automóvil, como el aumento de la eficiencia del combustible, la reducción del coste, la facilidad de producción, la menor densidad y el menor peso, y una mayor concienciación sobre el tema del reciclaje y el impacto de los materiales en el medio ambiente, que también han desempeñado un papel importante.

Los estudios nacionales en el Ecuador acerca de los materiales para fabricación de autopartes (Peralta Zurita y otros, 2019), mencionaron en su artículo que se caracterizó un la matriz compuesta de resina foto polimérica reforzada con fibras naturales de cabuya y abacá, y con la ayuda del análisis experimental y uso de la simulación computacional se comparó las características mecánicas, los resultados de dicha caracterización mecánica de los materiales se obtuvo que el esfuerzo máximo de flexión a los compuestos reforzados con abacá fue de 77,53 MPa, el de fibra de cabuya 83,26 MPa y estos disminuyeron con respecto al material matriz un valor de 92,77 MPa. Con respecto al módulo de flexión y elasticidad presentaron que los compuestos reforzados con cabuya 1806,03 MPa y los de

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

abacá 2211,33 MPa, estos valores se vieron aumentados respecto al material matriz un valor de 1689,64 MPa, lo que deja por ver en un aumento de la rigidez en los materiales caracterizados, otorgando la posibilidad de sustitución de la matriz de material.

Los compuestos reforzados con fibras naturales (NFRC) se utilizan en muchas aplicaciones, como sectores de fabricación, piezas de vehículos, equipos deportivos, componentes eléctricos, textiles, tableros de fibra, muebles y materiales de embalaje (Ismail, 2017); (Saba y otros, 2015).

4.6 Fibras Naturales

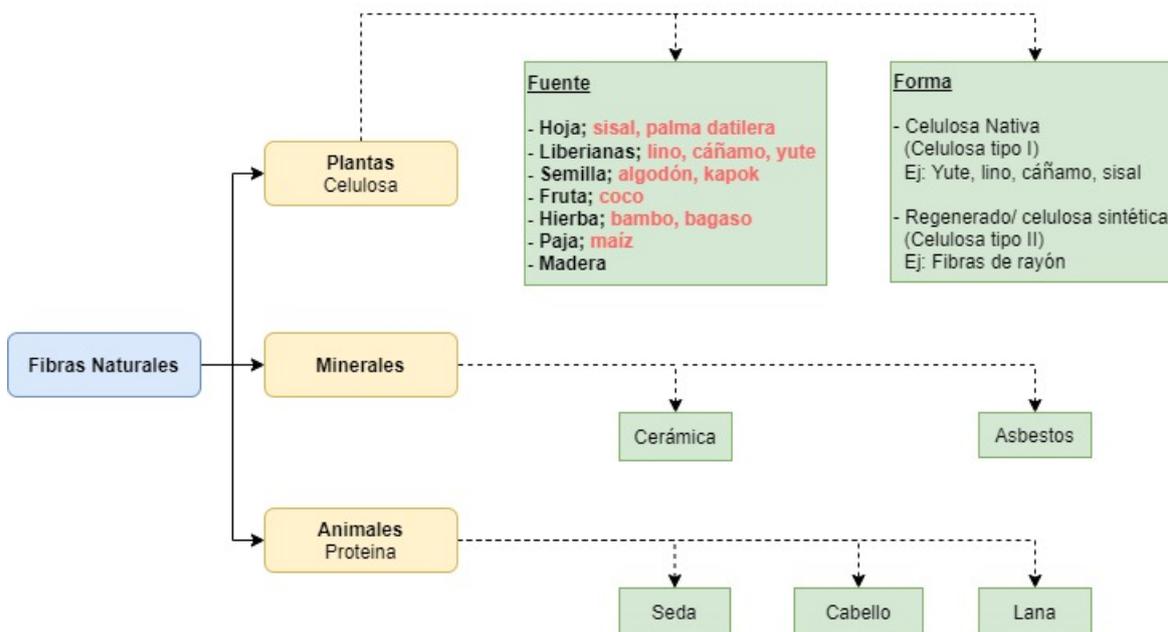
4.6.1 ¿Qué son las fibras naturales?

En primer lugar, es un tipo de material biodegradables, lo segundo es que las emisiones de CO₂ son de menor grado en comparación con fibras artificiales. Además, los compuestos de fibras naturales (NFC) son más ligeros que los compuestos sintéticos, lo que a su vez reduce las emisiones de CO₂. Uno de los tres tipos de fibras naturales son las fibras vegetales, estas se componen de tres principales componentes: la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, la fibra vegetal podría subcategorizarse en función de la fuente o forma de la fibra celulósica, como se muestra en la *Figura 12*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 12

Clasificación de las fibras naturales.



Nota: Artículo de Journal, Industrial fibers, Introduction to wood and natural fiber composites: an overview, (p. 71-82) Suddell BC, 2008. (Suddell BC, 2008); (Stokke y otros, 2013); (Elseify y otros, 2019).

Las fibras celulósicas pueden extraerse del líber (tejido vegetal constituido por conductos o vasos que llevan sabia elaborada), la hoja, el fruto o la semilla de la planta. Tienen dos formas: celulosa nativa, denominada celulosa I, y celulosa regenerada, denominada celulosa II (Suddell BC, 2008). Las diferencias entre las fibras vegetales dependen principalmente de su composición química y de sus propiedades físicas y mecánicas. Las fibras celulósicas de líber se utilizan mejor como refuerzo en compuestos, ya que la función principal de las fibras de líber es proporcionar soporte a las plantas. En cambio, las fibras de hoja tienen una mayor tenacidad. Las fibras de fruto o de semilla proporcionan a los compuestos una tenacidad elástica (Stokke y otros, 2013), existe una amplia gama de fibras naturales disponibles en todo el mundo, tanto de origen animal como vegetal, la selección de la fibra natural para los NFRC depende en gran medida de las propiedades deseadas de los materiales compuestos. Estos compuestos ecológicos han

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

encontrado varias aplicaciones industriales, incluyendo aplicaciones de soporte de carga, piezas exteriores de automóviles, equipos deportivos, instalaciones de transporte y estructuras marinas, aunque se producen algunas limitaciones relacionadas principalmente con la absorción de humedad la variabilidad y la estabilidad dimensional. El tipo de fibra puede dar lugar a grandes diferencias funcionales que afectan directamente al rendimiento del compuesto, así como al coste (Elseify y otros, 2019), las fibras naturales pueden obtenerse tanto de fuentes animales como vegetales.

4.6.2 Aplicaciones de fibras naturales

Durante siglos (Ahmad y otros, 2014), las fibras naturales se han utilizado para fabricar cestas, ropa y cuerdas, ahora la tendencia está cambiando y en la actualidad las fibras naturales como el lino, el sisal, el yute, el cáñamo, se están abriendo paso especialmente en los componentes de los automóviles en la última década, los fabricantes de europeos han adoptado materiales compuestos de refuerzos de fibras naturales con polímeros, especialmente para la manufactura de paneles en las puertas, respaldos de asientos, revestimientos de techo, bandejas de paquetes, salpicaderos y revestimientos de maleteros. Se han comparado los índices de material de las estructuras de vigas y paneles para investigar la posibilidad de utilizar materiales compuestos de fibra natural en lugar de los convencionales y no convencionales.

Los principales fabricantes de automóviles y proveedores de piezas llevan investigando el potencial del uso de fibras naturales como refuerzo de matrices sintéticas o de base biológica desde principios del siglo XX. Sin embargo, el uso de fibras naturales no se abrió paso hasta finales del siglo XX, cuando los combustibles fósiles empezaron a agotarse. Por desgracia, las propiedades de las fibras naturales son inferiores a las de las fibras artificiales, es decir, las fibras de vidrio, aramida y carbono. En consecuencia, era un reto mayor sustituir todos los compuestos sintéticos de los vehículos de automoción por

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

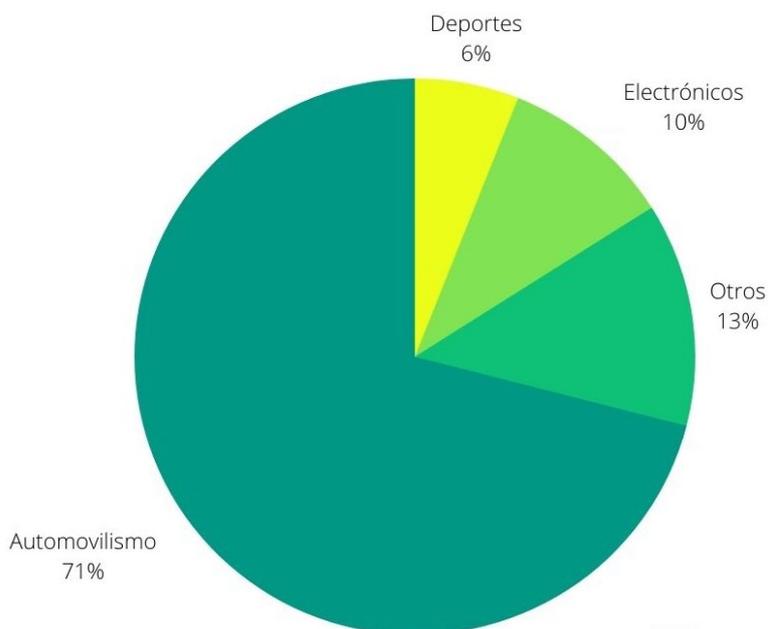
fibra natural. Por ello, los compuestos reforzados con fibras naturales se limitaron al principio a las piezas interiores y sólo se utilizaron en la fabricación de piezas no estructurales como los rellenos de los asientos, respaldos de asientos, cubiertas de la rueda de repuesto, molduras de madera, los revestimientos del techo, salpicaderos, carcasas de altavoces, estantes para paquetes y aislamientos térmicos y acústicos (Koronis y otros, 2013); (Carruthers y Quarshie, 2014); (Akampumuza y otros, 2017). Sin embargo, con la investigación intensiva en curso y la mejora de las piezas interiores de los automóviles, la idea de utilizar materiales compuestos reforzados con fibras naturales en más piezas estructurales y exteriores se está expandiendo rápidamente. Los materiales compuestos reforzados con fibras naturales se podrían incluir en la fabricación de bastidores de asientos, suelos de carga, bandejas de suelo, tren de conducción y componentes de la dirección, como se observó en la revisión (Suddell y Evans, 2005); (Akampumuza y otros, 2017).

Por lo tanto, los compuestos de fibras naturales se consideran materiales alternativos más ecológicos para sustituir a los compuestos ya existentes. Los compuestos de fibra natural se utilizan sobre todo en la industria del automóvil para cubrir partes estructurales y en elementos de aislamiento que minimizan los sonidos al interior. La empresa de consultoría e investigación de mercados (Grand View Research, 2018), en el año 2018, mostró que en los Estados Unidos los ingresos de los compuestos de fibra natural por aplicación en la industria automotriz en 2016 fueron de 742 millones de dólares americanos, tal como se indica en la *Figura 13*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 13

Ingresos de los compuestos de fibra natural por aplicación 2018.



Nota: Artículo de Journal, Natural fiber composites (NFC) market size, share and trends analysis report by raw material, by matrix, by technology, by application, and segment forecasts, (p. 2018-2024), 2018 (Grand View Research, 2018).

Las fibras obtenidas de fuentes vegetales también se conocen como fibras vegetales, y son los refuerzos de fibra más utilizados en los compuestos de automoción. En 2019, según las estadísticas de la FAO, la producción mundial de fibras vegetales naturales, excluyendo el algodón, fue de 6,786 millones de toneladas (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). La *Figura 14 - (a)* muestra la distribución de la producción de fibras vegetales por tipo de fibra en 2019. Las fibras naturales de lino fueron las más utilizadas en aplicaciones como la industria del automóvil. En el año 2012, se utilizaron 30000 toneladas de fibras naturales en la industria del automóvil distribuidas como se muestra en la *Figura 14 - (b)*, teniendo una cuota de mercado del 50%, que corresponde a casi 15000 toneladas. Las fibras de kenaf representaron más del 20% de la cuota de

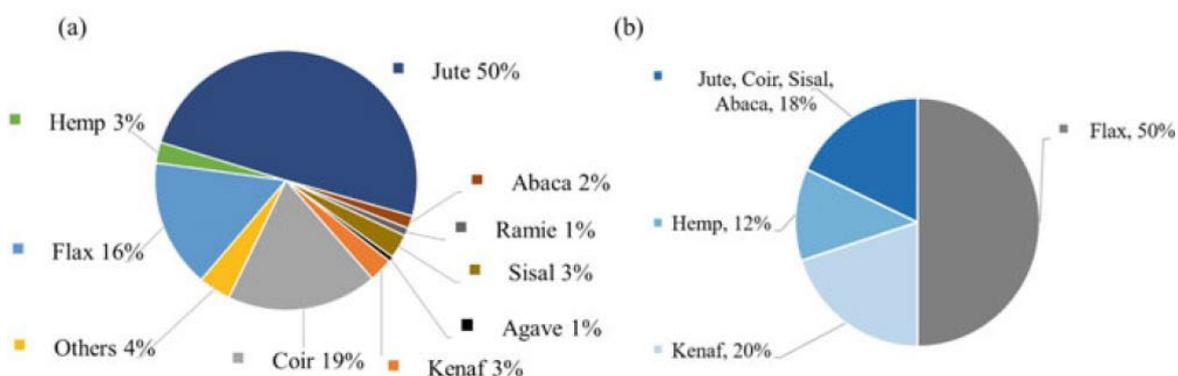
SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

mercado, seguidas por las fibras de cáñamo y luego por las de yute, coco, abacá y sisal (de Beus y otros, 2019).

Figura 14

Distribución y utilización de la fibra

- a) *Distribución de la producción mundial de fibras vegetales excluyendo el algodón por tipo de fibra en 2019 (cantidad total 6786 millones de toneladas);*
- b) *Utilización de refuerzos de fibra natural en los compuestos de automoción en 2012 (volumen total de 30000 toneladas).*



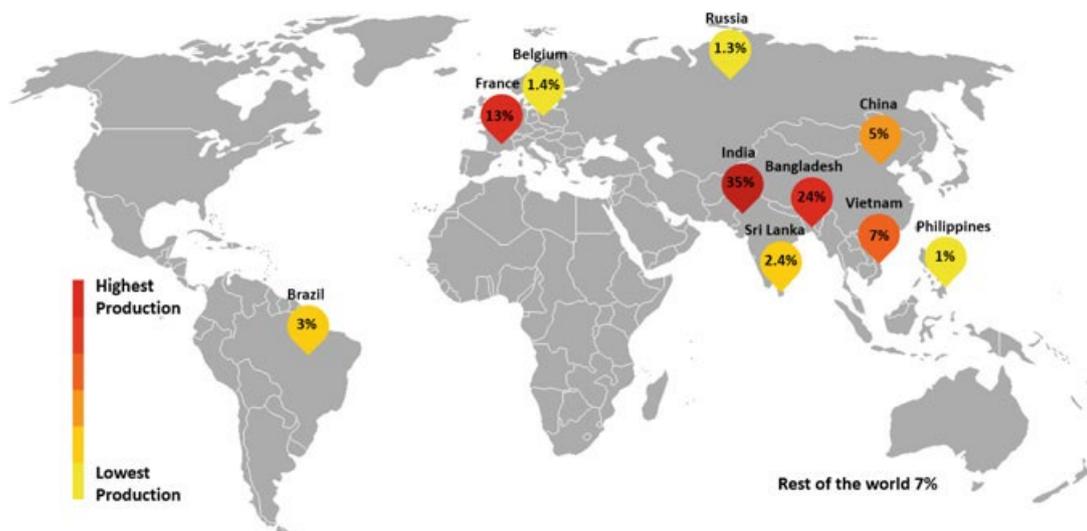
Nota: Distribución de la producción mundial de fibras vegetales y la utilización de refuerzos de fibra natural (gráfico), Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021, (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>), © FAO 2022, (a) - (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021); (b) (de Beus y otros, 2019).

Desgraciadamente, hay una falta de biodiversidad en los cultivos de fibras, y más del 80% de las fibras vegetales se obtienen de solo tres cultivos: yute, lino y coco. Del mismo modo, el 80% de las fibras vegetales se obtienen de solo 4 países: Bangladesh, India, Francia y Vietnam, como se muestra en la *Figura 15*, que ilustra la distribución geográfica de la producción de fibras vegetales en 2019.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 15

Principales países productores de fibras naturales.



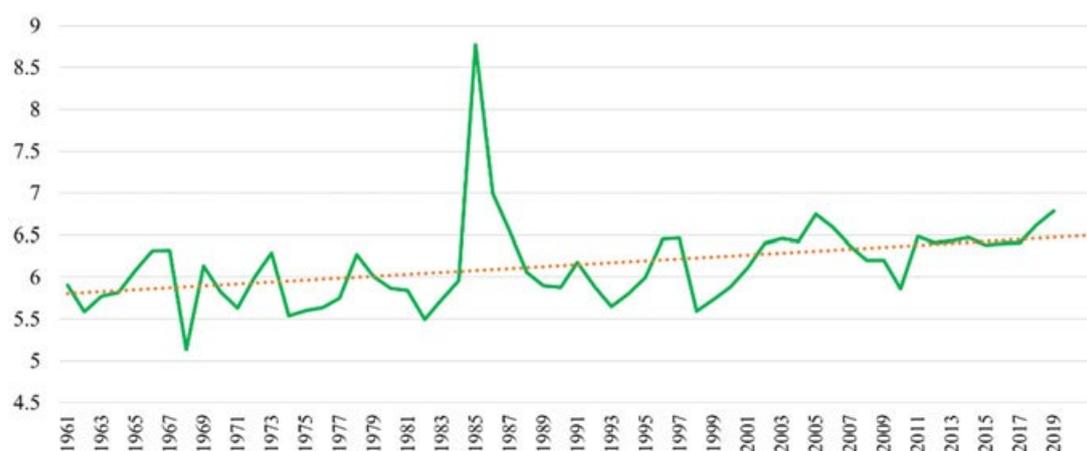
Nota: Tomado de la base de datos de la FAO (gráfico),

(<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>), © FAO 2022.

La falta de biodiversidad ha dado lugar a una lenta tasa de crecimiento de la producción mundial de fibras vegetales en las últimas décadas, como indica la FAO en la *Figura 16*.

Figura 16

Producción mundial de fibras vegetales, excluido el algodón, de 1961 a 2019.



Nota: Tomado de la base de datos de la FAO (gráfico),

(<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>), © FAO 2022.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Un ejemplo de éxito en el manejo de fibras naturales de refuerzo podemos citar a la empresa alemana (BASF, 2018) con sede en New Jersey, quien elaboró un innovador aglutinante llamado Acrodur® especialmente para el NFC en la industria del automóvil. Acrodur® es un aglutinante sin formaldehído de base acuosa. Es aplicable a los procesos de construcción de fibra natural utilizados con termoestables y termoplásticos. Acrodur® puede utilizarse con cáñamo, kenaf, lino y madera. El aglutinante se caracteriza por ser ecológico. Además, los pre impregnados pueden fabricarse mediante diversas técnicas que permiten un contenido de fibra de hasta el 75%. Se utiliza en la fabricación de armazones de techos (aplicación interior) y encapsulados de motores (aplicación exterior). En 2016, International Automotive Components (IAC) inventó el primer bastidor de techo solar fabricado con fibras naturales (70 % en peso) y Acrodur® para la clase E de Mercedes-Benz (Grupo IAC 2020). Se redujo en un 50% el peso del bastidor al utilizarlo en lugar de los marcos metálicos. Otro ejemplo de éxito es el uso de Acrodur® con fibras naturales en motores de combustión. Tiene una estabilidad termo mecánica superior y, cuando se añade a las fibras naturales, se mejora la absorción del ruido. El Acrodur® puede utilizarse en los asientos de los coches, los marcos de los techos, los revestimientos de las puertas y las alfombras de los coches, tal como se indica en la *Figura 17*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 17

Acrodur® aglutinante sin formaldehído de base acuosa, aplicaciones automotrices.



Nota: tomado de BASF, aglutinante Acrodur®

4.7 Materiales Sostenibles

4.7.1 Fibras de refuerzo natural

Los materiales compuestos, obtenidos mediante la combinación de dos o más materiales, son elementos que pueden diseñarse de acuerdo a las propiedades físicas, mecánicas y térmicas deseadas, generalmente se encuentran constituidos por materiales rígidos y algún tipo de material de refuerzo, este último sirve para mejorar las propiedades del material base, (Srinivas y otros, 2017) existen factores que afectan al rendimiento del material compuesto, ya que debe existir una buena relación entre la matriz que es el material base y las capas de los materiales de refuerzo. Por esta razón se pueden utilizar aditivos para proporcionar una adhesión interfacial entre la matriz (base) y el refuerzo. Los materiales compuestos tradicionales se obtienen a partir de fibras sintéticas. En los

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

materiales compuestos reforzados con fibras sintéticas SFRC por sus siglas en inglés (Synthetic Fiber Reinforcement Composites), se utilizan fibras de vidrio, aramida o basalto, carbono, sílice, barro rojo, Al_2O_3 (óxido de aluminio o alúmina), partículas de SiC (carburo de silicio) como material de refuerzo. En contraposición a las altas propiedades mecánicas, de los polímeros, el alto coste, la alta densidad, el escaso reciclaje y sus propiedades no biodegradables, así como sus efectos peligrosos para la naturaleza, existe inconvenientes al momento de producir materiales compuestos reforzados con fibras sintéticas (Sonar y otros, 2015) debido a la alta contaminación ambiental a su producción exhaustiva a partir del petróleo y a su elevado coste, los científicos se han centrado en la aplicación de fibras naturales y recursos vegetales para el desarrollo de materiales compuestos de polímeros reforzados con fibras naturales, que pueden ser una alternativa a las fibras sintéticas. Las fibras naturales tienen muchas ventajas sobre las fibras sintéticas, tales como: abundancia, seguridad para la salud baja densidad y coste, alta resistencia específica, renovabilidad y biodegradabilidad.

4.7.2 El lino

El lino (*Linum usitatissimum*) es una de las biofibras más utilizadas, las fibras se producen de los tallos de la planta de lino, *Figura 18*. La fibra de lino es una fibra celulósica como la del algodón, tiene una estructura más estructura cristalina que la hace más fuerte y resistente para ser procesada (Yan y otros, 2014). La longitud de las fibras extraídas de 1 m de largo de la planta de lino varía entre 2 y 5 cm de longitud y entre 10 y 25 μm de diámetro (Bos y otros, 2002).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 18

Cosecha de plantas de lino.



Nota: Adaptado de cosecha de plantas de lino, (fotografía),

<https://www.decktowel.com/pages/how-linen-is-made-from-flax-to-fabric>, © (Deck Towel).

4.7.2.1 Cultivo de Lino en el Ecuador

Según (Durán Córdova, 2014) que en la revisión de la base de datos del Herbario QCA de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Biológicas de la PUCE, en el Ecuador continental se cultiva la semilla de lino de la especie *Linum usitatissimum* en las provincias de la sierra especialmente Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Carchi, Bolívar e Imbabura.

4.7.3 El Cáñamo

El cáñamo (*Cannabis sativa* L.) es una biofibra sostenible (Salentijn y otros, 2015) que tiene un potencial importante para satisfacer necesidades mundiales de fibra. El cáñamo, una de las plantas cultivadas más antiguas del mundo, crece en todo el mundo sus semillas y cuerpo consisten en fibras largas y fuertes, *Figura 19*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 19

Plantas de cáñamo.



Nota: Adaptado de plantas de cáñamo (fotografía) <https://mountainx.com/news/racial-equity-and-ncs-budding-hemp-industry>, 2020, Mountain Xpress ©1995-2022 (Mountain Xpress, 2020).

La empresa BMW comunicó en septiembre de 2021 a través del portal de prensa BMW Group, que se encuentran intensificando su lucha contra el cambio climático implementando estrategias de sostenibilidad con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ para limitar el calentamiento global a 1,5 °C y que el objetivo climático se encuentra estrechamente relacionado con la investigación y desarrollo de materiales sostenibles, el BMW Group ha desarrollado sistemáticamente el uso de fibras de cáñamo, kenaf y lino, , ver *Figura 20* debido a la estructura reticular de dichas fibras naturales, y gracias a las propiedades mecánicas se evita peso al reducir la cantidad de material necesario para la fabricación de paneles de puertas, moquetas y otros elementos de sus vehículos (BMW Group, 2021).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 20

Componentes fabricados a partir de materias primas renovables y material secundario.



Nota: Tomado del artículo journal, Revolution, not evolution: BMW Group to reduce carbon footprint significantly by 2030 using innovative materials. (BMW Group, 2021).

4.7.3.1 Cultivo de cáñamo en Ecuador

Las plantas de cáñamo son de característica, de adaptación rápida a diversos climas y resistente, son plantas que no requieren de mucho cuidado (Pino Herrera O. F., 2019) los primeros registros de uso han sido las fibras que se lograron convertir en papel, en cuerdas y actualmente se puede encontrar productos textiles, paneles modulares para la elaboración de textiles técnicos de alto rendimiento.

El ministerio de agricultura y ganadería del Ecuador con fecha 19 de octubre de 2020, acordó expedir el reglamento para la importación, siembra, cultivo, cosecha, post cosecha, almacenamiento, transporte, procesamiento, comercialización y exportación de cannabis no psicoactivo o cáñamo y cáñamo para uso industrial, con el objeto de regular como productos netamente agroindustriales y en consecuencia establecer la diferenciación entre el cannabis psicoactivo y el cannabis o cáñamo, a través de la Autoridad Nacional

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

como instancia rectora de política pública en materia agropecuaria (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020).

La Corporación Financiera Nacional del Ecuador en la Ficha Sectorial para el cultivo de plantas de fibra, desarrollado en enero de 2021 ha calificado al cultivo de cáñamo en el Ecuador como una actividad de bajo riegos y de impacto medio de acuerdo a la Clasificación Industrial Uniforme (CIIU) con código A0116.03 al cultivo de lino y cáñamo, e indicaron que en el año 2019, se registraron 8 empresas dedicadas al cultivo de plantas de fibra, cuatro de las cuales se encuentran en la provincia de Pichincha y otras empresas en la provincia de Santa Elena y Guayas (Cooperación Financiera Nacional - CFN, 2021).

El cultivo de cáñamo industrial en el país tiene un alto potencial para el sector agrícola debido a sus características. Esto permite que la agricultura presente soluciones en las tres dimensiones del desarrollo sostenible. Primero para los bajos ingresos percibidos por la producción agrícola tradicional, el impacto ambiental generado en su producción y por último las problemáticas sociales que conllevan el deterioro del ambiente y una mala economía

En el Ecuador la actual situación agrícola no genera beneficios suficientes para la mayoría de pequeños y medianos agricultores de productos tradicionales tal como el maíz, arroz. Existe una repetibilidad en la siembra y cosecha de productos posicionados a nivel mundial como las rosas, banano, cacao, la palma africana con el intento de alcanzar competitividad sin embargo en los últimos años no ha sido así (Pino Herrera O. , 2019). Con las nuevas reformas ministeriales para el cultivo del cáñamo industrial en el Ecuador se pretende tener alto potencial de cultivo, presentado soluciones para los cinco principios clave para guiar al desarrollo estratégico de nuevos enfoques y la transición hacia la

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

sostenibilidad (FAO - Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura., 2021).

4.7.4 El Sisal

El sisal es una planta de origen mexicano (Kuruvilla y otros, 1999), que se obtiene de las hojas del "Agave Sisalana", es una poderosa biofibra que se puede producir también en partes de África Oriental y Sudamérica. La longitud de la fibra de sisal es flexible y fuerte, su tamaño oscila entre 0,6 y 1,2 m, ver *Figura 21*, la longitud de las células de sisal oscila entre 0,5 y 6 mm y su diámetro entre 5 y 40 μm (Chand y Fahim, 2021).

El uso en la industria automotriz del sisal se ha dado en paneles de puertas y con mezcla de material matriz en polipropileno (Wallenberger y Weston, 2003), y también en refuerzos para la carcasa de asientos (Sakthivel y Ramesh, 2013), el grupo FIAT utiliza fibras compuestas de sisal para revestimiento de puertas, revestimiento de piso y respaldos, fondos de asiento reposacabezas y cojines de respaldo (Agilan y otros, 2018).

Figura 21

Planta de Sisal.



Nota: planta de sisal (fotografía) tomada de iNaturalist Ecuador, 2021, (<https://ecuador.inaturalist.org/taxa/158103-Agave-sisalana>) © Copyright 2022 California Academy of Sciences. All Rights Reserved. (iNaturalist Ecuador, 2021).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

4.7.4.1 El Sisal en el Ecuador

La revista (Ecuador Pesquero, 2017), indico que existe una alianza estratégica con la fábrica Sisalgomes de origen brasileño ya que en el mercado ecuatoriano se utilizan los cabos de sisal porque son fibras vegetales. Multiusos y biodegradables amigables con el medio ambiente, además señalaron que existe variedad de usos en el sector agrícola para el amarre de animales y que en el caso de que mastiquen este material no se evidencia enfermedad alguna como si lo es con fibras sintéticas para el amarre, también se ocupa en el sector pesquero industrial y artesanal para amarres visto que ofrece una alta resistencia, las cuerdas de sisal se muestran en la *Figura 22*.

Figura 22

Cuerdas de Sisal, para uso pesquero.



Nota: cuerdas de sisal (fotografía), tomado de NaturalistEC 2017,

(<http://www.pescaequipos.com/portfolio-posts/cabo-manila-o-sisal/>) © Copyright 2022 California Academy of Sciences. All Rights Reserved. (Pesaequipos S.A., 2017).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

5.7.2 El Banano

El plátano es una fibra líneo-celulósica obtenida del pseudo tallo de la planta del plátano (*Musa Sapientum*) que presenta unas propiedades mecánicas relativamente buenas, de las 300 especies disponibles, unas 20 se utilizan para el consumo, también se ha informado que a nivel mundial existen 130 países en los que se cultiva el plátano, India es el mayor productor de plátanos con el 27% de la producción mundial, existen varias fuentes de información acerca de las fibras naturales para varias aplicaciones, por la razón que tienen una rigidez adecuada, alta disponibilidad y renovabilidad, son reciclables y biodegradables ver *Figura 23*, las fibras vegetales son hidrófilas por naturaleza con humedad de alrededor del 8-13% con la presencia de celulosa en la estructura celular, además de la celulosa, las fibras vegetales están compuestas por diferentes sustancias naturales como la lignina hemicelulosa, pectina y sustancias cerosas, el contenido de lignina de las fibras vegetales influye sobre la estructura, propiedades y morfología (Subramanya y otros, 2017).

Figura 23

Transformación de la fibra de banano para usos industria automotriz.



Nota: Fibras de plátano (fotografía), Eco Inventos, 2020, ([Fibras de plátano, alternativa al carbono para coches más ligeros y resistentes \(ecoinventos.com\)](#)) (Eco Inventos, 2020).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Científicos de Sudáfrica indicaron que las fibras de carbono pueden ser extraídas desde los tallos de la planta de banano (Eco Inventos, 2020).

5.7.2.1 Banano en el Ecuador

El INEC mostró los datos de la encuesta de superficie y producción en el 2020, donde indico que la superficie plantada a nivel nacional del banano es 165.080 hectáreas, la producción se concentra en la provincia de Los Ríos con un 41,43%, luego le sigue El Oro con un 26,30% y la provincia del Guayas con un 25,52%, la producción en toneladas de dicho año fue de 6.023.390 y las ventas en 5.917.569 toneladas (INEC, 2020).

El estudio de biocompuestos con refuerzo de fibra de plátano para la creación de partes automotrices (Borja y Remache, 2021), indicaron que el pseudo tallo de la planta de banano es una materia prima de abundancia en el Ecuador, siendo este material una alternativa para reemplazar al ABS plástico de alto impacto que se usa para distintos tipos de elementos externos en la industria automotriz, ejemplo el bocel o protector lateral de puertas.

La empresa Inpadesa - Industrial Packing Depot, ubicada en la ciudad de guayaquil se dedica a la extracción de fibras de banano, ver *Figura 24*, el cual cuante con alta durabilidad, resistencia y buena calidad, estas fibras con obtenidas mediante procesos de presión sin añadir químicos para su procesamiento, por el momento la empresa menciona que hay diferentes usos agrícolas, artesanales e industriales (Inpadesa, 2016).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 24

Fibras de banano extraídas por procesos de presión de la empresa Inpadesa.



Nota: Fibras de banano, (fotografía)(<https://www.inpadesa.com.ec/fibra-de-banano/>) © 2016 All rights reserved. Inpadesa (Inpadesa, 2016).

5.7.3 El Yute

El yute (*Corchorus capsularis*) es una planta que una vez cultivada puede producir una fibra natural, la cual tiene gran acogida en varios países del continente asiático como India, Bangladesh, Myanmar y China (Khan y Khan, 2015); (Das, 2017); (Sweety y Mahbub, 2019) esta planta, *Figura 25* puede crecer entre 15 a 20 centímetros en un período de 4 meses desde su siembra, el proceso de macerado que se realiza en agua para airear la fibra del tallo se realiza de forma biológica o añadiendo químicos como el Oxalato de amonio y el Sulfito de sodio (Rahman MSc, 2010). El macerado biológico de los tallos de yute se realizan en agua por 20 días (Banik y otros, 2016); (Behera y otros, 2012); el cual libera las paredes celulares primarias del líber y el núcleo del tallo a su vez ayudando a la separación de la fibra y así ya se puede dejar secar.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 25

Plantas de yute.



Nota: Plantas de yute (fotografía) tomado de (<https://www.the-sustainable-fashion-collective.com/2015/04/14/why-is-jute-sustainable-ecofriendly/>) © Copyright 2018 Offset Warehouse (Offset Warehouse, 2015).

5.7.3.1 El yute en el Ecuador

La fibra natural de yute que es extraída de la corteza de la planta del mismo nombre es sencilla para producir considerada como la segunda más popular en Ecuador, *Figura 26* después del algodón (El Diario, 2015), igualmente las comunidades indígenas de la Sierra Centro como Tomabelas, Chibuleo, Quisapincha, Salasaka utilizan la fibra de yute para la elaboración de adornos, sacos para carga, como tela de interiores de fachada dando un toque de ambiente rustico, prendas de vestir al cual se puede añadir colores vivos y neutros e incluso para bisutería (El Comercio, 2015).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 26

Bolsas de Yute con estampados.



Nota: Bolsas de yute (fotografía) (<https://www.revistalideres.ec/lideres/creaciones-estilo-artesanal-llevan-yute.html>) © Derechos reservados 2013 Grupo EL COMERCIO, (Revista Líderes Ecuador).

5.7.4 El Coco

De la cascara, parte externa de la fruta de coco, se obtienen las fibras de coco, ver *Figura 27*, las fibras de coco son entre las distintas fibras naturales unas de las más gruesas, esta fruta es principalmente de origen tropical (Nair y otros, 2018); (Arulandoo y otros, 2017), uno de los mayores exportadores de fibra de coco se produce en Malasia, Indonesia, India, Filipinas y Sri Lanka (Pham, 2016), las fibras de coco es generalmente fuerte y ligera por eso es motivo de estudio comercial y científico, este material tiene disponibilidad a nivel mundial y en comparación con otras fibras de procedencia natural las fibras poseen menos celulosa, menos hemicelulosa y más lignina que en conjunto con un alto micro fibrilar ángulo ofrece propiedades favorables en amortiguación, desgaste, resistencia y buen coeficiente de elongación a la rotura (Santos y otros, 2018), en la actualidad la fibra de coco se ocupa para la fabricación de colchones, esteras, cuerdas, cepillos dentales, construcción, agricultura y en la industria de la tapicería (Verma y Gope, 2015); (Hashmi y Choudhury, 2020).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 27

Fibras de la parte externa del fruto de coco.



Nota: Fibras de coco (fotografía) tomado del informe First International Conference on Bio-based Building Materials. (Kuersten, 2015).

En un estudio de evaluación de las propiedades mecánicas (Ayrilmis y otros, 2011), físicas e inflamabilidad de paneles reforzado con fibra de coco y compuesto con polipropileno (PP) se utilizaron mezclas volumétricas desde 40, 50, 60 y 70 % de peso en conjunto con un agente de acoplamiento, se observó que tanto la fuerza de unión interna y la resistencia al agua del material compuesto se vieron comprometidos al aumentar el porcentaje volumétrico de la fibra de coco, en cambio resulto favorable el aumento de fibra de coco en porcentaje al observar que la resistencia al fuego aumento, finalmente indicaron que una formulación óptima para paneles compuestos en el interior de automóviles es una mezcla de 3% MAPP, 37% de polvo PP y 60% de fibra natural de coco.

Las fibras de coco (Faridul Hasan y otros, 2021), tienen larga tradición en el uso de varias áreas de aplicación, ejemplo las fibras se han venido utilizando en cuerdas, esteras, hilos, geotextiles y paneles aislantes, sin embargo, el coco ha mostrado potencial uso para fabricación de productos sostenibles y ecológicos y en la industria automotriz

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

específicamente en los paneles bio compuestos ligeros, acolchado de asientos, ver *Figura 28*.

Figura 28

Cojines de asiento de fibra de coco para automóviles Mercedes Benz.



Nota: Cojines de asiento, (fotografía) tomado de artículo journal Mechanical strength of polyester matrix composites reinforced with coconut fiber wastes (Duarte Lopes, 2005).

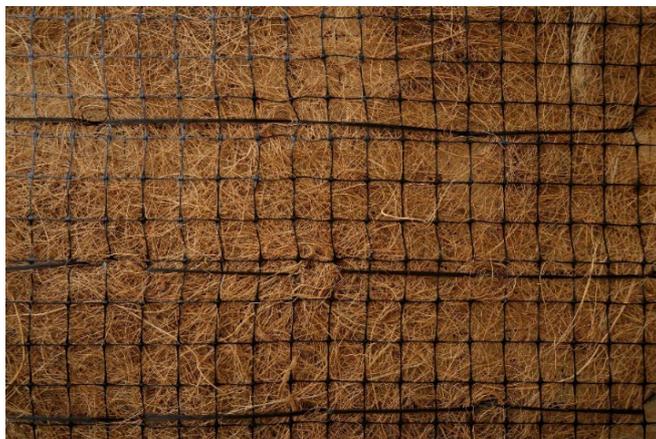
5.7.4.1 El coco en el Ecuador

La empresa Inpadesa ubicada en la ciudad de Guayaquil dedicada a la elaboración de grapas para el proceso de exportación de banano fabrica también geo manto para control de erosión, ver *Figura 29* y geo manto para estabilización de taludes a partir de la fibra de coco compuesto (Inpadesa, 2022).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 29

Geo manto de fibra de coco para control de erosión.



Nota: Manto de fibra, (fotografía) (<http://www.inpadesa.com.ec/ecuafiber-fibra-de-banano-y-coco/>) © 2016 All rights reserved. Inpadesa (Inpadesa, 2022).

La (Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, 2022), del gobierno ecuatoriano, a través del banco de ideas, indicó que existe un proyecto para las fibras de coco con la empresa Bracoplus S.A., en el Ecuador existe un grave problema visto que en el sector costa y parte de la amazonia ecuatoriana se acumulan varias cantidades de desechos de cascaras de la fruta de coco, especialmente porque estas fibras generan contaminación en las áreas cercanas a la propia planta, esteros, ríos y alrededores de los mismos habitantes que lo cultivan, dicho material tarda al menos 100 años en degradarse lo que favorece al crecimiento de roedores e insectos, existe una evidente necesidad de un plan de acción para transformar las fibras de coco visto que tienen una alta resistencia y durabilidad, existe mercado en el sector termoacústico ya que no existen empresas productoras de material para estas aplicaciones, según la empresa Cobus Group Ecuador ha importado 461.965,87 USD en productos de aislamiento para el sector de la construcción siendo lana de roca mineral y lana de vidrio el principal material (García S. G., 2022).

