

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

Selección de material con método MCDM, para manija de apertura interior de puerta de vehículo y comprobación de resultados con simulación computacional y experimental

Andres Esteban Andrade Pesantez

Nota del Autor

Andres Esteban Andrade Pesantez, Facultad de Arquitectura e Ingeniería,
Universidad Internacional SEK.

Director: Ing. Javier Martínez Ph.D.

Codirector: Ing. Juan Rocha M.sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

aandrade.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Andres Esteban Andrade Pesantez, con cédula de identidad 0103761300, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente, el presente trabajo pertenece al programa Desarrollo Tecnológico y a la Línea de Investigación e Innovación en el Diseño de Procesos y productos en el Ecuador

ANDRES ESTEBAN ANDRADE PESANTEZ

CI: 0103761300

Índice de contenido

Declaración Juramentada	2
Índice de contenido	3
Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
Antecedentes	14
Justificación.....	15
Objetivo General	16
Objetivos específicos	16
Marco Teórico.....	17
Hipótesis.....	19
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).....	20
Polipropileno (PP).....	21
Policarbonato (PC).....	23
Poliestireno (PS).....	24
Poliamida 6 (PA).....	26
Polibutileno Tereftalato (PBT).....	28
Polietileno de alta densidad (HDPE).....	30
Policloruro de Vinilo (PVC)	31
Resorte de torsión.....	33
Flujo de estudio	34
Ponderación de pesos	34
Método de Entropía.....	35
Método de Desviación Estándar.....	37
Método de Variación Estadística	38
Método Multicriterio	40
Método VIKOR.....	41
Método PUGH	44
Método TOPSIS	45
Método PROMETHEE II.....	47
Método COPRAS.....	50

Coeficiente de correlación SPEARMAN.....	55
Simulación.....	56
Experimentación	57
Método	59
Resorte de Torsión.	60
Datos de resorte de torsión.....	60
Características del ABS.....	60
Densidad.....	61
Índice de fluidez (MFI)	62
Esfuerzo de tracción.....	62
Esfuerzo de flexión	63
Temperatura de reblandecimiento (VICAT).....	63
Costo	64
Selección de materiales	64
Propiedades del ABS.....	64
Propiedades del PP.....	65
Propiedades del PS	65
Propiedades del PC	66
Propiedades del PA 6	66
Propiedades del PBT	67
Propiedades del HDPE.....	67
Propiedades del PVC.....	68
Elaboración de método de ponderación y calcular pesos.....	70
Calculo de Método de Entropía.....	70
Calculo de Método de la Desviación Estándar	72
Método de Variación Estadística	74
Comparación de resultados de Métodos de Ponderación.....	77
Desarrollo de Métodos Multicriterio (MCDM)	78
Desarrollo del Método VIKOR.....	78
Desarrollo del Método PUGH.....	83
Desarrollo del Método TOPSIS	86
Desarrollo del Método PROMETHEE II.....	88
Desarrollo de Método COPRAS	95

Simulación.....	98
Simulación de Tracción.....	99
Experimentación	105
Resultados	106
Resultados de Métodos de Ponderación.....	106
Resultados de Métodos Multicriterio (MCDM).....	107
Resultados del método VIKOR.....	107
Resultados del método PUGH	108
Resultados del método TOPSIS	109
Resultados del método PROMETHEE II.....	110
Resultados del método COPRAS.....	111
Resultados de correlación de SPEARMAN.....	112
Resultados Simulación Mecánica	114
Resultados de Factor de Seguridad (F.S.)	114
Resultados de Esfuerzo Deformación	116
Resultados de Desplazamiento.....	119
Resultados comparativos de simulación	122
Resultados de Ensayos Experimentales	127
Certificado de análisis ABS	130
Certificado de análisis PBT.....	131
Discusión de Resultados	132
Comparación de resultados Multicriterio (MCDM)	134
Validación de coeficiente de correlación de Spearman	135
Comparación de resultados de Simulación	136
Comparación de Simulación – Ensayos Experimentales – Certificados de Análisis.....	137
Conclusiones	138
Recomendaciones.....	139
Referencia	140

Listado de Figuras

Figura 1. Sistema de manija interior de puerta 14

Figura 2. Sistema de ensamble de manija interna Dodge Caravan 15

Figura 3. Importaciones al país enero, febrero y marzo 2018..... 18

Figura 4. Resorte de torsión 33

Figura 5. Diagrama de bloques para flujo de estudio..... 34

Figura 6. Comparación de métodos multicriterio. 40

Figura 7. Método Topsis. 46

Figura 8. Método Promethee II 47

Figura 9. Resultados comparativos de variables MCDM. 54

Figura 10. Modelado 3D de manija interior de vehículo 56

Figura 11. Diagrama tensión-deformación en ensayo de tracción 62

Figura 12. Ensayo de flexión 63

Figura 13. Temperaturas internas del vehículo. 64

Figura 14. Perspectivas 3D manija..... 98

Figura 15. Plano, partes y cortes de manija 99

Figura 16. Selección de materiales..... 100

Figura 17. Parámetros de simulación mecánico..... 101

Figura 18. Configuración y convergencia de mallado en conjunto 102

Figura 19. Puntos de fijación 102

Figura 20. Distribución de cargas 103

Figura 21. Simulación en software..... 104

Figura 22. Resultados de simulación con software 104

Figura 23. Materiales y equipos para pruebas experimentales 105

Figura 24. Resultados de Métodos de Ponderación 106

Figura 25. Resultados de Método VIKOR 107

Figura 26. Resultados de Método PUGH..... 108

Figura 27. Resultados de Método TOPSIS 109

Figura 28. Resultados de Método PROMETHEE II..... 110

Figura 29. Resultados de Método COPRAS 111

Figura 30. Comparación de correlación Spearman aplicado en MCDM 113

Figura 31. Factor de seguridad de ABS en simulación 115

Figura 32. Factor de seguridad de PBT en simulación 115

Figura 33. Esfuerzo deformación del ABS en simulación	117
Figura 34. Esfuerzo deformación del PBT en simulación	118
Figura 35. Desplazamiento del ABS en simulación.....	120
Figura 36. Desplazamiento del PBT en simulación	121
Figura 37. Comparación F.S. ABS y PBT 5 Kg	122
Figura 38. Comparación F.S. ABS y PBT 7 Kg	123
Figura 39. Comparación F.S. ABS y PBT 9 Kg	123
Figura 40. Comparación Desplazamiento entre ABS y PBT 5 Kg	124
Figura 41. Comparación Desplazamiento entre ABS y PBT 7 Kg	124
Figura 42. Comparación Desplazamiento entre ABS y PBT 9 Kg	125
Figura 43. Comparación de teoría de falla entre ABS y PBT 5 Kg	125
Figura 44. Comparación de teoría de falla entre ABS y PBT 7 Kg	126
Figura 45. Comparación de teoría de falla entre ABS y PBT 9 Kg	126
Figura 46. Ensayo de vida útil.....	127
Figura 47. Manija posterior a ensayo de vida útil.....	128
Figura 48. Ensayo de arrastre por tracción.....	128
Figura 49. Rotura de manija por tracción.....	129
Figura 50. Ensayos mecánicos ABS	130
Figura 51. Ensayos mecánicos PBT	131
Figura 52. Comparación de resultados MCDM	135
Figura 53. Comparación de resultados F.S. ABS – PBT	136
Figura 54. Comparación de resultados Desplazamiento ABS – PBT.....	136
Figura 55. Comparación de resultados Von Misses ABS – PBT.....	137