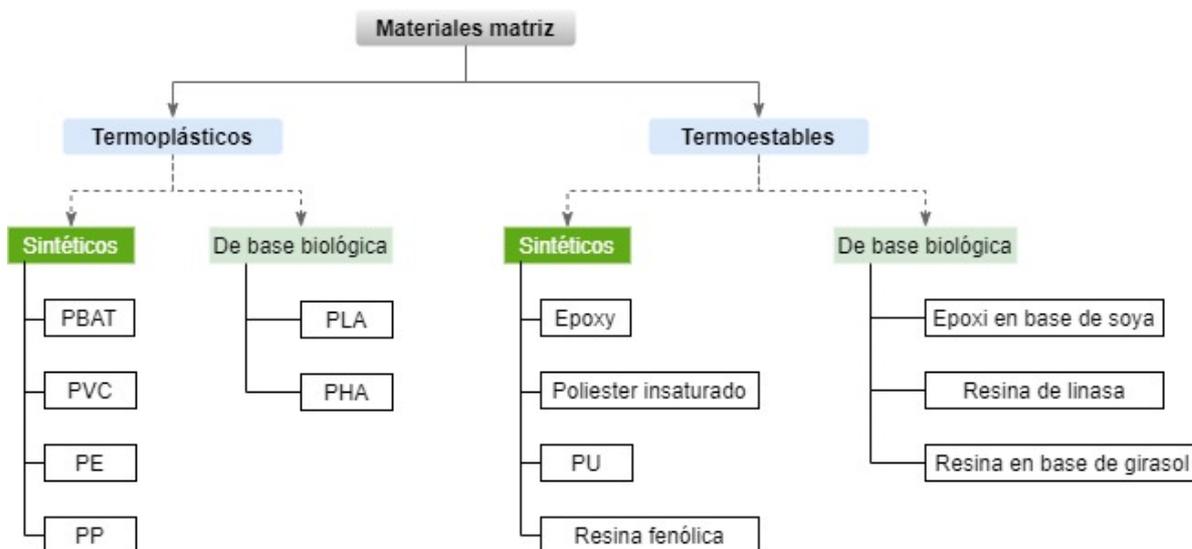
SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

5.8 Material matriz

Tanto las matrices termoplásticas como las termoestables se utilizan con fibras naturales en los compuestos para automóviles, las fibras naturales tienen una baja estabilidad térmica, lo que a su vez limita el número de polímeros termoplásticos utilizados a tres o cuatro (Magurno, 2000). En general, los polímeros utilizados deben tener una temperatura de procesamiento inferior a 230 °C, como las poliolefinas, el polietileno, el polipropileno y el caucho de etileno-propileno. La matriz termoplástica más utilizada en la industria del automóvil es el polipropileno, la *Figura 30* muestra una clasificación de algunos materiales de matriz polimérica. Por ejemplo, la resina epoxi se utiliza frecuentemente con fibras naturales como matriz termoestable. Las poliamidas, el poliéster y los policarbonatos no se utilizan como matrices para las fibras naturales porque requieren más de 250 °C durante su procesamiento; (Bledzki y otros, 2002); (Suddell y Evans, 2005).

Figura 30

Clasificación de los materiales matriz poliméricos.



Nota: Material matriz (diagrama) (Magurno, 2000); (Bledzki y otros, 2002); (Suddell y Evans, 2005).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

5.8.2 Materiales termo plásticos y termo estables

Los plásticos que se ocupan dentro y fuera de un vehículo principalmente son 3 (Gonzalez, 2012), entre los polímeros conocidos se encuentran los termoplásticos, los llamados termoestables y los elastómeros, los llamados termoplásticos los cuales están conformados por estructuras moleculares los cuales son polímeros agrupados de una cadena cristalina, la cual no posee enlazamiento es decir no se trata de una estructura amorfa sino más bien lineal.

Las partes externas de los vehículos que se utilizan actualmente se encuentran mayormente compuestos por elementos termoplásticos (Ramos Rivero, 2018) , este material ofrece una buena dureza en condiciones frías y cuando se aplica calor pueden fluir y reblandecer, lo cual facilita su reparación cuando han sufrido deformaciones, las molduras laterales (guardafangos) de un vehículo se encuentran diseñadas en particular para ofrecer un comportamiento además de durabilidad frente algún tipo de golpe que sufran por alguna circunstancia.

5.8.2.1 Polímeros termoplásticos

Se define como termoplásticos a los polímeros de una cadena lineal y ramificada formados por polimerización por adición. Los termoplásticos pueden constituirse a temperaturas elevadas, enfriarse, refundirse y reformarse en diferentes formas sin que cambien las propiedades del polímero. Sin embargo, el calor utilizado para fundir y refundir el termoplástico debe controlarse cuidadosamente o el material se descompondrá, los polímeros termoplásticos sintéticos como poli butileno (PBAT), policloruro de vinilo (PVC), el polietileno (PE), el polipropileno (PP) y poliestireno (PS). Y los más recientes de base biológica como el ácido poliláctico (PLA) y los polihidroxicanoatos (PHA) son las resinas termoplásticas más utilizadas para los compuestos reforzados con fibras naturales

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

(Begum y Islam, 2013); (Ilomaki, Dissertation on Adhesion between Natural Fiber and Thermosets, 2012).

5.8.2.2 Polímeros termoestables

Son polímeros reticulados, es decir, que tiene cadenas unidas entre sí, por una red de enlaces covalentes formados por polimerización de condensación. Estos polímeros se vuelven permanentemente duros cuando se les aplica calor y no se ablandan o remodelan con el calentamiento posterior, debido a la pérdida de parte de la molécula (el subproducto de la reacción) durante el proceso de curado. Una vez curado, si se aplica más calor a un material termoestable, se carbonizará, quemará o descompondrá. Los polímeros termoestables suelen ser más duros y resistentes que los termoplásticos y tienen mayor estabilidad dimensional. Los polímeros termo endurecibles más comunes son los epoxis, los poliésteres insaturados, el poliuretano (PU), la resina fenólica y así como los de base biológica como el epoxi a base de soja, linaza en base de resina y girasol de igual manera en base de resina (Begum y Islam, 2013); (Ilomaki, Dissertation on Adhesion between Natural Fiber and Thermosets, 2012).

5.8.3 Base polimérica

La matriz es uno de los factores que afecta a las propiedades del compuesto a producir. Por ejemplo, los termoplásticos ayudan a producir compuestos reciclables, a diferencia de los termoestables. Los termoplásticos son de gran interés en la industria de la automoción debido a su corta duración del ciclo de producción; no requieren un tiempo de curado adicional como en el caso de los termoestables. Sin embargo, el procesamiento de los termoestables es mucho más sencillo que el de los termoplásticos. Además, uno de los principales problemas de las fibras naturales es la escasa unión interfacial entre las fibras y la matriz. La unión interfacial podría mejorarse tratando la superficie de las fibras y añadiendo algunos agentes de acoplamiento (Pickering y otros, 2016), la literatura está

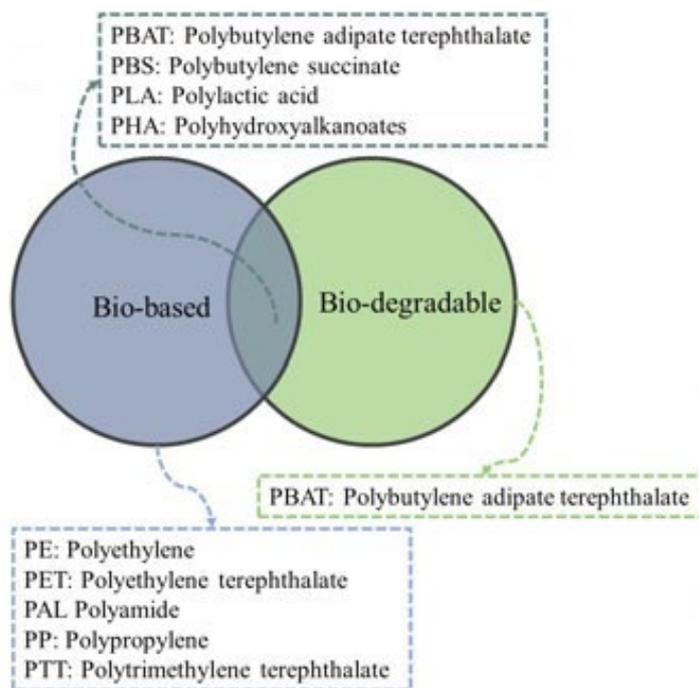
SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

llena de contribuciones de investigación para desarrollar compuestos fiables para ser utilizados en industrias como la del automóvil. Sin embargo, existe una brecha entre los compuestos de fibra natural utilizados actualmente en la industria del automóvil y nuevos compuestos que los investigadores se encuentran desarrollando.

Sin embargo, para aprovechar al máximo las ventajas de los compuestos de fibras naturales como base biológica, biodegradable y sostenible, podrían utilizarse bioplásticos como matrices. Los bioplásticos, según la Asociación de Bioplásticos Europeos (EUBP), son plásticos de base biológica, biodegradables o ambos. Hay tres grupos de bioplásticos: los de base biológica y no biodegradables, los de base biológica y biodegradables, y los plásticos biodegradables de base fósil, como se muestra en la *Figura 31*.

Figura 31

Clasificación de los Bioplásticos.



Nota: Clasificación de bioplásticos (gráfico) tomado de European Bioplastics,

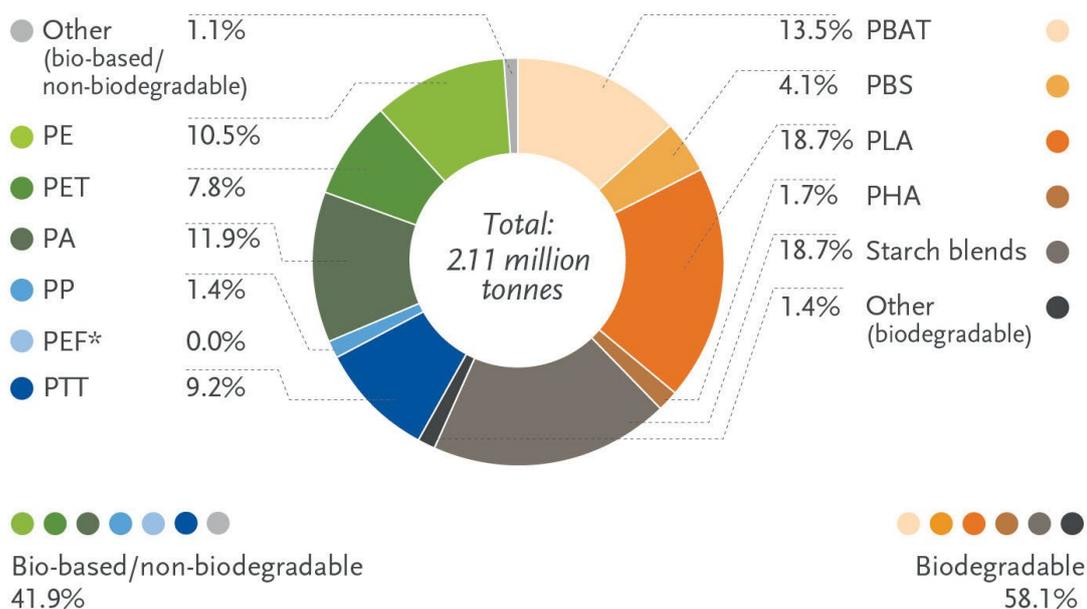
(<https://www.european-bioplastics.org/news/multimedia-pictures-videos/>)© European Bioplastics eV- (European Bioplastics, 2019).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

La ventaja de utilizar bioplásticos frente a los plásticos convencionales es que su huella de carbono es menor, lo que reducirá la huella de carbono global y las emisiones de gases de efecto invernadero de los materiales compuestos finales. Además, los bioplásticos tienen una mayor resistencia, transpirabilidad y propiedades ópticas (European Bioplastics, 2020). En el año 2020, la producción anual de bioplásticos fue casi igual a 2,11 millones de toneladas, de las cuales el 58,1% son polímeros biodegradables y el 41,9 % son polímeros de base biológica no biodegradables, la producción mundial de bioplásticos por material en 2020 se presenta en la *Figura 32*.

Figura 32

Capacidad de producción global de bioplásticos en 2020, volumen total 2.11 millones de toneladas.



Nota: producción de bioplásticos en 2020 (gráfico) tomado de actas de conferencias (15th European Bioplastics Conference 2020) (European Bioplastics, 2020).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

5.8.4 ¿Por qué el uso del Polipropileno (PP), como material base para compuestos de fibra natural?

El refuerzo de polímeros fibrosos en el Polipropileno (PP), es una de las vías más prometedoras para crear de polímeros naturales-sintéticos (García y otros, 2004). El rendimiento y las propiedades de los compuestos poliméricos reforzados con fibras (FRPC), depende de los materiales constituyentes, la longitud de la fibra de refuerzo y el porcentaje de contenido de la fibra son los dos factores importantes que afectan a las propiedades mecánicas de un compuesto reforzado con fibras naturales (Weyenberg y otros, 2003).

El Polipropileno (PP) posee varias propiedades útiles como la alta temperatura de distorsión del calor, la transparencia, la resistencia a la llama, la estabilidad dimensional y una alta resistencia al impacto, propiedades que amplían su aplicación; como material de matriz, el PP se utiliza ampliamente porque tiene algunas características excelentes para la fabricación de compuestos, también es muy adecuado para rellenar, reforzar y mezclar, se dice entonces que el PP con polímeros fibrosos naturales es una de las rutas más prometedoras para crear compuestos de polímeros naturales-sintéticos (Shubhra y otros, 2011), en la *Tabla 3*, se presenta un resumen de propiedades mecánicas en matriz en PP, de los compuestos reforzados con fibras naturales, basado en porcentajes de 20% y 50% en peso volumétrico de fibra natural, además como se pudo observar en dicha referencia tanto la resistencia a la tensión, el módulo de Young y el alargamiento a la rotura tienen mejores valores al incluir fibra al 50% y matriz también al 50% en peso volumétrico (Shubhra y otros, 2011). Se decidió en este trabajo de maestría mantener el peso volumétrico de 50% y 50% (fibra y matriz respectivamente), a pesar de que las variaciones en porcentaje resultan en datos variables en resistencia de materiales al momento del impacto, se debe considerar otros porcentajes volumétricos al momento de crear un material compuesto.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Tabla 3

Propiedades mecánicas en matriz en PP, de algunos compuestos Reforzados con fibras naturales.

Fibra Natural	Resistencia a la Tensión (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alargamiento a la Rotura (%)
Lino	22.2 – 50	1.57 – 8	2.3 – 15.3
Cáñamo	15.56 – 50	1.17 – 3.7	2.9 – 4
Yute	12.3 – 34.1	0.53 – 1.6	1.52 – 4.2

Nota: Propiedades mecánicas de fibras naturales, (Uğraşkan y otros, 2019).

5.9 Efecto de la orientación de fibras naturales mezcladas con polipropileno sobre las propiedades mecánicas del compuesto

(Cordin y otros, 2018), señalaron en su artículo de investigación que las fibras naturales reforzadas combinadas con polipropileno poseen peso ligero y poseen propiedades mecánicas superiores, las fibras de las plantas están optimizadas para las fuerzas que se producen en la naturaleza, ejemplo la flexión que se produce a través del viento, el estudio sometió a ensayos de resistencia a la tracción y análisis mecánicos dinámicos, el módulo de Young (E) determinado experimentalmente se comparó con valores calculados a partir de métodos de mezcla modificada Virk y Krenchel e indicaron entre otras, que las fibras que se colocan de forma longitudinal o paralela a la fuerza aplicada tienen un mejor comportamiento de propiedades mecánicas.

5.10 Métodos de selección multicriterio y toma de decisiones.

En la actualidad, se utilizan varios métodos científicos y empíricos para lograr decidir la elección de una alternativa relevante entre algunas alternativas. El manejo de selección bajo experiencia sólo es eficaz en un campos relevantes y específicos, este criterio no puede ser igualmente aplicable en toda toma de decisiones. Sin embargo, el uso de un método científico es eficiente y eficaz para poder elegir de mejor manera la alternativa en cualquier contexto, la Toma de Decisiones con Criterios Múltiples conocido

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

por sus siglas en inglés como (MCDM), se consideran los más importantes utilizados por expertos alrededor del mundo (Alinezhad y Khalili, *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*, 2019). Cuando un tomador de decisiones considera más de un atributo, se propone la discusión de MCDM que establece una gran parte de las decisiones habituales en las organizaciones y sociedades humanas. El MCDM se divide en Toma de Decisiones de Objetivos Múltiples (MODM) y Toma de Decisiones de Atributos Múltiples (MADM), las siguientes definiciones para la toma de decisiones de atributos múltiples son necesarias para las consideraciones a aplicar.

- Alternativa:

Es el número de opciones o de alternativas independientes, limitadas, cada una de ellas satisface un nivel de los atributos deseados del decidor.

- Criterio:

Es la base de la valoración, lo que significa medir la eficacia y el índice, este se divide en atributo y el objetivo.

- Objetivo

Es lo que se desea perseguir hasta su obtención final.

- Atributo

Es la propiedad que deben poseer las alternativas, ello se encuentra en relación a la idea del tomador de decisiones, cada número de atributos relevantes se asocia con un número de alternativas.

- Matriz de decisión

Una matriz es un arreglo de elementos de dimensiones que tienen un rango $(m \times n)$ como se indica en la *Ecuación (1)*, donde A_i ; $i = 1, \dots, m$; denota las alternativas y C_j , $j = 1, \dots, n$ indica los atributos, los valores de cada atributo son representados por r_{ij} , donde $i = 1, \dots, m$ y $j = 1, \dots, n$.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

$$D_{m \times n} = \begin{matrix} & & C1 & C2 & & & Cn \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_1 \\ \dots \\ \dots \\ A_n \end{matrix} & = & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdot & \cdot & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdot & \cdot & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdot & \cdot & r_{mn} \end{bmatrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & m \times n \end{matrix} \quad (1)$$

- Atributos positivos

Se refieren a los atributos de C_j ; $j = 1, \dots, n$; con una deseabilidad positiva desde la perspectiva del decisor, es decir, el mayor valor obtenido sería el más favorable para el decisor estos atributos tipo positivos por ejemplo podrían ser mayores ingresos o un mejor índice de productividad.

- Atributos negativos

Atributos de C_j ; $j = 1, \dots, n$; con una deseabilidad negativa desde la perspectiva del decisor, es decir, que su cantidad menor es menos deseable para el decisor. Los atributos negativos por ejemplo serían valores como pérdida o un excesivo coste del material.

- Atributos compensatorios

Estos atributos pueden interactuar entre sí; en otras palabras, la desventaja de un valor indeseable en un atributo puede ser cubierta por la ventaja de un valor deseable en otro atributo.

- Atributos no compensatorios

Son aquellos atributos en los que la desventaja de un valor indeseable no puede ser cubierto por la ventaja de un valor deseable en otro atributo.

- Atributos independientes

Son atributos que no están en lo absoluto relacionados con los demás atributos.

- Atributos dependientes

Son atributos que están correlacionados con al menos uno de los demás atributos.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Atributos cuantitativos

Son atributos con una unidad de medida, estos tienen un valor que se expresa numéricamente es decir son medibles.

- Atributos cualitativos

Son atributos que no poseen unidad de medida estos no tienen un valor numérico y son inconmensurables.

5.10.1 Aplicación de selección de materiales sostenibles a partir de los métodos de decisión multicriterio

(Mansor y otros, 2014) indicaron en su artículo para la revista Journal of Basic and Applied Sciences una aplicación integrada del método TOPSIS y del proceso analítico jerárquico AHP en una fibra natural compuesta para la selección de material híbrido para la palanca de estacionamiento que sirve para frenar el automóvil, donde una fibra con mejor característica mostrada fue de la planta tropical kenaf, que es una planta similar al bambú y se encuentra emparentada con el algodón.

La selección de materiales sostenibles teniendo en cuenta varias propiedades de los materiales y diversos criterios, puede gestionarse de forma eficaz mediante el enfoque de la toma de decisiones multicriterio (MCDM). Sin embargo, varios métodos de MCDM tienen un problema de inversión de rango, en el que el rango de alternativas cambia al añadir o eliminar una opción de todas las consideradas. Las técnicas MCDM para analizar y comparar materiales, por ejemplo, son a menudo utilizados los métodos Simple Additive Weighting (SAW), Multi-objective Optimization basada en el Análisis de Ratios (MOORA), Técnica de ordenación del rendimiento por similitud con la solución ideal (TOPSIS) y Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, por sus siglas en serbio (VIKOR). Ya que los resultados revelan que, se han derivado implicaciones prácticas y de investigación basadas en el estudio para ayudar a los profesionales

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

investigadores de la industria, responsables de tomar decisiones para la selección de los mejores materiales en la fase de desarrollo del producto, para apoyar una producción más limpia (Tzeng y Huang, 2011).

(Nasab y Anvai, 2017) en el artículo publicado en la revista *Material&Design* acerca de la selección de materiales con el uso de métodos multicriterio relata que puede interpretarse como un intrincado problema de MCDM. El objetivo de este trabajo fue proporcionar un marco simple y completo basado en MCDM para resolver el problema. En primer lugar, se revisó las características básicas del problema de selección de materiales bajo el paradigma MCDM. Por otra parte, muchos investigadores han hecho hincapié en que en los problemas de decisión complicados deben aplicarse más de un método MCDM para obtener una decisión más fiable y segura. Bajo el conocimiento y escrutinio de más de 100 artículos científicos, se eligen TOPSIS y COPRAS para encontrar soluciones a la selección de materiales en general. Se observa que el enfoque sugerido mediante la integración de estas técnicas de MCDM es sencillo y eficaz.

Según (Mendoza y otros, 2018), el análisis de decisiones complejas requiere de una búsqueda de mejor precisión y se hace indispensable aplicar los métodos de investigación de operaciones, peculiarmente las teorías de toma de decisiones.

Tomar decisiones requiere muchas veces de ocupar un sistema metodológico el cual con pasos y algoritmos adecuados nos lleve a la selección del mejor criterio de búsqueda y finalmente obtenga un resultado que se ajuste a la solución del problema.

5.10.2 Teoría del método de ponderación de la entropía (EWM)

(Zhu y otros, 2020) señalaron que el método de ponderación de la entropía (Entropy Weight Method, conocido por las siglas en inglés EWM) es un modelo importante de ponderación de la información visto que ha sido ampliamente estudiado y practicado, en comparación con varios modelos de ponderación subjetiva, (Ding y otros, 2017) la mayor

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

ventaja del método EWM es que evita la interferencia de los factores humanos en la ponderación de los indicadores, lo que aumenta la objetividad de los resultados de la evaluación integral. Por lo tanto, el método EWM se ha utilizado ampliamente para la toma de decisiones por varios años.

(Chérrez Troya y otros, 2018) indicaron que para el método de ponderación de la entropía (EWM), se evalúa el valor midiendo el grado de incertidumbre. Cuanto mayor sea el grado de dispersión del valor medido, mayor será el grado de incertidumbre con respecto a un índice.

5.10.3 Teoría del método COPRAS

Por sus siglas en inglés de COmplex Proporcional ASsessement (COPRAS) que al español significa evaluación proporcional compleja, (Alinezhad y Khalili, *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*, 2019) ese método se utiliza para evaluar los valores del índice de maximización y minimización, el efecto de los índices de maximización y minimización de los atributos en la evaluación de los resultados se considera por separado.

El método COPRAS se aplica en algunas áreas como la evaluación de riesgos (Alinezhad y otros, 2015), la selección de proyectos de inversión y la selección de materiales (Popovic y otros, 2012), de modo que, se consideran las siguientes características de este método:

- Es un método compensatorio;
- Los atributos son independientes;
- Los atributos cualitativos se convierten en atributos cuantitativos.

5.10.4 Teoría del método VIKOR

El método VIKOR fue introducido por Opricovic en 1998 (Opricovic y Tzeng, 2007), esta técnica es uno de los métodos de compromiso en modelos compensatorios, ya

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

que en este subgrupo se prefiere la alternativa que sea la aproximada cercana a la solución ideal. Generalmente, la técnica determina la clasificación de alternativas y la selección de una alternativa con un conjunto de atributos contradictorios, y en última instancia, proporciona una solución de compromiso, contribuyendo a quien decida a alcanzar la una solución final. El método VIKOR se ha aplicado varias veces en la toma de decisiones para seleccionar la alternativa ideal desde su introducción y se ha utilizado en el análisis de la subcontratación logística (Kumar y otros, 2012), la selección de proveedores (Guo y Zhang, 2008) y la selección de la ubicación del aeropuerto (Sennaroglu y Celebi, 2018). Esta técnica contiene las siguientes características:

- Es un método compensatorio;
- Los atributos deber ser independientes;
- Los atributos cualitativos se convierten en atributos cuantitativos.

5.10.5 Teoría del método ARAS

El método Additive Ratio ASsessment (ARAS), que por sus siglas al español significa evaluación de la relación aditiva, fue introducido por Zavadskas y Turskis en 2010 (Dadelo y otros, 2012), cuyo objetivo es seleccionar la mejor alternativa basándose en un número de atributos y la clasificación final de las alternativas se hace determinando el grado de utilidad de cada alternativa. Teniendo en cuenta estas cuestiones, esta técnica tiene varias aplicaciones, como la incorporación y la elección de personal (Karabasevic y otros, 2016), y la clasificación de empresas de factorización (Karabasevic y otros, Ranking of companies according to the indicators of corporate social responsibility based on SWARA and ARAS methods, 2016). Este método tiene las siguientes características:

- Es uno de los métodos compensatorios;
- Los atributos cualitativos deben convertirse en atributos cuantitativos;
- Los atributos son independientes.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

5.10.6 Teoría del método MOORA

El Multi-Objective Optimization Ratio Análisis (MOORA) que por sus siglas traducidas al español significa, Método de Análisis de Relación de Optimización Multiobjetivo fue introducido por Brauers en 2004 (Brauers y Zavadskas, 2006), que se considera un método objetivo no subjetivo (Brauers W., Multi-objective seaport planning by MOORA decision making., 2013). Además, los criterios deseables e indeseables se utilizan simultáneamente para la clasificación con el fin de seleccionar una alternativa superior o más alta entre diferentes alternativas. Esta técnica tiene un gran número de aplicaciones, como la selección de un contratista (Brauers W., Multi-objective contractor's ranking by applying the MOORA method., 2008), el mejoramiento de los parámetros de un proceso en las maquinarias (Chaturvedi y otros, 2014) y la selección de proveedores (Karande y Chakraborty, 2012). El método MOORA indica las características siguientes:

- Es uno de los tipos de métodos compensatorios;
- Los atributos cualitativos deben convertirse en atributos cuantitativos;
- Los atributos son independientes.

5.11 Coeficiente de correlación Spearman (ρ)

El coeficiente ρ de Spearman (Mohr y otros, 2022), es una medida de asociación lineal que utiliza los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos, existen dos métodos para calcular el coeficiente de correlación de los rangos: uno, señalado por Spearman y otro, por Kendall.

5.11.1 Interpretación de la correlación Spearman

Los coeficientes de correlación de Spearman se encuentran entre valores que van de -1 a +1. El signo del coeficiente indica si se trata de una relación monótona positiva o negativa. Una correlación positiva significa que a medida que una variable aumenta, la otra variable también tiende a aumentar. Una correlación negativa significa que cuando una

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

variable aumenta, la otra tiende a disminuir. Los valores cercanos a -1 o +1 representan relaciones más fuertes que los valores cercanos a cero.

5.11.2 Escalas de interpretación del coeficiente de correlación Spearman

La interpretación de la correlación de Spearman (Martínez Ortega y otros, 2009) debe tener en cuenta el objetivo de la investigación, es decir la interpretación del número que arroja el cálculo, las interpretaciones se basan en experiencias científicas, así también de la medida de relación lineal de las variables analizadas, varios autores expresan la interpretación en escalas de la siguiente manera:

- Escala 1:

El coeficiente de correlación oscila entre -1 y $+1$, el valor 0 , indica que no existe asociación lineal entre las dos variables.

- Escala 2:

Tabla 4

Valor de Correlación Spearman según Escala 2.

Valor de Correlación	R
Correlación negativa perfecta	-1
Correlación negativa fuerte moderada débil	-0,5
Ninguna correlación	0
Correlación positiva moderada Fuerte	+0,5
Correlación positiva perfecta	+1

Nota: Tomado de artículo de journal, titulado Utilización e Interpretación de las Técnicas de Correlación disponible (Fernández y Díaz, 2001).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Escala 3:

Tabla 5

Valor de Correlación Spearman según Escala 3.

Valor de Correlación	R
Perfecta	1
Excelente	$0,9 \leq R < 1$
Buena	$0,7 \leq R < 0,9$
Regular	$0,5 \leq R < 0,7$
Mala	$R < 0,5$

Nota: Tomado del libro Métodos Multivariantes en Bioestadística, (Abraira y Vargas, 1996).

- Escala 4:

Tabla 6

Valor de Correlación Spearman según Escala 4.

Valor de Correlación	R
Escasa o nula	0 – 0,25
Débil	0,26 – 0,50
Entre Moderada y fuerte	0,51 – 0,75
Entre fuerte y perfecta	0,76 – 1,0

Nota: Tomado del libro Relación entre variables cuantitativas, (Montes y Vaquero, 2004).

5.12 Latin NCAP

El NCAP (Latin NCAP, 2022), son las siglas del programa de Evaluación de Vehículos Nuevos para el Caribe y Latino América, basa sus pruebas en métodos reconocidos internacionalmente, calificando con estrellas que van desde 0 hasta el 5 donde se observan aspectos fundamentales como la a) Protección del ocupante adulto, b) Protección de ocupantes infantiles, c) Protección para peatones y usuarios vulnerables en las vías.

5.12.1 Objetivos de la Latin NCAP

Los objetivos según la (Latin NCAP, 2022), son los siguientes:

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Ofrecer a los consumidores, evaluaciones de seguridad independientes e imparciales aplicadas a vehículos nuevos.
- Motivar a los fabricantes de automóviles optimizar el desempeño de seguridad para vehículos vendidos en la región.
- Aplicar regulaciones exigidas por la ONU a que se realicen pruebas de impacto a los vehículos vendidos en la región.

5.12.2 Velocidades de las pruebas de impacto realizadas por NCAP

Las pruebas de impacto realizadas por (Latin NCAP, 2022), se basan en:

- Seguridad activa, como el control electrónico de estabilidad, el frenado autónomo de emergencia.
- Seguridad pasiva, como la prueba de impacto, también conocida a nivel mundial como Crash Test se evalúa a las siguientes velocidades:
 - a) Impacto Frontal – 64 kilómetros por hora (km/h).
 - b) Impacto Lateral – 50 kilometres por hora (km/h).

5.13 Uso de Software especializado

5.13.1 Información de datos de materiales con Granta CES EduPack 2019 versión

19.2

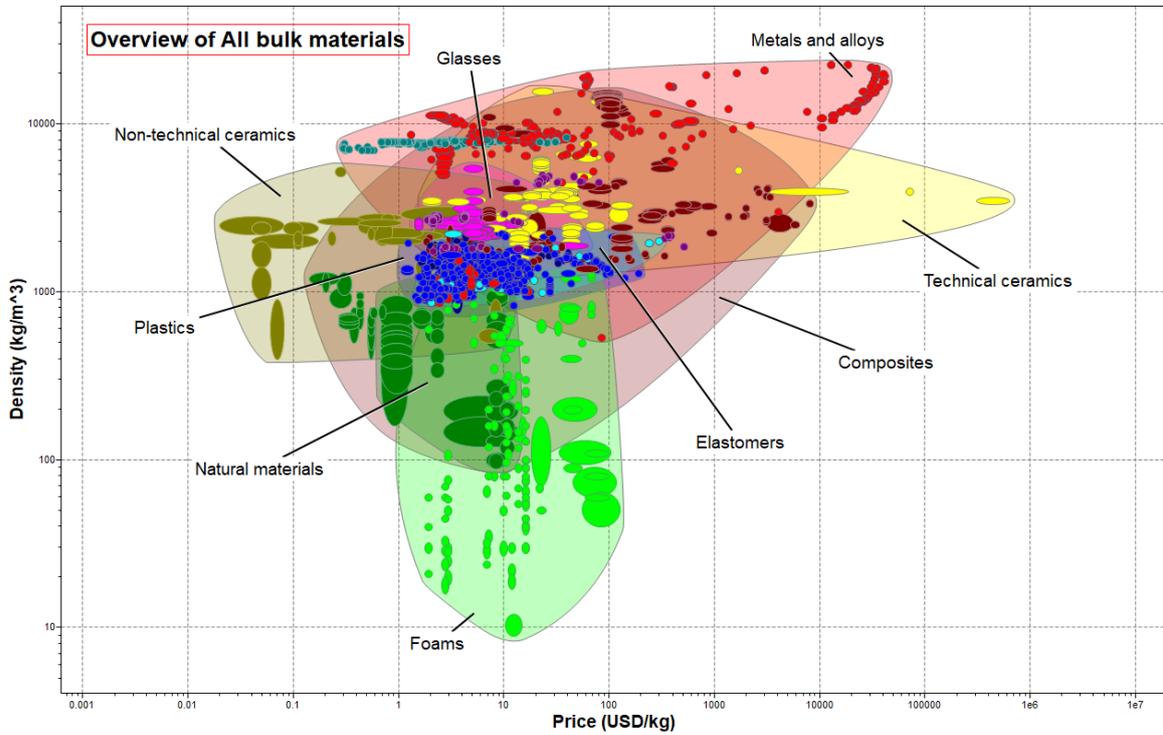
El CES EduPack por sus siglas en ingles es el Cambridge Engineering Selector, un software herramienta basado en la plataforma Windows, ver *Figura 33*, para la evaluación de información de diseño en ingeniería, desarrollado por Granta Design Ltda, en conjunto con la universidad de Cambridge y el departamento de ingeniería, el software cumple con la función de encontrar información que cumpla con requisitos de un diseño o aplicación, se puede elegir un material de bases de datos diferentes para utilizar en la fabricación o estudio, el proceso de selección empieza cuando al abrir el software aparece un cuadro de dialogo en el cual se escoge desde una base de datos con información básica o avanzada en

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

el caso que se requiera información específica de un material (Guía de Software CES EduPack, 2016).

Figura 33

Captura de pantalla del universo de materiales en Software CES EduPack.



Nota: Universo de materiales (gráfico), tomado de informe CES EduPack versión 19.2.0 (Ansys Granta EduPack, 2019).

El software Granta CES EduPack, consta de una base de datos de 3 niveles el cual se indica en la *Tabla 7*, describiendo el alcance y contenido así:

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Tabla 7

Información de los niveles de las bases de datos CES EduPack.

	Alcance	Contenido
Nivel 1	Alrededor de 70 materiales siendo representativos la clase de metales más utilizados, incluye polímeros, compuestos, espumas y algunos materiales naturales.	Descripción del material, imagen del material ejecutada en un producto que fácilmente se puede reconocer, usos comunes y algunos datos limitados para las propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas.
Nivel 2	Alrededor de 100 materiales los más utilizados.	Se incluye el contenido del nivel 1, integrando datos numéricos más extensos, propiedades ecológicas, notas técnicas y pautas de diseño.
Nivel 3	El núcleo de la base de datos contiene más de 3,000 materiales, incluyendo esos del Nivel 1 y 2. Ediciones especialistas que cubren temas de polímeros, arquitectura, aeronáutica bio-materiales, ingeniería civil, Materiales sostenible y Ecodiseño.	Datos numéricos extensos de las propiedades para todos los materiales, permitiendo pleno acceso a la base de datos del sistema de selección de CES EduPack.

Nota: Tomado del libro Granta CES Edupack (Guía Granta CES Edupack, 2016).

Los datos de propiedades del material de guardafango original, para este trabajo de investigación, así como de las propiedades mecánicas de los materiales sostenibles, se toman como referencia para la selección de mejor material y también estos datos se incluyen en el software de simulación de impacto Hypermesh versión 2019 y módulo Radios de la compañía Altair Engineering.

5.13.2 Análisis FEA, simulación de impacto, por ALTAIR Radioss 2019

Altair es una compañía desarrolladora de software de ingeniería que centra el desarrollo de sus aplicaciones en tecnología de simulación con lo cual se logra sintetizar y optimizar procesos, decisiones y diseños con el fin de mejorar el rendimiento de una empresa, dentro del diferente software multidisciplinar, se encuentra el HyperMesh 2019 y el módulo Radioss, estas herramientas ofrecen simulaciones complejas emitiendo resultados con los cuales a partir del análisis se pueden diseñar conjuntos y piezas

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

estructurales de materiales compuestos de forma eficiente, el software puede incluir materiales compuestos, se puede reducir peso, optimizar el rendimiento, explorando y evaluando intuitivamente diferentes configuraciones (Altair Engineering, 2018).

Radioss (Altair, 2021) es un programa multiprocesador de la compañía Altair que desde el año 1984 ha sido una solución de análisis líder para evaluar y optimizar el rendimiento de los productos en problemas altamente no lineales bajo cargas dinámicas, este programa es utilizado en todo el mundo en todos los sectores de la industria donde se desea mejorar la resistencia a los choques, la seguridad y la fabricabilidad de los diseños complejos, ver *Figura 34*.

Durante más de 30 años, Radioss ha sido un líder de la industria y un estándar para el análisis de choques y seguridad en el sector de la automoción, el análisis de choques e impactos, las pruebas de caída, los efectos balísticos terminales, las explosiones y los impactos a alta velocidad, reconocido en todos los centros de I+D, así como en empresas del sector de la automoción, aeroespacial, electrónico y de defensa, Radioss permite comprender y realizar predicciones eficientes y sólidas de los comportamientos multifísicos combinados en entornos complejos (Altair, 2021).

Radioss pertenece a la familia de los hidro códigos, en los que el material se considera como un fluido no viscoso. Estos hidro códigos tienen su origen en los trabajos apoyados por el Departamento de Energía estadounidense a finales de los años 70 y que dieron lugar a programas informáticos como DYNA2D/3D, HEMP, PRONTO, STEALTH, HONDO y WHAM.

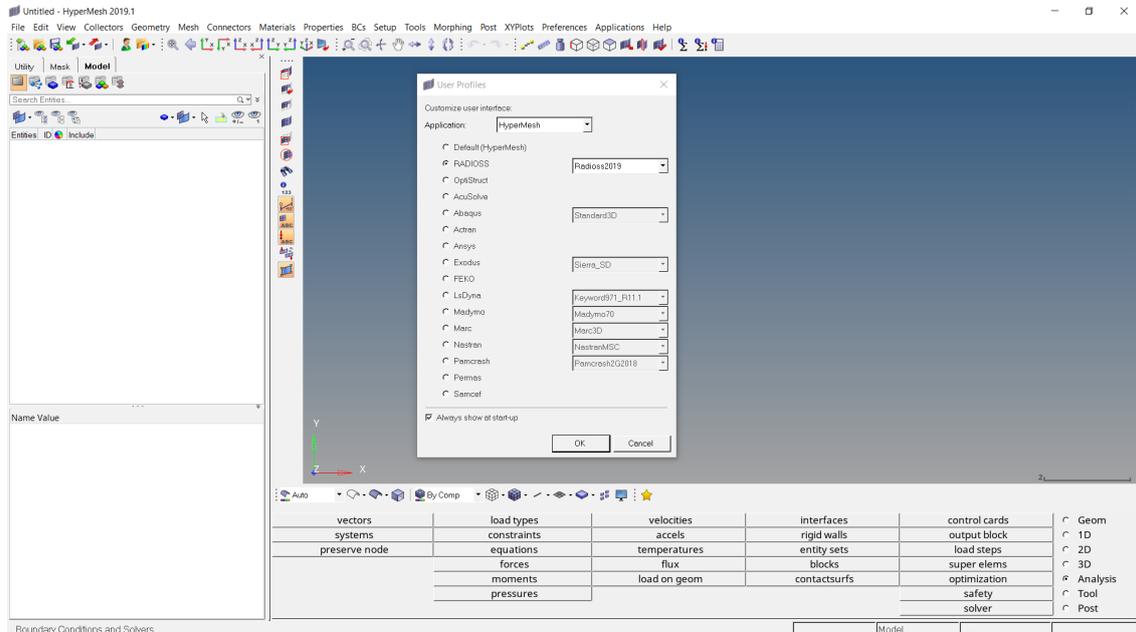
Por citar ejemplos de impacto con el software Hypermesh se demostró que en el “*Análisis del comportamiento mecánico de un rack de baterías frente a eventos de choque*” (Rivera Hoyos, 2014), el software permitió concluir que es posible la fabricación

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

del soporte de batería visto que los resultados cumplían con normas de seguridad y así garantizaba el bienestar de los usuarios de un vehículo.