Listado de Tablas

Tabla 1. Materiales y lugares de uso en autopartes..... 17

Tabla 2. Propiedades mecánicas del Policarbonato 23

Tabla 3. Propiedades físicas del Policarbonato 23

Tabla 4. Proceso de inyección y uso de poliestireno 24

Tabla 5. Proceso de soplado y uso de poliestireno..... 24

Tabla 6. Proceso de extrusión y uso de poliestireno 25

Tabla 7. Proceso de termo formado y uso de poliestireno 25

Tabla 8. Listado de ensayos según norma ISO 57

Tabla 9. Propiedades del ABS 64

Tabla 10. Propiedades del PP..... 65

Tabla 11. Propiedades del PS..... 65

Tabla 12. Propiedades del PC 66

Tabla 13. Propiedades del PA 66

Tabla 14. Propiedades del PBT 67

Tabla 15. Propiedades del HDPE..... 67

Tabla 16. Propiedades del PVC 68

Tabla 17. Propiedades de los materiales propuestos 69

Tabla 18. Matriz de criterios 70

Tabla 19. Determinación de pesos por criterio para entropía 72

Tabla 20. Valores de la desviación estándar 73

Tabla 21. Pesos de la desviación estándar..... 74

Tabla 22. Matriz decisión normalizada método variación estadística 75

Tabla 23. Matriz decisión normalizada método variación estadística 77

Tabla 24. Comparación de resultados de ponderación de todos los métodos 77

Tabla 25. Pesos a usar en MCDM (desviación estándar)..... 77

Tabla 26. Matriz de decisión método VIKOR 78

Tabla 27. Criterios de Matriz Normalizada (Rij) VIKOR 79

Tabla 28. Matriz estandarizada de pesos VIKOR 80

Tabla 29. Ranking método VIKOR 82

Tabla 30. Matriz de decisión método PUGH 83

Tabla 31. Matriz de ponderación de pesos etapa 1 PUGH 83

Tabla 32. Matriz de ponderación de pesos etapa 2 PUGH 84

Tabla 33. Sumatoria de etapas de ponderación de pesos PUGH	84
Tabla 34. Ranking PUGH	85
Tabla 35. Matriz soluciones ideales positivas y negativas TOPSIS	86
Tabla 36. Matriz distancias de soluciones positivas y negativas TOPSIS	87
Tabla 37. Proximidad a solución ideal TOPSIS.....	87
Tabla 38. Ranking TOPSIS	87
Tabla 39. Matriz de decisión método PROMETHEE II	88
Tabla 40. Matriz de decisión método PROMETHEE II	88
Tabla 41. Tabla de flujos preferencial método PROMETHEE II.....	93
Tabla 42. Tabla de flujos neto preferencial método PROMETHEE II.....	94
Tabla 43. Ranking PROMETHEE II	94
Tabla 44. Matriz de decisión método COPRAS	95
Tabla 45. Matriz de decisión Normalizada (Rij) COPRAS	95
Tabla 46. Matriz estandarizada de pesos COPRAS	96
Tabla 47. Pesos normalizados positivos COPRAS	96
Tabla 48. Pesos normalizados negativos COPRAS	96
Tabla 49. Prioridades Relativas.....	96
Tabla 50. Ranking COPRAS.....	97
Tabla 51. Condiciones de entorno.....	100
Tabla 52. Condiciones de entorno.....	103
Tabla 53. Datos de simulación	104
Tabla 54. Resultados de métodos de ponderación	106
Tabla 55. Resultados de métodos VIKOR	107
Tabla 56. Resultados de métodos PUGH.....	108
Tabla 57. Resultados de métodos TOPSIS	109
Tabla 58. Resultados de métodos PROMETHEE II	110
Tabla 59. Resultados de métodos COPRAS	111
Tabla 60. Correlación de Spearman aplicados en MCDM	112
Tabla 61. Resultados de simulación esfuerzo deformación	116
Tabla 62. Resultados de simulación desplazamiento.....	119

Resumen

Esta investigación, se basa en analizar con varios métodos de opción multicriterio, la elección de un material alternativo para desarrollo de manija de apertura de puerta interna de vehículo, debido a que este ítem tiene una escala de repuesto automotriz de consumo considerable, entonces se aplicara como métodos de opción multicriterio (PROMETHEE II, COPRAS-G, TOPSIS, PUGH y VIKOR) en materiales pre seleccionados, donde serán evaluados por algunos criterios de desempeño propiedades y características de los elementos, determinando cuales es el más adecuado a resistir las condiciones de funcionamiento de mejor manera en comparación al de uso actual, siendo el PBT la opción ideal a considerarse.

Posteriormente se realizará simulaciones de tracción y flexión como las cargas mecánicas a las que está expuesto normalmente este elemento y será corroborado con simulación computarizada, de tal manera que los resultados que han sido calculados puedan aprobarse con pruebas experimentales sometidas a ensayos mecánicos.

Los beneficios de la investigación se verán reflejados en motivar a la producción nacional o desarrollar y producir autopartes con materiales alternos que cumplan los requerimientos del mercado, de esta manera se generan plazas de empleo y productividad en el entorno.

Palabras claves: material plástico, análisis, materia prima, mecanismo.

Abstract

This investigation is based on analyzing with some multicriteria option methods, the choice of an alternative material for development of the internal door opening handle of the vehicle, because this item has a considerable automotive spare scale of consumption, then it will be applied this multicriteria option methods (PROMETHEE II, COPRAS, TOPSIS, VIKOR AND PUGH) in pre-selected materials, which will be evaluated by some performance criteria properties and characteristics of the elements, determining which is the best suited to withstand the operating conditions in a better way compared to the current use, being the PBT the ideal option to be considered.

Subsequently, traction and bending simulations will be carried out as the mechanical loads to which this element is normally exposed and will be corroborated with computerized simulation, in such a way that the results that have been calculated can be approved with real tests on specimens subjected to mechanical tests.

The benefits of the research will be reflected in motivating national production or developing and producing auto parts with alternative materials that meet market requirements, thus generating jobs and productivity in the environment.

Keywords: plastic material, analysis, raw material, mechanism

Introducción

Como lo manifiesta (Andrade, Pisco, Quinde, & Asencio, 2018) la producción de elementos plásticos en el Ecuador, alcanza unas ventas internas y al extranjero que superan los mil millones de dólares aproximados al año, estudio realizado por el (INEC, 2016), de los cuales la venta de autopartes plásticas rodean los setecientos mil dólares, estando muy por debajo del 1% de la producción interna del país.

En la actualidad no se realizan producciones mayores de piezas plásticas en el país útiles para suministros vehiculares, a pesar de tener una demanda significativa en el mercado de repuestos automotrices, sin embargo, se plantea realizar un estudio que puede aportar a la industria nacional y sea posible producir con materiales alternos la manija de apertura interior de puerta de vehículo el cual será validado con el uso de métodos multicriterio, simulación computarizada y de forma experimental.

Actualmente en la industria plástica a nivel general ha cambiado el enfoque de desarrollo de productos debido a la innovación y creatividad que se puede ver en las épocas recientes, es por ello que este nuevo concepto requiere un soporte técnico en todas sus etapas que puedan asegurar la viabilidad en la industria. Considerando los avances tecnológicos y exigencias de fabricantes y consumidores, también existe un cambio en el desarrollo de los materiales con los cuales se producen piezas iguales o nuevas que den prestaciones semejantes o mejores.

En este estudio se revisará la manija de apertura interior de puerta de vehículo, se identificará el material del que está compuesto y se realizara la selección de material usando método multicriterio (MCDM), con siete materiales alternos, sometiéndolos a las mismas pruebas multicriterio, simulación computarizada y experimental, de esta manera se obtendrán

los resultados de todos los materiales y podremos identificar opciones alternas que puedan dar resultados semejantes con mejoras ya sea en costo, acabado estético de manera positiva.

Antecedentes

Según (telegrafa, 2018), el acuerdo ministerial realizado por el Ministerio de Industrias en el 2017 señala que el ensamblaje de vehículos en el país debe poseer mínimo el 19% de sus partes fabricadas en el país, por ello la demanda requiere inversiones para las empresas ensambladoras, sin embargo el tema arancelario y el fomento productivo se ha estancado debido a la falta de políticas públicas e incentivos al parque productivo.

Crear un producto no es únicamente diseñarlo, por eso cuando se pretende un nuevo desarrollo de elemento es indispensable partir de la pregunta ¿para qué va a ser utilizado? Y una vez que el uso del mismo queda establecido, surgen otros requerimientos principalmente técnicos como que material plástico se puede usar, ¿que conllevan a más cuestionamientos o limitantes como resistencia a intemperie?, ¿resistencia o incompatibilidad con agentes químicos?, ¿resistencia a altas o bajas temperaturas?, ¿propiedades mecánicas específicas?, ¿disponibilidad del material en el entorno local?, etc.

A pesar de ser un mecanismo de funcionamiento que tiene el mismo principio desde hace varias décadas, las variaciones que se han presentado es el cambio de material, reducir la cantidad de ítems que posee el mecanismo, disminuir espesores de paredes, mejora estética del mismo entre otras variables que no ha cambiado el sistema de la manija interna de la puerta.

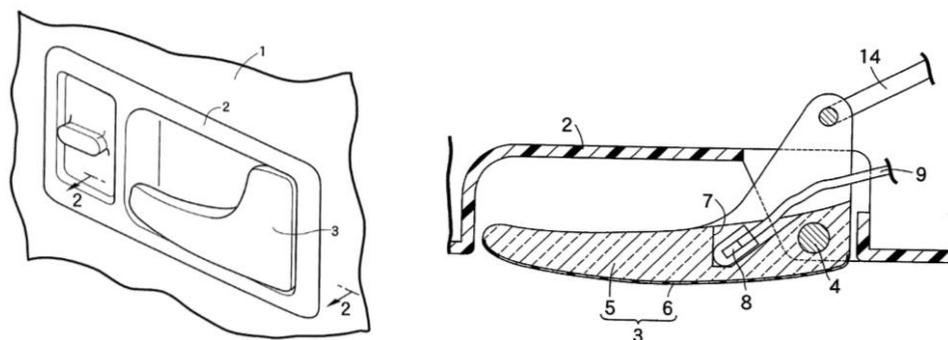


Figura 1. Sistema de manija interior de puerta
Fuente: (Yamazaki, y otros, 2002)

Justificación

Como menciona (Sanabria Aguilar, 2006) el análisis multicriterio forma parte de modelar técnicas para toma de decisión, en los cuales se consideran varios aspectos: uno es elección a escogerse, otro sería los imprevistos que podrían modificar resultados, haciendo puntual que debido a diferentes modelos multicriterio se podrá prever algunas discrepancias que se obtengan de las diferentes operaciones realizadas, en este caso antes de seleccionar un material y crear una lista de materiales optativos, es prioritario determinar la función a desempeñar. Por ello el motivo de esta investigación es validar materiales alternos para una aplicación puntual de plásticos en la manija de apertura interior de puerta de vehículo, en este estudio su función principal es la apertura de puerta de vehículo desde el interior, conformado por un mecanismo de enclavamiento, accionado por la manija de apertura de puerta adaptado a la base estática de la manija y un resorte que le permite mantenerse en una posición cierre.