Figura 34

Captura de pantalla de ingreso al programa HyperMesh y selección del módulo Radioss.



Otro estudio para el diseño de impacto para el parachoques frontal usando el software Hypermesh y el módulo Radioss (Reddy y Harish, 2015), señaló que la deformación a bajas velocidades (20 km/h), la deformación por desplazamiento se produce a los 5 milímetros.

5.13.2.1 Principales características del programa Radioss

Las principales características del programa Radioss son:

- Formulación lagrangiana en 3D para la descripción de la malla.
- Un esquema de integración temporal explícito, que da lugar a pequeños pasos de tiempo (time steps).
- Simplicidad, bajo modelos de elementos finitos integrados.
- Ensamblaje elemento por elemento de las fuerzas nodales, lo que da lugar a códigos en memoria y bajos requisitos de E/S (Entrada y Salida) en comparación con los

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

enfoques implícitos, en los que se requiere el ensamblaje y la inversión de la matriz en cada paso de tiempo.

- Enfoques no iterativos.
- Contacto basado en métodos de penalización.
- Implementación altamente vectorizada.

5.13.2.2 Ecuaciones básicas

Hace referencia a ecuaciones básicas de la dinámica no lineal, que hacen referencia a diferentes aspectos como:

- Material y coordenadas espaciales
- Descripción de la malla
- Descripciones cinemáticas y cinéticas
- Tasas de tensión y tensiones en los sólidos
- Formulaciones lagrangianas actualizadas y totales
- Ecuaciones de equilibrio
- Principio de potencia virtual y nombres físicos de los términos de potencia.

También se introduce la formulación de las pequeñas deformaciones, a través de la implementación de los elementos finitos del principio de potencia virtual, lo que conduce a las ecuaciones de equilibrio discretizadas.

5.13.2.3 Análisis dinámico

El análisis dinámico se ocupa de la discretización del tiempo y de los esquemas de integración, también se analizan los conceptos de estabilidad y paso de tiempo (time steps).

5.13.2.4 Restricciones cinemáticas

Se ocupa de las restricciones cinemáticas, es decir, de las restricciones impuestas a las velocidades nodales, la estabilidad lineal se introduce en Estabilidad lineal.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

El concepto de interfaces, muy importante, visto que permiten la solución de condiciones de contacto e impacto entre dos partes de un modelo.

6 Metodología

La metodología de la investigación realizada en la presente se basa en método de carácter teórico, el método histórico lógico, revisión sistemática de información a través de diferentes buscadores académicos, búsqueda de bibliografía relacionada acerca de las experiencias en selección de materiales,

El desarrollo del presente trabajo tiene como estructura la siguiente metodológica:

- Obtención de propiedades mecánicas, física y sostenibles de la fibra natural de refuerzo, con la ayuda del software Granta CES EduPack.
- Selección del mejor material, desarrollo del método de ponderación de la entropía EWM, y de los métodos multicriterio COPRAS, VIKOR, ARAS y MOORA, para la mejor selección de material.
- Verificación de la correlación del material ganador obtenido de los valores de los métodos multicriterio, para mejor material seleccionado a través del coeficiente de Spearman.
- Proceso CAD, desarrollo de modelo geométrico (guardafango) en el programa Autodesk Inventor Profesional.
- Proceso CAE, simulación de impacto, choque y validación de resultados, por medio de Hypermesh, módulo Radioss, donde se realiza la presentación de deformación por desplazamientos, esfuerzo plástico, energía específica y los esfuerzos de Von Mises, para verificar el comportamiento estructura del elemento en estudio.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

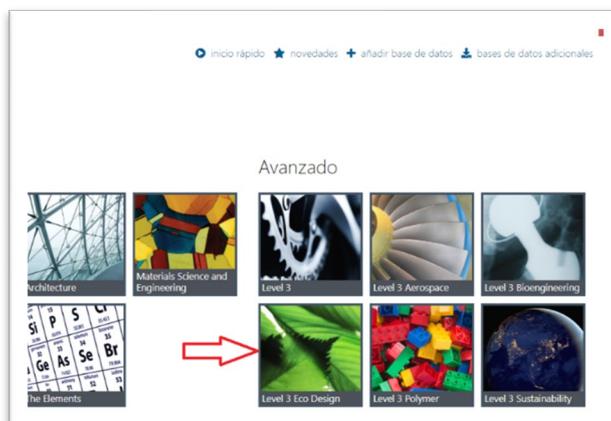
6.10 Obtención de propiedades del material sostenible con Software CES

EduPack, Nivel 3 – Eco Design

Para complementar información de datos fiables (Ansys Inc., 2022), en las tablas de propiedades mecánicas de los materiales escogidos e incrementar información como fuente de referencia y para luego la selección adecuada de material sostenible se utiliza el software Granta EduPack el cual brinda soporte con una gama de recursos. La utilización de materiales adecuados en una simulación y diseño mejora el rendimiento, además reduce el costo de tiempo y el riesgo al seleccionar mejores propiedades que aumentan la vida útil y satisfacción de los clientes o usuarios, este software se divide en tres niveles, cada nivel contiene información de tipo básica, intermedia y avanzada a estos niveles se les asigna características que pueden cumplir los materiales, en los niveles del software se puede visualizar las propiedades del material, agregar modelos con sintetizador con bases de datos de sostenibilidad y ecodiseño e incluir la metodología de selección de materiales de Ashby. La implementación de información para este trabajo de posgrado se realiza con el software CES EduPack versión 2019, seleccionando el nivel 3 Eco Design como se muestra en la *Figura 35*.

Figura 35

Selección Nivel 3 Eco Design, nivel avanzado.



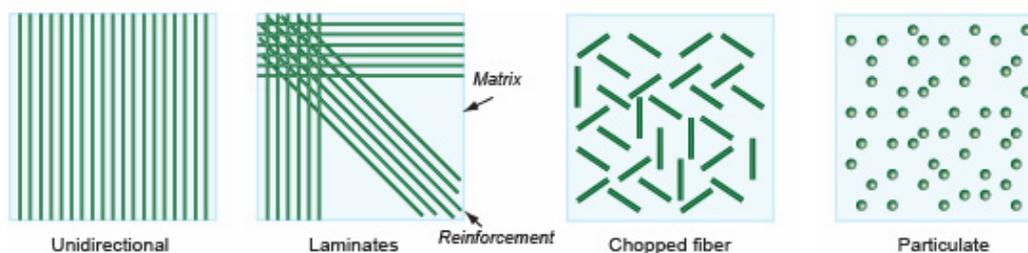
Nota: Captura de pantalla de inicio Software CES EduPack 2019.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Los modelos de límite simple predicen el rendimiento de un compuesto continuamente reforzado con fibra, materiales que muestran valores altos de rigidez y resistencia específicos y a menudo se utilizan por su bajo peso por el tipo de aplicaciones con las que se los solicita. El principio del software es que puede mezclar dos y más materiales para producir un material compuesto, trata de realizar un relleno con un refuerzo que en este caso es la Fibra Continua (UD y QI), en conjunto de una matriz de forma continua, los tipos de modelo del software pueden ser el unidireccional, laminares a 0° y a 45°, alineados, aleatorios y particulados como se observa en la *Figura 36* (Granta CES Edupack, 2019).

Figura 36

Orientación de las fibras de material compuesto.



Nota: Orientación de fibras (gráfico) (Granta CES Edupack, 2019).

6.10.1 Pasos para la creación de un material a partir de la herramienta

Synthesizer.

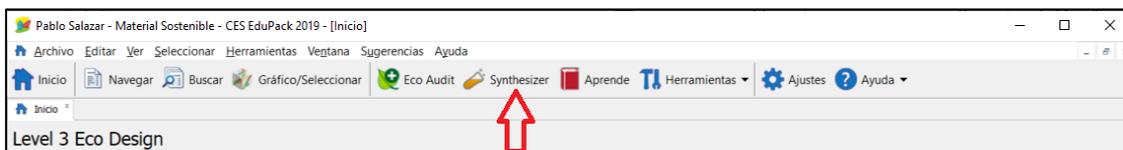
La revisión con software especializado CES EduPack, acerca de las propiedades que se puede obtener a partir del uso del nivel 3 Eco Design se realiza en conjunto de la herramienta Synthesizer, este instrumento predice el rendimiento de un panel tipo sándwiches, de una estructura celular, materiales multicapa y para el caso de estudio, los compuestos de fibra y partículas, la opción a escoger se indica en las *Figuras 37*.

Una vez seleccionado el nivel 3 Eco Design, se selecciona la herramienta Synthesizer del Software CES EduPack, ver *Figura 37*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 37

Selección de herramienta Synthesizer.

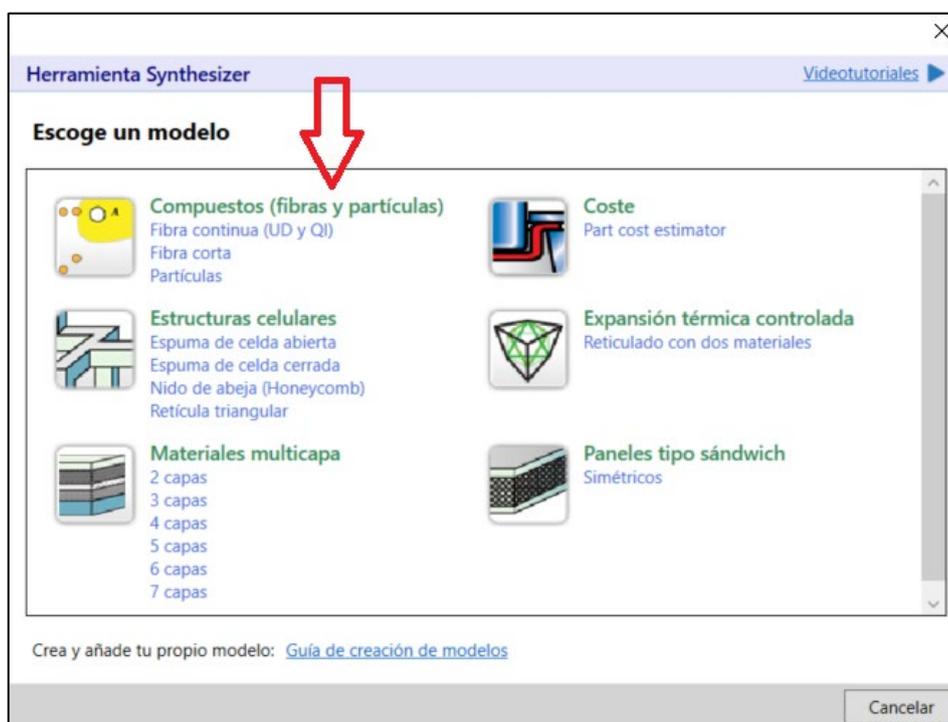


Nota: Captura de pantalla de la herramienta Synthesizer, Software CES EduPack 2019.

Luego se escoge el modelo de Compuestos (fibras y partículas), *Figura 38*.

Figura 38

Selección de la opción Compuestos (fibras y partículas), Software CES EduPack.



Nota: Captura de pantalla de los modelos de la herramienta Synthesizer, Software CES EduPack 2019.

Seleccionar la opción Fibra continua (UD y QI), al dar Clic sobre la opción se despliega la pantalla de la *Figura 39*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 39

Menú opciones fibra continua.

Fibra continua (UD y QI)

Predice el comportamiento de materiales reforzados con fibras continuas

Unidireccional = fibras alineadas [0°]
Cuasi isotropo = fibras en disposición multiaxial [0° / +45° / -45° / 90°]

Suposiciones:

- Distribución uniforme del refuerzo
- Unión perfecta entre matriz y fibra
- El material es totalmente denso

Orientación de la fibra

Unidireccional

Registros utilizados

Matriz

Fibra

Variables del modelo

Introduce valores o rango de valores. Por ejemplo, 1; 3; 8 o 1-8

Fracción volumétrica de fibra % Número de valores:

Nomenclatura de los registros

Matriz *

Fibra *

Este modelo generará 1 registros

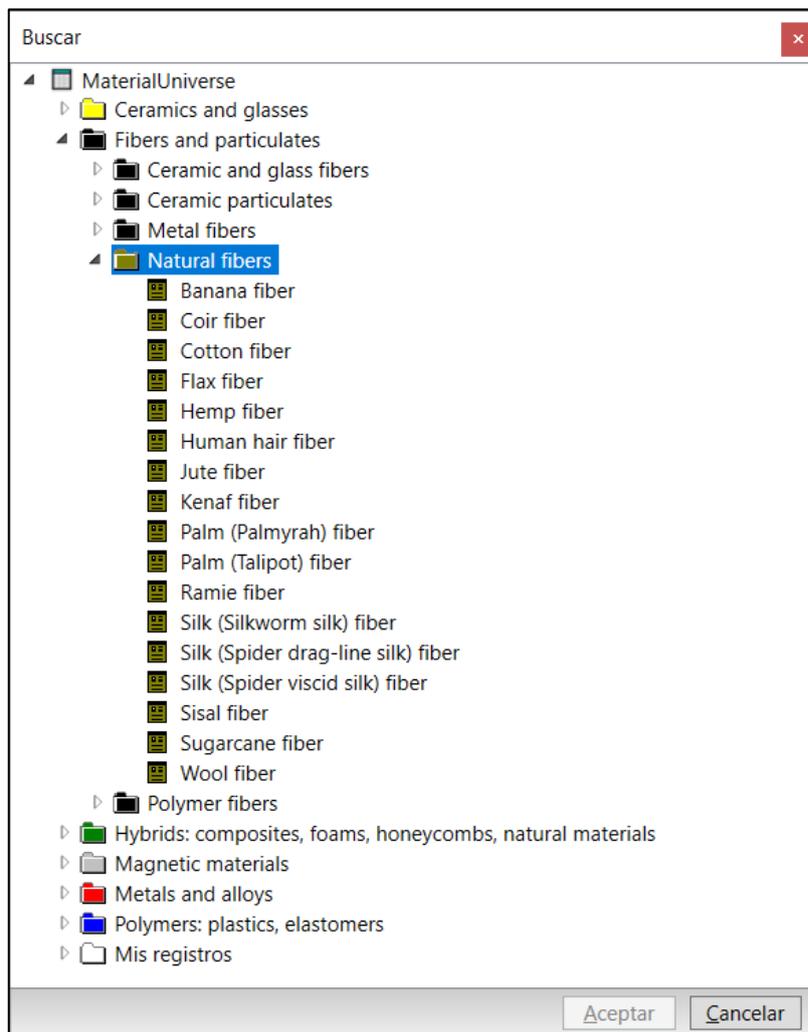
Nota: Captura de pantalla de las configuraciones de selección de fibra continua.

Clic en el botón buscar de la opción en Registros utilizados Matriz y Fibra, *Figuras 40 y 41.*

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 40

Opciones de fibras naturales disponibles CES EduPack 2019.

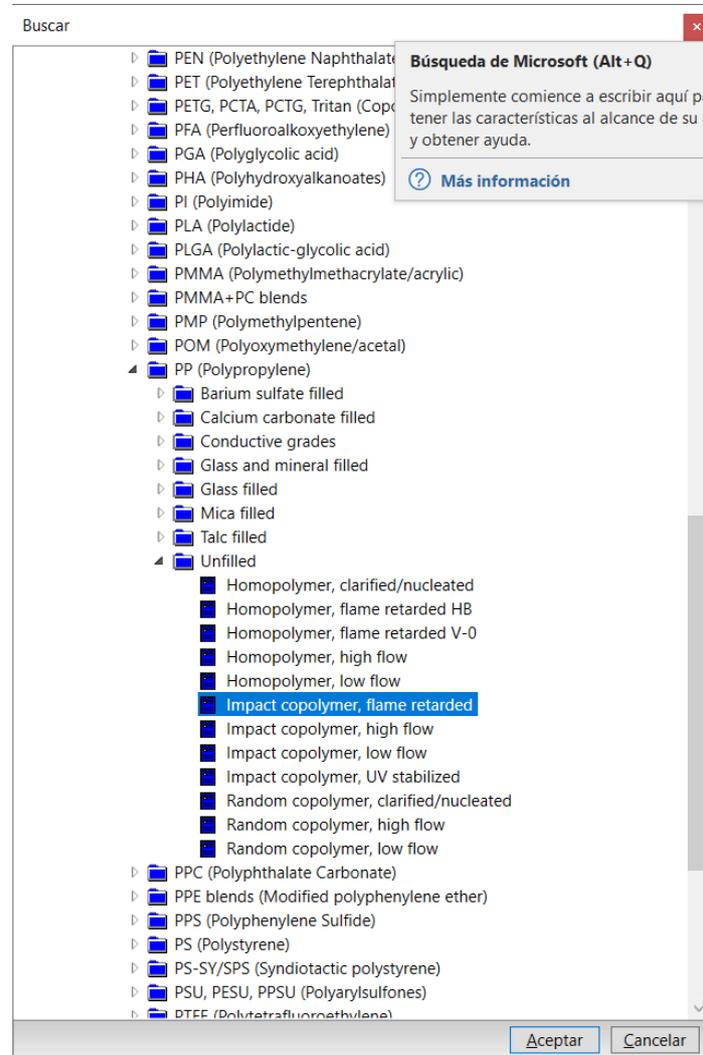


Nota: Captura de pantalla de opciones de fibras naturales CES EduPack 2019.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 41

Opciones de matriz termoplástica disponibles en las opciones PP (Polipropileno), CES EduPack 2019.



Nota: Captura de pantalla de opciones de matriz termoplástica CES EduPack 2019.

Una vez seleccionada la fibra natural y la matriz, la fracción volumétrica que se coloca para el caso estudio del presente trabajo es de 50 % de fibra diferentes fibras naturales, con relación de aspecto de la fibra 50, como se muestra en la *Figura 42*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 42

Registro de pantalla propiedades de fibra creada.

Fibra continua (UD y QI)

Predice el comportamiento de materiales reforzados con fibras continuas

Unidireccional = fibras alineadas [0°]
Cuasi isotropico = fibras en disposición multiaxial [0° / +45° / -45° / 90°]

Suposiciones:

- Distribución uniforme del refuerzo
- Unión perfecta entre matriz y fibra
- El material es totalmente denso

Orientación de la fibra

Unidireccional

Registros utilizados

Matriz: PP (impact copolymer, flame retarded) [Buscar...]

Fibra: Banana fiber [Buscar...]

Variables del modelo

Introduce valores o rango de valores. Por ejemplo, 1; 3; 8 o 1-8

Fracción volumétrica de fibra: 50 % Número de valores: 6

Nomenclatura de los registros

Matriz: PP

Fibra: Banano

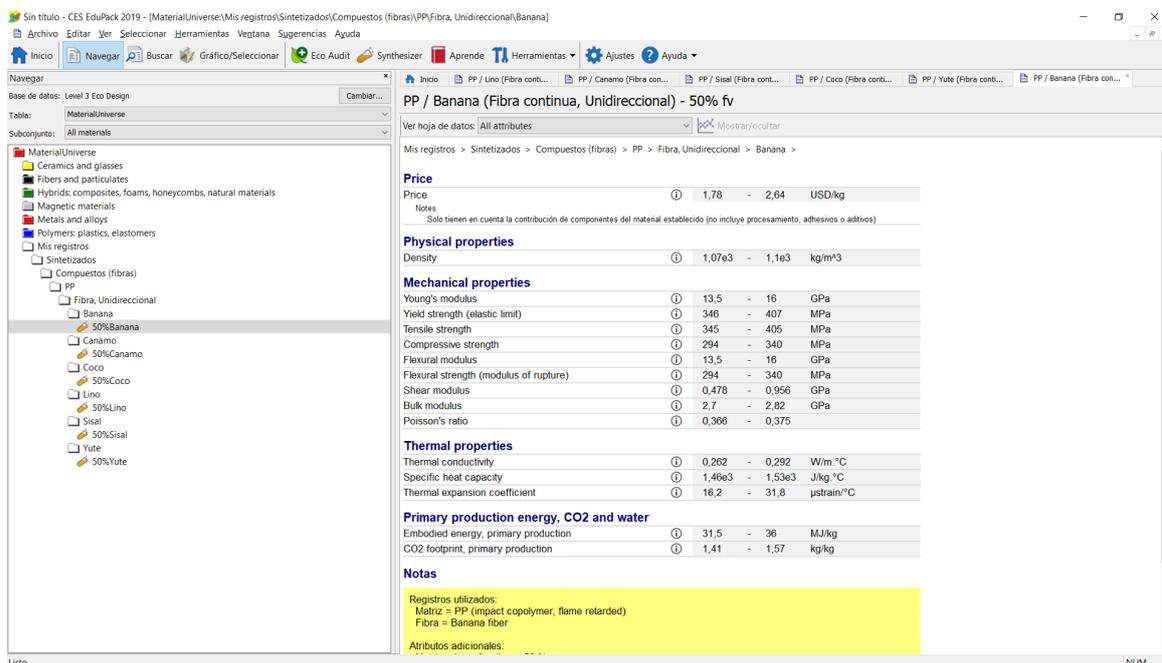
Este modelo generará 1 registros [Anterior] [Crear] [Cancelar]

Al dar Clic en el botón Crear se genera un nuevo registro de material, el cual contiene las condiciones mencionadas en los pasos anteriores, el resumen de las propiedades de material, se detallan en la *Figura 43*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 43

Propiedades creadas a partir del uso de CES EduPack.



Nota: Captura de pantalla CES EduPack, propiedades de material creadas.

Las propiedades que el software CES EduPack proporciona son indicadas en la *Tabla 8*. Además, como criterio del ejecutor de los métodos multicriterio es preciso mencionar que a partir de esta tabla, acerca de las propiedades de los materiales obtenidos a partir del software CES EduPack, se tomó como criterios positivos a las propiedades mecánica, por citar al módulo de Young, a la resistencia a la fluencia, resistencia a la tracción, resistencia a la compresión, al módulo de flexión, al módulo de cizallamiento, al módulo de rigidez y al coeficiente de Poisson, como criterios no beneficiosos se tomó al precio por kilogramo, a la densidad, a la energía incorporada y a la huella de CO₂

Los criterios positivos de las propiedades mecánicas se tomaron en cuenta ya que valores altos son ideales al momento de impacto. Los criterios negativos o menos beneficiosos debido a que un costo de materia prima ocasiona poca inversión en investigación de las fibras compuestas, la densidad es factor negativo visto que si el valor aumenta también aumenta el peso del material, la energía incorporada en la producción

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

primaria y una huella de carbono alto respectivamente no son deseables energéticamente, también visto el punto medioambiental. Dichos aspectos se muestran en la *Tabla 8*.

Tabla 8

Propiedades que se pueden obtener del software CES EDU Pack conjunto con los criterios beneficiosos y no beneficiosos a utilizar en los métodos de selección multicriterio.

Propiedades	Características	Criterio Beneficioso (+), No beneficioso (-)
Valor monetario	Precio (USD/kg)	-
Físicas	Densidad (Kg/m ³)	-
	Módulo de Young (GPa)	+
	Resistencia a la fluencia (límite elástico) (MPa)	+
	Resistencia a la tracción (MPa)	+
	Mecánicas	Módulo de flexión (rigidez a la flexión) (GPa)
Ecológicas	Módulo de cizallamiento (GPa)	+
	Módulo de rigidez (GPa)	+
	Coefficiente de Poisson (adimensional)	+
	Energía incorporada (producción primaria) MJ/kg	-
	Huella de CO ₂ (producción primaria) (kg/kg)	-

6.11 Métodos multicriterio, pasos para la selección de mejor material

Existen varios materiales sostenibles, sin embargo, resulta necesario tomar una decisión con respecto de las propiedades mecánicas adecuadas para que pueda cumplir características que hagan en conjunto con un polímero un material que termine obteniendo propiedades superiores.

Actualmente expertos en todo el mundo utilizan varios métodos científicos y empíricos para la toma de decisiones que aplicando algoritmos y métodos numéricos con los cuales resulta posible resolver dichas operaciones, haciéndolas menos complejas para elegir una alternativa adecuada entre varias alternativas (Bunge, 2017). El uso de métodos científicos y matemáticos es eficiente y eficaz para decidir la mejor alternativa sobre

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

contextos que se presenten al momento de tomar la decisión independientemente del contexto estudiado (Mirabal y Luna, 2018).

La toma de decisión con la utilización de criterios múltiples como los MCDM, se consideran como los métodos científicos más importantes utilizados cuando el decisor considera para su estudio más de un atributo, entonces se pueden resolver problemas de organizaciones y de la sociedad humana (Quintero y otros, 2013).

Los materiales compuestos por fibras naturales junto a una matriz polimérica proporcionan una resistencia específica además de una relación de biodegradabilidad del material debido a que los materiales se obtiene de fuentes naturales renovables son baratos por unidad de volumen, a diferencia de las fibras tradicionales de ingeniería, la fibras lignocelulósicas enriquecen las propiedades de los materiales (Uğraşkan y otros, 2019) son materiales de baja densidad, causan menos desgaste en las máquinas de producción, no provocan riesgos para la salud, tienen propiedades de alta flexibilidad (Franco y González, 2004).

La selección de mejor material se efectúa a través de la toma de decisiones multi criterio, previo a ello para determinar la ponderación o la mejor propiedad y característica que debe cumplir un material, como un buen procedimiento de ingeniería y para disponer de resultados objetivos se realiza primero el método de la entropía, ya que se parte de un criterio de mayor relevancia por la variedad de evaluaciones que se dispone por cada propiedad del material. El método de ponderación utilizado es la entropía EWM, y los métodos de decisión multicriterio que se encuentran en el presente estudio son: COPRAS, VIKOR, ARAS y MOORA.

Los valores obtenidos bajo criterio de diseño pesimista, tomando el escenario más desfavorable de los materiales es decir los valores más bajos de las propiedades mecánicas, el valor más alto para precio, más alto para las propiedades físicas y así mismo los criterios

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

ecológicos más elevados se presentan en la *Tabla 9*, estos valores son iniciales para el uso de los métodos de selección multicriterio.

Tabla 9

Valores de propiedades de los materiales sintetizados en el CES EduPack.

Materiales	Código	Diferentes Propiedades											
		Valor	Físicas				Mecánicas				Ecológicas		
		USD/kg	kg/m ³	GPa	MPa	MPa	GPa	GPa	GPa	Adimensional	MJ/kg	kg/kg	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
		-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	
Lino	M1	3,57	1210	14	85,5	385	14	0,517	2,56	0,366	38,8	1,65	
Cáñamo	M2	3,09	1210	28	111	285	28	0,379	2,72	0,316	37,7	2,39	
Sisal	M3	2,63	1180	5,21	258	285	5,21	0,491	2,41	0,371	38,5	2,43	
Coco	M4	2,64	1100	13,5	346	345	13,5	0,478	2,7	0,366	36	1,57	
Yute	M5	2,1	1210	9,01	83	210	9,01	0,32	2,8	0,366	36,3	3,21	
Banano	M6	2,34	1060	2,51	60,5	72,4	2,51	0,47	2	0,383	41,8	2,52	

Nomenclatura de Tabla 9:

A: Precio	B: Densidad	C: Módulo de Young
D: Resistencia a la fluencia (límite elástico)	E: Resistencia a la tracción	F: Módulo de flexión (rigidez a la flexión)
G: Módulo de cizallamiento	H: Módulo de rigidez	I: Coeficiente de Poisson
J: Energía incorporada (producción primaria)	K: Huella de CO ₂ (producción primaria)	+ Beneficiosos - No beneficioso

Nota: Datos tomados del programa CES EduPack.

6.11.1 Método de ponderación de la entropía (EWM)

Para realizar el cálculo a través del método de ponderación de la entropía se sigue la siguiente estructura matemática (Zhu y otros, 2020):

Paso 1: Se debe construir una matriz de decisión indicada como *Ecuación (2)*.

$$X = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} ; i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Paso 2: Se calcula la matriz de decisión normalizada P_{ij} , el objeto de normalizar la matriz es el de conseguir valores adimensionales que contengan diferentes criterios para comparar entre sí los valores, para ello se utiliza la *Ecuación (3)*.

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (3)$$

Paso 3: Se calcula la matriz columna de entropía, que se representa con el valor E_j , de la *Ecuación (4)*.

$$E_j = -k \left(\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \right) \quad (4)$$

La constante $k = \frac{1}{\ln m}$ garantiza que el valor de la entropía se encuentre entre $0 \leq E_j \leq 1$, m representa al número de alternativas.

De tal manera la *Ecuación (4)*, puede quedar como en la *Ecuación (5)*:

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \left(\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \right) \quad (5)$$

Paso 4: Se calcula la matriz columna el parámetro de diversidad de criterio D_j , *Ecuación (6)*.

$$D_j = 1 - E_j \quad (6)$$

Paso 5. Se calcula la matriz columna de ponderación (peso) normalizado de cada criterio W_j , *Ecuación (7)*.

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^m D_j} \quad (7)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

6.11.2 Método COPRAS

En la técnica de decisión COPRAS existe una primera matriz de decisión basada en información que se recibe de la matriz como similar a la Ecuación (2), (Zhu y otros, 2020).

Paso 1: Calculamos la matriz de decisión normalizada x_{ij}^* , de distintas i th alternativas con los j th atributos, como se indica en la Ecuación (8).

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (8)$$

Paso 2: Determinar la matriz de decisión normalizada con los pesos D_{ij} , como sigue en la Ecuación (9).

$$D_{ij} = x_{ij}^* * w_j = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Paso 3: Previo a la suma de valores positivos y negativos el ejecutor del método debe escoger cuales son los criterios que más se ajustan a la aplicación requerida, los valores positivos quieren decir que para la decisión se deberá escoger los valores a tomar en cuenta con razonamiento más cercano a la solución ideal, los criterios negativos no significa exclusiones, si no, más bien es algo que no se busca, valores que aportan menos a la decisión, son valores no requeridos, sin embargo son importantes dentro del estudio de selección, estos criterios fueron mostrados en la *Tabla 8*.

Paso 4: Se suman de los valores positivos y negativos no deseables normalizados ponderados S_{i+} y S_{i-} , las sumas de cada uno respectivamente se las realiza con las Ecuaciones (10) y (11). Cabe recalcar que el ejecutor del método debe decidir cuáles son las propiedades o características más positivas (valores más altos mejor) y las de menor relevancia serán las de ponderación negativa (valores más altos como peor).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

$$S_{i+} = \sum_{k=1}^k D_{ij} \quad (10)$$

$$S_{i-} = \sum_{k=1}^k D_{ij} \quad (11)$$

Paso 5: El significado relativo de cada alternativa Q_i se calcula mediante la Ecuación (12).

$$Q_i = S_i + \frac{\sum_{j=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (12)$$

Este significado de importancia relativo Q_i de las diferentes alternativas indica el grado de concordancia alcanzado de cada alternativa.

Paso 6: El llamado índice de rendimiento P_i de cada una de las alternativas, se realiza con la Ecuación (13).

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100 \quad (13)$$

Se realiza un ordenamiento de los valores de mayor a menor, el valor Q_{max} representa un valor máximo de la importancia relativa, los valores que pertenecen al índice de rendimiento P_i sirven para obtener la completa clasificación de las alternativas.

6.11.3 Método VIKOR

Se utiliza una matriz de decisión, basándose en información recibida por el decisor, como describe la Ecuación (14), (Sennaroglu y Celebi, 2018):

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} ; i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (14)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Paso 1: Se determinan el mejor y peor beneficio, estos criterios fueron mostrados en la *Tabla 8*, valores según las funciones de criterio de cada alternativa, para ello se hace el uso de las *Ecuaciones (15) y (16)*.

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad (15)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (16)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

Paso 2: El cálculo de una distancia positiva va desde cada valor hacia la solución ideal S_i y a la distancia de cada valor a una solución ideal negativa R_i , se calcula con las *Ecuaciones (17) y (18)*.

$$R_i = \max_j \frac{W_i f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \quad (17)$$

$$S_i = \sum_j^n W_i \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \quad (18)$$

Paso 3: Para calcular el valor Q_i para $i = 1, \dots, I$, se debe aplicar la *Ecuación (19)*.

$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (19)$$

$$S^* = \min S_i; \quad S^- = \max S_i$$

$$R^* = \min R_i$$

En la cual R^- , se calcula como se indica en la *Ecuación (20)*:

$$R^- = \max R_i \quad (20)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

El valor (v) es una referencia de ponderación que indica la distancia hacia la solución ideal negativa de los correspondientes valores i_{th} , como se señala en la *Ecuación (21)*:

$$(v > 0,5) * \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (21)$$

Paso 4: Se debe determinar el *ranking*, ordenar una matriz columna con los valores obtenidos, el valor más cercano a cero de los valores obtenidos Q_i , corresponde a la mejor alternativa, sin embargo, se deben observar alternativas de ranking compromiso, para ello se clasifica los valores S, R, Q de forma decreciente, es decir, se tiene tres listas diferentes.

Paso 5: Se propone una alternativa compromiso al menor valor de Q_i esta se llama a' se debe verificar si cumplen dos condiciones, de las *Ecuación (22)*:

Condición 1

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (22)$$

Donde a'' , es la alternativa con la segunda posición en el ranking de la lista Q_i , y DQ se define como indica la *Ecuación (23)*:

$$DQ = \frac{1}{n - 1} \quad (23)$$

n, significa el número de alternativas

Condición 2

La aceptabilidad aceptable en la toma de decisiones (Opricovic y Tzeng, 2004) La alternativa a' también debe ser la mejor clasificada por S y/o R. Esta solución de compromiso es estable dentro de un proceso de toma de decisiones, que podría ser:

"votación por regla de la mayoría" (cuando se necesita $v > 0:5$), o "por consenso" $v > 0:5$, o

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

"con veto" ($v < 0.5$). Aquí, v es el peso de la estrategia de decisión "la mayoría de los criterios" o "la máxima utilidad del grupo".

6.11.4 Método ARAS

Se realiza la matriz de decisión que se utiliza a partir de la información recibida para la decisión, según la *Ecuación (24)*, (Dadelo y otros, 2012):

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Paso 1: El ejecutor del método debe escoger cuales son los criterios que más se ajustan a la aplicación requerida, los valores positivos quieren decir que para la decisión se deberá escoger los valores a tomar en cuenta con razonamiento más cercano a la solución ideal, los criterios negativos no significan exclusiones, si no, más bien es algo que no se busca, valores que aportan menos a la decisión, son valores no requeridos, sin embargo, son importantes dentro del estudio de selección.

Paso 2. Construir matriz con criterio óptimo, y considerar cuales con los criterios beneficiosos y no beneficiosos.

Si $\max_i x_{ij}$; es preferible como beneficioso

Si $\min_i x_{ij}$; es preferible como no beneficioso

Paso 3: Se calculan los valores óptimos de cada atributo, los valores positivos como muestra la *Ecuación (25)* y los valores negativos con la *Ecuación (26)*.

$$X_{ij} = \max_i x_{ij}; i = 0, 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (25)$$

$$X_{ij} = \min_i x_{ij}; i = 0, 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (26)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Paso 4: Calcular la matriz de decisión normalizada \bar{X}_{ij} , se debe tener en cuenta la Ecuación (27).

$$\bar{X}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m X_{ij}} \quad (27)$$

$$\bar{X}_{ij} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

El método de cálculo de los criterios menos beneficiosos se utiliza la Ecuación (28).

$$X_{ij} = \frac{1}{X_{ij}^*}; \bar{X}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m X_{ij}} \quad (28)$$

Paso 5: Para calcular la matriz de decisión normalizada ponderada (por pesos) se obtiene con la Ecuación (29).

$$\hat{X}_{ij} = \bar{X}_{ij} \times W_j \quad (29)$$

$$\hat{X}_{ij} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{11} & \hat{x}_{12} & \dots & \hat{x}_{1n} \\ \hat{x}_{21} & \hat{x}_{22} & \dots & \hat{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ \hat{x}_{m1} & \hat{x}_{m2} & \dots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

Los valores ponderados por peso W_j se determinan con el método entropía como se indicó en la Ecuación (8). W_j representa el peso del criterio j y \bar{X}_{ij} y corresponde a la categorización normalizada de cada criterio.

Paso 6: Calcular la función de optimización, valor S_i utilizando la Ecuación (30).

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{X}_{ij} \quad (30)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

El S_i de una función de optimización de una i como alternativa, mantiene la relación directamente proporcional al proceso de los valores X_{ij} y ponderaciones W_j criterios tratados y la influencia relativa del resultado final.

Paso 7: Se obtiene el mejor valor S_i de la fila de criterios óptimos, el valor máximo de los valores calculados y del criterio óptimo representa el valor S_0 , el grado de utilidad K_i se calcula de acuerdo con la *Ecuación (31)*.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (31)$$

Los valores S_i y S_0 representan la función de optimización. Estos valores comienzan en 0 hasta un 100 %, ya que la alternativa con el valor K_i más alto en este caso es la mejor alternativa analizada.

6.11.5 Método MOORA

Los pasos para realizar el método MOORA son los siguientes:

Paso 1: Se realiza una matriz inicial con los datos de decisión X_{ij} , como se indica en la *Ecuación (32)*, (Limpong y otros, 2018):

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} ; i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (32)$$

Paso 2: Se procede a calcular la matriz de radios, para normalizar de la siguiente forma $X_{ij} = [(\bar{x}_{ij})]$, la *Ecuación (33)*, indica la forma de normalización:

$$\bar{X}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=0}^m x_{ij}^2}} \quad (33)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Paso 3: Se define la ponderación de criterios o el vector de pesos, matriz de pesos normalizada y se realiza el cálculo de la matriz normalizada de ponderación. Debe multiplicarse la matriz de dedición normalizada con los pesos o ponderación de cada criterio.

$$W = [W_1 \ W_2 \ W_3 \ \dots \ W_n]$$

Paso 4: Determinar la función de agregación que evalúe a cada una de las alternativas y_i , para ello la *Ecuación (34)*.

$$y_i = \sum_{j=1}^g W_j \overline{X_{ij}} - \sum_{j=g+1}^n W_j \overline{X_{ij}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (34)$$

El incremento de los valores de $i = 1, 2, 3, \dots, hasta\ g$ corresponden al criterio clasificado como valor máximo; y el incremento de los valores $i = g + 1, g + 2, \dots hasta\ n$, corresponden al criterio de clasificación mínimo.

Paso 5: Se determinan los valores preferenciales, el valor y_i más alto, representa la mejor alternativa.

6.12 Pasos para Cálculo de la correlación Rho Spearman

Según (Barreto R., 2011), los pasos a seguir para conseguir el valor rho de Spearman, se debe seguir los siguientes pasos:

En una tabla de 5 columnas colocar en las primeras dos, los datos de pares necesarios para establecer o no la correlación, como se indica en el ejemplo de la *Tabla 10*.

Para el cálculo del valor d_i , se realiza la diferencia entre las columnas del Rango (x) y Rango (y), es decir dato 1 menos dato 2 respectivamente.

Una vez obtenida la diferencia, el valor d_i elevar al cuadrado cada uno y calcular, la suma de los valores elevados al cuadrado.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Finalmente se debe utilizar la *Ecuación (35)*, para el cálculo de rho de Spearman, comparar el valor obtenido de la correlación de Spearman con cada una de las escalas de interpretación del coeficiente. Este método se ocupa para saber la correlación entre 2 métodos de selección multicriterio a la vez, sin embargo, se deben cotejar las correlaciones entre todos los métodos obtenidos.

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (35)$$

Donde d, representa la diferencia entre la jerarquía de los valores que se van a observar en la correlación o no de los datos, n representa al número de datos analizados.

Tabla 10

Formato de datos para el cálculo Spearman.

Material	Dato 1	Dato 2	Rango (x)	Rango (y)	d	d ²
1						
...						
n						

$$\sum d^2 =$$

6.13 Diseño CAD de la geometría para la simulación de impacto de guardafango vehicular.

El diseño CAD de la geometría del guardafango que se incluyó en el software de simulación se realizó a partir de fotografías de diferentes vistas de un guardafango frontal izquierdo que pertenece al modelo Chevrolet Sail año 2018, el collage de las diferentes vistas ocupadas se puede observar en la *Figura 44*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 44

Collage de fotografías, diferentes vistas para modelado 3D, guardafango Chevrolet Sail 2018.

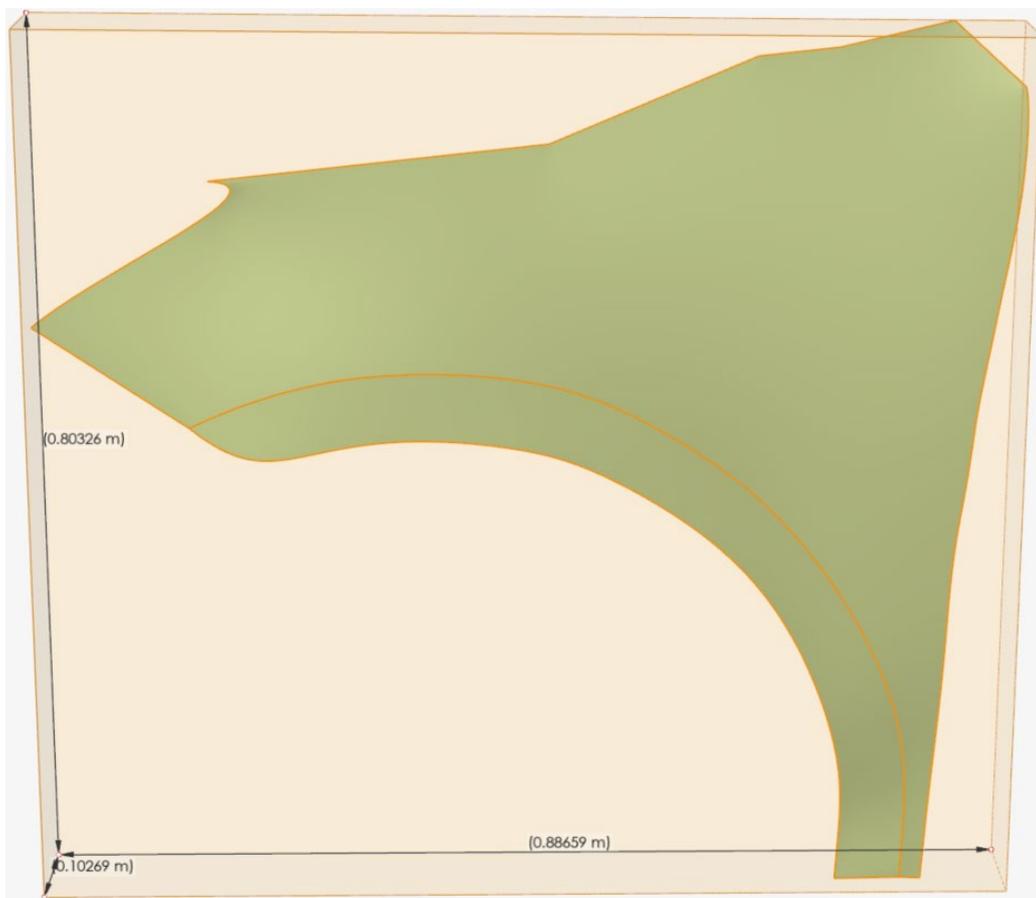


El resultado del modelado en 3D con medidas reales realizadas en el programa Autodesk Inventor Profesional a través del perfil con licencia de estudiante, se muestra en la *Figura 45*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 45

Medidas reales en milímetros del guardafango Chevrolet Sail 2018.



La geometría se guardó en un archivo con extensión igm, la cual puede ser leído por el programa HyperMesh de la compañía Altair Engineering, para la simulación de impacto.

6.14 Pasos para el uso de software de impacto, Altair Radioss

Para la validación, resultados y conclusión del estudio y uso de un material sostenible para el refuerzo de un guardafango de un vehículo, se utilizarán programas CAD como el Inventor Profesional, para el bosquejo del elemento a ser analizado y también un software especializado en simulación por ordenador.

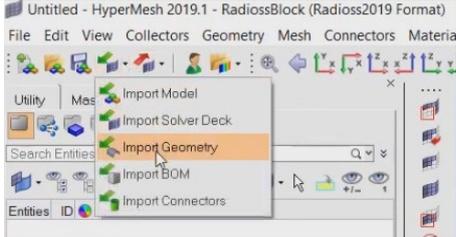
Los pasos que se detallan a continuación se obtuvieron de varias fuentes bibliográficas que pertenecen a la empresa Altair, entre ellos: Guía de ejemplos Altair Radioss (Altair, 2019), Guía de referencia (Altair, 2019), Manual de teoría (Altair, 2019),

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

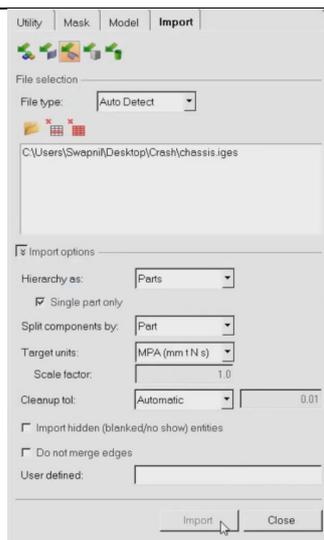
Tutoriales (Altair, 2019), Códigos de usuario (Altair, 2019), Guía de usuario (Altair, 2019), Problemas de verificación (Altair, 2019), apuntes en clase de la catedra de diseño asistido por computador de la maestría de Diseño Industrial y Procesos de la Universidad Internacional SEK.

Tabla 11

Pasos para la simulación de impacto, con capturas de pantalla.

Paso 1	Abrir HyperMesh, en la selección (User Profiles), seleccionar RADIOSS 2019
	
Paso 2	Importar Geometría
 <p data-bbox="421 1581 1391 1738">Revisar que una vez seleccionado el modelo o archivo el cual se va a someter al estudio, tenga las unidades del sistema internacional SI (Esfuerzos en MPa, Desplazamiento en mm, Fuerza en Newton, tiempo en segundos)</p>	

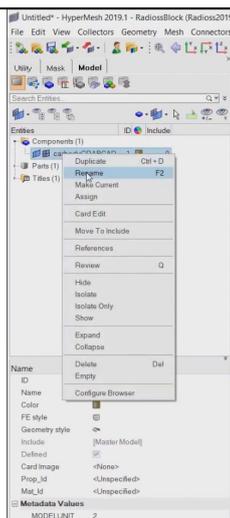
SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



Clic en el botón **Import**

Paso 3

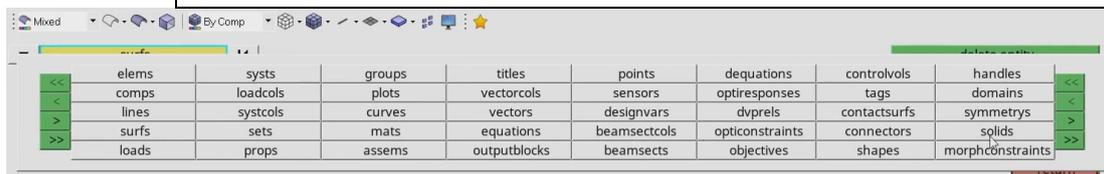
En el explorador Model, en la sección **Components**, Clic derecho y cambiar el nombre (ej: guardafango), además se puede cambiar el color del elemento sujeto a análisis



Paso 4

Borrar todas las superficies

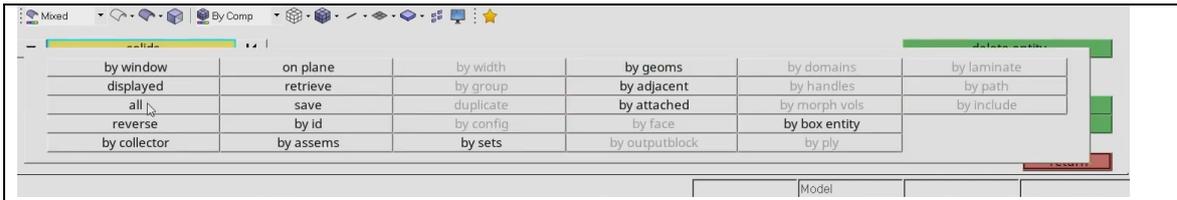
Clic en el teclado en F2 (panel de geometría)



Seleccionar **solids**, en el menú desplegable Clic.

Seleccionar **all**

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



Clic delete entity

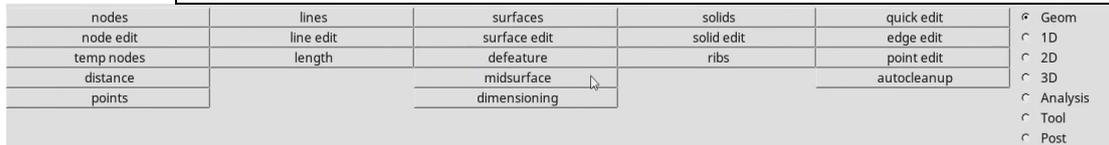


Paso 5

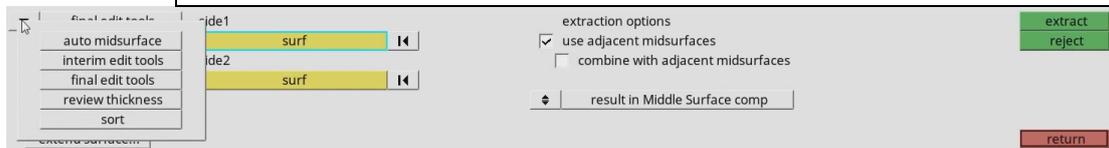
Extracción de la superficie intermedia (**MIDSURFACE EXTRACTION**)

Ingresar al panel de geometría (F2)

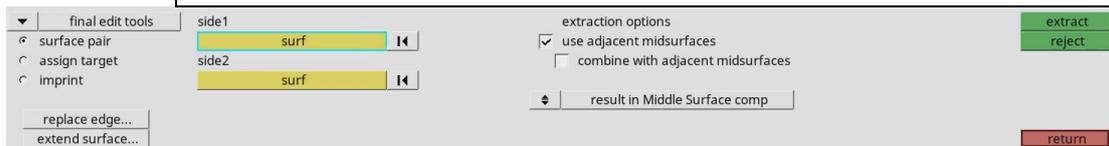
Clic en el botón **midsurface**



Clic para desplazar el menú y seleccionar **final edit tools**



Dejar el resto de los parámetros tal como se presenta en la pantalla

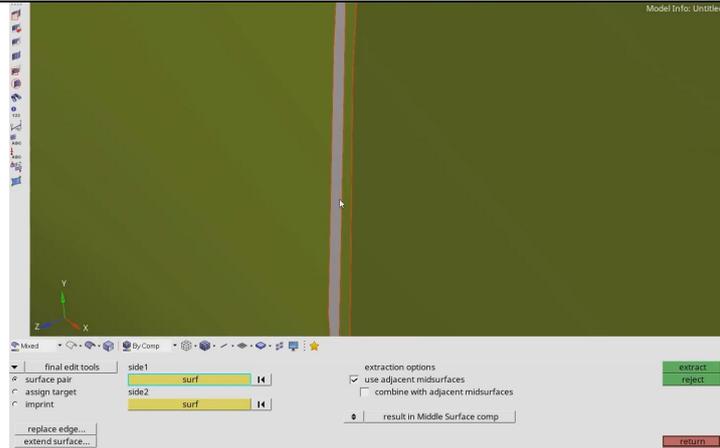


Clic en botón superior surf y seleccionar una superficie externa (side 1)

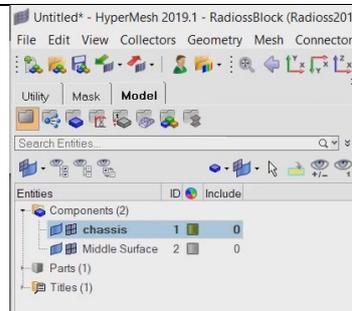
Clic en botón superior surf y seleccionar una superficie externa (side 1)

Una vez seleccionadas las dos superficies, una externa y otra interna observar en la pantalla que se a creado una nueva superficie que se encuentra entre ambas, esta es la superficie de estudio **MID SURFACE**

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



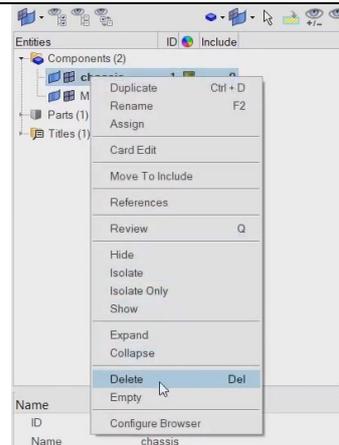
Una vez creada la superficie intermedia y se observe creada la capa en el menú de componentes, se debe grabar el modelo con la extensión *.hm



La capa creada aparece con el nombre **Middle Surface**, se debe renombrar la nueva capa media creada, ej: chassis, guardafango, etc.

PASO 6: Edición de Geometría

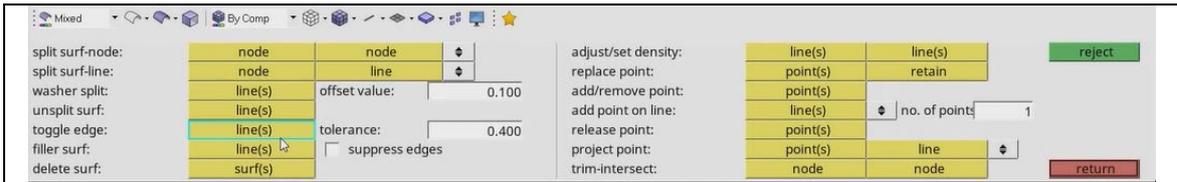
Borrar la superficie original desde el explorador de componentes, solo deberá quedar una superficie, es decir la superficie intermedia que se renombro en el paso anterior.



PASO 7: Organización

Clic en F11 para visualizar el menú de Organización

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



Colocar valor en offset value: 0,100

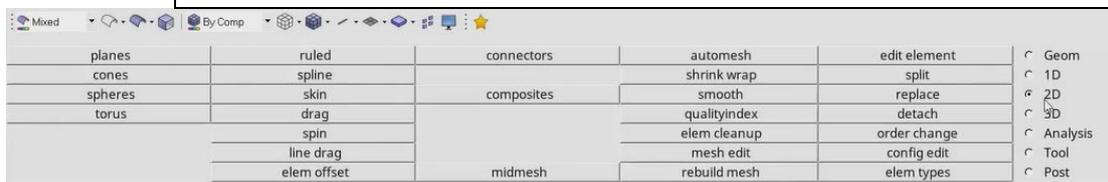
Colocar valor en tolerance: 0,100

Seleccionar todas las líneas de contorno para aplicar la tolerancia y el valor offset

PASO 8:

Generación de Malla

En el menú principal (F2), Clic en la opción 2D



Clic sobre la opción **automesh**

Seleccionar opción superficies (**surfs**)

Clic en la opción **size and bias**

Seleccionar el tipo de malla **interactive**

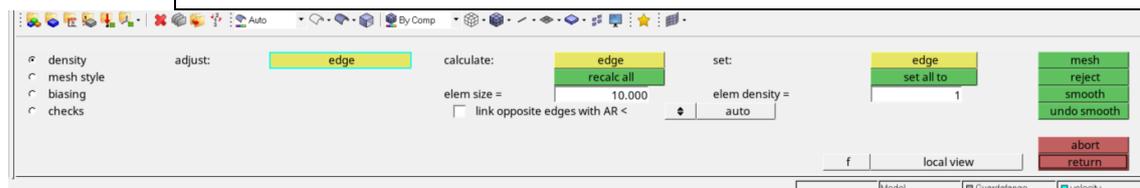


El tamaño del elemento (element size) es 10.000 mm

El tipo de elemento (mesh type) es **mixed**, cuadrado y triángulo

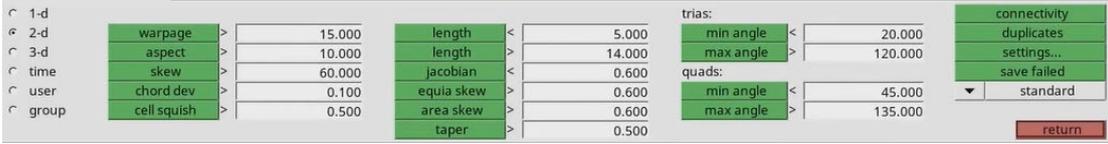
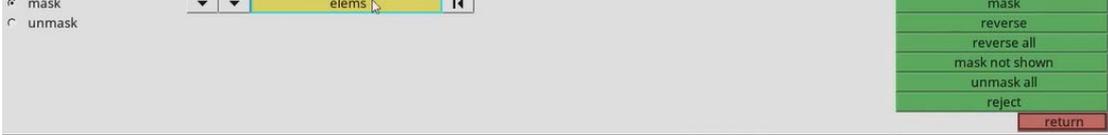
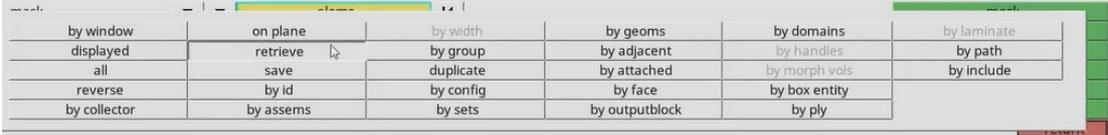
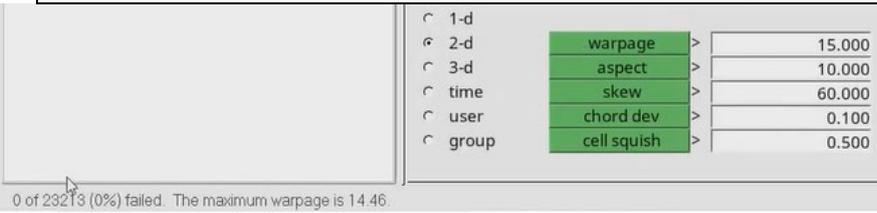
Las demás opciones deberán estar en la selección: **elems to surf comp**, **first order**, **keep connectivity**, además por default aparecen seleccionadas con un visto los casilleros **map**: size y skew

Clic en el botón derecho **mesh**, donde aparece el siguiente cuadro de diálogo



Seleccionar toda la superficie de guardafango a mallar

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

PASO 9:	Revisión de la Calidad del Elemento (Element Quality Check)
Clic en F10	
	
En el lado izquierdo seleccionar 2-d	
En este cuadro de diálogo se deberá considerar los valores de: 1) warpage, 2) minimum length y 3) jacobian, los pasos para el análisis son los siguientes:	
1) Warpage	
Clic en el botón verde (save failed)	
Clic en F5 (mask)	
	
Clic sobre la selección elems y luego Clic sobre el botón retrieve	
	
Clic en el botón verde mask	
	
Si aún no se observa mallado una superficie se debe corregir la calidad enmascarando el elemento, visto que se debe controlar el valor de warpage , el valor puede estar entre 0 y 14,46 sin embargo por experiencia se recomienda que este valor sea 0, es decir un buen mallado del elemento indicará 0% de fallas, así:	
	
Si existe algún porcentaje de error (failed) cuando se oprime el botón verde de warpage, significa que aún se debe trabajar sobre un elemento	

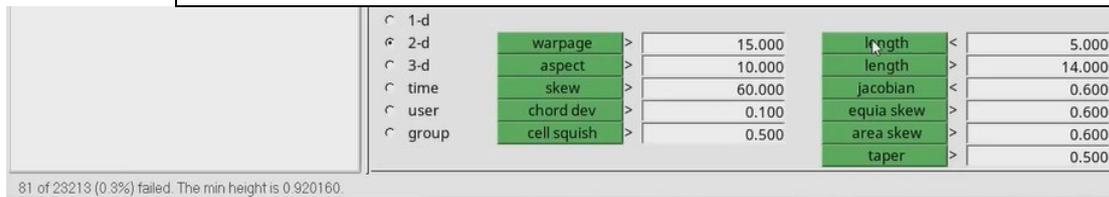
SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

mallado, para ello se debe hacer Clic en F2, luego en la opción 2-d, seleccionar **elems** y luego **QI optimize**, el tipo de mallado debe ser triangular



2) Minimun Length

La longitud mínima recomendada del software es: 0,920160; es decir que el mallado debe tener un valor menor a este error.



Para verificar el minimum length, Clic sobre el botón verde (**length**)

Clic en F5 (mask)



Clic sobre **elems** y luego Clic en el botón **retrieve**

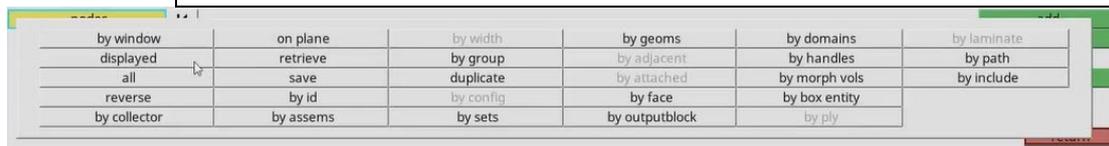


Clic en **mask**

Clic en reverse

Con el teclado **Shift + F2** para abrir el panel de nudos (**nodes**)

Clic en **displayed**



Clic en **add**

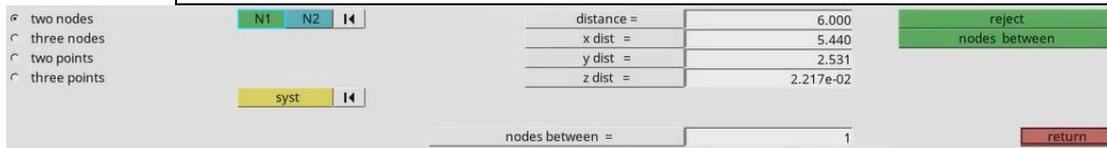
SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



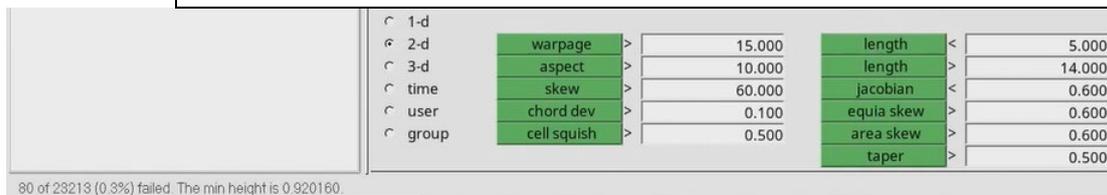
Clic en **unmask all**

Clic en **return**

Se debe editar las distancias entre nodos, se deben dar formas triangulares en las secciones que la malla no pudo realizarse, para ello se presiona la tecla F4 el cual abrirá el panel de



Se debe controlar que el porcentaje de error baje en la longitud del elemento

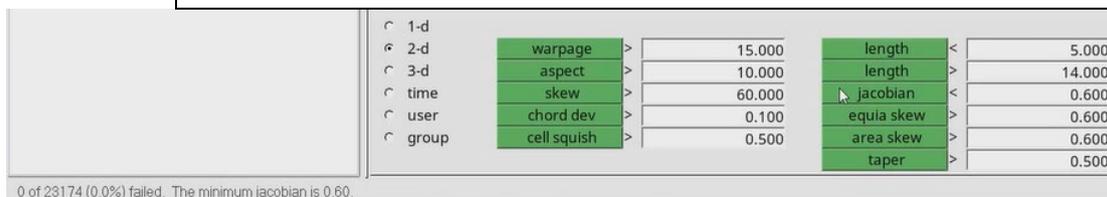


Cuando se termine de controlar todos los elementos se debe limpiar los nodos temporales creados, Clic en el botón **clear**



3) Jacobian

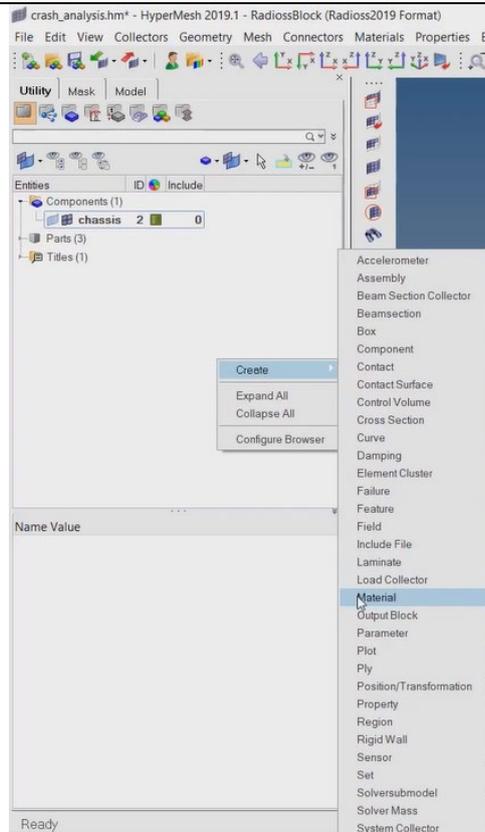
El valor de jacobiano permitido por el software es 0,60, se debe controlar con la corrección de nodos temporales la longitud y el valor observando si reduce el valor cuando se realiza la corrección de longitud, el valor debe ser menor al 0,60% de fallas.



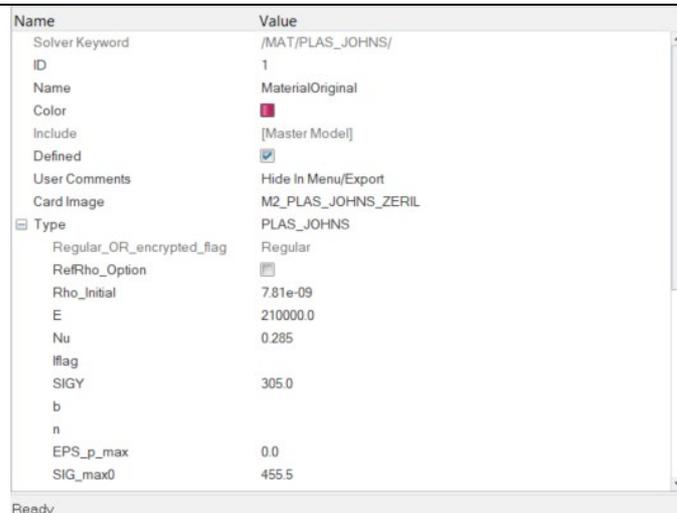
PASO 10	Solver Deck Setup, Configuración de la plataforma del solucionador Radioss 2019
->	Creando Material

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

En el panel model browser (Explorador de modelo), sección Entities, Clic derecho con el ratón



Dar nombre al material ej: Steel y editar las propiedades del material, llenando los siguientes valores:

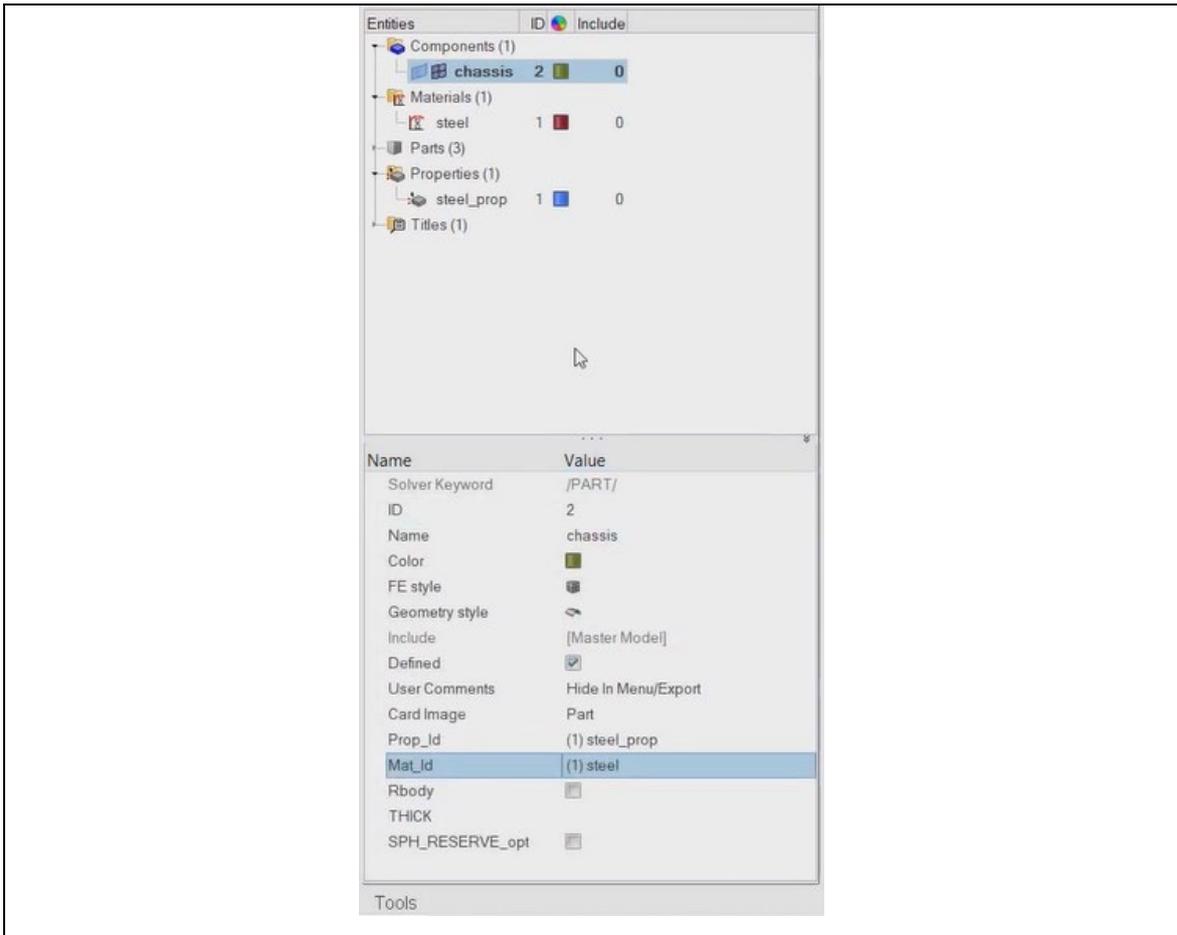


Card Image	M2_PLAS_JOHNS_ZERIL
Type -> Rho_Initial (Initial Density; ton/mm ³)	7,81 x 10 ⁻⁹
E (Young's Modulus; MPa)	210000

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

	nu (<i>Poisson coefficient</i>)	0,285
	SIGY (<i>yield strength; MPa</i>)	305
	SIG_max (<i>Tensile Strength; MPa</i>)	455
->	Crear nueva Propiedad	
		
	Dar nombre a la nueva propiedad ej: Steel_prop y editar las nuevas propiedades del material, llenando los siguientes valores:	
	Ishell (Integer node shell formulation)	24: QEPH shell formulation
	N (Number of integration points through the thickness 0<N<10)	6
	Thick (Shell thickness)	1,0
	Ithick	1: Thickness change is taken into account
	Iplas	1: Iterative projection with three Newton iterations
	Aplicar propiedades al componente de estudio	
	Seleccionar el nombre del componente en estudio ej: chasis y aplicar las propiedades del material, llenando los siguientes valores:	
	Card Image	Part
	Prop_Id	Seleccionar la propiedad creada, ej: steel_prop
	Mat_Id	Seleccionar el material creado, ej: steel

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



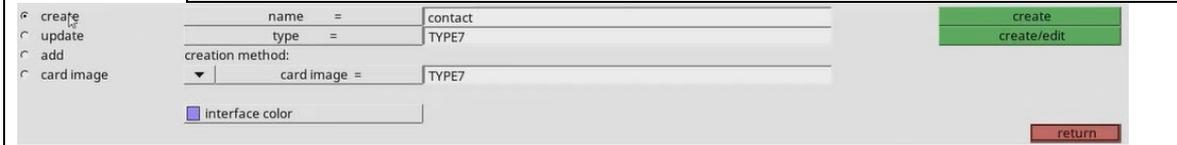
PASO 11 Configuración previa al Análisis

En el menú principal (F2), Clic en la opción **Analysis**



Clic en el botón interfaces

Clic en la primera opción (**create**)



En el casillo (name =), se debe dar un nombre para la ejecución, ej: connections, a continuación, seleccionar los siguientes requerimientos:

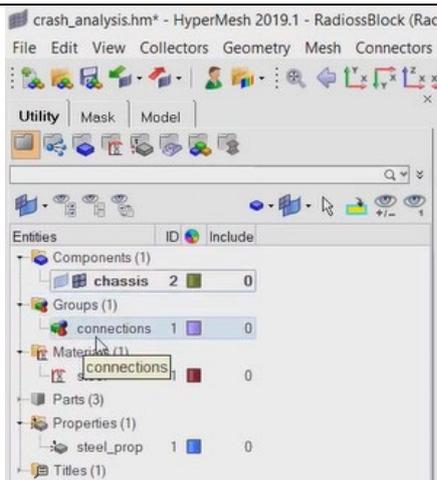
type =	TYPE7
creation method -> card image =	TYPE7

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

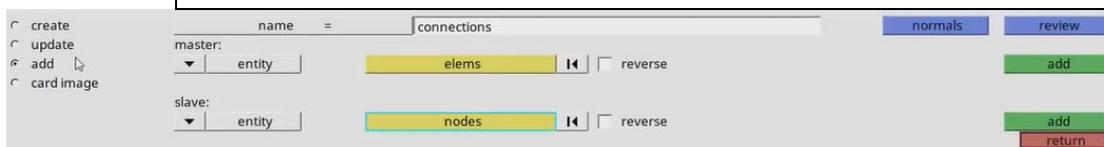
La selección de TYPE7 se da porque seleccionamos todas las superficies de los componentes del guardafango actúan como una pieza Maestro y todos los nodos del componente como Esclavo (Altair Engineering, 2018)

Clic en el botón verde (**create**)

En el panel model browser (Explorador de modelo), sección Entities, observar que se haya creado en el grupo creado en el paso anterior junto con el nombre que se asignó



En el panel de **Analysis**, Clic en add



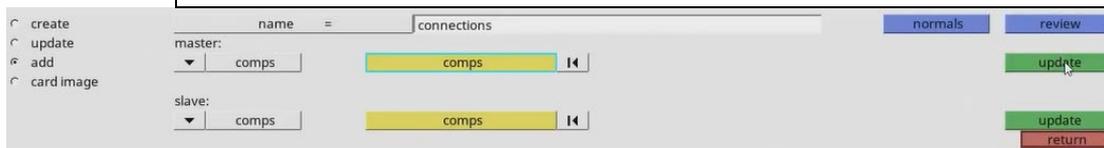
Seleccionar en master, la opción **comps**

Seleccionar en slave, la opción **comps**

Clic sobre los dos botones amarillos marcados como **comps** y en cada uno seleccionar el componente a analizar, ej: chassis

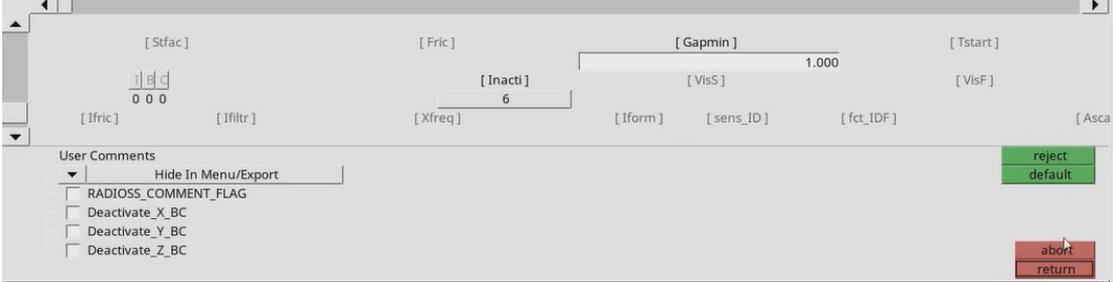


Para ambos casos, Clic sobre el botón **update**, para verificar que se ha tomado dicha selección de componente a analizar



Clic en el botón **review**

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

PASO 12	Configuración del card image
	
<p>Clic en la opción card image</p>	
<p>Clic en el botón edit, desplazar con las flechas hacia abajo y a continuación configurar los siguientes parámetros de penetración de impacto:</p>	
Istf =	4
Gapmin	1,000
Inacti	6
	
<p>Clic en el botón return</p>	
<p>Los anteriores valores especifican las propiedades de penetración para cualquier formulación de choque según el Manual de teoría (Altair, 2019).</p>	
PASO 13	Configuración de la velocidad de Impacto

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



Clic en la opción **Tools** de la barra de herramientas

Clic en la opción Boundary Conditions **BCs Manager**

Escribir el nombre velocity en el casillero **Name**

Elegir la opción **Initial Velocity**, en la opción Select type

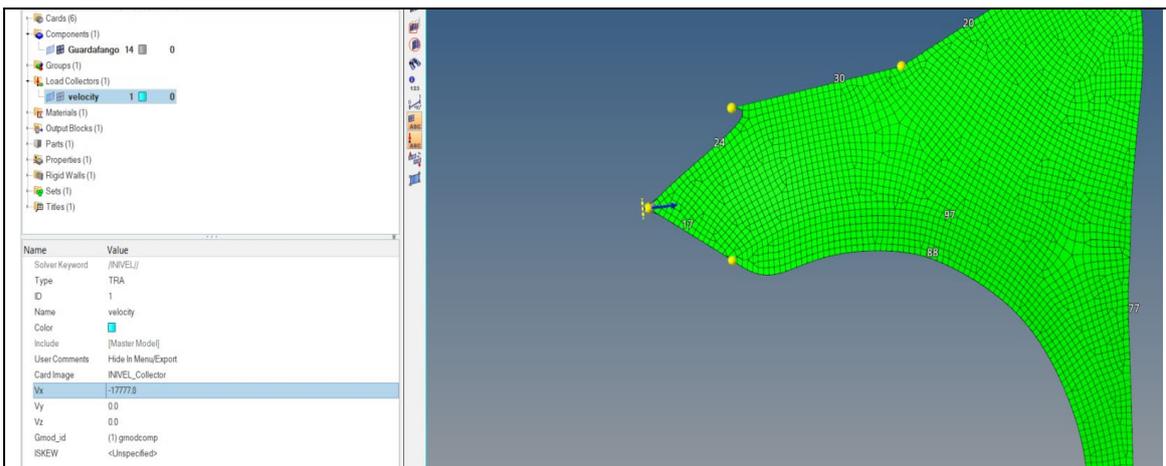
Clic en el botón **Parts** de la opción GRNOD y en el panel derecho seleccionar el componente de análisis ej: chassis



Clic en el botón **proceed**

El valor de la velocidad que debe ingresar al software se encuentra en unidades mm/segundo por default.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



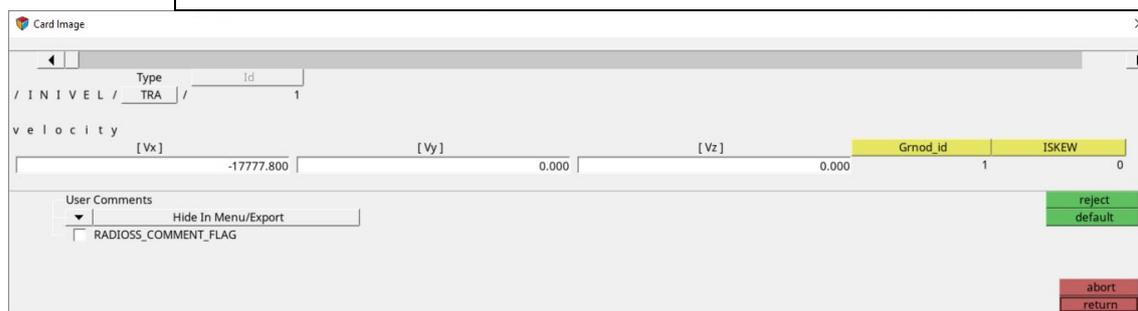
Las opciones de Vx, Vy, Vz sirven para colocar la velocidad inicial en el plano en el que se desea realizar el análisis de impacto esto dependerá del sistema de coordenadas UCS donde se encuentra el elemento de análisis, para el caso particular de este trabajo se realiza un choque frontal del guardafango el cual impactara con relación al eje de coordenadas X, es decir, la velocidad debe ser ingresada únicamente en la opción Vx.