En la actualidad la mayoría de vehículos tienen dispositivos de manijas semejantes, que varían respecto a los diseños por presentación y formas, usando un sistema de apertura mediante enclaves, de igual tipo de funcionamiento por el resorte (torsión) y desplazamiento (flexión), considerando que es un accesorio automotriz que está expuesto a cambios términos de manera constante.

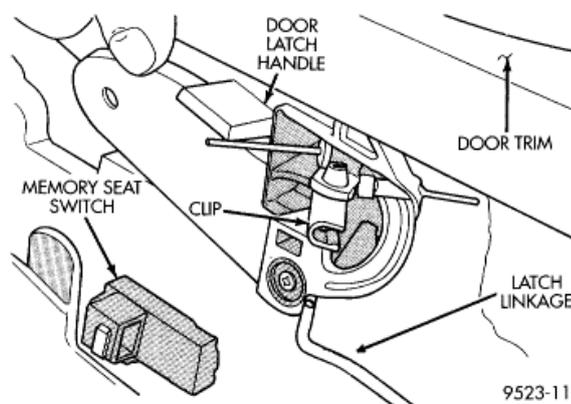


Figura 2. Sistema de ensamblaje de manija interna Dodge Caravan
Fuente: (Jerry, 2010)

Cuando se va a diseñar una pieza plástica, se tiene que considerar varios puntos de vista que se relacionan con la aplicación para su desarrollo, por ello se requiere de experiencia para definir el material ideal, debido a la diversidad de materiales, procesos, inversiones y las funciones de desempeño, por lo tanto cada desarrollo necesita de un previo estudio, diseño 3D, simulaciones computacionales, pruebas de funcionamiento y un método de selección de materiales que certifiquen los resultados obtenidos, de esta manera se puede ver eficiente el uso del método de toma de decisión por criterio múltiple MCDM (Multiple Criteria Decision Making).

Es por ello que se toman tres aspectos primordiales, que se enfoca primero en lo señalado anteriormente (MCDM), posteriormente validar con simulación computarizada, luego pruebas experimentales y por último la evaluación y validación del estudio.

Objetivo General

Seleccionar con método multicriterio (MCDM), simulación computarizada y ensayos experimentales, materia prima alterna con la cual se pueda desarrollar la manija de apertura interior de puerta de vehículo.

Objetivos específicos

1. Evaluación de materiales con el método MCDM entre siete alternativas de materia prima para el uso en la manija de apertura interior de puerta de vehículo con valoraciones de costo, propiedades físicas, mecánicas y térmicas.
2. Evaluar el material actual de la manija de apertura interior de puerta de vehículo, y la alternativa de material seleccionada mediante simulación computarizada.
3. Medir la alternativa predominante de materia prima con resultados de pruebas experimentales y ensayos mecánicos en probetas.
4. aprobar opción válida de materia prima con los resultados obtenidos de (MCDM), simulación computarizada y pruebas.

Marco Teórico

Considerando cuales son los materiales que más se utilizan en el sector automotriz a pesar que esta sectorizado cada tipo de material que se usan en diversas zonas del vehículo, sería un punto de partida para la elección de materiales optativos:

Tabla 1.

Materiales y lugares de uso en autopartes

Componente	Tipos principales de materiales	Peso en el auto (Kg)
Parachoques	PC-PBT, ABS, PS.	10
Asientos	ABS, PUR, PA, PVC, PP.	13
Tablero	ABS, PC, SMA, PP, PPE.	7
Sistemas de combustible	HDPE, POM, PA, PP, PBT.	6
Paneles	UP, PP, PPE.	6
Componentes bajo capó	PBT, PA, PP.	9
Acabado interior	POM, PET, PP, PVC, ABS.	20
Componentes eléctricos	PBT, PVC, PP, PA, PE.	7
Acabado exterior	ASA, PE, PP, PP, POM, PBT.	4
Iluminación	PMMA, UP, PC, PBT, ABS	5
Tapicería	PP, PE, PUR, PVC.	8
Reservorios de líquidos	PA, PP, PE.	1

Fuente: (Szeteiová, 2010)

La fase de selección de material con métodos multicriterio pretende homologar uno o varios materiales alternos para la fabricación de la manija de apertura interior de puerta de vehículo, siendo este ítem algo que no se fabrica localmente, o simplemente no se ha presentado la necesidad de uso de materiales alternos que puedan ser aptos para una misma finalidad, considerando las semejanzas y diferencias que presenta el uso de materiales alternos.

En la actualidad se tiene una gran variedad de manijas de apertura interior de puerta, sin embargo, existen el uso de diversos materiales, en este caso el de mayor uso es ABS por sus prestaciones funcionales y cumplimiento de funcionalidad, sea por la gama de vehículo que sea, desde automotores estándar hasta los de gama alta o lujosos, adicional puede variar por el tamaño o exigencia de diseño del vehículo.

Tomando otro dato de interés para este estudio se enfoca en los materiales que son importados al país, existiendo una variedad considerable, los mismos que podrían estar alineados de la necesidad aquí presente:

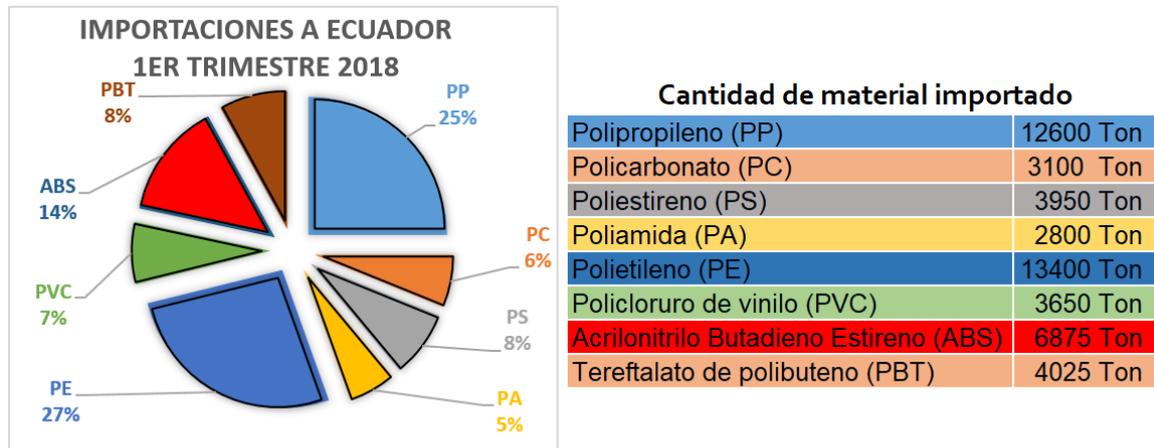


Figura 3. Importaciones al país enero, febrero y marzo 2018
Fuente: (SENAE, 2018) (ASEPLAST, 2019)

Toda la documentación que se revisara a continuación, son libros y artículos de investigación a las cuales se recurrirá para adecuar toda la información posible al estudio planteado de selección de materiales, con métodos multicriterio dentro de un entorno de investigación, análisis, estudio, validación y comprobación de lo planificado.

En la edición de (Nieuwenhuis & Wells, 2015) hace referencia de los cambios de materia prima en la industria automotriz desde generaciones pasadas, lo cual es una evolución de ingeniería en los materiales, también reflejados en el impacto económico la trayectoria que generan los materiales respecto a su vida útil e impacto ambiental.

Hipótesis

Debido a que existe una gran diversidad de materiales poliméricos aplicados en el parque automotriz, se proyecta el uso de materiales alternos que se pueden usar en la manija de apertura interior de puerta de vehículo, usando el método de (MCDM) se cuantificara los datos más significativos de cada material y se realizara comparaciones similares con todos los materiales propuestos, en los cuales usando métodos de criterio múltiple se demostrara su usabilidad, mecánica, estética e inclusive económica, determinando el uso de uno o más materiales que se pueden acceder en nuestro medio, considerando como materiales aceptados que cumpla todas las pruebas experimentales en probetas que corroboren los resultados de simulación computarizada, teniendo en cuenta que den un acabado estético aceptable y sea acorde a lo requerido, también establecer un costo comercial de la materia prima, siendo este competitivo entre los diferentes materiales y que esté disponible su distribución en el país.

El análisis a realizarse nos dará una visión al uso de materiales alternos para este ítem, de manera que se puede identificar si existen más materiales que pueden ser usados y él porque del material actual.

Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

Como lo menciona (Cornish Alvarez, 1997) el ABS es un material con buenas estabilidad dimensional, resistencia a los rayos UV, entre otras características que lo hace un material con buenas prestaciones para uso en autopartes.

El acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) siendo un material de la familia de los termoplásticos, perteneciente al segmento de polímeros que pueden ser moldeados al exponerlos a procesos de transformación. Una particularidad importante de este plástico es su compleja fabricación, conocido como el plástico de ingenieros. (<https://blog.reparacion-vehiculos.es>, 2018)

Como características importantes sobresalen su dureza, tenacidad y rigidez, ya que otorga buena resistencia y estabilidad a vibraciones e impactos, inclusive en temperaturas bajas. Debido a estas propiedades que le ubican a este plástico en uno de mucho uso en varios sectores productivos. materia que se emplea comúnmente en impresión 3D.