La velocidad creada con el valor de 17777.8 mm/s representa 64 km/h que es la velocidad de prueba para impacto frontal normado por la (Latin NCAP, 2022).

Se debe dar un signo a la velocidad visto que el eje es positivo y el elemento de análisis va en sentido contrario al eje de referencia, es decir la velocidad tendrá un signo negativo.

Clic en el botón **Create**

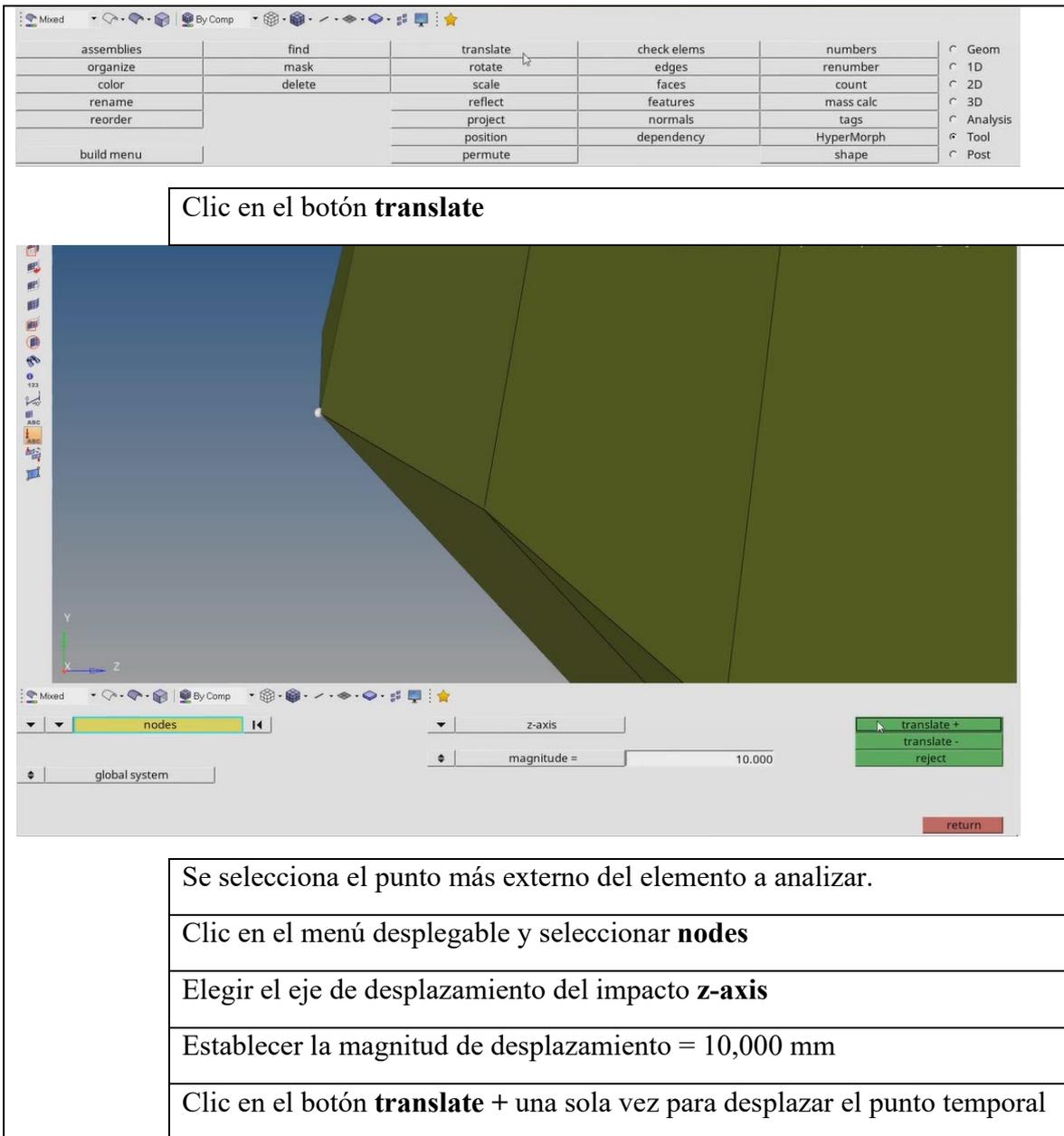
Seleccionar la configuración de velocidad creada y de nuevo Clic en el botón **Create**



PASO 14 Creación de una pared rígida para el impacto

Para crear un punto como límite de frontera del elemento a analizar, Clic en la opción **Tool**, del menú de análisis del software

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



The image shows a software interface for selecting sustainable materials for a vehicle bumper application. The top part of the interface displays a grid of tool options, including 'translate', 'rotate', 'scale', 'reflect', 'project', 'position', and 'permute'. Below this, a 3D model of a vehicle bumper is shown in a greenish-brown color. A dialog box for the 'translate' tool is open, showing the 'nodes' menu selected, the 'z-axis' chosen for displacement, and a magnitude of 10,000 mm. The dialog also includes buttons for 'translate +', 'translate -', 'reject', and 'return'.

Clic en el botón **translate**

Se selecciona el punto más externo del elemento a analizar.

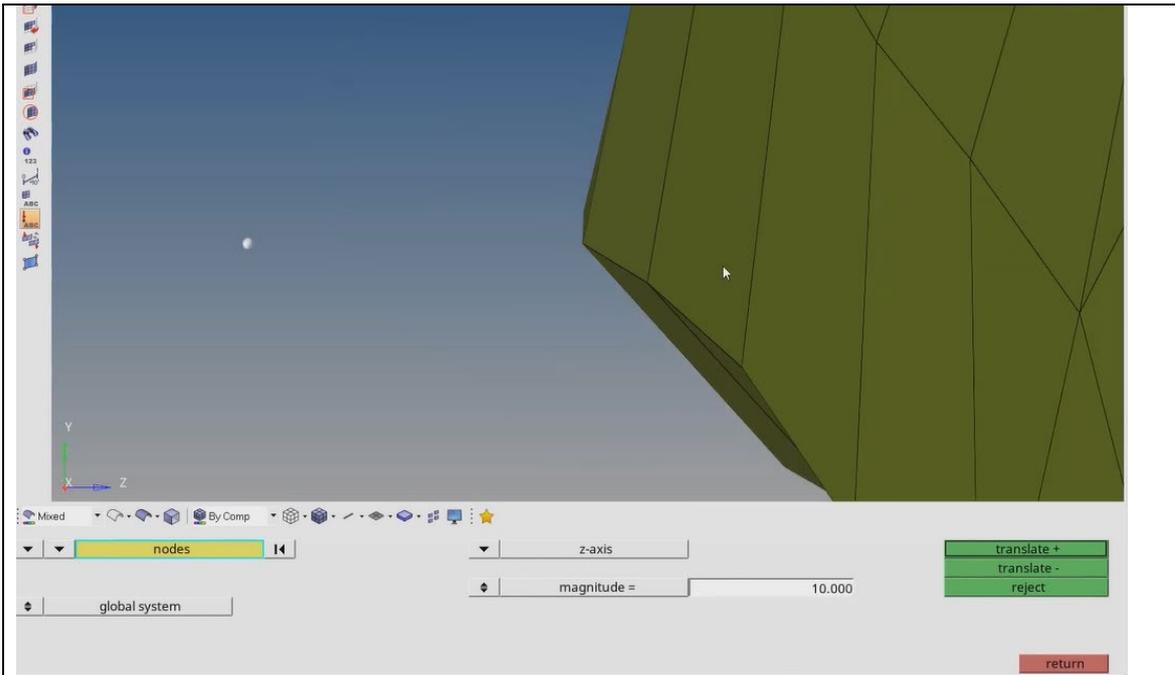
Clic en el menú desplegable y seleccionar **nodes**

Elegir el eje de desplazamiento del impacto **z-axis**

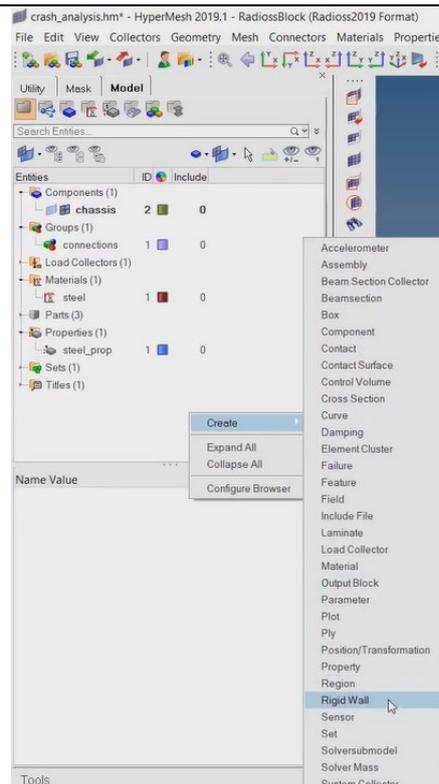
Establecer la magnitud de desplazamiento = 10,000 mm

Clic en el botón **translate +** una sola vez para desplazar el punto temporal

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



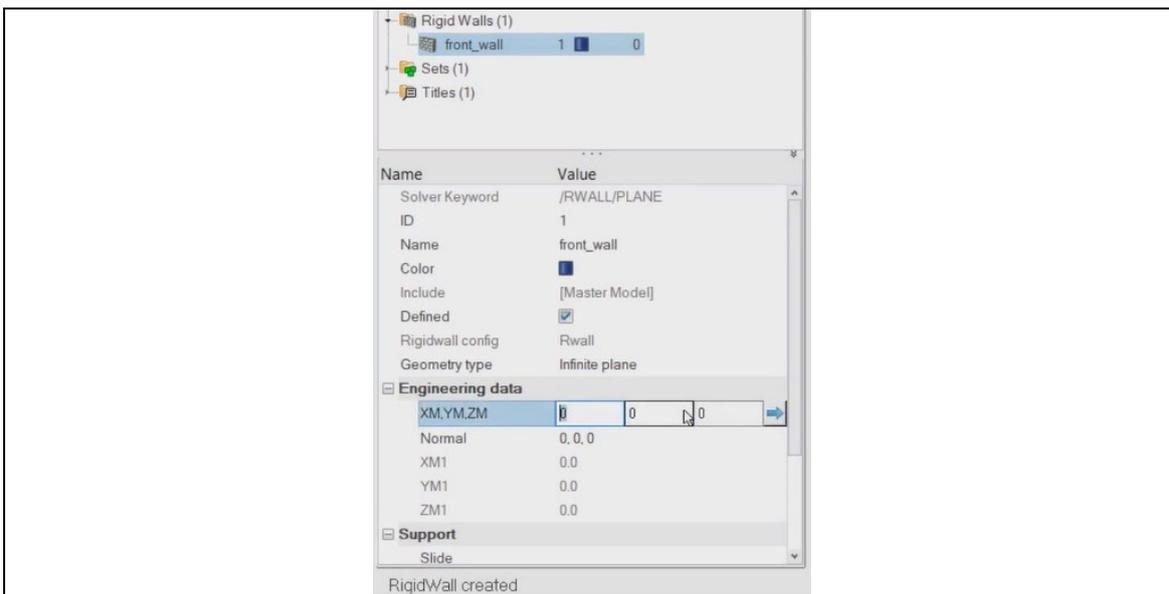
En el panel model browser (Explorador de modelo), sección Entities, Clic derecho y seleccionar **Rigid Wall**



Colocar nombre al nuevo elemento de pared rígida creada, ej: front_wall

Seleccionar el nuevo elemento creado (front_wall), en la parte inferior en las propiedades de este nuevo elemento, seleccionar los casilleros vacíos para ubicar la posición del punto temporal donde se creará la pared rígida

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



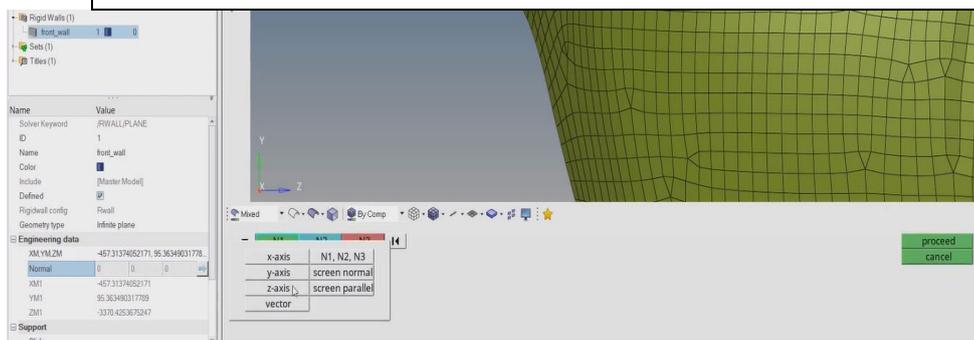
Clic en la flecha de la opción **XM, YM, ZM**

Seleccionar el punto desplazado que se creó en el PASO 14

Una vez seleccionado el punto aparecerán las coordenadas en referencia al UCM donde se encuentra el punto de desplazamiento donde se colocará la pared rígida.

Como la pared es una superficie normal al eje en el que se desplaza el elemento de análisis, al punto de referencia se debe configurar lo siguiente

Clic sobre la flecha de la opción **Normal** de la selección **Engineering data**



Elegir el eje z visto que la pared de impacto es perpendicular a la superficie de análisis

Clic en el botón **proceed**

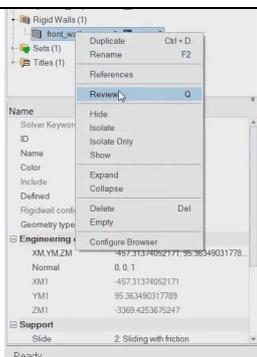
En la selección **Support**, Clic en la opción **2. Sliding with friction**

En la opción **grnod_ID1**, seleccionar **grnodcomp**

En la opción **FRIC**, colocar el valor 0.3

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

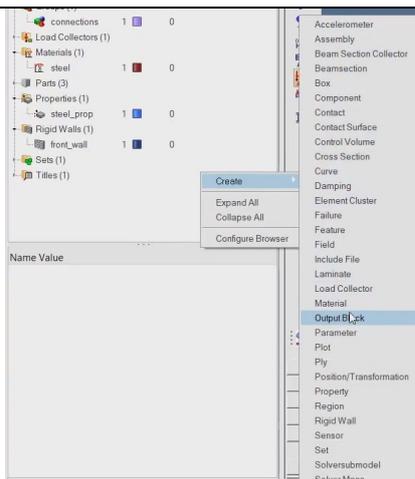
Sobre el icono de la pared frontal creada del model browser (Explorador de modelo), Clic en **Review** para actualizar las propiedades que se han configurado previamente, donde se verá en verde todos los puntos que se consideraran para el impacto.



PASO 15

Resultados, Creación de bloques de salida (outputblock)

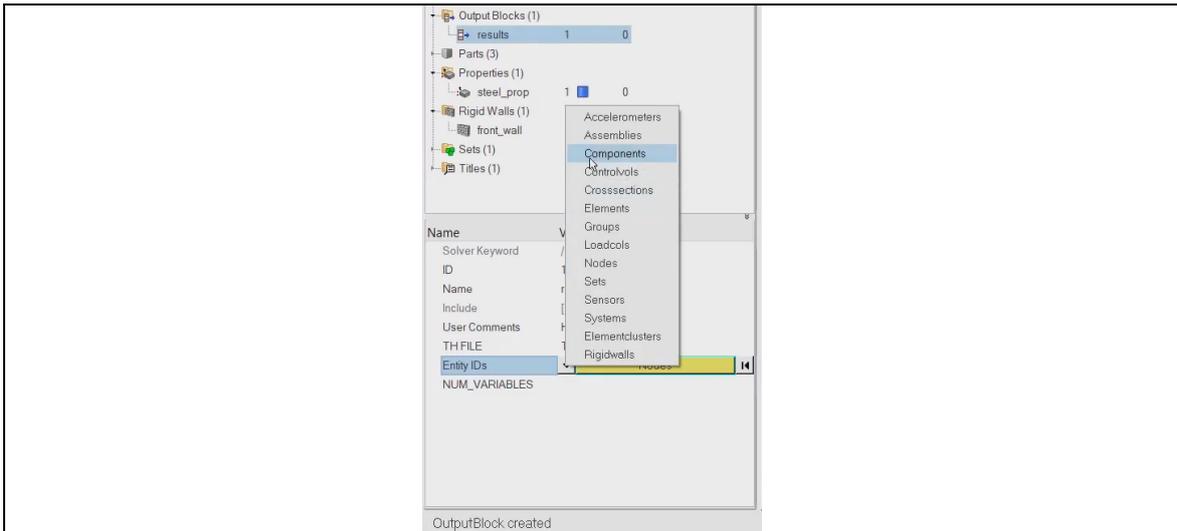
Clic derecho sobre el model browser (Explorador de modelo), elegir la opción **Create**, luego **OutputBlock**



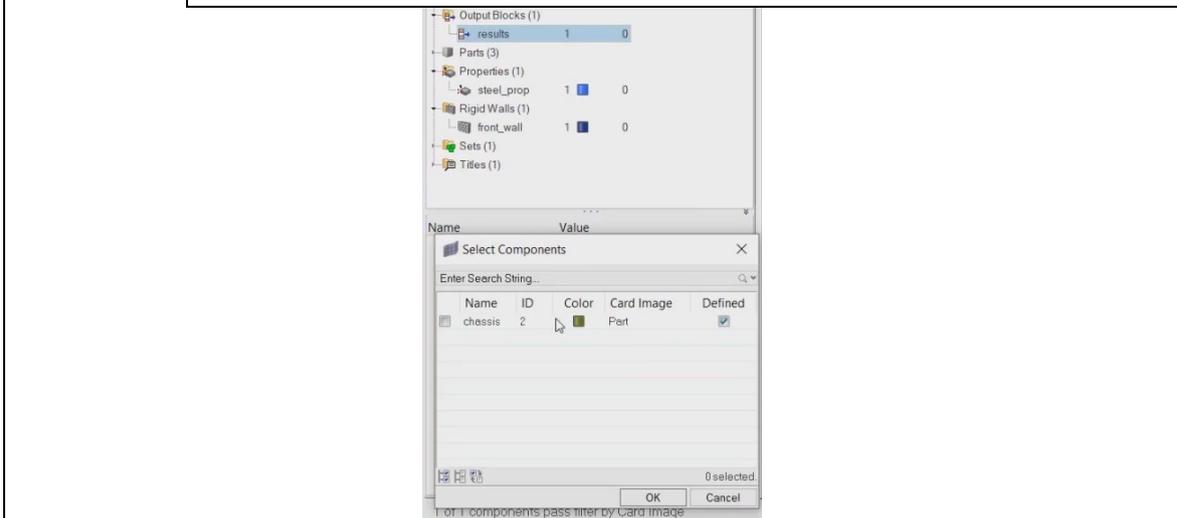
Se cambia el nombre del OutputBlock creado, en este caso se lo nombra como resultado (**results**)

Al dar Clic sobre el elemento creado se escoge la opción **Entity IDs** y elegimos la opción **Components**

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

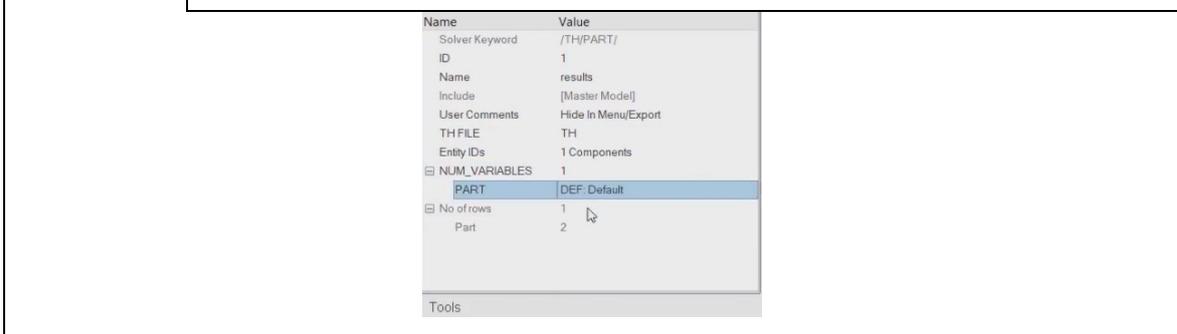


Una vez seleccionada la opción Componentes se debe seleccionar el elemento de estudio, para este ejemplo será el **chassis**



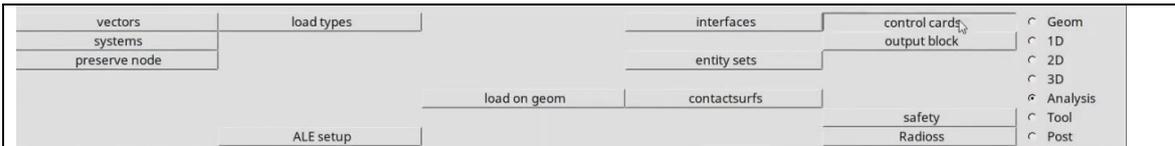
En el NUM_VARIABLES, colocar el número 1

Valor PART, como **DEF: Default**



PASO 15	Redefinir las cartas de control
	En el menú principal (F2), Clic en la opción Analysis

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



Luego Clic sobre el botón **control cards**

Una vez ingresado al menú de control cards, Clic en next, hasta encontrar el botón **ENG_RUN**

ENG_PARITH	ENG_RERUN	delete
ENG_PATRAN	ENG_RFILE	disable
ENG_PRINT	ENG_RUN	enable
ENG_PROC	ENG_SHSUB	
ENG_RAD2RAD_ON	ENG_SHVER_V51	next
ENG_RBODY_ON	ENG_STATE_BRICK_AUX_FULL	prev
ENG_RBODY_OFF	ENG_STATE_BRICK_ORTHO	return

En el recuadro que aparece se deberá colocar el valor de la corrida de simulación, donde el valor **Tstop** es igual a 0.008

Clic en return

Buscar el botón **ENG_TFILE**, donde se especifica la frecuencia para el resultado que se calculará, donde la frecuencia de tiempo **Time_frequency** se deberá colocar el valor de 4.000e-05, este valor define la frecuencia con la que se escriben los archivos del historial de tiempo, un tiempo de escritura del resultado dentro del computador

Clic en return

Buscar el botón **ENG_ANIM_DT**, colocar en el valor Tstart: 0.000 y en Tfreq el valor 8.000e-05

Clic en return

Buscar el botón **ENG_MON**, y marcar con un visto la selección **MON_ON_OFF**

Clic en return

Buscar el botón **ENG_ANIM_ELEM**, y marcar con un visto el valor **EPSP, ENERGY, VONM, HOURG**

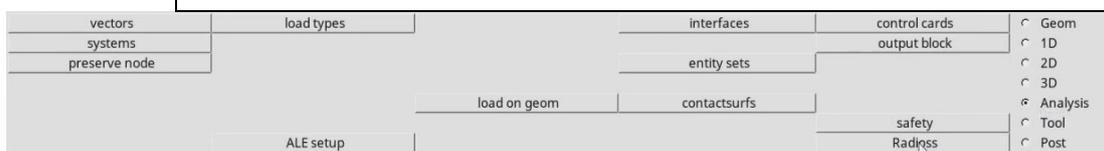
Clic en return

Revisar que las cartas de control se encuentren llenas con los parámetros anteriormente descritos

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

1. ENG_RUN : T-stop = 0.008
2. ENG_TFILE : T-frequency = 4e-5
3. ENG_ANIM_DT : Tfreq = 8e-5
4. ENG_MON : ON
5. ENG_ANIM_ELEM : EPSP, ENERGY, VONM, HOURG

En el menú principal (F2), Clic en la opción **Analysis**, luego Clic en el botón **Radioss**



En el submenú de **Radioss**, y verificar que las siguientes opciones, se encuentran seleccionadas así:

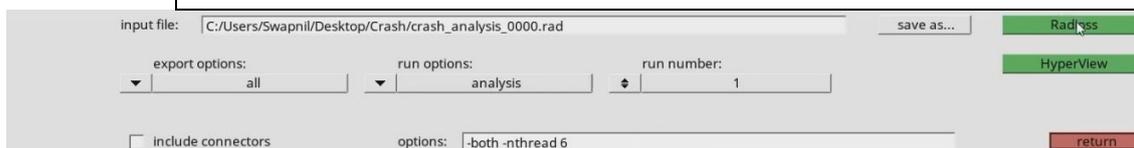
export options = all

run options = analysis

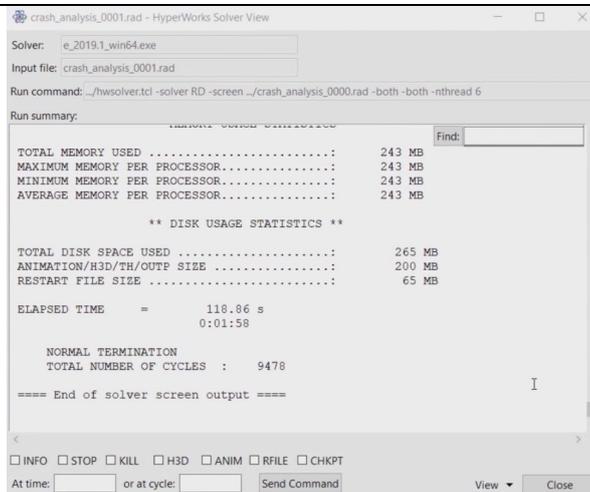
run number = 1

En el casillero options se debe colocar las palabras:

-both -nthread 6

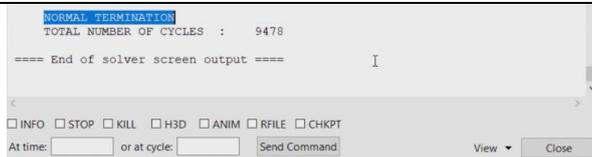


Luego Clic en el botón verde **Radioss**, para comenzar con la simulación



SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Una vez que se ejecute y se termine la operación de análisis de impacto del objeto en estudio, es importante observar que no existan mensajes de error, uno de los mensajes que se han realizado de forma correcta las configuraciones y todos los pasos previos descritos son las palabras **NORMAL TERMINATION** en la pantalla de análisis de Radioss



Ello significa que no hay errores en los pasos que se configuraron anteriormente.

Finalmente aparecerá el siguiente mensaje:

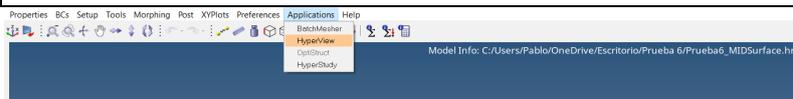
==== RADIOSS Job completed ====



Una vez mostrado el mensaje, se creará en la carpeta donde se encuentra el elemento de análisis archivo lógico (log file), el cual contine los datos del análisis que se podrá visualizar en Hypermesh, este archivo tiene la extensión .h3d

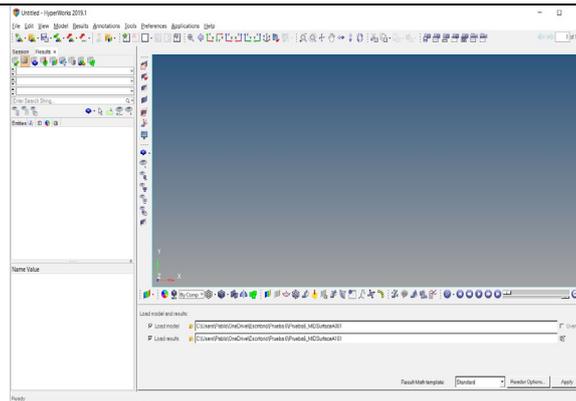
PASO 16

Abrir el programa HyperView, para observar los resultados del análisis



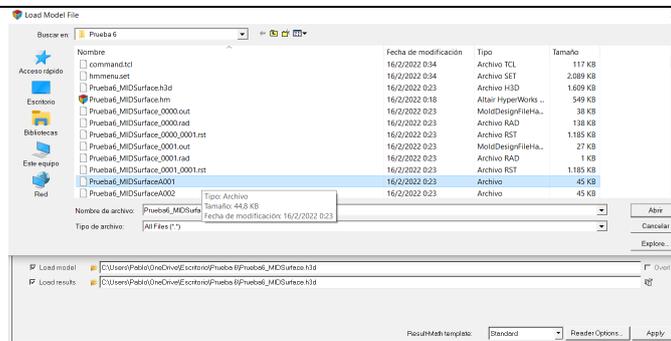
En menú del programa, Clic en **Applications**, luego Clic en HyperView para cargar la pantalla donde se podrá visualizar el resultado de las configuraciones para el impacto

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR



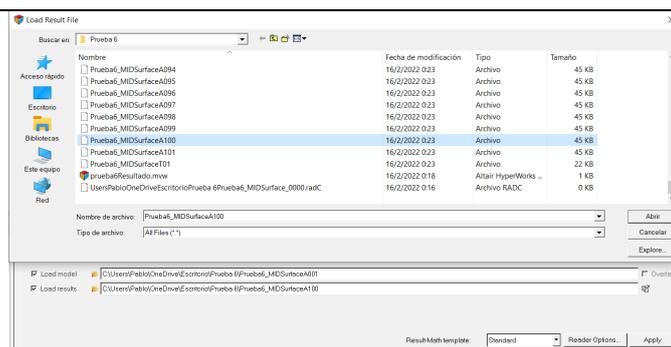
En la parte inferior, Clic en el ícono de la carpeta a lado de la palabra **Load model**

Se debe escoger el archivo que tiene junto al nombre del elemento en análisis los dígitos alfa numéricos A001



Clic en el botón **Abrir**

En la segunda opción **Load Results**, se debe cargar el último archivo de análisis, es decir será el archivo que contenga los dígitos alfanuméricos A100

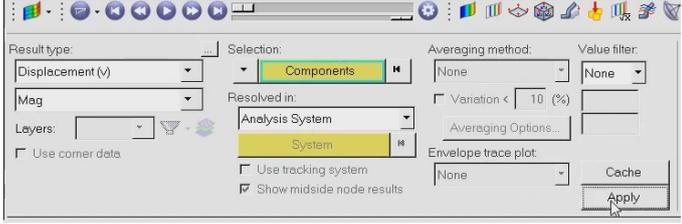


Una vez cargados los archivos en Load Model que terminan con dígitos A001 y en Load Results el A100, Clic en el botón **Apply**

Sobre la barra de resultados del programa HyperView, Clic sobre el ícono **Contour** (📊)



SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Aparece entonces un nuevo menú, donde se puede elegir varios tipos de resultados como:
<ul style="list-style-type: none"> - Desplazamiento - Plastic Strain - Specific Energy - Von Mises
Para revisar los resultados anteriores Clic en el botón Apply


En la *Tabla 12* se presenta un resumen de las propiedades mecánicas ingresadas al software Radioss, propiedades que fueron obtenidas de diferentes estudios y del software CES EduPack.

Tabla 12

Resumen de datos ingresados al software Radioss para las simulaciones de material original y material sostenible.

Configuración HyperMesh	Propiedades Material	Original Acero dulce	Sostenible Cáñamo50+ PP50	Unidad	Fuente
Rho Initial	Densidad	7,81E-09	1,21E-09	ton/mm3	
Young modulus	Módulo de Young	2,10E+05	2,80E+04	MPa	
nu	Coefficiente de Poisson	0,285	0,316	adimensional	CES EduPack
SIGY	Esfuerzo de fluencia (límite elástico)	305	111	MPa	
SIG_max	Resistencia a la tracción	455	285	MPa	
Vx	Velocidad de Impacto	17777.8	17777.8	mm/s	Latin NCAP
Número de malla utilizada: 10 mm					
Número de elementos generados por malla de 10 mm: 740					Autoría propia
Número de nodos generados por software con malla de 10 mm: 786					

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

7. Resultados

7.1 Resultado de la Obtención de propiedades del material sostenible con Software

CES EduPack, Nivel 3 – Eco Design

En la *Tabla 13* se muestra el resumen de propiedades de materiales sintetizados en el software CES EduPack, utilizando matriz base el polipropileno, copolímero de impacto, con retardante de llama al 50% de fracción volumétrica, en conjunto con diferentes fibras naturales sostenibles como el lino, el cáñamo, el sisal, el coco, yute y el banano, en una composición al 50% de fracción volumétrica. Estos datos son necesarios para ingresar datos fiables y ejecutar los métodos de selección multicriterio y posteriormente una vez obtenido un material ganador, los datos también sirven para el software de simulación como se mostrará posteriormente.

Tabla 13

Resumen de los valores de las propiedades obtenidas con Software CES EduPack, fibra de las fibras naturales al 50% y PP 50% de base polimérica de impacto retardante de llama.

Materiales	Código	Diferentes Propiedades										
		Valor	Físicas	Mecánicas						Ecológicas		
		USD/kg	kg/m ³	GPa	MPa	MPa	GPa	GPa	GPa	Adimensional	MJ/kg	kg/kg
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Lino	M1	3,57	1210	14	85,5	385	14	0,517	2,56	0,366	38,8	1,65
Cáñamo	M2	3,09	1210	28	111	285	28	0,379	2,72	0,316	37,7	2,39
Sisal	M3	2,63	1180	5,21	258	285	5,21	0,491	2,41	0,371	38,5	2,43
Coco	M4	2,64	1100	13,5	346	345	13,5	0,478	2,7	0,366	36	1,57
Yute	M5	2,1	1210	9,01	83	210	9,01	0,32	2,8	0,366	36,3	3,21
Banano	M6	2,34	1060	2,51	60,5	72,4	2,51	0,47	2	0,383	41,8	2,52

Nota: Datos tomados del programa CES EduPack módulo EcoDesign,

Nomenclatura de *Tabla 13*:

A: Precio	B: Densidad	C: Módulo de Young
D: Resistencia a la fluencia (límite elástico)	E: Resistencia a la tracción	F: Módulo de flexión (rigidez a la flexión)
G: Módulo de cizallamiento	H: Módulo de rigidez	I: Coeficiente de Poisson
J: Energía incorporada (producción primaria)	K: Huella de CO ₂ (producción primaria)	+ Beneficiosos - No beneficioso

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

7.2 Resultados de los Métodos de Selección Multicriterio

A través de los datos de las propiedades de los materiales sostenibles obtenidos en el software CES EduPack, se utilizó el criterio de ponderación de la entropía (EWM), tomando en cuenta los criterios beneficiosos y no beneficiosos, el desarrollo paso a paso de este y de los métodos de selección multicriterio COPRAS, VIKOR, ARAS y MOORA, se muestran en el *ANEXO I* del presente documento, los resultados finales de cada método se indican a continuación:

7.2.1 Resultado del método de ponderación de la entropía (EWM)

El método de ponderación de la entropía (EWM), evalúa el valor midiendo el grado de incertidumbre, el resultado se presenta en una matriz fila W_j , la cual se muestra en la *Tabla 14*:

Tabla 14

Resultado de la ponderación por método de la entropía.

Crterios	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
W_j	0,019	0,002	0,276	0,256	0,109	0,276	0,016	0,007	0,002	0,002	0,036

Nomenclatura de *Tabla 14*:

A: Precio	B: Densidad	C: Módulo de Young
D: Resistencia a la fluencia (límite elástico)	E: Resistencia a la tracción	F: Módulo de flexión (rigidez a la flexión)
G: Módulo de cizallamiento	H: Módulo de rigidez	I: Coeficiente de Poisson
J: Energía incorporada (producción primaria)	K: Huella de CO2 (producción primaria)	

Según el cálculo de las ponderaciones aplicando el método de la entropía se determinó las propiedades con mayor ponderación serían la C y F, (módulo de Young y módulo de flexión), además en tercero y cuarto lugar se encuentran también presentes la resistencia a la fluencia (límite elástico) y la Resistencia a la tracción, estas últimas son requeridas en el software de simulación, visto que son propiedades deseables al momento de resistir un impacto.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

7.2.2 Resultado del desarrollo del método COPRAS

Este método se utiliza para evaluar los valores del índice de maximización y minimización de cada material, el resultado del cálculo de índice de rendimiento P_i es indicado en la *Tabla 15*.

Tabla 15

Resultado del índice de rendimiento por el método COPRAS.

Material	Índice de rendimiento	Porcentaje
M2 – Cádizamo	P2	100,00
M4 – Coco	P4	85.80
M1 – Lino	P1	62.04
M3 – Sisal	P3	51.73
M5 – Yute	P5	42.50
M6 – Banano	P6	19.55

Con el método COPRAS se determinó que el material con mejor índice de rendimiento es el M2 – Cádizamo, para el caso de estudio del presente estudio sería la fibra compuesta de Cádizamo al 50% con 50% de base matriz polipropileno PP.

7.2.3 Resultado del desarrollo del método VIKOR

Una alternativa que se acerque a la solución más ideal es lo que determinó el método VIKOR, generalmente clasifica las alternativas con un conjunto de contradictorios en una última instancia de la decisión de compromiso la cual resulta en la decisión final. La alternativa con el valor más bajo de S, R e I es seleccionada como la alternativa superior, se presenta el resultado en la *Tabla 16*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Tabla 16

Resultado del índice de rendimiento superior VIKOR.

Material	Ii	Ranking
M4 – Coco	0.036	1
M2 – Cáñamo	0.255	2
M1 – Lino	0.526	3
M3 – Sisal	0.641	4
M5 – Yute	0.686	5
M6 – Banano	1.000	6

El material M4 – Coco, fue el que mejor Ranking obtuvo el método VIKOR, para nuestro caso corresponde al material compuesto por la fibra de Coco al 50% con 50% de base matriz polipropileno PP.

7.2.4 Resultado del desarrollo del método ARAS

El resultado consistió en la selección de la mejor alternativa basándose en un número de atributos y la clasificación final de las alternativas, la cual se hace determinando el grado de utilidad de cada alternativa, mostrados en la *Tabla 17*.

Tabla 17

Resultado del mayor valor entre la función optima y el grado de utilidad del método ARAS.

Material	Ki	Ranking
M2 – Cáñamo	0.7823	1
M4 – Coco	0.6790	2
M1 – Lino	0.4948	3
M3 – Sisal	0.4126	4
M5 – Yute	0.3391	5
M6 – Banano	0.1579	6

El mayor valor de los resultados Ki, grado de utilidad, para nuestro caso corresponde al material M2 – Cáñamo, que es la fibra de Cáñamo al 50% con 50% de base matriz polipropileno PP.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

7.2.5 Resultado del Desarrollo del método MOORA

El resultado del método MOORA, consiste en hallar los criterios deseables e indeseables con el fin de seleccionar una alternativa superior o más alta entre diferentes alternativas, de tal manera al aplicar el método se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la *Tabla 18*.

Tabla 18

Resultado del mayor valor entre propiedades del método MOORA.