En el sector automotriz, una ventaja principal del ABS hace referencia a la capacidad de ser pintado. También es compatible a la mezcla con materiales como el policarbonato (PC). Por todas estas características especiales que el ABS se usa en muchas partes internas del automóvil, como en las puertas, paneles de control, accesorios de mando, cajetines, compartimientos, para choques, rejillas de ventilación protectores de airbag.

Polipropileno (PP)

Como lo menciona (Mott, 2004) el polipropileno tiene una alta resistencia al impacto, resistente al intemperie, con un costo que lo hace competitivo con otros polímeros en diferentes aplicaciones como en recipientes, rodillos etc.

Propiedades mecánicas (www.quiminet.com, 2018)

- Puede usarse este material como elementos para deslizarse sin lubricación.
- Confiable resistencia superficial.
- Buena resistencia al calor, química a la humedad sin deformarse.
- Dimensionalmente posee una buena estabilidad.

Se puede tener en cuenta los beneficios y campos de acción del polipropileno

(<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>, 2011)

Propiedades físicas

1. El polipropileno tiene una densidad que varía de 0,9 a 0,93 gr/cm³. Por ser de baja densidad permite la producción de elementos livianos.
2. Es de alta resistencia a los impactos.
3. Tiene muy buena capacidad de recuperarse elásticamente.
4. Es posible de reciclar con facilidad.
5. Tiene buena adaptación con el medio.

Aplicaciones más comunes

- Atoxico y no mancha.
- Prótesis y similares.
- Elementos para bombas.
- Accesorios para laboratorios.

- Planchas de presión en filtros.
- Para envases y depósitos químicos.

Ventajas

- Baja capacidad de absorber humedad.
- Es un material liviano.
- Confiable propiedad dieléctrica.
- Excelente resistencia en compresión y tensión.
- Resiste a gran cantidad de ácidos.

Policarbonato (PC)

Es desarrollado por varias empresas como General Electrics y Bayer con más de 20 tipos de PC. Varios de estos poseen aditivos mejorando las propiedades estándar dependiendo a que aplicación incluyendo fibras, protectores UV, anti oxidantes, anti llama, etc. estos materiales pueden ser distribuidos en presentación transparente a excepción de materiales con fibras o anti llama, también colores translucidos o que sean opacos.

Considerando que el PC según (Mott, 2004) posee alta resistencia a la tensión, estabilidad dimensional en altas temperaturas, resistencia química y térmica para componentes expuestos a esfuerzos frecuentes.

Propiedades mecánicas

Tabla 2.

Propiedades mecánicas del Policarbonato

Propiedad	Magnitud
Resistencia a tracción	65Mpa
Resistencia a compresión	80Mpa
Módulo de tracción	2,35Gpa
Relación Poisson	0,37
Coefficiente de fricción	0.3
Alargamiento	125%

Fuente: (Mariano, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>, 2011)

Propiedades físicas

Tabla 3.

Propiedades físicas del Policarbonato

Propiedad	Magnitud
Absorción de agua	0,1 en 24 hr %
Densidad	1,2 Kg/m ³
Índice refractivo	3,75 aprox.
Resistente a luz UV	Aprobado

Fuente: (Mariano, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>, 2011)

Poliestireno (PS)

A continuación, se muestra uno de los materiales poliméricos más comunes en el medio, siendo este uno de los materiales que se encuentran de manera simple a nivel global, el uso del poliestireno y los métodos de moldeo son de menor complejidad, como lo denomina (Callister, 2007) el PS tiene buenas propiedades eléctricas, translucido estabilidad térmica y muy económico en comparación a otros materiales con propiedades parecidas, en la tabla 4 podemos ver sus características y el alcance del mismo.

Inyección de Poliestireno

Tabla 4.

Proceso de inyección y uso de poliestireno

Proceso de manufactura	Aplicación
Inyección	Autopartes
	Envases
	Equipo de medicina
	Armazón de tv
	Juegos
	Accesorios de hogar
	Tapas de botellas

Fuente: (Mariano, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>, 2011)

Soplado de Poliestireno

Tabla 5.

Proceso de soplado y uso de poliestireno

Proceso de manufactura	Aplicación
Soplado	Autopartes
	Envases
	Equipo de medicina

Fuente: (Mariano, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>, 2011)

Extrusión de Poliestireno

Tabla 6.

Proceso de extrusión y uso de poliestireno

Proceso de manufactura	Aplicación
Extrusión	Perfilaría
	Laminas protectoras
	Reflector de luz
	Cubiertas de construcción

Fuente: (Mariano, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>, 2011)

Termo formado de Poliestireno

Tabla 7.

Proceso de termo formado y uso de poliestireno

Proceso de manufactura	Aplicación
Termo-formado	Estructura de vehículo
	Embalaje para alimentos
	Maletas
	Reflector de luz
	Interiores de refrigerador
	Cubiertas de construcción

Fuente: (Mariano, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>, 2011)

Poliamida 6 (PA)

Cualidades de la Poliamida 6

La poliamida 6 es un termo-plástico que brinda excelentes propiedades mecánicas, a la rigidez, desgaste y tenacidad. Haciendo que este material lo caracterice como un buen aislante eléctrico y resistente al contacto con químicos. óptimo para la elaboración de partes mecánicas y bueno en repuestos para mantenimientos industriales. Conocido por tener buen comportamiento ante la fatiga y su propiedad dieléctrica.

Como lo expone (Riva Romeva, 2008), la PA con su numerosa familia de tipos de termoplásticos que lo destaca por su alta tenacidad, resistencia a la fatiga, rigidez, resistencia al desgaste sin necesidad de lubricantes, etc tomando en cuenta, teniendo como limitación su alta higroscopia y costos elevados.

Este material a parte de su tenacidad y dureza, es muy resistente a la distorsión térmica (resiste a temperaturas entre - 40° C + 100 °C), (<http://www.elaplas.es>, 2018).

Propiedades de la Poliamida 6

- Resistente a químicos y disolvente.
- Buen comportamiento al deslizamiento.
- Excelente resistencia a fatigación.
- Alta rigidez.
- Resistente a la distorsión por calor.
- Buen comportamiento al amortiguar.
- Sencillo de maquinar.
- Resistente al impacto.

Aplicación de uso

- En ruedas de engranajes
- Partes de bombas
- Abrazadera
- Ejes de deslizamiento
- Cremalleras

Polibutileno Tereftalato (PBT)

Es un material de ingeniería que parten de polibutileno tereftalato (PBT). cada compuesto del polibutileno tereftalato tienen buena resistencia mecánica, eléctrica, térmica y química y dimensionalmente muy estable. Este material posee una muy baja higroscopia, siendo un material muy estable dimensionalmente posterior al proceso de moldeo, (Mariano, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>, 2011)

El PBT es un producto que se tiene con y sin carga fundamentalmente de fibra de vidrio. Esta variedad de productos fue desarrollada para reducción de contracciones y que sean más resistentes ante los impactos.

Cualidades del polibutileno tereftalato

- Muy resistente al exterior.
- Bajo coeficiente de fricción.
- Buena calidad posterior al proceso.
- Buen aislante eléctrico.
- Muy estable a cambios térmicos.
- Se degrada posterior expuesto en agua caliente ($> 70^{\circ} \text{C}$)
- Mayor dureza.
- Baja higroscopia.
- Resistente a la abrasión.
- Excelente rigidez.
- Resistente a sustancias químicas.

Características físicas - químicas

El polibutileno tereftalato (PBT) es uno de los polímeros con mayor resistencia en la ingeniería, este material semi – cristalino, con buena resistencia mecánica, eléctrica y química, siendo un buen aislante eléctrico y térmico por ser resistente al calor.

Teniendo como una de sus características una estabilidad considerable en diferentes condiciones de trabajo, adicional se caracteriza por su baja higroscopia con un valor porcentual entre 0.1 y 0.2 por lo que se obtiene estabilidad dimensional.

El PBT es muy resistente a la tracción desde 50 MPa. en material sin carga o hasta 150 MPa con carga. para PBT con carga que regularmente es fibra de vidrio. Existe contracciones que dependen de la geometría, longitud o espesor que tenga el ítem considerando las condiciones en las que se realiza el proceso de moldeado, siendo este efecto el resultado del proceso de cristalización cuando no está debidamente controlado.

Polietileno de alta densidad (HDPE)

El HDPE se considera según (Barrosa-Herrera, Gil-Bercero, & Camacho-Lopez, 2010), un material por su resistencia al impacto y desgaste siendo usado en ruedas dentadas y dispositivos de rodamiento.

Características físicas

Basado en sus largos enlaces de hidrocarburos, su peso molecular y su cristalinidad, se obtiene el polímero termoplástico llamado polietileno, y debido a las temperaturas de manufactura su transición vítrea y punto de fusión son imperceptibles, y este fenómeno se da en dependencia del tipo y la temperatura de polietileno. Para la comercialización de polietileno de media densidad al igual que de alta densidad el punto de fusión esta desde 120 °C hasta 130°C. por otro lado en polietileno de baja densidad tiene su punto de fusión desde 105°C hasta 115°C, (<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>, 2012)

Características químicas

El Polietileno de alta densidad (HDPE) en todas sus presentaciones comercialmente conocidas como es alta, media y baja densidad ante los químicos son de alta resistencia como es la exposición en ácidos o agentes químicos, algunos tipos de oxidantes o sustancias o líquidos reductores, siendo resistente por periodos prolongados sin presentar daños permanentes. Este material se incendia produciendo un goteo de material de manera lente con flama azulada y el extremo de color amarillo, al mismo tiempo segrega un olor semejante a la parafina. Este material puede ser disuelto con hidrocarburos en altas temperaturas.

Policloruro de Vinilo (PVC)

El Policloruro de Vinilo con sus siglas (PVC), se obtiene químicamente por la unión de cloruro, hidrogeno y carbono. Considerado de la familia de los termoplásticos, que la ser expuesto al calor se ablanda, de manera que puede ser conformado de manera sencilla y posterior a este proceso, se enfría y conserva su forma y recupera la estabilidad del material, (<http://www.jq.com.ar>, 2018).

Este material presenta buena resistencia a la luz y al envejecimiento, pero como lo menciona (Barrosa-Herrera, Gil-Bercero, & Camacho-Lopez, 2010), son también flexibles, blando y amortiguadores de vibración.

El PVC se considera un material inocuo con plastificantes, inerte y muy ligero, que expuesto al fuego tiene buena resistencia y baja posibilidad de propagación de llama, haciéndolo buen aislante térmico, es un material muy bueno para impermeabilizar y aislante eléctrico, resistente a la intemperie, es reciclable, económico de buena calidad y fácil de procesar.

Características

- Trabaja a temperaturas desde -15°C hasta 60°C.
- Aislante confiable de electricidad.
- Excelente resistencia de exposición a químicos.
- Alta rigidez y dureza mecánica.
- Auto extingible.
- Impermeabiliza contacto entre líquido y gas.
- Mínima higroscopia con líquido.
- Resistente al ataque de mohos, gérmenes, etc.

- Fácil unión, soldaduras plásticas.
- Buena resistencia a intemperie.

Ejemplos de aplicación

- Estructuras de bombas y válvulas.
- Uniones plásticas.
- Brida.
- Recipientes.
- Tubos.
- Mangos de cepillo.
- herramientas odontológicas.
- bases de sillas.
- Separador en cestas.

Resorte de torsión

Es necesario considerar el resorte de torsión que esta ensamblado con la manija de apertura interna de puerta de vehículo, ya que este ítem genera una reacción ante la manipulación del usuario el momento de accionar el sistema.

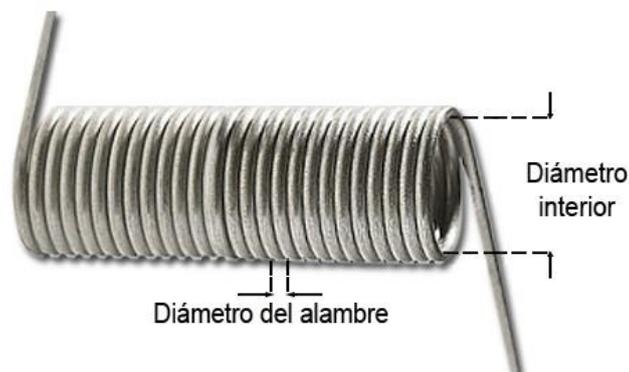


Figura 4. Resorte de torsión
Fuente: (www.peru.masmuelles.com, 2018)

Según (www.acxesspring.com, 2018) el resorte ofrece una relación de reacción de fuerzas o índice para el resorte de torsión en donde considerando los diámetros del resorte y tomando en cuenta el diámetro del alambre se puede considerar una relación de transferencia de fuerza o reacción de esfuerzo que genera el resorte en función al diámetro y que puede ser aplicado de la siguiente manera:

$$I = \frac{\varnothing \text{ int.} + \varnothing \text{ alam.}}{\varnothing \text{ alam.}} \tag{1}$$

$$F = \frac{I}{2} \tag{2}$$

Donde:

- I → Índice o relación del resorte
- F → Fuerza de resorte
- $\varnothing \text{ int.}$ → Diámetro interior del resorte
- $\varnothing \text{ alam.}$ → Diámetro del alambre

Adicional se tomaran las consideraciones del proveedor de la plataforma (Network, 2019) con la que se realizara las diferentes simulaciones respecto al resorte de torsión.

Flujo de estudio

La selección de materiales es una actividad onerosa pero muy importante en el proceso de diseño. Un inapropiado la elección de material (es) puede afectar adversamente la productividad y la rentabilidad y, por lo tanto, la reputación de un fabricante organización. La complejidad de la selección de materiales hace que el análisis multicriterio sea invaluable herramienta en el proceso de diseño de ingeniería. Sin embargo, la aplicación de varias decisiones multicriterio (MCDM) métodos pueden arrojar resultados diferentes, especialmente cuando las alternativas conducen a un rendimiento similar.

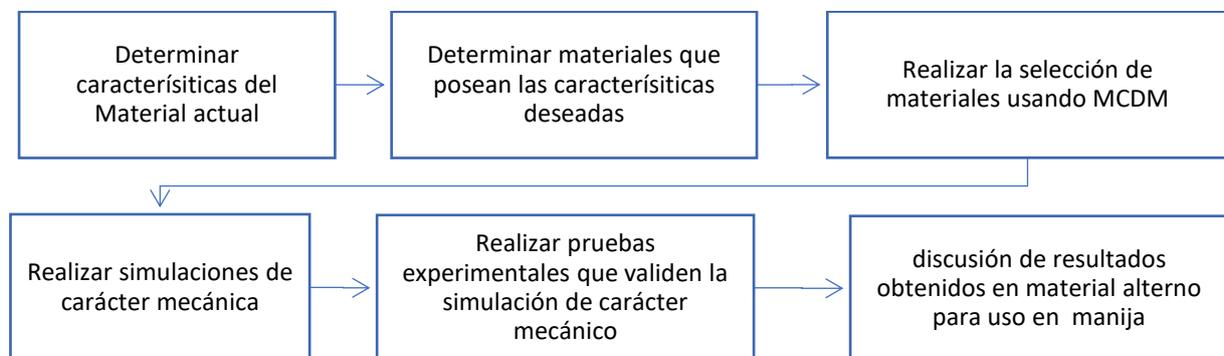


Figura 5. Diagrama de bloques para flujo de estudio.

Fuente: (Jahan, Yusof Ismail, Shuib, Norfazidah, & Edwards, 2011)

Por lo tanto, se propone una técnica de decisiones óptima. con este enfoque de clasificación de propiedades de materiales obtenidos por varios métodos MCDM, los mismos que se utilizan como la entrada del procedimiento sugerido y los resultados son clasificaciones de agregación, que ayudan a los diseñadores e ingenieros a llegar a un consenso en la selección de materiales para una aplicación específica.

Ponderación de pesos

A continuación, se emplearán varios métodos de ponderación en función a las variables que tiene cada material candidato a ser una opción alterna del ABS, de esta manera se tomara en cuenta varios aspectos, como pueden ser las propiedades físicas, mecánicas,

disponibilidad del material en nuestro medio y el costo de los materiales para valorar y posicionar cada material según sus características.

Interpretando lo que menciona (Palacios Gomez, 2002) que la ponderación es una herramienta en la cual mide la calidad de un servicio a partir de la puntuación dada por diferentes valores que se obtienen de las características de cada material propuesto.

Método de Entropía

Como señala (Estrada García, 2002) el Método de Entropía, Mecánica estadística o teoría de la información, que básicamente está relacionado directamente con la incertidumbre que se genera en cualquier ensayo o indicador aleatorio, de tal manera que se pueda entender la cantidad de datos que obtienen de un indicador.

De las consideraciones señaladas por (Estrada García, 2002) Shannon en el año 1984 brinda una esclarecimiento de entropía que integra las siguientes validaciones:

- Un cambio pequeño de las probabilidades de información, debe cambiar poco la entropía medida.
- Si todos los elementos del indicador tienen semejantes probabilidades el momento de evaluar, quiere decir que la entropía será máxima.

Para la ejecución del método de Entropía se debe ejecutar los siguientes pasos:

1. Construcción de matriz de decisión: nombrada matriz (**X**) que se genera con la agrupación de dos variables, siendo los materiales propuestos (**M**) en las columnas (M1, M2, M3...) y los criterios (C) en las filas (C1, C2, C3...), los valores de los criterios son los datos de propiedades de cada material propuesto.

$$X = \begin{bmatrix} C_{1M1} & C_{2M1} & \cdots & C_{1n} \\ C_{1M2} & C_{2M2} & \cdots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \cdots & C_{mn} \end{bmatrix}$$

Los valores CM posteriormente se analizará como X_{ij}

2. Normalización de la matriz de decisión: En este paso se obtiene los valores de criterio de forma normalizada, con la ecuación (3):

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

Donde:

- p_{ij} → Valores resultantes
- m → La cantidad de criterios.
- X_{ij} → Valores de la matriz de decisión.

Se consigue la matriz normalizada al unir de manera ordenada los valores encontrados.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix}$$

3. Valor de la entropía: En este paso se calcula el valor de la Entropía con la ecuación (4):

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

$$k = \frac{1}{\ln m} = \frac{1}{\ln 7} = 0,514 \quad (5)$$

Donde:

- $k: \frac{1}{\ln m}$ → Constante que corresponde un valor establecido que $0 \leq e_j \leq 1$
- m → Número de materiales.
- e_j → Valor de entropía.
- P_{ij} → Valores de la matriz normalizada.
- \ln → Logaritmo Natural.