Material	Valores máximos	Ranking
M2 – Cáñamo	0.523	1
M4 – Coco	0.446	2
M1 – Lino	0.314	3
M3 – Sisal	0.254	4
M5 – Yute	0.199	5
M6 – Banano	0.070	6

De los valores obtenidos en la tabla anterior se puede observar que el material M2 – Cáñamo, ha resultado con mejor ranking, de acuerdo con el método MOORA, correspondiente al material sostenible compuesto con fibra de Cáñamo al 50% con 50% de base matriz polipropileno PP.

7.2.6 Conclusiones de resultados de los métodos de selección multicriterio.

El gráfico de la *Figura 46* y la *Tabla 19*, muestra los valores de resultados de cada método representados por valores máximos y mínimos, los mejores valores son los que se aproximan al valor 1, los menos favorables al valor 5.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 46

Gráfico de resultados.

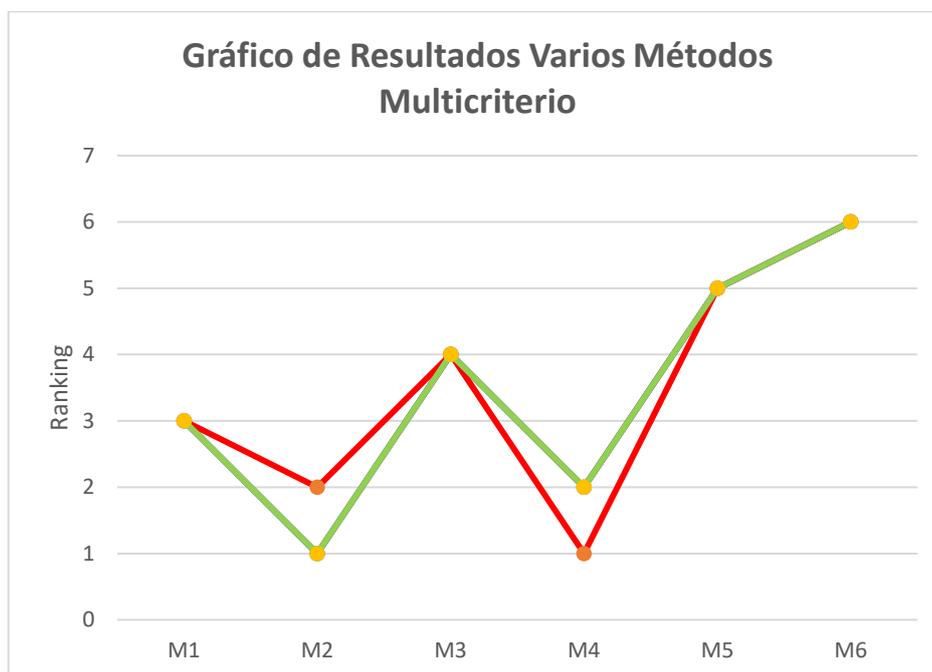


Tabla 19

Resumen de los resultados del uso de los métodos.

Método Multicriterio	Alternativas de Material Compuesto con PP					
	M1 Lino	M2 C��namo	M3 Sisal	M4 Coco	M5 Yute	M6 Banano
COPRAS	3	1	4	2	5	6
VIKOR	3	2	4	1	5	6
ARAS	3	1	4	2	5	6
MOORA	3	1	4	2	5	6

El método COPRAS que evalúa el índice de maximización y minimización y el efecto sobre los atributos evaluando por resultados separados, indicó que la mejor opción es fibra natural compuesta por c  namo al 50% y 50% de PP, el método VIKOR que muestra el compromiso en modelos compensatorios señaló que la solución más cercana a la ideal es la fibra natural compuesta por coco al 50% y 50% de PP, el método ARAS cuyo objetivo seleccionó como mejor alternativa midiendo el grado de utilidad de cada una, a la fibra natural compuesta por c  namo al 50% y 50% de PP, el método MOORA mostró que

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

a través de los criterios deseables y menos deseables se utilizó simultáneamente para la clasificación de la alternativa superior, siendo la ganadora la fibra natural compuesta por cáñamo al 50% y 50% de PP.

Tres de los cuatro métodos de selección multicriterio, mostraron como mejor resultado al material compuesto con fibra de cáñamo al 50% y 50% de PP. De acuerdo a la literatura que existe a la fecha de presentación de este trabajo de investigación se conoce que fabricantes automotrices de renombre como Porsche, BMW como se muestra en la *Figura 47*, y también la marca Mercedes Benz como se muestra en la *Figura 48*, utilizan las fibra naturales, ejemplo el cáñamo como recurso de material para fibra de reforzamiento en materiales compuestos, para uso en el capó, faldón delantero, puertas, maletero, alerón trasero y varios componentes interiores, dando los siguientes pasos para futuros modelos de producción, esta fibra natural el cáñamo puede llegar a reemplazar a las fibras compuestas por fibra de carbono (CFRP) (BMW Group, 2021); (BMW Group, 2022).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 47

Capó BMW M4 GT4 2022.



Nota: Capó de BMW (fotografía) tomado del informe BMW Ventures invests in high-performance composites made from natural fibres, año 2022, (BMW Group, 2022).

Figura 48

Faldón delantero Mercedes Benz AMG GT4 2022.



Nota: Faldón delantero (fotograf[ia]) tomado del informe Mercedes-AMG GT4 race cars now equipped with high-performance natural fibre composite bumpers, año 2022. (Bcomp Ltd., 2022).

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

7.3 Resultados del cálculo del coeficiente de correlación de Spearman

Como resultado de la selección a través de los métodos de selección multicriterio, los métodos COPRAS, VIKOR, ARAS y MOORA señalaron que la fibra natural sostenible compuesta al 50% de cáñamo y matriz en base al PP al 50% es la de mejor ranking. Para saber si existe correlación de los datos calculados se procedió a establecer el valor de la correlación con el coeficiente de Spearman y se procedió con los pasos indicados en el método.

La *Tabla 20*, muestra una matriz de resultados de comparación de correlaciones entre métodos, se observó que existe una correlación fuerte positiva de valor 1 y también de 0.943 entre los métodos de selección multicriterio que corresponden a los criterios VIKOR y COPRAS, VIKOR y ARAS, COPRAS Y MOORA.

Tabla 20

Matriz de resultados, comparación de correlación entre métodos de selección multicriterio.

	COPRAS	VIKOR	ARAS	MOORA
COPRAS	1	0,943	1	1
VIKOR	-	1	0,943	0,943
ARAS	-	-	1	1
MOORA	-	-	-	1

7.3.1 Interpretación del valor del coeficiente de correlación de Spearman

El valor adimensional 1, resultado con mayor valor de correlación comparado entre los métodos de selección multicriterio COPRAS, VIKOR, ARAS y MOORA, indica lo siguiente:

- Según la Escala 1, el valor 1 primero es un número positivo, así que se observa que existe una relación monótona positiva directa entre el número arrojado entre el método de selección, multicriterio COPRAS y ARAS, entre COPRAS y MOORA y ARAS Y MOORA
- Según la Escala 2, el valor 1 se encuentra entre una correlación positiva perfecta.

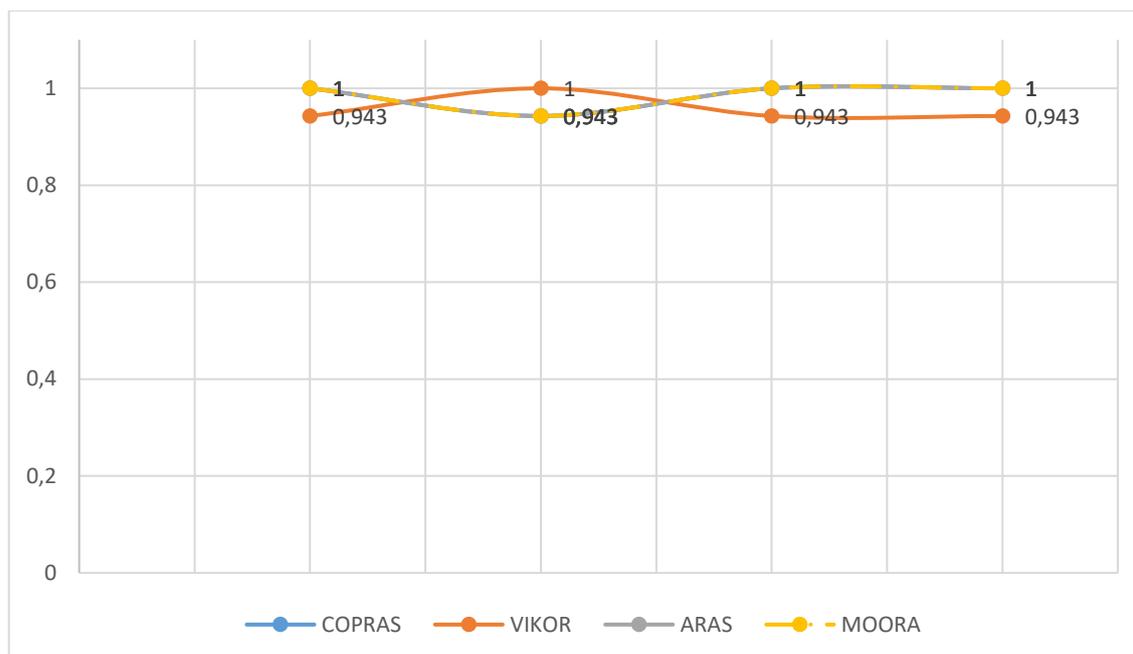
SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Según la Escala 3, el valor 1 de la correlación es perfecta.
- Finalmente, la Escala 4 señala que el valor 1 tiene una relación entre fuerte y perfecta, ya que se encuentra entre los valores de $0,76 \leq R \leq 1,0$.

Los valores iguales al número positivo +1 representan relaciones más fuertes que los valores cercanos a cero los métodos VIKOR y COPRAS, VIKOR y ARAS, COPRAS Y MOORA, concluyen en una correlación positiva fuerte con valor de 1; indicando que la fibra natural sostenible compuesta al 50% de cáñamo y matriz en base a PP al 50% posee una correlación fuerte confirmando una vez más la selección del material ganador, la *Figura 49*, muestra gráficamente la correlación entre los métodos de selección multicriterio.

Figura 49

Curvas de resultados de los métodos de selección multicriterio



7.4 Resultados del análisis de impacto de un guardafango a través del programa HyperMesh 2019, módulo Radioss 2019

Las siguientes imágenes son las capturas de pantalla de las simulaciones tanto del guardafango con material original acero dulce (mild steel) (figura izquierda) y del guardafango con material sostenible compuesto por fibra de cáñamo 50% y base

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

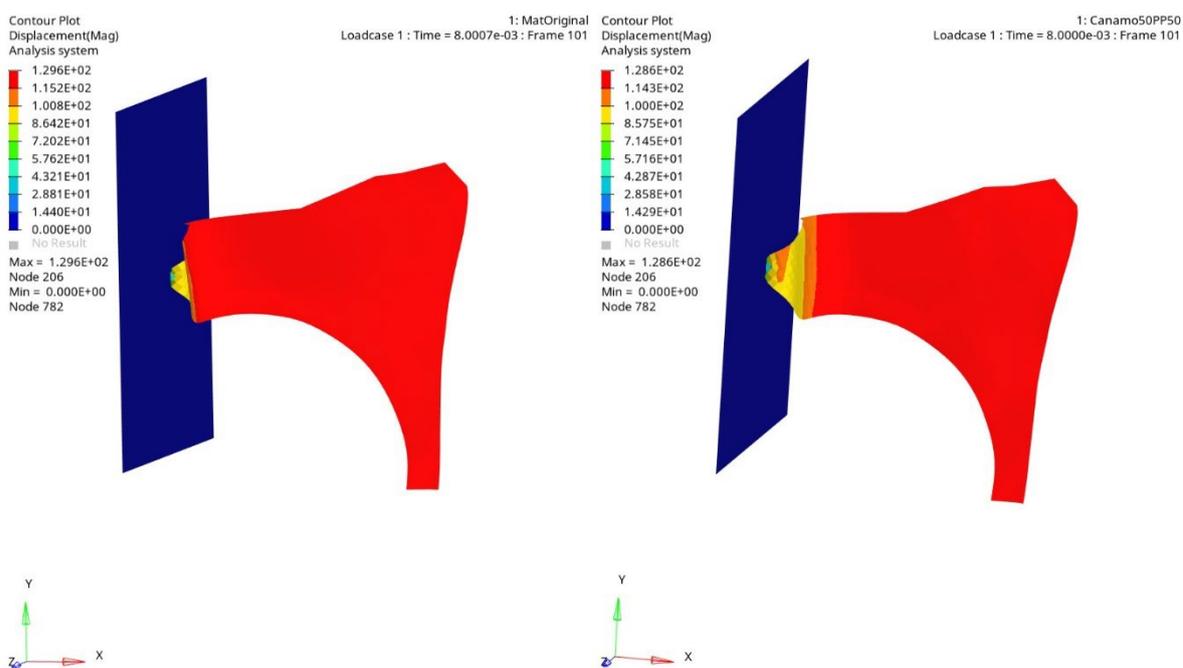
polipropileno PP al 50% (figura derecha), estas capturas indican los valores mínimos y máximos permisibles antes de que el material falle de acuerdo a los pasos indicados en la metodología del capítulo 6 de la presente investigación, cabe recalcar que estos resultados son los obtenidos con la configuración **ENG_RUN: T-stop = 0.008 segundos**, correspondiente al lapso de tiempo o time step indicado en el manual de Altair Radioss 2019.

7.4.1 Resultado de deformación por desplazamiento

La deformación por desplazamiento se observa en la *Figura 50*.

Figura 50

Deformación por desplazamiento (unidad, milímetros).



Nota: Captura de pantalla de resultado de impacto en Radioss con software HyperView 2019.

A través del desplazamiento del guardafango a una velocidad de 64 km/h, tal como indica la Latin NCAP, las magnitudes de desplazamiento máximo indicaron que el material original de acero (mild steel) falla al impacto cuando se llegase a desplazarse 129.6 mm, el material compuesto por fibra de cáñamo 50% y polipropileno 50%, indico un valor menor de 128.6 mm.

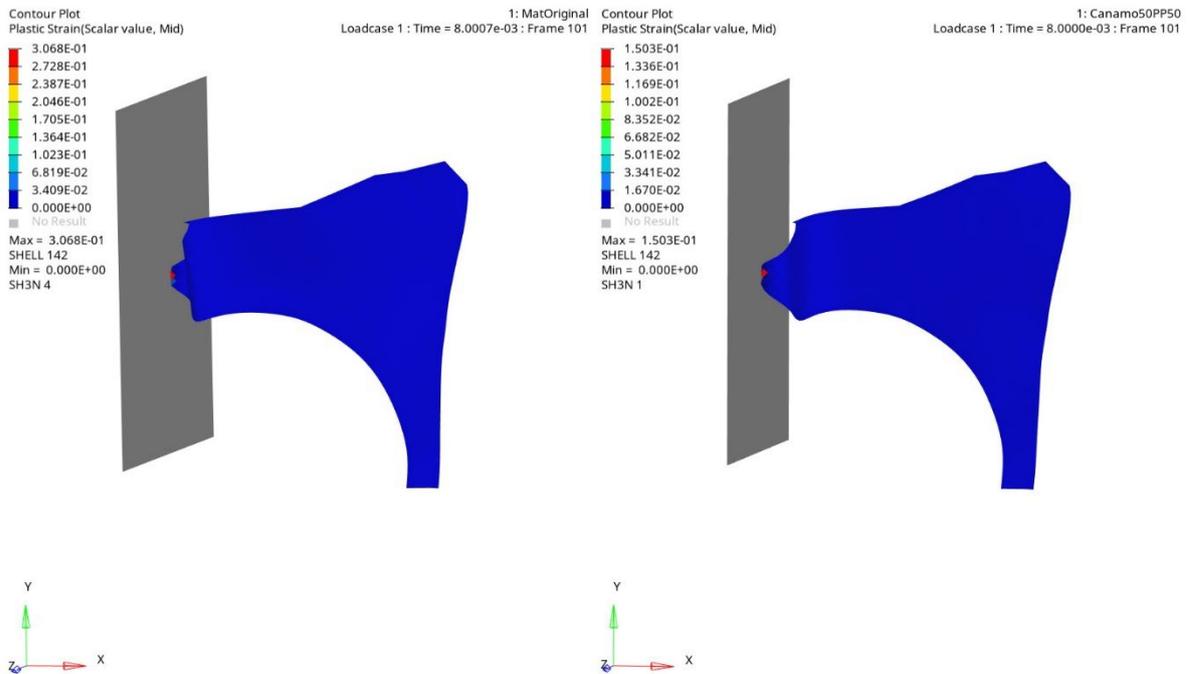
SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

7.4.2 Resultado de falla por esfuerzo plástico

La Figura 51, muestra la magnitud de la falla por esfuerzo plástico.

Figura 51

Esfuerzo plástico (unidad MPa).



Nota: Captura de pantalla de resultado de impacto en Radioss con software HyperView 2019.

El esfuerzo plástico del guardafango con el material original presentó un mejor comportamiento al impacto, la resistencia a 64 km/h es hasta 0.3068 MPa, mientras que el guardafango de material compuesto por fibra de cáñamo 50% y polipropileno 50%, indicó un valor menor de esfuerzo plástico, siendo el máximo 0.1503 MPa.

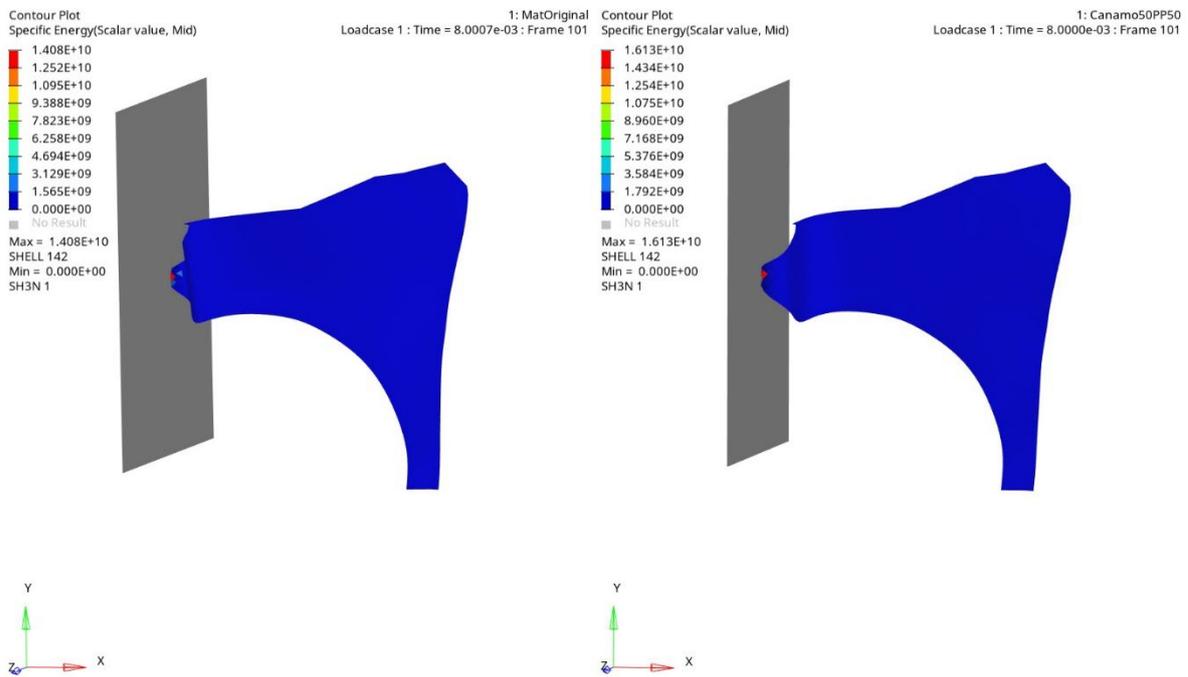
7.4.3 Resultado de falla de energía específica del material

La falla por energía específica de los materiales se muestra en la Figura 52, la unidad que se muestra en el resultado es mili Joules.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 52

Energía específica (unidad mJ).



Nota: Captura de pantalla de resultado de impacto en Radioss con software HyperView 2019.

El guardafango con material original de acero dulce (mild steel), mostró una menor deformación por energía específica que el material compuesto por fibra de cáñamo 50% y polipropileno 50%, al realizar el impacto de los guardafangos de distintos materiales a los 64 km/h, siendo el valor máximo de energía específica para el material original 1.408 E+08 mJ y el valor máximo de energía específica para el material sostenible de 1.613 E+10 mJ.

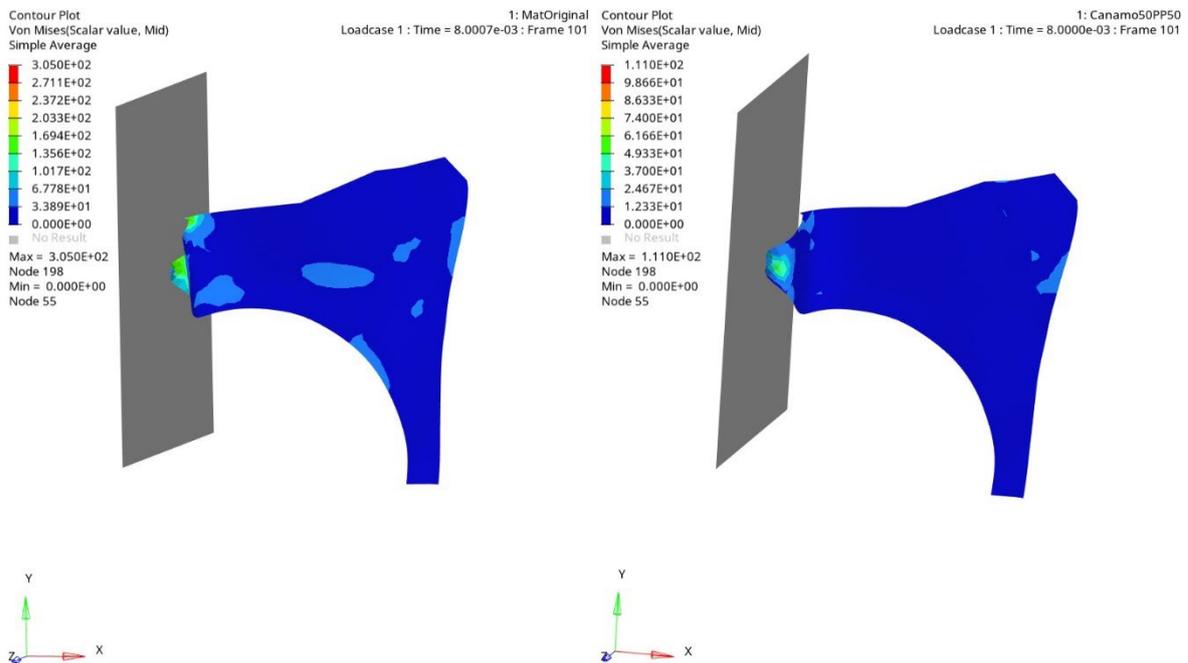
7.4.4 Resultado de falla por esfuerzo de Von Mises

La *Figura 53*, muestra las imágenes del resultado del programa Radioss al momento de mostrar el esfuerzo mínimo y máximo de esfuerzo por Von Mises.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 53

Esfuerzos máximos y mínimos del impacto de guardafango por Von Mises.



Nota: Captura de pantalla de resultado de impacto en Radioss con software Hyperview.

El guardafango compuesto por acero dulce (mild Steel), mostró soportar mejor el esfuerzo indicado por Von Mises, siendo el valor máximo 305 MPa, el guardafango compuesto por material sostenible de fibra de cáñamo 50% y polipropileno 50%, tiene una menor resistencia al esfuerzo de Von Mises con un valor de 111 MPa.

7.4.5 Evaluación y criterio de los resultados obtenidos del impacto del guardafango con material original y material sostenible a través del uso de software Radioss.

La *Tabla 21*, muestra los resultados de los valores máximos y mínimos tanto del material original del guardafango como del guardafango compuesto por fibra natural de cáñamo 50% y polipropileno 50%.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Tabla 21

Valores Máximos y mínimos de los resultados de simulación con el módulo Radioss del programa HyperMesh a 64 km/h de dos materiales aplicados a un guardafango vehicular.

Condición o esfuerzo	Material Original		Material Sostenible		Unidad
	Acero dulce		Fibra de Cáñamo 50% y PP 50%		
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	
Desplazamiento	0.0	129.6	0.0	128.6	mm
Esfuerzo plástico	0.0	0.3068	0.0	0,1503	MPa
Energía Específica	0.0	1.408E+10	0.0	1,613E+10	mJ
Von Mises	0.0	305	0.0	111	MPa

La deformación por desplazamiento para el caso del material original acero dulce es 129.6 mm, el material sostenible se deforma a los 128.6 mm; el material original sobrepasa al material compuesto en 0.77%, la longitud de deformación

El esfuerzo plástico máximo del material original, acero dulce se produce a los 0.307 MPa, este material sobrepasa en un 51.01%, el valor de deformación plástica del material sostenible es 0.1503 MPa.

La energía específica del material original, acero dulce es menor al momento del impacto con un valor de a los 1.408 E+10 mJ, siendo este valor un 14.56 % menos que el guardafango con material compuesto por fibra de cáñamo al 50% y 50% en matriz de base polipropileno PP, con 1.613 E+10 mJ.

Los esfuerzos máximos de Von Mises para el material original de acero dulce muestra que este soporta de mejor manera el impacto, indicando un valor máximo de 305 MPa, y el material compuesto por fibra de cáñamo al 50% y 50% en matriz de base polipropileno PP, tiene menor resistencia con 111 MPa un 63.61% menor.

Después de los resultados de la simulación obtenidos, se puede decir que uno de los mayores retos del presente trabajo de titulación reside en la falta de datos experimentales

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

que puedan utilizarse para comparar fibras naturales en matriz base de polipropileno y el poder validar los cálculos con otros trabajos similares. En el proceso de búsqueda referente al impacto de un material nuevo, como en la implementación de materiales sostenibles encontramos por ejemplo que se ha realizado la fabricación de partes de automóviles del fabricante Porsche (Porsche Newsroom, 2020), Mercedes Benz (Bcomp Ltd., 2022) y BMW (BMW Group, 2022). Por lo tanto, es necesario establecer otros criterios para la evaluación de los distintos métodos, como por si los resultados se analizan en términos de su consistencia, si no hay incoherencias evidentes. Los criterios más significativos son:

- ¿Es la magnitud de desplazamiento razonable?
- ¿El valor de la deformación plástica es aceptable?
- ¿La energía específica de ambos materiales es la correcta?
- ¿Los esfuerzos de Von Mises son valores fiables?

Para discutir las preguntas anteriormente planteadas, se realizó una investigación bibliográfica de resultados de trabajos similares, los cuales se exponen a continuación:

El trabajo de maestría de (Imbaquingo Navarrete, 2018), acerca de la *“Caracterización, diseño y simulación de un guardafango del vehículo Chevrolet Aveo construido con material compuesto a base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas”*, indicó que la deformación teórica por desplazamiento del guardafango compuesto por resina epoxi y fibra de coco, sería de 1222 milímetros, e indicó que el valor es elevado porque el programa no discrimina el momento de rotura del material, a lo cual se discute este dato visto que no se podría esperar una deformación a una longitud que supere la dimensión de un guardafango original que es de al menos 887 milímetros de longitud. Si bien es cierto no se pueden comparar los datos de la presente investigación con lo descrito anteriormente puesto que las fracciones de fibra natural y el material matriz son diferentes, es una referencia para saber que valores son aceptables. En el presente trabajo la longitud

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

por deformación es de 128.6 milímetros, es decir se realizó una discreción de manera correcta de los parámetros para la simulación tal como se indicó en la metodología y las condiciones que el programa Altair HyperMesh en su manual y guías de usuario indican (Altair, 2019), en el mismo trabajo de Imbaquingo el valor de la deformación por desplazamiento de material original (acero dulce), fue de 1451.5 milímetros mientras que la deformación por desplazamiento en el presente trabajo de investigación el resultado para el material original es de 129.6 milímetros.

Por otro lado, el valor presentado en la tesis de (Imbaquingo Navarrete, 2018) en cuanto al esfuerzo máximo de Von Mises se observó que este es de 32.51 GPa, lo cual evidencia un error de las condiciones en que se simuló, debido a que el esfuerzo de Von Mises no podría superar al esfuerzo de fluencia del material, porque este valor solo podría llegar a ser igual al esfuerzo principal que puede llegar a ser el mismo o menor que el esfuerzo de fluencia, pero no puede llegar a superarlo, visto que Von Mises es un criterio conservador, el esfuerzo de Von Mises en la presente investigación que corresponde para el material compuesto de cáñamo 50% y material base polipropileno al 50% es 111 MPa.

El factor de seguridad (*F.S.*) según (Budynas y Nisbett, 2020) y para el presente trabajo de investigación se calcula así:

$$F.S. = \frac{\sigma_{SY}}{\sigma_{ADMISIBLE}}$$

Donde, el esfuerzo admisible equivale o es igual al esfuerzo principal de Von Mises, este valor de 111 MPa es el resultado de la simulación del software de impacto Altair Radioss 2019 para el material sostenible compuesto por cáñamo al 50% y polipropileno al 50%, entonces:

$$F.S. = \frac{\sigma_{SY}}{\sigma_{Von\ Mises}}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

El esfuerzo de fluencia σ_{SY} o Resistencia a la fluencia (límite elástico) mostrado en la *Tabla 12*, que corresponde al material sostenible compuesto por cáñamo al 50% y polipropileno al 50% es 111 MPa; entonces el Factor de seguridad es igual a:

$$F.S. = \frac{111 \text{ MPa}}{111 \text{ MPa}}$$

$$F.S. = 1$$

El factor de seguridad igual a 1, si bien no se puede decir que es un valor favorable, indica que los esfuerzos llegan hasta el esfuerzo de fluencia del material; es decir que el guardafango compuesto por material sostenible fallará inmediatamente cuando se alcance la carga de diseño y no será capaz de soportar ninguna carga adicional.

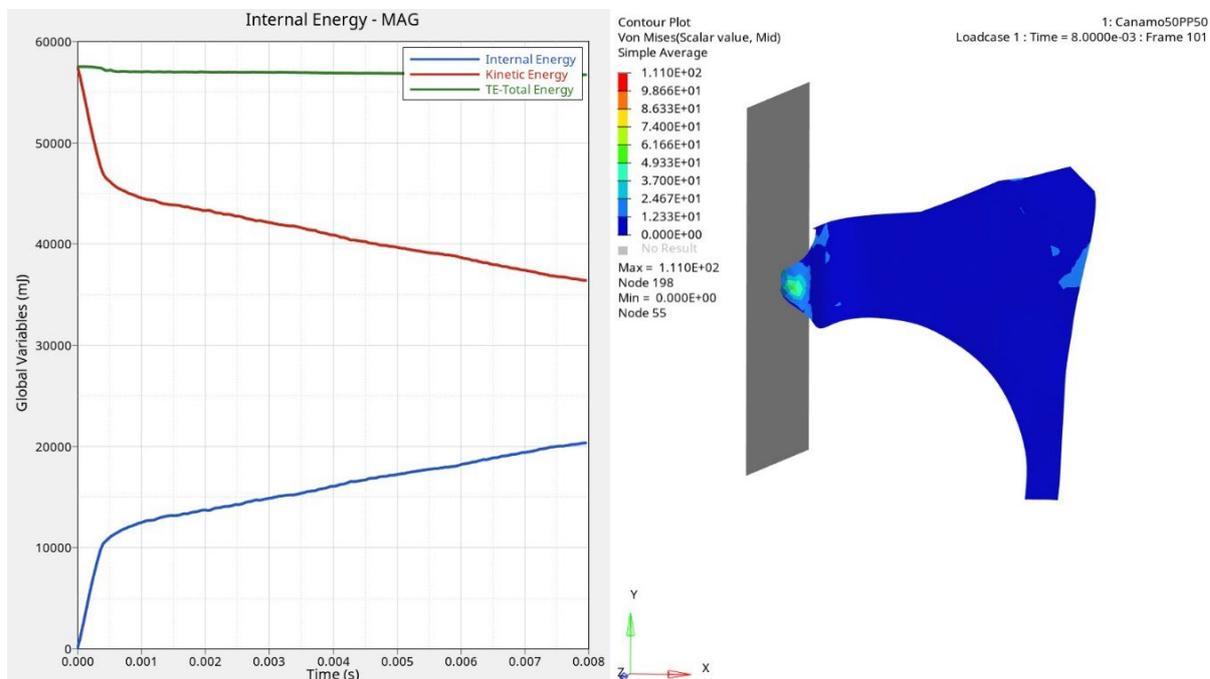
En otro caso estudio se pudo observar que en la investigación experimental para el: “*Analysis and application of natural Fiber reinforced polyester composites to automobile fender*”, realizado por (Oreko y otros, 2018), indicaron que la composición del material sostenible fue de 25% de plátano y 30% poliéster, los esfuerzo resultantes a través de la simulación alcanzaron un máximo valor entre 69.99 y 77.12 MPa, además señalaron que el esfuerzo del compuesto de fibra de plátano reforzada con poliéster depende de la fracción volumétrica de la fibra. Si bien no se puede comparar ni el porcentaje de fracción volumétrica ni los materiales implementados contra el presente estudio los valores corresponden a esfuerzos conservadores del criterio de Von Mises el cual puede ser igual pero no sobrepasar el esfuerzo de fluencia de los materiales, para que el valor del factor de seguridad al menos sea igual a uno.

Por otro lado, la *Figura 54*, representa en el recuadro izquierdo la curva de energía al momento del impacto y a la derecha se puede observar el esfuerzo máximo de Von Mises del guardafango compuesto por material sostenible, y con respecto a dos autores que analizaron las curvas de energía obtenidas del programa Hypermesh y el módulo Radioss se puede manifestar lo siguiente:

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Figura 54

Gráfica Energías al momento del impacto y gráfica del esfuerzo de Von Mises del guardafango compuesto por material sostenible (Cáñamo 50% y polipropileno 50%).



De la anterior figura, podemos observar las variables globales de energía presentadas en el recuadro izquierdo, la energía total de la simulación permanece constante (línea de color verde), la energía cinética (línea de color rojo) inicial se convierte correctamente en energía interna al final de la simulación, esto refleja el cambio de energía durante el impacto del guardafango de material sostenible, ya que absorbe el impacto, entonces la energía interna del guardafango asciende bruscamente (línea de color azul) y la cinética desciende, estas curvas fueron similares en un modelo y análisis de un atenuador de impacto acerca de los resultados de las curvas de energía, realizados por (Altair University, 2015).

Otro estudio los autores (Mestres y otros, 2015) con respecto a la simulación de Impacto de tanques elásticos reforzados con exoesqueletos para aplicaciones aeroespaciales, realizado en el programa HyperMesh 2019, módulo Radioss de la compañía Altair Engineering, indicaron que en el análisis de ingeniería no sólo son

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

necesarios criterios cualitativos, sino también cuantitativos, especialmente cuando se realiza una simulación, dado que se realiza un análisis explícito, no es un estudio comparable en cuanto a la pieza de guardafango sin embargo, se puede utilizar para observar que el criterio de balance energético, en el caso ideal, la energía total del sistema debe ser constante (sólo puede variar por la acción de fuerzas externas), los cálculos la energía se ve afectados por errores numéricos la consecuencia natural de la difusión numérica es una ligera pérdida de la energía total, finalmente concluyeron que cualquier incremento inesperado de la energía total es, sin duda, una indicación de inexactitudes numéricas. Por lo tanto, la diferencia entre la energía total inicial y la energía total energía total en pasos de tiempo posteriores puede utilizarse como criterio de evaluación del método de cálculo.

La curva mostrada en la *Figura 54*, muestra lo dicho por los dos autores mencionados en párrafos anteriores, que durante un lapso de tiempo de la simulación la energía total se mantuvo, la energía cinética del movimiento del guardafango a los 64 km/h decreció y la energía interna aumento, porque el elemento compuesto por material sostenible absorbió energía.

Además de la prueba de impacto realizada con la configuración **ENG_RUN: T-stop** = 0.008 segundos, se realizó también simulaciones a 0.016 segundos y a 0.032 segundos, los resultados se muestran en la *Tabla 22*, los gráficos de las simulaciones se presentan en el *ANEXO 2*.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Tabla 22

Resultados de simulación con diferentes Time Step

Time Step	Valores			
	Deformación por desplazamiento (mm)	Esfuerzo plástico (MPa)	Energía Específica (mJ)	Esfuerzo de Von Mises (Mpa)
0,032	600,3	0,1503	1,61E+10	111
0,016	263,7	0,1503	1,61E+10	111
0,008	128,6	0,1503	1,61E+10	111

A pesar de que los resultados con lapsos de tiempo (time step) diferentes, utilizando la configuración de **ENG_RUN: T-stop** con 0.008, 0.016 y 0.032 segundos, indicó diferentes valores de deformación por desplazamiento son diferentes visto que mayor el tiempo es mayor la deformación del guardafango, sin embargo los resultados de esfuerzo plástico, energía específica y el esfuerzo de Von Mises se mantuvieron constantes, ello demuestra que el software indicó que a los 0.008 segundos el resultado es el máximo, dado que el material permite llegar al esfuerzo de fluencia del material o el esfuerzo principal del resultado de Von Mises, demostrando así una forma correcta del uso del programa Radios 2019 como se indicó en el capítulo 6 de la metodología del presente proyecto de investigación.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Conclusiones

- Se realizó la investigación para escoger los materiales sostenibles que son de procedencia local, los cuales servirán para el diseño de un guardafango automotriz. A través del uso del software CES EduPack se sinterizaron varios materiales sostenibles (lino, cáñamo, sisal, banano, yute y coco) al 50% de peso volumétrico de fibra natural, mezclado con material matriz de polipropileno también al 50% con lo cual se obtuvo las propiedades especificadas de cada material.
- Con la obtención de los datos de materiales sintetizados se estableció la ponderación de la entropía EWM, además se aplicó los métodos de decisión multicriterio COPRAS, VIKOR, ARAS y MOORA, donde se estableció que el mejor material sostenible es la fibra compuesta por cáñamo al 50% y base de matriz polipropileno al 50% lo cual se corroboró aplicando la correlación de Spearman.
- Se realizó una metodología con pasos que debe seguir el diseñador para establecer los lineamientos que demanda el software de simulación de impacto HyperMesh 2019 y el módulo Radioss 2019 de la compañía Altair Engineering; las condiciones principales para impacto frontal como indica Latin NCAP, es que este sea a los 64 km/h, se realizaron dos simulaciones, una con las propiedades mecánicas del material original del guardafango (acero dulce – mild steel), así como, la simulación con la fibra de cáñamo con matriz polipropileno. Obteniendo como resultados la deformación por desplazamiento para el caso del material original acero dulce es 129.6 mm, el material sostenible se deformó a los 128.6 mm; el material original sobrepasa al material compuesto en 0.77%. El esfuerzo plástico máximo del material original, acero dulce se produce a los 0.3068 MPa, este material sobrepasa en un 51.01%, al valor de esfuerzo plástico del material sostenible que es de 0.1503 MPa. La energía específica del material original, acero dulce es menor al momento del impacto con un valor de a los 1.408 E+10 mJ, siendo este valor un 14.56%

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

menos que el guardafango con material compuesto por fibra de cáñamo al 50% y 50% en matriz de base polipropileno PP, con $1.613 \text{ E}+10 \text{ mJ}$. Los esfuerzos máximos de Von Mises para el material original, acero dulce muestran que este soporta de mejor manera el impacto, siendo este igual al esfuerzo principal con un valor máximo de 305 MPa, el material compuesto por fibra de cáñamo al 50% y 50% en matriz de base polipropileno PP, tiene menor resistencia con 111 MPa siendo 63.61% menor, comparado con el material de acero dulce. A pesar de que el material del guardafango compuesto de fibra natural de cáñamo al 50% y matriz base al 50% demostró un menor rendimiento que el material original compuesto de acero dulce, en cuanto a la deformación por desplazamiento, esfuerzo plástico, energía específica y esfuerzos de Von Mises, se pudo observar que el factor de seguridad es igual a la unidad, es decir; que los esfuerzos del material llegan hasta el esfuerzo de fluencia del material, el guardafango compuesto por material sostenible fallará inmediatamente cuando se alcance la carga de diseño y no será capaz de soportar ninguna carga adicional.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Recomendaciones

- Del presente trabajo de maestría, se pudo comprobar que se debe tomar en cuenta las variaciones de porcentaje volumétrico, tanto en el material matriz en este caso la base de polipropileno como las del material compuesto por fibra natural, porque habrá variaciones que influyen directamente en las propiedades mecánicas, físicas, químicas, se debe tener presente dichos criterios al momento de la selección del porcentaje volumétrico del compuesto.
- Se pueden desarrollar estudios e implementaciones de diseño del uso materiales sostenibles en varias partes del vehículo como en los elementos externos guardafangos, capó, faldones frontales, laterales y posteriores, alerones y también en partes internas del móvil, como reposabrazos paneles frontales, laterales e incluso alfombras, asientos y tejidos dentro del habitáculo del conductor, etc.
- Se recomienda que al momento de realizar la selección de materiales se tome en cuenta los criterios beneficiosos y no beneficiosos para el diseño de la aplicación que se encuentre utilizando, visto que se desea diferentes propiedades mecánicas de los elementos.
- En el Ecuador existen diversas zonas climáticas que benefician al cultivo de varias fuentes de recursos naturales, donde se puede sembrar fibras sostenibles que ayuden tanto al agricultor como a la industria automotriz, se debería realizar más estudios para profundizar y ampliar el conocimiento de los compuestos por fibras naturales que sirvan para la reducción de peso del automóvil, lo que ayudaría en la reducción de emisiones y conservación del medio ambiente.
- Con el uso y desarrollo del software especializado que apoya en el cálculo del impacto de un automóvil en la industria automotriz, se ha notado la mejora paulatina desde hace más de 30 años, sin embargo, el conocimiento de uso, implementación y comparación

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

de los resultados en el Ecuador no ha sido aún explotado, lo cual sugiere una necesidad de investigar y desarrollar más sobre el tema, considerando que generaría fuentes de trabajo e ingresos económicos para todos quienes se encuentran en el medio especializado.