4. Nivel de divergencia: En este paso se calcula la divergencia de los valores, es decir, que cada criterio contiene información relativa aplicando la ecuación (6):

$$d_j = 1 - e_j \quad (6)$$

Donde:

- d_j → Grado de divergencia.
- e_j → Valor de entropía.

5. Obtención de pesos: En este paso se calculan los valores finales o atributos que han adquirido cada uno de los criterios con la ecuación (7):

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (7)$$

Donde:

- W_j → Pesos.
- $\sum d_j$ → Sumatoria de los grados de divergencia.

Método de Desviación Estándar

Es un método estadístico, que nos ayuda a identificar variaciones dentro de un universo determinado de valores, considerando como una evaluación común que muestra el promedio de la dispersión de datos respecto a su punto central o media, dicha desviación nos indica el valor más próximo a la posición ideal de referencia, para consideraciones de pesos el momento de elegir ponderación de valores a evaluar y sus respectivos pesos en la matriz de decisión, con el siguiente procedimiento:

1. Construir la matriz de decisión: en este caso se aplicará la matriz del método de entropía.
2. Calculo de la desviación estándar: se calculará los valores dispersos en función de los valores promedio, con la ecuación (8):

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m}} \quad (8)$$

Donde:

- x_{ij} → Son los valores de la matriz de decisión.
- m : → Son número de materiales.
- σ_j → Son los valores de la desviación estándar.
- \bar{x}_j → Es el valor de la sumatoria de los criterios dividido para m

3. Obtención de pesos para criterios, siendo sus propiedades obtenidas mediante la ecuación (9):

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad (9)$$

Donde:

$w_j \rightarrow$ Es el peso de cada criterio.

$\sum_{j=1}^n \sigma_j \rightarrow$ Es la sumatoria de los valores de la desviación estándar.

Método de Variación Estadística

Este método estadístico empieza en intuir las variaciones de los objetos en análisis dentro de un intervalo o variables de estudio, teniendo presente que la variación que experimenta la variable está ligada al valor de la media, formando de esta manera una matriz de decisiones que ajusta de forma numérica e identificar el resultado más aproximado al valor ideal.

Todos los métodos estadísticos señalados se planifican desde la construcción de matriz de decisión, calculando los valores evaluados para la obtención de pesos.

Para el desarrollo del método de variación estadística aplicamos la matriz del método de la entropía:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (10)$$

Donde:

$p_{ij} \rightarrow$ Son valores de la matriz normalizada

$m \rightarrow$ Corresponde al número de evaluaciones de los criterios.

$X_{ij} \rightarrow$ Son valores de la matriz de decisión.

Para normalizar la matriz, a los valores obtenidos se aplicarán las ecuaciones (11) y (12), usando los valores máximos y mínimos:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ijmax}} \quad (11)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ijmin}}{x_{ij}} \quad (12)$$

Para el cálculo de la variación estadística que sería un valor promedio de una lista de iteraciones de cada criterio con la ecuación:

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^m (p_{ij} - \bar{p}_j)^2}{m} \quad (13)$$

Donde:

- P_{ij} → Son los valores de la matriz de decisión normalizada.
- m → Corresponde al número de materiales evaluados.
- V_j → Es el valor de la variación estadística.
- p_j → Es la sumatoria de P_{ij}

Para la obtención de pesos de los criterios se da la valoración que este método establece para cada criterio, desarrollando la ecuación (14):

$$w_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad (14)$$

Donde:

- w_j → Es el peso de cada criterio.

Método Multicriterio

Considerando la necesidad de tomar una decisión es necesario enfocarse en el tiempo que conlleva y los recursos que se requieren para realizarlo. Esto implica que surge de un problema, objetivo o necesidad que se requiere una o varias alternativas buscando un beneficio.

Uno de los métodos que se aplicaran en esta investigación técnicas de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM) con aplicaciones como PROMETHEE II, COPRAS-G, PUGH, VIKOR, TOPSIS, etc. se obtendrá resultados cuantitativos para posicionar cada material según las características de cada uno.

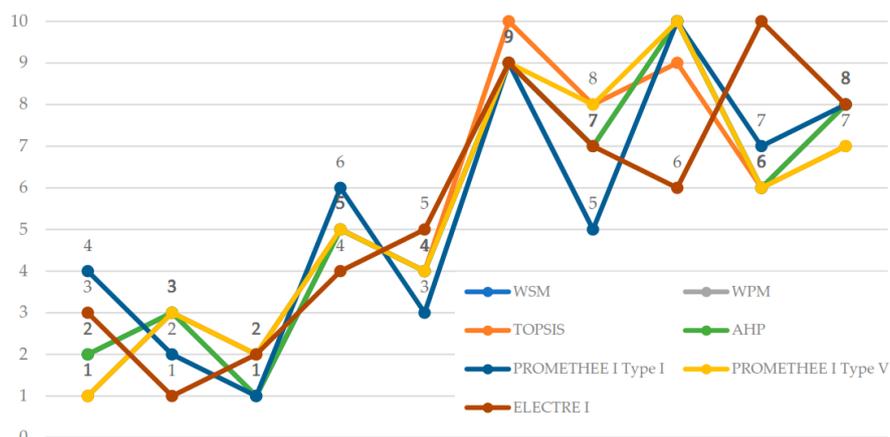


Figura 6. Comparación de métodos multicriterio.
 Fuente: (Kolios, Mytilinou, Lozano Minguez, & Salonitis, 2016)

La herramienta de elección multicriterio participa desde la planificación que integra diferentes criterios en un entorno para los actores que visualizan de manera integral en un único marco de estudio.

Por otro lado el estudio de (Prasenjit & Shankar, 2011) menciona el uso de métodos multicriterio para identificar los materiales recomendables para cumplir sus funcionalidades específicas, tomando en cuenta el amplia gama de materiales.

Método VIKOR

El método Vikor (Chérrez-Troya, Martínez-Gómez, Peralta-Zurita, & Llanes-Cedeño, 2018) proponen definir por separado las soluciones positivas en una evaluación máxima (100) que se buscan y el valor negativo, siendo el opuesto con una valoración más baja en el sistema (0), el cual concluye con algoritmo propuesto por Vikor en los siguientes pasos:

1. Definir matriz de decisión inicial: se usar el método de la Entropía.
2. Normalización de la matriz de decisión: Se usan los valores de la matriz de decisión aplicando la ecuación:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a^2_{ij}}} \tag{15}$$

Donde:

a_{ij} → Son los valores pertenecientes a la matriz de decisión.

r_{ij} → Son los valores pertenecientes a la matriz normalizada

$\sum_{i=1}^m a^2_{ij}$ → Es la sumatoria de los valores de la matriz de decisión elevados al cuadrado.

Al final se obtiene la siguiente matriz normalizada R_{ij} , con los valores ordenados

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

3. Elaborar matriz estandarizada de pesos: Se multiplica los valores de la matriz normalizada por los pesos, consiguiendo la matriz V_{ij} :

$$V = (wr) \tag{16}$$

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

Donde:

- w_n → El valor de los pesos para cada criterio.
- r → Los valores de la matriz normalizada.
- V_{ij} → Matriz estandarizada de pesos.

4. Calcular la diferencia entre los valores positivos y negativos: es necesario determinar valores máximos y mínimos de la matriz estandarizada de pesos con las ecuaciones (17) y (18):

$$A^* = \left\{ \max_i M_{ij} \mid j \in J, (\min_i M_{ij} \mid j \in J') \right\} = \{M_1^{max}, M_2^{max}, \dots, M_n^{max}\} \quad (17)$$

$$A^- = \left\{ \max_i M_{ij} \mid j \in J, (\min_i M_{ij} \mid j \in J') \right\} = \{M_1^{min}, M_2^{min}, \dots, M_n^{min}\} \quad (18)$$

Donde:

- A^* → Resultado de la ecuación del criterio positivo
- A^- → Resultado de la ecuación del criterio negativo

5. Calcular soluciones optimas: se establecerá los valores que determinan el rango de valores en cada criterio, usan las ecuaciones (19), (20) y (21).

$$U_i = \sum_{j=1}^n \frac{W_f(f_j^{max} - f_{ij})}{(f_j^{max} - f_j^{min})} \quad (19)$$

$$R_i = \max_j \left[\frac{W_f(f_j^{max} - f_{ij})}{(f_j^{max} - f_j^{min})} \right] \quad (20)$$

$$V_i = \frac{\alpha(U_i - U_{min})}{(U_{max} - U_{min})} + \frac{(1-\alpha)(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} \quad (21)$$

Donde:

- U_i → Matriz resultante de la sumatoria
- W_f → Valores de los pesos
- F_j → Valores de la matriz estandarizada de pesos
- R_i → Matriz de los valores de rango
- V_i → Valores finales de cada criterio
- α → Constante con valor de 0,5

6. Ranking: Se posiciona los resultados de manera ascendente de 1 a 7, siendo 1 el valor más cercano a cero, de manera que es el óptimo en el método VIKOR.