- De las composiciones realizadas en el presente trabajo se recomienda efectuar pruebas físicas reales modelando el elemento previo a una producción para poder corroborar si los valores obtenidos son objetivos.
- El uso de fibras naturales según las compañías (BMW Group, 2022) y (Bcomp, 2022) reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hasta en un 85%, al tiempo que agrega beneficios de rendimiento como una mejor amortiguación de vibraciones en los vehículos, en el caso de impacto el modo de falla dúctil se realiza sin escombros afilados y sin astillas, las piezas rígidas también reducen los desechos peligrosos mejorando la seguridad del conductor. Además, a medida que los componentes de fibra natural llegan al final de su vida útil (BMW Group, 2022), señaló que se pueden procesar a través de un sistema estándar de gestión de residuos.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

Referencias bibliográficas

- Abraira, V., y Pérez de Vargas, A. (1996). *Métodos Multivariantes en Bioestadística*. Centro de Estudios Ramón Areces. Obtenido de http://www.hrc.es/bioest/Reglin_1.html
- AEADE. (2018). *Anuario*. Ecuador F.B.T. Cía Ltda.
- AEADE. (2019). *Anuario*. Manthra Comunicación.
- AEADE. (2020). *Anuario, edición 75 años*.
- AEADE. (2021). *Anuario*. Noah Publicidad.
- Agilan, H., Kumar, R., Pravin, R. R., y Alexraja, G. (2018). Automotive Application and Mechanical Property Characterisation of Sisal. *International Journal of Engineering Research y Technology (IJERT)*, 6(7).
- Agrawal, R. (4 de marzo de 2021). Sustainable material selection for additive manufacturing technologies: A critical analysis of rank reversal approach. *Journal of Cleaner Production*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126500>
- Ahmad, F., Choi, H. S., y Park, M. K. (2014). A Review: Natural Fiber Composites Selection in View of Mechanical, Light Weight, and Economic Properties. *Macromolecular Materials and Engineering*, 1-15. <https://doi.org/10.1002/mame.201400089>
- AISI. (2021). Steel Strength Ductility Diagram. *A New Global Formability Diagram*. Obtenido de <https://ahssinsights.org/blog/a-new-global-formability-diagram>
- Akampunguza, O., Wambua, P. M., Ahmed, A., Li, W., y Qin, X. (2017). Review of the Applications of Biocomposites in the Automotive Industry. *Polymer Composites*, 38, 2553-2569. <https://doi.org/10.1002/pc.23847>
- Alinezhad, A., y Khalili, J. (2019). *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*. Switzerland: Springer Nature.
- Alinezhad, A., y Khalili, J. (2019). *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)* (Vol. 277). Switzerland: Springer Nature Switzerland.
- Alinezhad, A., Amini, A., y Rahmani, M. (2015). New product development risk assessment in the core banking using FMEA combined with COPRAS method and grey relations. *Journal of Money and Economy*, 87-121.
- AL-Oqla, F., Y Alothman, O., Jawaid, M., Sapuan, S., Essaheb, M., Al-Oqla, F., y Alothman, Y. (2014). *Biomass and Bioenergy-Processing and Properties* (First ed.). (J. U. Khalid, Ed.) Kuala Lumpur, Malasia: Springer-Verlag.
- Altair. (2019). *Altair Radioss 2019, Reference Guide*. Altair Engineering Inc. Copyright © 1986-2020.
- Altair. (2019). *Altair Radioss, Examples*. Altair Engineering Inc. Copyright © 1986-2020.
- Altair. (2019). *Altair Radioss, Theory Manual*. Altair Engineering Inc. Copyright © 1986-2020.
- Altair. (2019). *Altair Radioss, Tutorials*. Altair Engineering Inc. Copyright © 1986-2020.
- Altair. (2019). *Altair Radioss, User Code Manual*. Altair Engineering Inc. Copyright © 1986-2020.
- Altair. (2019). *Altair Radioss, User Guide*. Altair Engineering Inc. Copyright © 1986-2020.
- Altair. (2019). *Altair Radioss, Verification Problems*. Altair Engineering Inc. Copyright © 1986-2020.
- Altair. (2021). *Altair Radioss 2021, Theory Manual*. Altair.
- Altair Engineering. (2018). *Help Altair Radioss*. Obtenido de Type 7 y 24 contact: https://community.altair.com/community?id=community_question&sys_id=98664cf61b2bd0908017dc61ec4bcbf3

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Altair Engineering. (2018). Reinforced Plastics. *Conference Showcase*, 62(2).
<https://doi.org/10.1016/j.repl.2017.12.072>
- Altair University. (2015). *Modeling and Analysis of Honeycomb Impact Attenuator*. Altair Engineering.
- Ansys Granta EduPack. (2019). *CES Edupack versión 19.2.0*. Granta .
- Ansys Inc. (24 de febrero de 2022). *Ansys Granta Selector: Selección Inteligente de Materiales*. Obtenido de <https://www.ansys.com/products/materials/granta-selector>
- Anuar, H., y Zuraida, A. (2011). Improvement in mechanical properties of reinforced thermoplastic elastomer composite with kenaf bast fibre. *Composites Part B: Engineering*, 42(3), 462-465. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2010.12.013>
- Arjmandi, R., Hassan, A., y Zakaria, Z. (2017). 5 - Rice husk and kenaf fiber reinforced polypropylene biocomposites. En M. Jawaid, P. M. Tahir, y N. Saba (Edits.), *Lignocellulosic Fibre and Biomass-Based Composite Materials* (págs. 77-94). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100959-8.00005-6>
- Arulandoo, X., Sritharan, K., y Subramaniam, M. (2017). The Coconut Palm. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition)*, 3, 426-430. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00237-9>
- Ashby, M. F. (2016). Background: Materials, Energy and Sustainability. En *Materials and Sustainable Development* (págs. 1-25). Elsevier Ltd. All rights reserved.
- Ashby, M. F. (2016). *Materials and Sustainable Development*.
- Ashby, M. F. (2016). *Materials and Sustainable Development*. Cambridge, Reino Unido: Elsevier Ltd.
- Ashby, M. F. (2016). What is a “Sustainable Development”? En *Materials and Sustainable Development* (págs. 27-38). Elsevier Ltd. All rights reserved.
- Atiqah, A., Maleque, M. A., Jawaid, M., y Iqbal, M. (2014). Development of kenaf-glass reinforced unsaturated polyester hybrid composite for structural applications. *Composites Part B: Engineering*, 56, 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.019>
- Auto&Design. (Septiembre de 2019). Obtenido de Volvo Green Footprint: <https://autodesigndesignmagazine.com/en/2018/09/limpronta-green-di-volvo/>
- Automotive Circle. (2016). Automotive Circle. *EuroCarBody, Yearly conference organised by Automotive Circle International*. Germany. Obtenido de <http://www.automotive-circle.com/Conferences/EuroCarBody-2016>
- Banco Central del Ecuador. (2019). *Ecuador, exportaciones de abacá*. Consultora Multiplica.
- Banik, S., Basak, M., D., P., Nayak, P., Sardar, D., y Sil, S. (2016). Ribbon retting of jute—a prospective and eco-friendly method for improvement of fibre quality. *Industrial Crops and Products*, 17(3), 183-190. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(02\)00097-3](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(02)00097-3)
- Bari, F., y Leung, V. (2007). Application of ELECTRE to network selection in a heterogeneous wireless network environment. *Wireless Communications and Networking Conference* (págs. 3810-3815). New York: IEEE.
- Barreto R., M. (2011). *Introducción a la Estadística no paramétrica, Prueba de Correlación de Spearman*. Universidad Los ángeles de Chimbote, Bioestadística.
- BASF. (2018). *Acrodur® for natural fibers in automotive*.
- Bcomp. (2022). *Porsche uses sustainable alternative to carbon fibres for Nürburgring 24h race*. Obtenido de <https://www.bcomp.ch/news/porsche-full-natural-fibre-bodykit/>
- Bcomp Ltd. (2022). *Mercedes-AMG GT4 race cars now equipped with high-performance natural fibre composite bumpers*. Bcomp Ltd.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Begum, K., y Islam, M. (Abril de 2013). Natural fiber as a substitute to synthetic fiber in polymer composites. *Research Journal of Engineering Sciences*, 2(3), 46-53. Behera, A. K., Avancha, S., Basak, R. K., y Adhikar, B. (2012). Fabrication and characterizations of biodegradable jute reinforced soy based green composites. *Carbohydrate Polymers*, 88(1), 329-335. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.12.023>.
- Bhalla, A. K. (2018). *Environmental Stress Cracking of Interior Polymers of a car*. School of Engineering Sciences in Chemistry, Biotechnology and Health.
- Bingham, J. (2016). Obtenido de The Metal Surgeon: <https://themetalsurgeon.com/difference-between-fender-and-fender-flares/> Bledzki, A. K., Sperber, V. E., y Faruk, O. (2002). Natural and Wood Fibre Reinforcement in Polymers. *Rapra Review Reports*, 13(8), 3-144.
- BMW Group. (2021). Revolution, not evolution: BMW Group to reduce carbon footprint significantly by 2030 using innovative materials. *Press BMW Group*.
- BMW Group. (2022). *BMW i Ventures invests in high-performance composites made from natural fibres*. Company Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft.
- Borja, D., y Remache, A. (2021). Estudio de biocompuestos con refuerzo de fibra de pseudotallo/platano para creación de partes automotrices. *Polo del conocimiento*, 6(6), 3-23. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i6.2737>
- BoronExtrication. (2011). Obtenido de Chevrolet Sail Body Structure: <https://www.boronextrication.com/2011/11/11/2012-chevrolet-sonic-body-structure/>
- Bos, H., M., V., y Peters, O. (2002). Tensile and compressive properties of flax fibres for natural fibre reinforced composites. *Journal of Materials Science*, 37(8), 1683-1692.
- Brauers W., K. M. (2008). Multi-objective contractor's ranking by applying the MOORA method. *Journal of Business Economics and Management*, 245-255.
- Brauers W., K. M. (2013). Multi-objective seaport planning by MOORA decision making. *Annals of Operations Research*, 39-58.
- Brauers, W. K., y Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 445-469.
- Budynas, R. G., y Nisbett, J. K. (2020). *Mechanical Engineering Design* (Eleventh Edition ed.). Mc Graw Hill Education.
- Bunge, M. A. (2017). El planteamiento científico. *Scielo, Salud Pública*.
- Car Part. (14 de Agosto de 2020). *The biggest source of car parts in Australia*. Obtenido de The Cost of Car Fender Repair or Replacement: <https://carpart.com.au/blog/educational/the-cost-of-car-fender-repair-or-replacement>
- Carruthers, J., y Quarshie, R. (2014). *Technology overview biocomposites*. Knowledge Transfer Networks.
- Chand, N., y Fahim, M. (2021). *Tribology of natural fiber polymer composites*. Elsevier Ltd.
- Chatterjee, P., Mondal, S., y Chakraborty, S. (2014). A comprehensive solution to automated inspection device selection problems using ELECTRE methods. *International Journal of Technology*, 193-208.
- Chaturvedi, V., Jain, A., Bhadauriya, A., y Tomar, K. (2014). Parametric optimization of ECM process parameters by MOORA method. *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, 1-10.
- Chérrez Troya, M., Martínez Gómez, J., Peralta Zurita, D. B., y Llanes Cedeño, E. A. (25 de 06 de 2018). Métodos multicriterio aplicados en la selección de un material para

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- discos de freno. *Ingenius revista de ciencia y tecnología*, 20, 83-95.
<https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.08>
- Chevrolet Pressroom . (2019). Obtenido de Chevrolet Sail Hatchback 2018:
<https://media.gm.com/media/ca/fr/chevrolet/photos.detail.html/content/Pages/galleries/us/en/vehiculos/chevrolet/2013/sonic.html>
- Cooperación Financiera Nacional - CFN. (enero de 2021). *Cooperación Financiera Nacional*. Obtenido de <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-1-trimestre/Ficha-Sectorial-Cultivo-de-plantas-de-fibras.pdf>
- Cordin, M., Bechtold, T., y Pham, T. (2018). Effect of fibre orientation on the mechanical properties of polypropylene–lyocell composites. *Cellulose*, 25, 7197-7210.
<https://doi.org/10.1007/s10570-018-2079-6>
- Criollo Farfán, J. A., y Sarmiento Plaza, P. J. (2015). Estudio para la desagregación tecnológica en un vehículo automotor tipo sedán Chevrolet Sail. 1-226.
- Dadelo, S., Turskis, Z., Zavadskas, E. K., y Dadeliene, R. (2012). Multiple criteria assessment of elite security personal on the basis of ARAS and expert methods. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research.*, 65-87.
- Darshan, D. G. (14 de Octubre de 2019). *Design of front fender of a car*. Skill-Lync. Obtenido de Skill-Lync: <https://skill-lync.com/student-projects/FENDER-DESIGN-07549>
- Das, S. (2017). Mechanical properties of waste paper/jute fabric reinforced polyster resin matrix hybrid composites. *Carbohydrate Polymers*, 172.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.036>
- Davies, G. (2012). Design and material utilization. En D. Geoffrey, *Matrials for Automobile Bodies (Second Edition)*. Copyright © 2012 Elsevier Ltd. All rights reserved.
- de Beus, N., Carus, M., y Barth, M. (2019). Carbon Footprint and Sustainability. *Nova Institute for Ecology and Innovation*, 1-57.
- Deck Towel. (s.f.). *Cómo se hacen las fibras de lino*. Obtenido de info@decktowel.com: <https://www.decktowel.com/pages/how-linen-is-made-from-flax-to-fabric>
- Ding, X., Chong, X., Bao, Z., Xue, Y., y Zhang, S. (6 de mayo de 2017). Fuzzy Comprehensive Assessment Method Based on the Entropy Weight Method and Its Application in the Water Environmental Safety Evaluation of the Heshangshan Drinking Water Source Area, Three Gorges Reservoir Area, China. *Molecular Diversity Preservation International - MDPI*, 1-15.
<https://doi.org/10.3390/w9050329>
- Du Bois, P., Chou, C. C., Fileta, B. B., Khalil, T. B., King, A. I., Mahmood, H. F., . . . Wismans, J. (2004). *Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection*. Automotive Applications Committee, American Iron and Steel Institute.
- Duarte Lopes, F. P. (2005). Mechanical strength of polyester matrix composites reinforced with coconut fiber wastes.
- Durán Córdova, J. D. (2014). *Comparación de ácidos grasos omega 3, 6 y 9 en la semilla de lino (Linum usitatissimum) ecuatoriana y canadiense por cromatografía de gases*.
- Eco Inventos. (31 de Octubre de 2020). *Fibras de plátano, alternativa al carbono para coches más ligeros y resistentes*. Obtenido de Eco Inventos: <https://ecoinventos.com/fibras-de-platano-para-coches-mas-ligeros-fuertes/>
- EcoInventos Green Technology. (11 de mayo de 2016). *EcoInventos*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/kenaf-la-planta-multiusos/>

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Ecuador Pesquero. (2017). Alianza estratégica con la fábrica Sisal Gomez. *Ecuador Pesquero*(80), 1-44.
- EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Obtenido de https://www.ecured.cu/An%C3%A1lisis_multicriterio
- El Comercio. (21 de agosto de 2015). La cabuya y el yute se utilizan en Ambato para objetos vistosos. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tendencias/construir/cabuya-yute-usos-ambato-intercultural.html>
- El Diario. (21 de septiembre de 2015). Costales de Yute. Obtenido de <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/368307-costales-de-yute/>
- Elseify, L. A., Midani, M., Shihata, L. A., y El-Mously, H. (23 de Enero de 2019). Review on cellulosic fibers extracted from date palms. *Springer Nature B.V.* <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02259->
- Escrivá, L. J. (2016). *Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) al Dimensionamiento de Sistemas Renovables*. España: Universitat Politècnica de València.
- Espinosa, M. (14 de febrero de 2016). *Revista Líderes*. Obtenido de Fibras de abacá para exportación en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas: <https://www.revistalideres.ec/lideres/produccion-santodomingo-abaca-exportaciones.html>
- European Bioplastics. (2019). *Bioplastics facts and figures*. Obtenido de <https://www.european-bioplastics.org/news/multimedia-pictures-videos/>
- European Bioplastics. (2020). Bioplastics, facts and figures. *15th European Bioplastics Conference 2020*. Berlin.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *Fibras del Futuro, Abacá*. Obtenido de FAO - Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura: <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. (2021). *Agricultura Sostenible*. FAO.
- Faridul Hasan, K. M., Horváth, P. G., Bak, M., y Alpár, T. (2021). A state-of-the-art review on coir fiber-reinforced biocomposites. *Royal Society of Chemistry, 11*, 10548–10571. <https://doi.org/10.1039/D1RA00231G>
- Faruk, O., Bledzki, K. A., Fink, H. P., y Sain, M. (2 de Mayo de 2012). Progress in Polymer Science. *ScienceDirect*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>
- Fernández, I. (13 de Septiembre de 2016). Materiales sostenibles: Naturales, saludables y duraderos. *Arquitectura Sostenible*. Obtenido de <https://arquitectura-sostenible.es/materiales-sostenibles/>
- Figueira, J. R., Mousseau, V., y Roy, B. (2016). *ELECTRE methods. In Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. New York: Springer.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (19 de Febrero de 2021). *Grand View Research (2018) Natural fiber composites (NFC) market size, share y trends analysis report by raw material, by matrix, by technology, by application, and segment forecasts, 2018–2024*. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fuente, J. d. (Marzo de 2018). *PMFarma*. Obtenido de <http://www.pmfarma.es/articulos/2341-el-analisis-multicriterio-mcda-en-la-toma-de-decisiones.html>

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- García, M., Vliet, G., Jain, S., Zyl, W., y Boukamp, B. (2004). Polypropylene/SiO₂ nano composites with improved mechanical properties. *Advanced Material Science*, 6, 169-175.
- García, S. G. (2022). *Fibras de coco Bracoplus S.A.* Obtenido de Banco de ideas, Gobierno del Ecuador:
<http://bancodeideas.gob.ec/proyecto/view?data=aWQ9NzQ2OQ%3D%3D>
- General Motors. (2019). *General Motors Parts Super Store*. Obtenido de <https://www.gmpartsonline.net/v-2019-chevrolet-spark--activ--1-4l-14-gas/body--fender-and-components>
- General Motors. (14 de Septiembre de 2021). *General Motors Parts Store*. Obtenido de <https://www.gmpartsonline.net/oem-parts/gm-fender-84216909?c=bD0yJm49U2VhcmNoIFJlc3VsdHMmYT1jaGV2cm9sZXQmbz10YWhvZSZ5PTIwMjAmdD1wcmVtaWVyJmU9Ni0ybC12OC1nYXM%3D>
- Ghassemieh, E. (2011). Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects. En *New Trends and Developments in Automotive Industry* (págs. 365-394). University of Sheffield. <https://doi.org/10.5772/13286>
- Giovanini, K. (2018). *Materialidad de la industria automotriz*. Expok, Comunicación de Sustentabilidad y RSE.
- GM Corporate Newsroom. (2018). Obtenido de Chevrolet Sail Body Structure (Exterior): https://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2012/Aug/0808_sonic/_jcr_content/rightpar/galleryphotogrid.html
- GM Motors. (Mayo de 2018). Obtenido de Body Structure Chevrolet Sail.
- Gomez, F., y Noroña, M. (2018). Análisis de una cadena de suministro de autopartes. *INNOVA Research Journal*, 3(10), 123-134.
<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n10.1.2018.898>
- Gonzalez, A. (25 de abril de 2012). *Elementos amovibles y fijos*. Obtenido de <http://adriangonzalez-eaf.blogspot.com/2012/04/principales-plasticos-utilizados-en-el.html>
- Grand View Research. (2018). Natural fiber composites (NFC) market size, share y trends analysis report by raw material, by matrix, by technology, by application, and segment forecasts. *Grand View Research*, 2018-2024.
- Granta CES Edupack. (2019). *Ayuda*.
- Granta CES Edupack. (2019). *Uso de compuestos*. Obtenido de https://support.grantadesign.com/resources/cesedupack/2019/help/topic1.htm#t=html%2Fsynthesizer%2Fcomposites_using.htm
- Granta Design Limited. (2019). CES Edupack.
- Guía de Software CES Edupack*. (2016). Obtenido de Materials Science Engineering: https://depts.washington.edu/matseed/ces_guide/ces.htm
- (2016). *Guía Granta CES Edupack*. Cambridge University.
- Guo, J., y Zhang, W. (2008). Selection of suppliers based on rough set theory and VIKOR algorithm. *International Symposium on Intelligent Information Technology Application Workshops.*, 49-52.
- Hall, J. N., y Fekete, J. R. (2017). Steels for auto bodies: a general overview. En R. Rana, y S. Brat Singh, *Automotive Steels - Design, Metallurgy, Processing and Applications* (págs. 1-27). Elsevier.
- Hamidon, M. H., Sultan, M. H., Ariffin, A. H., y Shah, A. M. (2019). Effects of fibre treatment on mechanical properties of kenaf fibre reinforced composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 8, 3327-3337.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.04.012>

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Hashmi, S., y Choudhury, I. A. (2020). *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. Elsevier Inc. All rights reserved.
- Herce, A. C. (2017). *Universidad de la rioja*. Obtenido de https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE002504.pdf
- Herrera-Franco, P., y Valadez González, A. (Marzo de 2004). Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 339-345. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.012>
- Hokkanen, J., Salminen, P. R., y Ettala, M. (1995). The choice of a solid waste management system using the ELECTRE I decision-aid method. *Waste Management y Research*, 175-193.
- Ilomaki, K. (2012). *Dissertation on Adhesion between Natural Fiber and Thermosets*. Finlandia: Tampere University of Technology.
- Ilomaki, K. (2012). *Dissertation on Adhesion between Natural Fiber and Thermosets*. Tampere University of Technology.
- Imbaquingo Navarrete, R. P. (2018). *Caracterización, diseño y simulación de un guardafango del vehículo Chevrolet Aveo construido con material compuesto a base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas*. Universidad Internacional SEK.
- iNaturalist Ecuador. (2021). *iNaturalist Ecuador*. Obtenido de iNaturalist Ecuador: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/158103-Agave-sisalana>
- INEC. (2020). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2020*. Ecuador en cifras.
- Infobae. (12 de Septiembre de 2020). *Un auto hecho con cannabis: el alucinante proyecto ecológico de los años 40*. Obtenido de Infobae: <https://www.infobae.com/autos/2020/09/12/un-auto-hecho-con-cannabis-el-alucinante-proyecto-ecologico-de-los-anos-40/>
- Inpadesa. (2016). *Fibra de banano*. Obtenido de <https://www.inpadesa.com.ec/fibra-de-banano/>
- Inpadesa. (2022). *Geomanto de fibra de coco*. Obtenido de GMAT VT400: <http://www.inpadesa.com.ec/ecuafiber-fibra-de-banano-y-coco/>
- Ismail, K. (2017). Natural fiber reinforced polymer composites. *Journal of Applied and Fundamental Sciences*, 3(1), 17.
- Jahan, A., Mustapha, F., Sapuan, S., Ismail, M., y Bahraminasab, M. (10 de mayo de 2011). A framework for weighting of criteria in ranking stage of material selection process. *Springer-Verlag*, 411-420. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3366-7>
- Karabasevic, D., Paunkovic, J., y Stanujkic, D. (2016). Ranking of companies according to the indicators of corporate social responsibility based on SWARA and ARAS methods. *Serbian Journal of Management*, 43-53.
- Karabasevic, D., Paunkovic, J., y Stanujkic, D. (2016). Ranking of companies according to the indicators of corporate social responsibility based on SWARA and ARAS methods. *Serbian Journal of Management*, 43-53.
- Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., y Stanujkic, D. (2016). The framework for the selection of personnel based on the SWARA and ARAS methods under uncertainties. *Informatika*, 49-65.
- Karande, P., y Chakraborty, S. (2012). Decision making for supplier selection using the MOORA method. *IUP Journal of Operations Management*, 6-18.
- KEPCO. (2016). Obtenido de Corporación de Energía Eléctrica de Corea: <https://home.kepco.co.kr/kepco/ES/D/htmlView/ESDAHP00101.do?menuCd=ES040101>

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Khan, A., Sanjay, R. M., Jawaid, M., Siengchin, S., y Asiri, A. M. (2020). Natural and Synthetic Fibers for Hybrid Composites. En *Hybrid Fiber Composites, Materials Manufacturing, Process Engineering* (págs. 1-423). Wiley-VCH Verlag GmbH y Co. KGaA.
- Khan, J. A., y Khan, M. A. (2015). The use of jute fibers as reinforcements in composites. En *Biofiber Reinforcements in Composite Materials* (págs. 3-34).
<https://doi.org/10.1533/9781782421276.1.3>
- KIA. (2016). *KIA Sustainability Report*. Kia Motors Sustainability Magazine. Kipriotis, E., Heping, X., Vafeiadakis, T., y Kiprio, M. (2015). Ramie and kenaf as feed crops. *Industrial Crops and Products*, 68, 126-130.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.10.002>
- Knauf Industries. (2019). *Automotive industry – manufacturing of car components from environment-friendly raw materials*. Knauf Industries.
- Koronis, G., Silva, A., y Fontul, M. (2013). Green composites: a review of adequate materials for automotive. *Composites Part B*, 44(1), 120-127.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.07.004>
- Kuersten, E. (2015). *Coir-Traditionally used fibres for new construction applications*. First International Conference on Bio-based Building Materials.
- Kumar, R., Dureja, J. S., y Singh, H. (2012). An approach to analyze logistic outsourcing problem in medium-scale organization by CFPR and VIKOR. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 885-898.
- Kuruvilla, J., Tolêdo Filho, R. D., Beena, J., Sabu, T., y de Carvalho, L. (1999). A review on sisal fiber reinforced polymer composites. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(3), 367-379. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n3p367-379>
- Latin NCAP. (2022). Obtenido de Impacto, Crash Test:
<https://www.latinncap.com/es/preguntas-frecuentes>
- Limbong, T., Simarmata, J., Sriadhi, S., S. Tambunan, A. R., Sinaga, E. K., Simbolon, N., . . . Pakpahan, P. (2018). The Implementation of Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis Method to Select the Lecturer Assistant Working at Computer Laboratorium. *International Journal of Engineering y Technology*, 7(2.13), 352-356.
- Lotfi, A., Li, H., Dao, D. V., y Prusty, G. (2019). Natural fiber–reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1-47. <https://doi.org/10.1177/0892705719844546>
- M.R. Sanjay, V. A., Suchart, S., y Jyotishkumar, P. (9 de marzo de 2020). Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. (2. E. reserved, Ed.) *ScienceDirect*, 27.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120978>
- Magurno, A. (2000). Vegetable fibers in automotive interior components. *Macro Molecular Materials and Engineering*, 272(1), 99-107.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-9505\(19991201\)272:1<99::AID-APMC99>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-9505(19991201)272:1<99::AID-APMC99>3.0.CO;2-C)
- Mansor, M. R., Sapuan, S., Zainudin, E., A.A., N., y A, H. (2014). Application of Integrated AHP-TOPSIS Method in Hybrid Natural Fiber Composites Materials Selection for Automotive Parking Brake Lever Component 1,2. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 431-439.
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., y Pérez Abreu, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rabgos de Spearman. *Instituto Superior de Ciencias Médicas de*

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- la Habana (ISCM-H)*, 1-19. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v8n2/rhcm17209.pdf>
- McMahon, M. (14 de agosto de 2018). *Clear answer for common questions: Wise Geek*. Obtenido de Wise-geek: <https://www.wise-geek.com/what-are-fenders.htm>
- McMahon, M. (3 de Mayo de 2022). Obtenido de WikiMotors: <https://www.wikimotors.org/what-are-fenders.htm>
- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., y Garcia, D. (18 de julio de 2018). Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) for decision-making with expert judgment. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(3), 348-360.
- Mestres, E., Berro Ramirez, J. P., y Franco, E. T. (2015). *Impact simulation of elastic fuel tanks reinforced with exoskeleton for aerospace applications*. KTH Royal Institute of Technology.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (19 de octubre de 2020). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de Acuerdo Ministerial 109: <https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/109-2020-1.pdf>
- Mirabal, J., y Luna, D. L. (2018). El Método Científico como Alternativa Didáctica de Educación en Valores para Escuelas de Ingeniería. *Scielo*, 11(50). <https://doi.org/10.4067/S0718-50062018000500003>
- Mohanty, S., Verma, S., Nayak, S., y Tripathy, S. (2004). Influence of fiber treatment on the performance of sisal–polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science* 94, 1336–1345.
- Mohr, D. L., Wilson, W. J., y Freund, R. J. (2022). *Statistical Methods*. Copyright © 2022 Elsevier Inc. All rights reserved. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-02521-6>
- Montufar, A. M., y Remache, A. C. (2021). Materiales compuestos de polímero reforzado con fibra de cabuya y coco aplicado al sector automotriz. *Revista científica dominio de las ciencias*, 7(3), 436-465. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i3.2002>
- Mountain Xpress. (3 de enero de 2020). *Mountain Xpress*. Obtenido de Plantas de cañamo e Industrialización: <https://mountainx.com/news/racial-equity-and-ncs-budding-hemp-industry/>
- Mousavi Nasab, S. H., y Anvai, A. S. (16 de febrero de 2017). A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS, COPRAS and DEA as an auxiliary tool for material selection problems. *Materials y Design*, 237-253. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.041>
- Nair, M. M., Shetty, N., Alva, P. P., y Shetty, D. S. (2018). Effect of sawdust impregnation on long coir fibers reinforced with epoxy matrix. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 5(3), 67-74. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2018.03.010>
- Nehls, G. (23 de 10 de 2020). *Composites World*. Obtenido de <https://www.compositesworld.com/news/natural-fiber-crash-box-design-for-motorsport>
- Nishino, T., Hirao, K., Kotera, M., Nakamae, K., y Inagaki, H. (2013). Kenaf reinforced biodegradable composite. *Composites Science and Technology*, 63(9), 1281-1286. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00099-X](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00099-X)
- Offset Warehouse. (14 de abril de 2015). *The Sustainable Fashion Collective*. Obtenido de Plantas de yute, cómo se hacen las fibras: <https://www.the-sustainable-fashion-collective.com/2015/04/14/why-is-jute-sustainable-ecofriendly/>
- Omar, M. F., Jaya, H., y Zulkepli, N. N. (2020). Kenaf fiber reinforced composite in the automotive industry. En E. Ltd., *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* (págs. 95-101). Universiti Malaysia Perlis, Arau, Perlis, Malaysia.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Opricovic, S., y Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156, 445-455.
- Opricovic, S., y Tzeng, G. H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 514-529.
- Oreko, B. U., Otanocha, O., y Ihueze, C. C. (2018). Analysis and application of natural Fiber reinforced polyester composites to automobile fender. *Covenant Journal of Engineering Technology*, 1(1), 2-13.
- Peralta Zurita, D. B., Llanes Cedeño, E. A., Pucha Tambo, M., y Rocha Hoyos, J. C. (2019). Caracterización mecánica a flexión de. *Ingenius - Revista de Ciencia y Tecnología*.
- Pesaequipos S.A. (2017). Obtenido de Cabo natural manila o sisal: <http://www.pesaequipos.com/portfolio-posts/cabo-manila-o-sisal/>
- Pham, L. J. (2016). Coconut (Cocos nucifera). *Industrial Oil Crops*, 231-242. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-98-1.00009-9>
- Pickering, K. L., Aruan Efendy, M. G., y Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A*, 83, 98-112. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
- Pino Herrera, O. (2019). *Estudio de pre factibilidad para la creación de una empresa productora y procesadora de fibra de cañamo industrial en la provincia de Pichincha para la exportación al mercado alemán en el período 2019-2029*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Escuela multilingüe de negocios y relaciones internacionales. Quito: PUCE.
- Pino Herrera, O. F. (2019). *Estudio de pre factibilidad para la creacion de una empresa productora y procesadora de fibra de cáñamo industrial en la provincia de Pichincha para la exportación al mercado alemán en el período 2019-2029*. PUCE, Escuela multilingüe de negocios y relaciones internacionales.
- Pita Fernández, S., y Pértega Díaz, S. (2001). Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. *Utilización e Interpretación de las Técnicas de Correlación disponible*, 141-144.
- Polestar. (Enero de 2020). Obtenido de <https://www.polestar.com/us/precept/flax-fibre-composites/>
- Popovic, G., Stanujkic, D., y Stojanovic, S. (2012). Investment project selection by applying COPRAS method and imprecise data. *Serbian Journal of Management*, 257-269.
- Porsche Newsroom. (24 de 209 de 2020). *Coches de carrera con partes de la carrocería hechas de materias primas renovables*. Obtenido de <https://newsroom.porsche.com/en/2020/motorsports/porsche-718-cayman-gt4-clubsport-mr-natural-fibre-composite-body-kit-22439.html>
- Pozo Morales, A. R., Guemes, A., y Fernandez López, A. (2019). *Materiales compuestos de fibras naturales*. Universidad Politécnica de Madrid.
- PulpSpecialties. (2013). Obtenido de <https://pulpspecialties.weebly.com/abaca-fiber-and-pulp.html>
- Quintero, A. G., Serrano Moya, E. D., y Hahn Von-h, C. M. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Luna Azul*, 36, 285-306.
- Rahman MSc, M. S. (2010). Jute – A Versatile Natural Fibre. Cultivation, Extraction and Processing. En P.-I. Müssig, *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications* (págs. 135-161). Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9780470660324.ch6>

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Ramos Rivero, V. L. (2018). Evolución del Uso de los Materiales Plásticos en la Industria Automotriz. *INNOVA Research Journal*, 17-27.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española*. Barcelona: Espasa Libros, S. L. U.
- Reddy, P. R., y Harish, T. (2015). Design and Crash Analysis of Passenger Car Frontal Bumper Beam Using Hypermesh and Radioss. *International Journal of Emerging Research in Management and Technology*, 4(12).
- Revista Gestión. (7 de abril de 2019). *El abacá: sus repercusiones económicas y laborales*. Obtenido de <https://revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/el-abaca-sus-repercusiones-economicas-y-laborales>
- Revista Líderes Ecuador. (s.f.). *Las creaciones de estilo artesanal llevan yute*. Obtenido de Plantas de yute, cómo se hacen las fibras : <https://www.revistalideres.ec/lideres/creaciones-estilo-artesanal-llevan-yute.html>
- Rivera Hoyos, J. F. (2014). *Análisis del comportamiento mecánico de un rack de baterías frente a eventos de choque*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Rouway, M., Nachtane, M., Tarfaoui, M., Chakhchaoui, N., Omari, L., Fraija, F., y Cherkaoui, O. (2020). Prediction of Mechanical Performance of Natural Fibers Polypropylene Composites: a Comparison Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 948(012031), 1-12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/948/1/012031>
- Saaty, T. L., y Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Boston, Massachuset, Estados Unidos: Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>
- Saba, N., Paridah, M. T., y Jawaid, M. (1 de febrero de 2015). Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: A review. *Construction and Building Materials*, 76, 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.043>
- Saba, N., Paridah, M. T., y Mohammad, J. (2015). Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: A review. *Construction and Building materials*, 76, 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.043>
- Sakthivel, M., y Ramesh, S. (2013). Mechanical properties of natural fiber (banana, coir, sisal) polymer composites. *Science park*, 1(1), 1-6.
- Salazar, P. R., y Villacrés, A. M. (2014). *Diseño y construcción de una micro extrusora experimental para la obtención de multi combustibles a partir de biomasa, con capacidad de compactación de 0.2 kg*. Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE, Ciencias de la Energía y Mecánica, Sangolquí.
- Salentijn, E. M., Zhang, Q., Amaducci, S., Yang, M., y Trindade, L. M. (Junio de 2015). New developments in fiber hemp (Cannabis sativa L.) breeding. *Industrial Crops and Products*, 68, 32-41.
- Santander Montes, A., y Ruiz Vaquero, R. (2004). *Relación entre variables cuantitativas*. ECIMED.
- Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. (2022). *Banco de ideas*. Obtenido de Proyectos: http://bancodeideas.gob.ec/proyecto/index?data=dG1wbz0x&ProyectoPublicSearch%5Bnombre_comercial%5D=fibras
- Sennaroglu, B., y Celebi, G. V. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 160-173.

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Shahinur, S., y Hasan, M. (2019). Jute/Coir/Banana Fiber Reinforced Bio-Composites: Critical Review of Design, Fabrication, Properties and Applications. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10987-7>
- Shahinur, S., y Hasan, M. (2020). Natural Fiber and Synthetic Fiber Composites: Comparison of Properties, Performance, Cost and Environmental Benefits. (S. Hashmi, y I. A. Choudhury, Edits.) *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 2, 794-802. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10994-4>
- Shibata, M., Ozawa, K., Teramoto, N., Yosomiya, R., y Takeish, H. (2013). Biocomposites Made from Short Abaca Fiber and Biodegradable Polyesters. *Macromolecular Materials and Engineering*, 288(1), 35-43. <https://doi.org/10.1002/mame.200290031>
- Shubhra, Q. H., Alam, A. M., y Quaiyyum, M. A. (2011). Mechanical properties of polypropylene composites: A review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1-30. <https://doi.org/10.1177/0892705711428659>
- Skill-Lync. (14 de 12 de 2020). *Diseño del guardachoque frontal de un coche*. Obtenido de <https://skill-lync.com/student-projects/fender-design-challenge-55>
- Sociedad de Ingenieros Automotrices [SAE]. (2015). *Categorization and Properties of Low-Carbon Automotive Sheet Steels*. SAE International.
- Sonar, T., Patil, S., Deshmukh, V., y Acharya, R. (2015). Natural Fiber Reinforced Polymer Composite Material-A Review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 142-147.
- Srinivas, K., Naidu, A. L., y Bahubalendruni, R. (2017). A Review on chemical and mechanical properties of natural fiber reinforced polymer composites. *International Journal of Performability Engineering*, 13(2), 189-200. <https://doi.org/10.23940/ijpe.17.02.p8.189200>
- Steel Market Development Institute. (10 de Noviembre de 2020). *Steel's Future in North American Light Vehicles Solid*. Obtenido de Stronger With Steel: <https://driveusingsteel.com/>
- Stokke, D., Wu, Q., y Han, G. (2013). *Introduction to wood and natural fiber composites: an overview*. Wiley.
- Subramanya, R., Satyanarayana, K. G., y Pilar, B. S. (2017). Evaluation of Structural, Tensile and Thermal Properties of Banana Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 14(4), 485-497.
- Suddell BC. (2008). recent and current developments. *Industrial fibres*, 44, 71-82.
- Suddell, B., y Evans, W. (2005). Natural fiber composites in automotive applications. *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites.*, 231-259. <https://doi.org/10.1201/9780203508206.ch7>
- Suharty, N. S., Ismail, H., Diharjo, K., Handayani, D. S., y Firdaus, M. (2016). Effect of Kenaf Fiber as a Reinforcement on the Tensile, Flexural Strength and Impact Toughness Properties of Recycled Polypropylene/Halloysite Composites. *Procedia Chemistry*, 19, 253-258. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.102>
- Sweety, S., y Mahbub, H. (2019). Critical Review of Design, Fabrication, Properties and Applications Jute, Coir, Banana. *Fiber Reinforced Bio-Composites*.
- Tzeng, G. H., y Huang, J. J. (2011). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Boca Raton: CRC.
- Tzeng, G. H., y Huang, J. J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Chapman and Hall/CRC; First edition.
- Uğraşkan, V., Toraman, A., y Azar Yoruç, A. B. (Agosto de 2019). Natural Fiber Reinforced Synthetic Polymer Composites. (L. Trans Tech Publications, Ed.)

SELECCIÓN DE MATERIALES SOSTENIBLES PARA APLICACIÓN EN UN GUARDAFANGO VEHICULAR

- Diffusion Foundations*, 23, 6-30.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DF.23.6>
- United Nations. (1988). *Our Common Future, The Brundtland Report*. John Wiley y Sons Ltd.
- Verma, D., y Gope, P. C. (2015). 10 - The use of coir/coconut fibers as reinforcements in composites. En O. Faruk, y M. Sain, *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*.
- Wallenberger, F. T., y Weston, N. (2003). *Natural fibers, plastics and composites*. Springer.
- WCED. (1987). *The Brundtland Report of the World Council on Economic Development*.
- Weyenberg, V. D., Ivens, I., De Coster, J., Kino, A., y Baetens, E. (2003). Influence of processing and chemical treatment of flax fibres on their composites. *Composites Science Technology*, 63, 1241-1246.
- Yan, L., Chou, N., y Jayaraman, K. (2014). Flax fibre and its composites—a review. *Composites Part B: Engineering*, 56, 296-317.
- Zambrano, K. (3 de marzo de 2013). <http://abacaecuador.blogspot.com/p/historia-del-abaca.html>. Obtenido de Plantas de Abacá Ecuador:
<http://abacaecuador.blogspot.com/>
- Zamri, M. H., Akil, H. M., y MohdIshak, Z. A. (2016). Pultruded Kenaf Fibre Reinforced Composites: Effect of Different Kenaf Fibre Yarn Tex. *Procedia Chemistry*, 19, 577-585. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.056>
- Zhang, T. F., Yuan, J. S., y Kong, Y. H. (2006). Approach based on AHP/ELECTRE for decision-aid in power distribution system planning. *Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering* (págs. 121-127). China: Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao.
- Zhang, X. (2016). *Manufacturing of Hemp/PP Composites and Study of its Residual Stress and Aging Behavior*. Matériaux, Mécanique, Optique et Nanotechnologie.
- Zhu, Y., Tian, D., y Yan, F. (26 de marzo de 2020). Effectiveness of Entropy Weight Method in Decision-Making. *Mathematical Problems in Engineering (Hindawi)*, 5. <https://doi.org/10.1155/2020/3564835>

ANEXOS

ANEXO 1

- 1. Selección de datos, propiedades obtenidas del software Ces EduPack**
- 2. Desarrollo método de la entropía (EWM)**
- 3. Desarrollo método COPRAS**
- 4. Desarrollo método VIKOR**
- 5. Desarrollo método ARAS**
- 6. Desarrollo método MOORA**
- 7. Gráfico de resultados de coincidencia de los métodos multicriterio**
- 8. Cálculo de la correlación Spearman, entre todos los métodos**

ANEXO 2

- 9. Revisión de los resultados, con diferentes lapsos de tiempo (Time step), comparación con otras investigaciones de simulación de impacto y cálculo del Factor de Seguridad (F.S.)**

ANEXO 1

SELECCIÓN DE DATOS, PROPIEDADES OBTENIDAS DEL SOFTWARE CES EduPack

Diferentes Fibras Naturales al 50% con 50% de PP (Impact copolymer, flame retarded)

			1	2	3	yield strength 4	tensile 5	flexural modulus 7	shear 8	Bulk 9	poison 10	11	12	
			Precio	Densidad	Módulo de Young	Resistencia a la fluencia (límite elástico)	Resistencia a la tracción	Módulo de flexión (rigidez a la flexión)	Módulo de cizallamiento	Módulo de rigidez	Coficiente de Pisson	Energía incorporada (producción primaria)	Huella de CO2 (producción primaria)	
			USD/kg	kg/m ³	GPa	Mpa	Mpa	GPa	GPa	GPa	Adimensional	MJ/kg	kg/kg	
alternativas	Flax	Lino	1	3,57	1,21E+03	14	85,5	385	14	0,517	2,56	0,366	38,8	1,65
	Hemp	Cáñamo	2	3,09	1,21E+03	28	111	285	28	0,379	2,72	0,316	37,7	2,39
	Sisal	Sisal	3	2,63	1,18E+03	5,21	258	285	5,21	0,491	2,41	0,371	38,5	2,43
	Banana	Banano	4	2,64	1,10E+03	13,5	346	345	13,5	0,478	2,7	0,366	36	1,57
	Jute	Yute	5	2,1	1,21E+03	9,01	83	210	9,01	0,32	2,8	0,366	36,3	3,21
	Coir	Coco	6	2,34	1,06E+03	2,51	60,5	72,4	2,51	0,47	2	0,383	41,8	2,52

alternativas

Diferentes Propiedades												
Valor	Físicas		Mecánicas						Ecológicas			
Precio	Densidad	Módulo de Young	Resistencia a la fluencia (límite elástico)	Resistencia a la tracción	Módulo de flexión (rigidez a la flexión)	Módulo de cizallamiento	Módulo de rigidez	Coefficiente de Poisson	Energía incorporada (producción primaria)	Huella de CO2 (producción primaria)		
USD/kg	kg/m ³	GPa	MPa	MPa	GPa	GPa	GPa	Adimensional	MJ/kg	kg/kg		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Flax	M1	3,57	1210	14	85,5	385	14	0,517	2,56	0,366	38,8	1,65
8,6	M2	3,09	1210	28	111	285	28	0,379	2,72	0,316	37,7	2,39
Sisal	M3	2,63	1180	5,21	258	285	5,21	0,491	2,41	0,371	38,5	2,43
Coir	M4	2,64	1100	13,5	346	345	13,5	0,478	2,7	0,366	36	1,57
Jute	M5	2,1	1210	9,01	83	210	9,01	0,32	2,8	0,366	36,3	3,21
Banana	M6	2,34	1060	2,51	60,5	72,4	2,51	0,47	2	0,383	41,8	2,52

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = \begin{matrix} & A & B & C & D & E & F & G & H & I & J & K \\ \text{M1} & 3,57 & 1210 & 14 & 85,5 & 385 & 14 & 0,517 & 2,56 & 0,366 & 38,8 & 1,65 \\ \text{M2} & 3,09 & 1210 & 28 & 111 & 285 & 28 & 0,379 & 2,72 & 0,316 & 37,7 & 2,39 \\ \text{M3} & 2,63 & 1180 & 5,21 & 258 & 285 & 5,21 & 0,491 & 2,41 & 0,371 & 38,5 & 2,43 \\ \text{M4} & 2,64 & 1100 & 13,5 & 346 & 345 & 13,5 & 0,478 & 2,7 & 0,366 & 36 & 1,57 \\ \text{M5} & 2,1 & 1210 & 9,01 & 83 & 210 & 9,01 & 0,32 & 2,8 & 0,366 & 36,3 & 3,21 \\ \text{M6} & 2,34 & 1060 & 2,51 & 60,5 & 72,4 & 2,51 & 0,47 & 2 & 0,383 & 41,8 & 2,52 \end{matrix}$$

Matriz Normalizada Pij

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
M1	0,218	0,174	0,194	0,091	0,243	0,194	0,195	0,169	0,169	0,169	0,120
M2	0,189	0,174	0,388	0,118	0,180	0,388	0,143	0,179	0,146	0,165	0,174
M3	0,161	0,169	0,072	0,273	0,180	0,072	0,185	0,159	0,171	0,168	0,176
M4	0,161	0,158	0,187	0,367	0,218	0,187	0,180	0,178	0,169	0,157	0,114
M5	0,128	0,174	0,125	0,088	0,133	0,125	0,121	0,184	0,169	0,158	0,233
M6	0,143	0,152	0,035	0,064	0,046	0,035	0,177	0,132	0,177	0,182	0,183

Para el caso anterior las alternativas m = 6 alternativas

$$-1 / \ln(\#alternativas) = -0,55811063$$

Cálculo de la Entropía

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \left(\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \right) \quad D_j = 1 - E_j \quad W_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^m D_j}$$

Propiedades	Ej	Dj	Wj
1 A	0,991	0,009	0,019
2 B	0,999	0,001	0,002
3 C	0,873	0,127	0,276
4 D	0,883	0,117	0,256
5 E	0,950	0,050	0,109
6 F	0,873	0,127	0,276
7 G	0,993	0,007	0,016
8 H	0,997	0,003	0,007
9 I	0,999	0,001	0,002
10 J	0,999	0,001	0,002
11 K	0,983	0,017	0,036

$$\sum_{i=1}^m D_j = 0,458 \quad 1,000$$

Datos Ordenados

De > a <		
1	0,276	C
2	0,276	F
3	0,256	D
4	0,109	E
5	0,036	K
6	0,019	A
7	0,016	G
8	0,007	H
9	0,002	B
10	0,002	I
11	0,002	J

Datos Ordenados de mayor a menor de las Diferentes Propiedades

Resumen de ponderaciones C=F>D>E>K>A>G>H>B=I=J

alternativas

Valor	Diferentes Propiedades										
	Físicas		Mecánicas						Ecológicas		
	Precio	Densidad	Módulo de Young	Resistencia a la fluencia (límite elástico)	Resistencia a la tracción	Módulo de flexión (rigidez a la flexión)	Módulo de cizallamiento	Módulo de rigidez	Coefficiente de Pisson	Energía incorporada (producción primaria)	Huella de CO2 (producción primaria)
USD/kg	kg/m³	GPa	MPa	MPa	GPa	GPa	GPa	GPa	Adimensional	MJ/kg	kg/kg
-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Lino M1	3,57	1210	14	85,5	385	14	0,517	2,56	0,366	38,8	1,65
Cáñamo M2	3,09	1210	28	111	285	28	0,379	2,72	0,316	37,7	2,39
Sisal M3	2,63	1180	5,21	258	285	5,21	0,491	2,41	0,371	38,5	2,43
Coco M4	2,64	1100	13,5	346	345	13,5	0,478	2,7	0,366	36	1,57
Yute M5	2,1	1210	9,01	83	210	9,01	0,32	2,8	0,366	36,3	3,21
Banano M6	2,34	1060	2,51	60,5	72,4	2,51	0,47	2	0,383	41,8	2,52

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = \begin{matrix} 16,370 & 6970,000 & 72,230 & 944,000 & 1582,400 & 72,230 & 2,655 & 15,190 & 2,168 & 229,100 & 13,770 \end{matrix}$$

1 Matriz Normalizada

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
M1	0,218	0,174	0,194	0,091	0,243	0,194	0,195	0,169	0,169	0,169	0,120
M2	0,189	0,174	0,388	0,118	0,180	0,388	0,143	0,179	0,146	0,165	0,174
M3	0,161	0,169	0,072	0,273	0,180	0,072	0,185	0,159	0,171	0,168	0,176
M4	0,161	0,158	0,187	0,367	0,218	0,187	0,180	0,178	0,169	0,157	0,114
M5	0,128	0,174	0,125	0,088	0,133	0,125	0,121	0,184	0,169	0,158	0,233
M6	0,143	0,152	0,035	0,064	0,046	0,035	0,177	0,132	0,177	0,182	0,183

2 Matriz Normalizada con Pesos

Wj	0,019	0,002	0,276	0,256	0,109	0,276	0,016	0,007	0,002	0,002	0,036
	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
	C1	C2	C3	C4	C5	C7	C8	C9	C10	C11	C12
M1	0,004	0,000	0,054	0,023	0,026	0,054	0,003	0,001	0,0004	0,0003	0,004
M2	0,004	0,000	0,107	0,030	0,020	0,107	0,002	0,001	0,0003	0,0003	0,006
M3	0,003	0,000	0,020	0,070	0,020	0,020	0,003	0,001	0,0004	0,0003	0,006
M4	0,003	0,000	0,052	0,094	0,024	0,052	0,003	0,001	0,0004	0,0002	0,004
M5	0,002	0,000	0,034	0,023	0,014	0,034	0,002	0,001	0,0004	0,0002	0,008
M6	0,003	0,000	0,010	0,016	0,005	0,010	0,003	0,001	0,0004	0,0003	0,007

-> Matriz de Pesos = 1,000

	Si+	Si-	
Solo Positivos (+)			
S1+	0,161	S1-	0,009
S2+	0,268	S2-	0,010
S3+	0,134	S3-	0,010
S4+	0,225	S4-	0,008
S5+	0,109	S5-	0,011
S6+	0,045	S6-	0,010

$$\sum_{j=1}^m S_{j-} = 0,058$$

$$\sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{j-}} = 630,356$$

	Si+	Si-
val max de columna	MAX 0,268	0,011
val mín de columna	min 0,045	0,008

3 Cálculo de los valores significativos relevantes Q

$$Q_i = S_i + \frac{\sum_{j=1}^m S_{j-}}{S_i - \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{j-}}}$$

Q1 = 0,172
 Q2 = 0,277
 Q3 = 0,143
 Q4 = 0,237
 Q5 = 0,118
 Q6 = 0,054

4 Se ordenan los valores desde Q1 a Q6

Q2 = 0,277	->	Qmax = 0,277	M2
Q4 = 0,237			
Q1 = 0,172			
Q3 = 0,143			
Q5 = 0,118			
Q6 = 0,054			

5 Cálculo de índice de rendimiento Pi

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100$$

P2 = 100,00 -> Pmax 1 M2
 P4 = 85,80 2 M4
 P1 = 62,04 3 M1
 P3 = 51,73 4 M3
 P5 = 42,50 5 M5
 P6 = 19,55 6 M6

6 Conclusión

Material ganador del método COPRAS = **M2 Material compuesto con PP y fibra de Cáñamo**

Alternativas

Valor	Diferentes Propiedades										
	Físicas		Mecánicas						Ecológicas		
	Precio	Densidad	Módulo de Young	Resistencia a la fluencia (límite elástico)	Resistencia a la tracción	Módulo de flexión (rigidez a la flexión)	Módulo de cizallamiento	Módulo de rigidez	Coefficiente de Poisson	Energía incorporada (producción primaria)	Huella de CO2 (producción primaria)
USD/kg	kg/m ³	GPa	MPa	MPa	GPa	GPa	GPa	Adimensional	MJ/kg	kg/kg	
-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Lino M1	3,57	1210	14	85,5	385	14	0,517	2,56	0,366	38,8	1,65
Cáñamo M2	3,09	1210	28	111	285	28	0,379	2,72	0,316	37,7	2,39
Sisal M3	2,63	1180	5,21	258	285	5,21	0,491	2,41	0,371	38,5	2,43
Coco M4	2,64	1100	13,5	346	345	13,5	0,478	2,7	0,366	36	1,57
Yute M5	2,1	1210	9,01	83	210	9,01	0,32	2,8	0,366	36,3	3,21
Banano M6	2,34	1060	2,51	60,5	72,4	2,51	0,47	2	0,383	41,8	2,52

-> Criterios + Beneficioso
- No Beneficioso

1 Los índices f^* y f^- son las soluciones ideal y no-ideal según VIKOR

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Ideal f^*	2,100	1060,000	28,000	346,000	385,000	28,000	0,517	2,800	0,383	36,000	1,570
No ideal f^-	3,570	1210,000	2,510	60,500	72,400	2,510	0,320	2,000	0,316	41,800	3,210

2 Matriz fila, criterio de pesos Entropía EWM

W_j	0,019	0,002	0,276	0,256	0,109	0,276	0,016	0,007	0,002	0,002	0,036
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

-> Matriz de Pesos = 1,000

3 Cálculo de S_i según criterio beneficioso y no beneficioso

$$S_i = \sum_j W_j \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-}$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	S_i	R_i
M1	0,019	0,002	0,152	0,234	0,000	0,152	0,000	0,002	0,001	0,001	0,002	0,563	0,234
M2	0,013	0,002	0,000	0,211	0,035	0,000	0,011	0,001	0,002	0,000	0,018	0,292	0,211
M3	0,007	0,001	0,247	0,079	0,035	0,247	0,002	0,003	0,000	0,001	0,019	0,641	0,247
M4	0,007	0,000	0,157	0,000	0,014	0,157	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,340	0,157
M5	0,000	0,002	0,206	0,236	0,061	0,206	0,016	0,000	0,001	0,000	0,036	0,762	0,236
M6	0,003	0,000	0,276	0,256	0,109	0,276	0,004	0,007	0,000	0,002	0,021	0,953	0,276

Cálculo de Solución ideal negativa R_i

índices Cálculo de Solución ideal positiva $S \rightarrow S_i$ MAX y S_i mín
Cálculo de los índices $R \rightarrow R_i$ MAX y mín

MAX 0,953 0,276
mín 0,292 0,157

4 Los índices para las 5 alternativas son:

$$R^* = \min R_i = 0,157 \quad R^- = \max R_i = 0,276$$

$$S^* = \min S_i = 0,292 \quad S^- = \max S_i = 0,953$$

5 El índice VIKOR (Q) que para mantener criterios la llamamos Q_i de las 5 alternativas se calcula como:

$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right]$$

v según la teoría dice que es = 0,5 $v = 0,5$

Material	S_i	R_i	Q_i	$I(a^i)$	Q_i	Orden de $a >$
Lino M1	0,563	0,234	0,526	->	0,036	M4 1
Cáñamo M2	0,292	0,211	0,225		0,225	M2 2
Sisal M3	0,641	0,247	0,641		0,526	M1 3
Coco M4	0,340	0,157	0,036		0,641	M3 4
Yute M5	0,762	0,236	0,686		0,686	M5 5
Banano M6	0,953	0,276	1,000		1,000	M6 6

La alternativa con el valor más bajo de Q_i es seleccionada como la alternativa SUPERIOR

6 Verificar si las 2 condiciones de aceptabilidad se cumplen

S_i ordenada de $a >$	R_i ordenado de $a >$
M2 0,292	M4 0,157
M4 0,340	M2 0,211
M1 0,563	M1 0,234
M3 0,641	M5 0,236
M5 0,762	M3 0,247
M6 0,953	M6 0,276

7 Probar 2 condiciones de compromiso

1. Condición de ventaja aceptable desde los datos I_i ordenados de menor a mayor

$$DQ = 1 / (n - 1)$$

n = 6

$$DQ = 0,2$$

$$I(a^i) - I(a^j) \geq DQ$$

Posición 2 y 1	0,225	-	0,036	\geq	0,2	FALSO
			0,189	\geq	0,2	
Posición 3 y 1	0,526	-	0,036	\geq	0,25	VERDADERO
			0,489	\geq	0,25	
Posición 4 y 1	0,641	-	0,036	\geq	0,25	VERDADERO
			0,605	\geq	0,25	
Posición 5 y 1	0,686	-	0,036	\geq	0,25	VERDADERO
			0,650	\geq	0,25	
Posición 6 y 1	1,000	-	0,036	\geq	0,25	VERDADERO
			0,964	\geq	0,25	

ESTABILIDAD ACEPTABLE
2. Condición la alternativa mejor calificada por Q también debe ser la mejor clasificada por S_i y/o R_i
Porque en R_i también aparece como la más baja

R_i , ordenado
0,157 M4

8 Conclusión El mejor material según método VIKOR; M4 Material compuesto con PP y fibra de Coco

DESARROLLO METODO ARAS

		Diferentes Propiedades												
		Valor	Físicas			Mecánicas				Ecológicas				
		Precio	Densidad	Módulo de Young	Resistencia a la fluencia (límite elástico)	Resistencia a la tracción	Módulo de flexión (rigidez a la flexión)	Módulo de cizallamiento	Módulo de rigidez	Coefficiente de Poisson	Energía incorporada (producción primaria)	Huella de CO2 (producción primaria)		
		USD/kg	kg/m ³	GPa	MPa	MPa	GPa	GPa	GPa	Adimensional	MJ/kg	kg/kg		
		-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-> Criterios + Beneficioso - No Beneficioso	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
alternativas	Lino	M1	3,57	1210	14	85,5	385	14	0,517	2,56	0,366	38,8	1,65	
	Cáñamo	M2	3,09	1210	28	111	285	28	0,379	2,72	0,316	37,7	2,39	
	Sisal	M3	2,63	1180	5,21	258	285	5,21	0,491	2,41	0,371	38,5	2,43	
	Coco	M4	2,64	1100	13,5	346	345	13,5	0,478	2,7	0,366	36	1,57	
	Yute	M5	2,1	1210	9,01	83	210	9,01	0,32	2,8	0,366	36,3	3,21	
	Banano	M6	2,34	1060	2,51	60,5	72,4	2,51	0,47	2	0,383	41,8	2,52	

1 Pesos asociados Wj (desde la tabla de entropía EWM)

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Wj		0,019	0,002	0,276	0,256	0,109	0,276	0,016	0,007	0,002	0,002	0,036	= 1,000
OV (Max +; mín -)		-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	
Optimun Value		2,1	1060	28	346	385	28	0,517	2,8	0,383	36	1,57	
		0,4762	0,0009								0,0278	0,6369	
1		0,2801	0,0008	14	85,5	385	14	0,517	2,56	0,366	0,0258	0,6061	
2		0,3236	0,0008	28	111	285	28	0,379	2,72	0,316	0,0265	0,4184	
3		0,3802	0,0008	5,21	258	285	5,21	0,491	2,41	0,371	0,0260	0,4115	
4		0,3788	0,0009	13,5	346	345	13,5	0,478	2,7	0,366	0,0278	0,6369	
5		0,4762	0,0008	9,01	83	210	9,01	0,32	2,8	0,366	0,0275	0,3115	
6		0,4274	0,0009	2,51	60,5	72,4	2,51	0,47	2	0,383	0,0239	0,3968	

2 Matriz Normalizada

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Optimun Value		0,1736	0,1541	0,2794	0,2682	0,1957	0,2794	0,1630	0,1556	0,1501	0,1499	0,1863
1		0,1021	0,1350	0,1397	0,0663	0,1957	0,1397	0,1630	0,1423	0,1435	0,1391	0,1773
2		0,1180	0,1350	0,2794	0,0860	0,1449	0,2794	0,1195	0,1512	0,1239	0,1431	0,1224
3		0,1386	0,1384	0,0520	0,2000	0,1449	0,0520	0,1548	0,1340	0,1454	0,1402	0,1204
4		0,1381	0,1485	0,1347	0,2682	0,1754	0,1347	0,1507	0,1501	0,1435	0,1499	0,1863
5		0,1736	0,1350	0,0899	0,0643	0,1067	0,0899	0,1009	0,1556	0,1435	0,1487	0,0911
6		0,1558	0,1541	0,0250	0,0469	0,0368	0,0250	0,1482	0,1112	0,1501	0,1291	0,1161

3 Matriz Normalizada con Pesos

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		0,0033	0,0003	0,0772	0,0687	0,0212	0,0772	0,0026	0,0011	0,0003	0,0002	0,0067
1		0,0019	0,0002	0,0386	0,0170	0,0212	0,0386	0,0026	0,0010	0,0003	0,0002	0,0064
2		0,0022	0,0002	0,0772	0,0220	0,0157	0,0772	0,0019	0,0011	0,0003	0,0002	0,0044
3		0,0026	0,0002	0,0144	0,0512	0,0157	0,0144	0,0024	0,0010	0,0003	0,0002	0,0043
4		0,0026	0,0002	0,0372	0,0687	0,0190	0,0372	0,0024	0,0011	0,0003	0,0002	0,0067
5		0,0033	0,0002	0,0248	0,0165	0,0116	0,0248	0,0016	0,0011	0,0003	0,0002	0,0033
6		0,0029	0,0003	0,0069	0,0120	0,0040	0,0069	0,0023	0,0008	0,0003	0,0002	0,0042

4 Función Optimizada

		Si	Ki	Ranking	
		0,2587	1		
$S_i = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij}$		0,1280	0,4948	3	
		0,2024	0,7823	1	-> Ganador
		0,1067	0,4126	4	
$K_i = \frac{S_i}{S_o}$		0,1756	0,6790	2	
		0,0877	0,3391	5	
		0,0408	0,1579	6	
So		0,2587			

5 Conclusión

El valor de Ki más alto es el de mejor Ranking, para este caso particula es el material

M2 Material compuesto con PP y fibra de Cáñamo

alternativas

Valor	Diferentes Propiedades										
	Físicas		Mecánicas					Ecológicas			
	Precio	Densidad	Módulo de Young	Resistencia a la fluencia (límite elástico)	Resistencia a la tracción	Módulo de flexión (rigidez a la flexión)	Módulo de cizallamiento	Módulo de rigidez	Coefficiente de Pisson	Energía incorporada (producción primaria)	Huella de CO2 (producción primaria)
USD/kg	kg/m ³	GPa	MPa	MPa	GPa	GPa	GPa	Adimensional	MJ/kg	kg/kg	
-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
M1	3,57	1210	14	85,5	385	14	0,517	2,56	0,366	38,8	1,65
M2	3,09	1210	28	111	285	28	0,379	2,72	0,316	37,7	2,39
M3	2,63	1180	5,21	258	285	5,21	0,491	2,41	0,371	38,5	2,43
M4	2,64	1100	13,5	346	345	13,5	0,478	2,7	0,366	36	1,57
M5	2,1	1210	9,01	83	210	9,01	0,32	2,8	0,366	36,3	3,21
M6	2,34	1060	2,51	60,5	72,4	2,51	0,47	2	0,383	41,8	2,52

->

Criterios

+ Beneficioso
- No Beneficioso

Matriz Normalizada

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=0}^m x_{ij}^2}}$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
M1	0,526	0,425	0,392	0,184	0,556	0,392	0,471	0,411	0,413	0,414	0,285
M2	0,455	0,425	0,784	0,239	0,412	0,784	0,345	0,436	0,356	0,403	0,413
M3	0,387	0,414	0,146	0,555	0,412	0,146	0,448	0,386	0,418	0,411	0,420
M4	0,389	0,386	0,378	0,744	0,498	0,378	0,436	0,433	0,413	0,384	0,271
M5	0,309	0,425	0,252	0,178	0,303	0,252	0,292	0,449	0,413	0,388	0,555
M6	0,345	0,372	0,070	0,130	0,105	0,070	0,428	0,321	0,432	0,446	0,436

Pesos asociados Wj (desde la tabla de entropía) - Valores de Wj solo para ejemplo, esto se debe calcular

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Wj	0,019	0,002	0,276	0,256	0,109	0,276	0,016	0,007	0,002	0,002	0,036

=

1,000

Matriz de decisión normalizada ponderada de pesos Wj

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
M1	0,010	0,001	0,108	0,047	0,060	0,108	0,007	0,003	0,001	0,001	0,010
M2	0,009	0,001	0,216	0,061	0,045	0,216	0,005	0,003	0,001	0,001	0,015
M3	0,007	0,001	0,040	0,142	0,045	0,040	0,007	0,003	0,001	0,001	0,015
M4	0,007	0,001	0,104	0,190	0,054	0,104	0,007	0,003	0,001	0,001	0,010
M5	0,006	0,001	0,070	0,046	0,033	0,070	0,005	0,003	0,001	0,001	0,020
M6	0,006	0,001	0,019	0,033	0,011	0,019	0,007	0,002	0,001	0,001	0,016

Valores de evaluación

$$y_i = \sum_{j=1}^g w_j x_{ij}^+ - \sum_{j=g+1}^n w_j x_{ij}^- (j = 1, 2, \dots, n)$$

	Yi	->	RESTA de la suma de positivos menos suma de negativos
M1	0,314		
M2	0,523		
M3	0,254		
M4	0,446		
M5	0,199		
M6	0,070		

Para el cálculo de Ranking de alternativas se elige el valor máximo de fila

	Value	Ranking	
M1	0,314	3	
M2	0,523	1	Valor más alto es el ganador
M3	0,254	4	
M4	0,446	2	
M5	0,199	5	
M6	0,070	6	

Conclusión, Valor ganador

M2 0,523 -> El material ganador es el compuesto con PP y fibra de Cáñamo

GRÁFICO DE RESULTADOS DE COINCIDENCIA DE LOS METODOS MULTICRITERIO



Método	Alternativas de Material					
	M1 Lino	M2 Cáñamo	M3 Sisal	M4 Coco	M5 Yute	M6 Banano
COPRAS	3	1	4	2	5	6
VIKOR	3	2	4	1	5	6
ARAS	3	1	4	2	5	6
MOORA	3	1	4	2	5	6

CALCULO CORRELACION DE SPEARMAN

1 Matriz de Resultados métodos

Método	Alternativas de Material					
	M1 Lino	M2 Cáñamo	M3 Sisal	M4 Coco	M5 Yute	M6 Banano
COPRAS	3	1	4	2	5	6
VIKOR	3	2	4	1	5	6
ARAS	3	1	4	2	5	6
MOORA	3	1	4	2	5	6

2 Matriz de Resultados Transpuesta (Ranking)

Material	Métodos			
	COPRAS	VIKOR	ARAS	MOORA
M1	3	3	3	3
M2	1	2	1	1
M3	4	4	4	4
M4	2	1	2	2
M5	5	5	5	5
M6	6	6	6	6

3 Correlación entre métodos

3.1 COPRAS vs (VIKOR, ARAS Y MOORA)

A) ENTRE COPRAS vs VIKOR

Material	COPRAS (x)	VIKOR (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	1	2	1	2	-1	1
M3	4	4	4	4	0	0
M4	2	1	2	1	1	1
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

Sumatoria d² = 2
n = 6
n² = 36
 $r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$
r = 0,94285714

B) ENTRE COPRAS vs ARAS

Material	COPRAS (x)	ARAS (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	1	1	1	1	0	0
M3	4	4	4	4	0	0
M4	2	2	2	2	0	0
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

Sumatoria d² = 0
n = 6
n² = 36
 $r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$
r = 1

C) ENTRE COPRAS vs MOORA

Material	COPRAS (x)	MOORA (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	1	1	1	1	0	0
M3	4	4	4	4	0	0
M4	2	2	2	2	0	0
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

Sumatoria d² = 0
n = 6
n² = 36
 $r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$
r = 1

3.2 VIKOR vs (COPRAS, ARAS Y MOORA)

A) ENTRE VIKOR vs COPRAS

Material	VIKOR (x)	COPRAS (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	2	1	2	1	1	1
M3	4	4	4	4	0	0
M4	1	2	1	2	-1	1
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

Sumatoria d² = 2
n = 6
n² = 36
 $r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$
r = 0,94285714

B) ENTRE VIKOR vs ARAS

Material	VIKOR (x)	ARAS (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	2	1	2	1	1	1
M3	4	4	4	4	0	0
M4	1	2	1	2	-1	1
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

Sumatoria d² = 2
n = 6
n² = 36
 $r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$
r = 0,94285714

C) ENTRE VIKOR vs MOORA

Material	VIKOR (x)	MOORA (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	2	1	2	1	1	1
M3	4	4	4	4	0	0
M4	1	2	1	2	-1	1
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

Sumatoria d² = 2
n = 6
n² = 36
 $r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$
r = 0,94285714

3.3 ARAS vs (COPRAS, VIKOR Y MOORA)

A) ENTRE ARAS vs COPRAS

Material	ARAS (x)	COPRAS (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	1	1	1	1	0	0
M3	4	4	4	4	0	0
M4	2	2	2	2	0	0
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Sumatoria d² = 0
 n = 6
 n² = 36
 r = 1

B) ENTRE ARAS vs VIKOR

Material	ARAS (x)	VIKOR (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	1	2	1	2	-1	1
M3	4	4	4	4	0	0
M4	2	1	2	1	1	1
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Sumatoria d² = 2
 n = 6
 n² = 36
 r = 0,94285714

C) ENTRE ARAS vs MOORA

Material	ARAS (x)	MOORA (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	1	1	1	1	0	0
M3	4	4	4	4	0	0
M4	2	2	2	2	0	0
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Sumatoria d² = 0
 n = 6
 n² = 36
 r = 1

3,4 MOORA vs (COPRAS, VIKOR Y ARAS)

A) ENTRE MOORA vs COPRAS

Material	MOORA (x)	COPRAS (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	1	1	1	1	0	0
M3	4	4	4	4	0	0
M4	2	2	2	2	0	0
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Sumatoria d² = 0
 n = 6
 n² = 36
 r = 1

B) ENTRE MOORA vs VIKOR

Material	MOORA (x)	VIKOR (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	1	2	1	2	-1	1
M3	4	4	4	4	0	0
M4	2	1	2	1	1	1
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Sumatoria d² = 2
 n = 6
 n² = 36
 r = 0,94285714

C) ENTRE MOORA vs ARAS

Material	MOORA (x)	ARAS (y)	Rango X	Rango Y	d	d ²
M1	3	3	3	3	0	0
M2	1	1	1	1	0	0
M3	4	4	4	4	0	0
M4	2	2	2	2	0	0
M5	5	5	5	5	0	0
M6	6	6	6	6	0	0

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

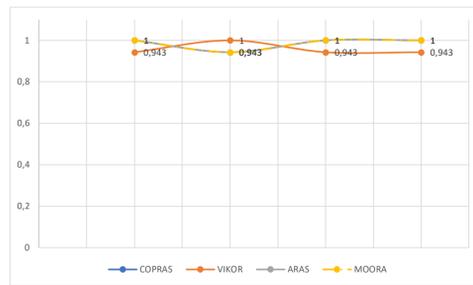
Sumatoria d² = 0
 n = 6
 n² = 36
 r = 1

4 MATRIZ DE CORRELACIONES

	COPRAS	VIKOR	ARAS	MOORA
COPRAS	1	0,943	1	1
VIKOR	0,943	1	0,943	0,943
ARAS	1	0,943	1	1
MOORA	1	0,943	1	1

	COPRAS	VIKOR	ARAS	MOORA
COPRAS	1	0,943	1	1
VIKOR	-	1	0,943	0,943
ARAS	-	-	1	1
MOORA	-	-	-	1

5 GRAFICO DE RESULTADOS CORRELACION SPEARMAN



6 CONCLUSION

Como se observa en la figura las curvas que se encuentran en correlacion positiva con el valor más fuerte igual a 1 son los métodos COPRAS, ARAS Y MOORA, la correlación positiva fuerte indica la que la mejor selección de material corresponde al compuesto de PP y fibra de cáñamo

ANEXO 2

Revisión de los resultados, con otros lapsos de tiempo y otras investigaciones de simulación de impacto y Factor de Seguridad

Dimensiones del Guardafango que se mantuvieron

largo 815 mm

Ancho 830 mm

SIMULACION a 0,032 segundos						Valores			
	CURVA DE ENERGÍAS	DESPLAZAMIENTO	DESPLAZAMIENTO VISTA SUPERIOR	VON MISES					
A						1. Desplazamiento 600,3 mm	2. Esfuerzo plástico 1,50E-01	3. Energía Especifica 1,61E+10	4. Von Mises 1,11E+02
SIMULACION a 0,016 segundos									
B						1. Desplazamiento 263,7	2. Esfuerzo plástico 1,50E-01	3. Energía Especifica 1,61E+10	4. Von Mises 1,11E+02
SIMULACION a 0,008 segundos									
C						1. Desplazamiento 128,6	2. Esfuerzo plástico 1,50E-01	3. Energía Especifica 1,61E+10	4. Von Mises 1,11E+02

Las condiciones para todas las simulaciones realizadas en la investigación fueron:

Número de malla utilizada: 10 mm
Número de elementos generados por malla de 10 mm: 740
Número de nodos generados por software con malla de 10 mm: 786

Se realizaron varias simulaciones en tiempos diferentes de time step (lapso de tiempo) 0.008, 0.0016 y 0.0032 si bien es cierto en el ejemplo de 0.032 ya se puede ver que a los 0.030 segundos ya las energías se igualan a cero lo que le quiero decir es que el software me ha arrojado el resultado como 111 MPa para el esfuerzo de Von Mises en todos los casos, no así el desplazamiento, este último sí cambia porque se va deformando demasiado a un valor de desplazamiento de 600,3 mm.

Factor de Seguridad de la presente investigación

El esfuerzo admisible del material sostenible es igual 111 MPa, el esfuerzo de Von Mises calculado por el software Altair HyperMesh 2019, módulo Radioss es 111 Mpa, es decir es igual al esfuerzo principal

$$F.S. = \frac{\sigma_{SY}}{\sigma_{ADMISIBLE}} \qquad F.S. = \frac{\sigma_{SY}}{\sigma_{von\ mises}} \qquad F.S. = \frac{111}{111} \qquad F.S. = 1$$

El factor de seguridad igual a 1 si bien no se puede decir que es favorable, se puede indicar que los esfuerzos llegan hasta el esfuerzo de fluencia del material; es decir que una estructura o componente fallará inmediatamente cuando se alcance la carga de diseño y no será capaz de soportar ninguna carga adicional

Comparación con otra investigación sobre resultados de simulación desarrollados en la Universidad Internacional SEK

La investigación de Romel Imbaquingo Navarrete de 2018 Tesis de maestría de la UISEK, donde realizó un ensayo computacional de impacto al guardafango de un chevrolet aveo indicó que el esfuerzo de Von Mises que arrojó tiene un valor de 32510 MPa, del material sostenible, sólo como un ejemplo calculando el Factor de seguridad tomamos la Sy del Acero dulce, según CES Edupack este valor es 255 MPa. El factor de seguridad de Imbaquingo es $F.S. = \text{Esfuerzo Sy} / \text{Esfuerzo admisible}$ (Esfuerzo Von Mises)

$F.S. = 255 \text{ MPa} / 32510 \text{ MPa} = 0.007843$ (valor adimensional) -> este valor es incorrecto porque ni siquiera tiene un F.S. igual a 1

Esta comparación permite conocer que si se realizó una discreción de los datos arrojados por el software Altair HyperMesh 2019 y el módulo Radioss

Además en la misma tesis dice que la deformación por desplazamiento es 1222 milímetros cuando el guardafango de chevrolet aveo llega apenas a 815 milímetros, tales resultados como si se ha comparado con estudios similares de impacto y lo menciono incluso en el punto 7.4.5 de la presente investigación, el valor de la tesis de Imbaquingo está incorrecto, porque no revisó parámetros de simulación ni los time step. Sin embargo esto sirve para darnos cuenta de los valores obtenidos en los software.