Usando métodos mencionado por (Jeya, Girubha., & Vinodh, 2012) MCDM (toma de decisiones de criterios múltiples). Dado que las aportaciones provistas por la decisión creador

de manera lingüística, hay una posibilidad de tener problemas incompletos. Entonces para superar el problema, las entradas podrían proporcionarse como números difusos. Dado que el conjunto difuso representa la incertidumbre en percepciones humanas. En este documento, VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje en serbio, significa Solución de Compromiso y Optimización multicriterio) se ha utilizado como un MCDM herramienta para la selección de material alternativo.

Método PUGH

Este método es semejante a listas de ventajas y desventajas como lo manifiesta (Martinez, Vaca, Orozco, Montero, & Carrion, 2015) con el cual se busca cuantificar y categorizar los criterios de diseño, elección de materiales donde se evalúa basándose en la importancia, obteniendo una elección apropiada siguiendo cuatro pasos:

1. Asignar valor puntual por cada criterio de material: se aplicará la matriz de método de Entropía.
2. Construcción de matriz de priorización: en este paso se busca valorar de manera numérica positivos (+) y negativos (-) considerando a cero (0) un valor neutro que sería la valoración del igual al material actual de comparación.

Para la obtención de la matriz de ponderación de pesos se usa a ecuación:

$$P = (M1i \times W1i), (M2ix W2I) \dots \quad (22)$$

Posterior a la obtención de ponderación de pesos se realiza la sumatoria como detalla la ecuación (23):

$$\Sigma = M1, M2 \dots \quad (23)$$

Donde:

- P → Matriz de valores resultantes de la sumatoria.
- M → Valores de los criterios.
- W → Valores de los pesos.

Método TOPSIS

Este método que señala (Pérez-Domínguez, Macías-García, Sánchez-Mojica, & Luviano-Cruz, 2017) está orientado en facilitar una solución fiable, considerando que esta opción esta lo más próxima a una opción ideal, este procedimiento se basa en elegir las opciones más cercanas a la solución más cercana al resultado positivo de valoración y de igual manera lo más distante al resultado negativo, tomando como referencia el valor ideal y anti-ideal.

Estas son soluciones artificiales que nos indican la posición de cada valor según los criterios que se quiere obtener y los menos deseados, teniendo el siguiente procedimiento:

1. Desarrollo de la matriz de decisión: En este método se usará la misma matriz del método de entropía.
2. Normalización de matriz de decisión: Se usará la misma matriz normalizada del método VIKOR.
3. Establecer la matriz de decisión normalizada: Se utilizará la misma matriz estandarizada de pesos del método VIKOR.
4. Definir la solución ideal: Donde de los valores cercanos se definen con la siguiente ecuación:

$$A^* = \left\{ \max_i v_{ij} \mid j \in J), (\min_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (24)$$

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, v_3^*\}$$

Donde:

- A^* → Son los valores positivos ideales.
- A^- → Valores negativos ideales.
- V → Valores de la matriz normalizada de pesos.

5. Calcular diferencias de mediciones: Se determina las distancias promedio entre las alternativas mediante la ecuación:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \tag{25}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \tag{26}$$

Donde:

S_i^* → Separaciones positivas.
 S_i^- → Separaciones negativas.

6. Calcular la cercanía a la solución ideal: se calcula los valores más cercanos a los relativos de las opciones con la ecuación (27):

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \tag{27}$$

Donde:

C_i^* → Coeficiente de proximidad relativa.

7. Establecer la jerarquía de las preferencias: Se seleccionará la mejor opción, considerando que el valor mayor ocupará la primera posición y posteriores a este según el valor obtenido.

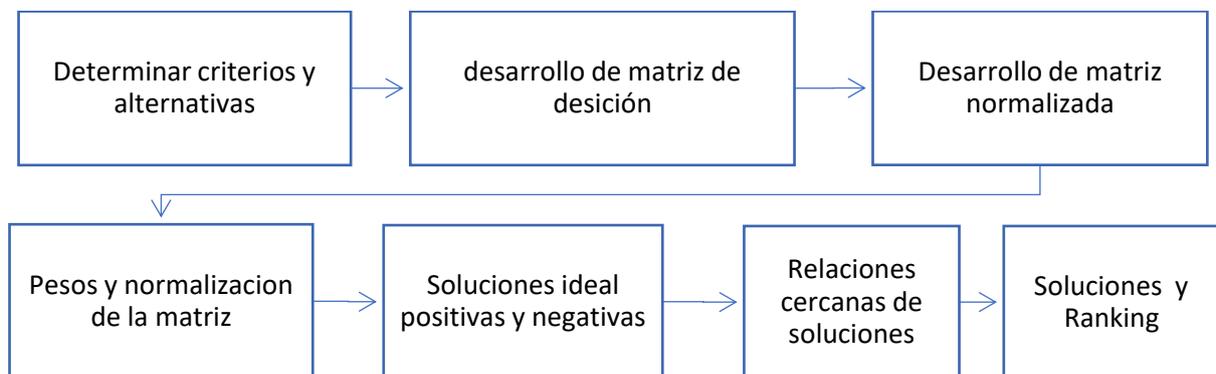


Figura 7. Método Topsis.

Fuente: (Kolios, Mytilinou, Lozano Minguez, & Salonitis, 2016)

Método PROMETHEE II

Una extensión de PROMETHEE II (Gul, Celik, Gumus, & Guneri, 2017) es (EXPROM2): método de (organización de clasificación de preferencia para la evaluación de enriquecimiento). Se basa en el concepto de soluciones ideal y anti ideal. El rendimiento relativo de una alternativa sobre la otra se define mediante dos índices de preferencia. El primero es el índice de preferencia débil basado en la función de preferencia agregada teniendo en cuenta los pesos de los criterios según lo determinado en el método. El segundo es un índice de preferencia estricto basado en la noción de ideal y anti ideal

Los valores ideales y anti-ideales se derivan directamente de la matriz de decisión, y refleja los límites extremos para un criterio particular. Un índice de preferencia total también se calcula sumando los índices de preferencia estrictos y débiles, lo que da una medición precisa de la intensidad de referencia de una alternativa sobre la otra considerando todos los criterios.

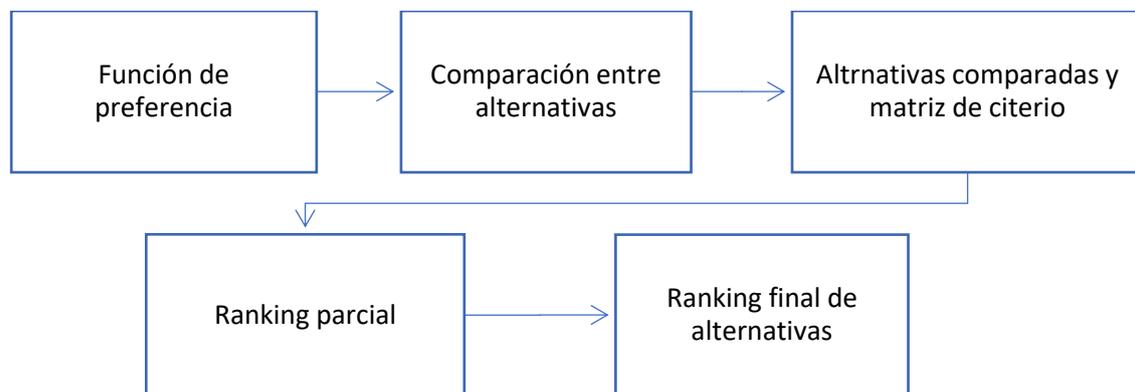


Figura 8. Método Promethee II

Fuente: (Kolios, Mytilinou, Lozano Minguez, & Salonitis, 2016)

Según la figura 8. (Kolios, Mytilinou, Lozano Minguez, & Salonitis, 2016) muestran un procedimiento de obtener la opción ideal de manera representativa, y se procederá de la manera siguiente:

1. Desarrollo de matriz de decisión: Se usará la misma matriz normalizada del método VIKOR.
2. Normalización de matriz de decisión: Se usará la misma matriz normalizada del método VIKOR.
3. Calcular funciones de diferencia para cada criterio: forma común.
 - a. Se busca la diferencia entre el valor de dos alternativas.
 - b. Se reemplaza los valores de las matrices de diferencias por código binario, usando el 0 y 1 como se determine los criterios.

$$C_k = \begin{bmatrix} Ch1 - Ch1 & Ch1 - Ch2 & Ch1 - Ch3 \dots \\ Ch2 - Ch1 & Ch2 - Ch2 & Ch2 - Ch3 \dots \\ Ch3 - Ch1 & Ch3 - Ch2 \dots & \dots \\ Ch4 - Ch1 \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

4. Calcular índice de preferencia agregada: aplicamos la ecuación (28):

$$\Pi(i, i') = \left[\frac{\sum_{j=1}^m W_j * P_j(i, i')}{\sum_{j=1}^m W_j} \right] \tag{28}$$

Donde:

- Π → Matriz de preferencias.
- $\sum_{j=1}^m$ → Sumatoria de valores coincidentes de cada matriz de preferencia.
- W → Peso de cada criterio.
- P_j → Número de criterios mayores que 0

5. Determinación de flujos positivos y negativo con las ecuaciones (29) y (30):

$$\phi^+(i) = \sum_{i'=1}^n \Pi / n \tag{29}$$

$$\phi^-(i) = \sum_{i'=1}^n \Pi / n \tag{30}$$

Donde:

- ϕ^+ → Flujo positivo.
- ϕ^- → Flujo negativo.
- $\sum_{i'=1}^n \Pi / n$ → Sumatoria de valores dividido para el número de criterios.

$$n \rightarrow 3.$$

6. Determinación de flujo neto de superación con las ecuaciones:

$$\phi(Ci) = (\phi^+) - (\phi^-) \tag{31}$$

$$\phi(N) = [(Ci) + (Cj) + (Ck)]/7 \tag{32}$$

Donde:

$\phi(Ci) \rightarrow$ Flujo neto de superación para cada criterio.

$\phi(N) \rightarrow$ Flujo neto de superación total.

7. Ranking: De los valores obtenidos, los valores más altos son mejores y decrecientemente para todas las opciones.

Es un método en el cual se amplía las aplicaciones en valores de atributo expresado en intervalos que determinan condiciones reales de en rangos mayores, iguales o menores señalados por números de color, blanco, gris y negro respectivamente, de los cuales se puede criterios de decisión para la elección de materiales en función a las virtudes de atributos de materiales

Método COPRAS

Como menciona (Chérrez-Troya, Martínez-Gómez, Peralta-Zurita, & Llanes-Cedeño, 2018) COPRAS es el método que busca los mejores valores que orientan a los resultados ideales, aplicando el algoritmo del método que se obtienen con los siguientes pasos:

1. Desarrollo de la matriz de decisión: Se usará la misma matriz normalizada del método VIKOR.
2. Definir matriz de decisión normalizada: ejecutamos la ecuación (33):

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \tag{33}$$

Donde:

- r_{ij} → Matriz de decisión normalizada.
- a_{ij} → Valor de cada criterio.
- $\sum_{i=1}^m a_{ij}$ → Sumatoria de los valores de los criterios.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots \\ r_{21} & r_{22} & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots \end{bmatrix}$$

3. Matriz estandarizada de pesos: Se ejecuta la ecuación (34):

$$V_{ij} = (w_i)(r_{ij}) \tag{34}$$

Donde:

- V_{ij} → Matriz estandarizada de pesos.
- W_i → Pesos de cada criterio.
- R_{ij} → Valores de la matriz normalizada.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots \end{bmatrix}$$

4. Obtención de pesos normalizados: se dará peso a cada criterio según propiedad comparada con la propiedad que se quiere alcanzar, con las ecuaciones (35) y (36):

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^m y_{+ij} \tag{35}$$

$$S_{-i} = \sqrt{7} \tag{36}$$

Donde:

- S_{+i} → Peso normalizado positivo.
- S_{-i} → Peso normalizado negativo.
- $\sum_{j=1}^m y_{+ij}$ → Sumatoria de los pesos positivos de cada criterio
- $\sqrt{7}$ → Pesos normalizados del criterio de precio.

5. Calcular índice de rendimiento de cada alternativa: Se busca un grado de satisfacción de cada alternativa con la ecuación (37):

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{j=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{-i}}} \tag{37}$$

Donde:

- Q_i → Prioridad relativa.
- S_{+i} → Peso normalizado positivo.
- S_{-i} → Peso normalizado.

6. Calculo de rendimiento por niveles: Se plantea comparar las cualidades de cada alternativa buscando la más eficiente por el porcentaje con la ecuación (38):

$$U_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100 \tag{38}$$

Donde:

- U_i → Rendimiento
- Q_{oi} → Prioridad
- Q_{max} → Prioridad máxima.

7. Ranking: se considera como mejor opción el de valor más alto.

Una variedad cada vez mayor de materiales está disponible hoy en día, cada uno con sus propias características, aplicaciones, ventajas y limitaciones al elegir el material adecuado, no cuenta una gran cantidad de material atributos de selección. Este artículo presenta un procedimiento lógico para la selección de materiales para una ingeniería dada

solicitud. El procedimiento se basa en un método de clasificación de compromiso mejorado considerando los atributos de selección de materiales y su importancia relativa para la aplicación considerada, (Venkata Rao, 2008).

Otro método de selección de materiales que propone (Milani, Eskicioglu, Robles, Bujun, & Hosseini-Nasab, 2011) que el avance de los enfoques interdisciplinarios en la ingeniería moderna de hoy, los esfuerzos actuales en optimizar el diseño de materiales compuestos que incluye buscar protocolos de selección de materiales que puedan (1) considerar simultáneamente una serie de criterios de costos mecánicos / eléctricos / químicos sobre un conjunto de opciones de materiales alternativos, y (2) tener muy en cuenta los aspectos ambientales de los productos finales, incluido el reciclaje opciones de eliminación de la vida útil. En este trabajo, además de una revisión de algunos avances experimentales y metodológicos recientes en las áreas anteriores, una nueva aplicación de criterios de decisión múltiple para tratar conflictos entre la selección de material y el ciclo de vida.

Además, nuevo enfoque de optimización en materiales selección mediante el uso de análisis estadísticos como regresión lineal múltiple (MLR), respuesta la metodología de superficie (RSM) y el método Taguchi (TM) se propone en este estudio. Los métodos propuestos podría evaluar los criterios o atributos en la selección de materiales con precisión mediante el análisis de la relación de los parámetros, bondad de ajuste, correlación, análisis de varianza (ANOVA), determinación del coeficiente y los criterios significativos en objetivo deseado del problema de diseño. (Noryani, Sapuan, & Mastura, 2018)

Los estudios de (Ahmed Ali, Sapuan, Zainudin, & Othman, 2015) quienes orientan que el sistema de selección de materiales convencionales fue reemplazado por herramientas de software mediante la tecnología de cambio rápido. Las preocupaciones y normativas medioambientales ampliamente entre la industria, principalmente en la producción

automotriz, exige a explorar los materiales de fibra natural como un reemplazo de los materiales sintéticos que es de uso común.

Otro caso interesante a tener presente es de (Ribeiro, Peças, & Henriques, 2013) que plantea el hoy en día, la sociedad obliga a los diseñadores a desarrollar productos más sostenibles. Eco – diseño dirige el producto y diseño hacia el objetivo de reducir los impactos ambientales. Dentro del Eco - diseño, juega la selección de materiales un papel importante en el costo del producto y el impacto ambiental que ocasiona en el ciclo de vida del producto, (Chatterjee, Manikrao Athawale, & Chakraborty, Selection of materials using compromise ranking and outranking methods, 2009) la selección de materiales adecuados para diferentes componentes es una de las tareas más desafiantes en su diseño y en el desarrollo del producto en diversas aplicaciones para ingeniería.

Hacia el final de un proceso de diseño, los diseñadores pueden enfrentar una serie de materiales candidatos con diferentes atributos que son difíciles de distinguir con la ayuda de las bases de datos disponibles. (Shanian, Milani, Carson, & Abeyaratne, 2008) la importancia de los materiales para el proceso de diseño de ingeniería ya ha sido bien reconocido, elección de un material apropiado para un producto en particular es una de las tareas críticas para los diseñadores. (Chatterjee & Chakraborty, Material selection using preferential ranking methods, 2011)

Es indispensable la investigación de materiales propuestos para incluirlo entre las posibles alternativas de materiales a evaluar en comparación al de uso actual de la manija de apertura interior de puerta de vehículo.

También los resultados se podrán evaluar de manera cualitativa desde el enfoque productivo y financiero, debido a que hay materiales difíciles de procesar y complicados de

reciclar, por otro lado, el costo de la materia prima puede ser una desventaja para un material que tenga una prestación ideal para la función que se lo requiere, el mismo que es considerado en el método MCDM, sin embargo lo que se busca en el estudio es satisfacer una necesidad cumpliendo todos los requerimientos de funcionamiento, calidad, y costos para lo cual las herramientas de MCDM podrían esclarecer comparando al tabular todos sus resultados.

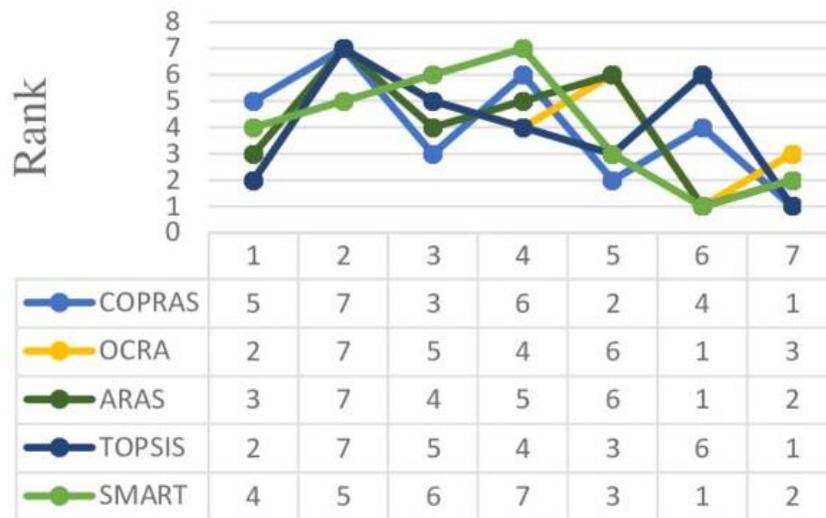


Figura 9. Resultados comparativos de variables MCDM.
Fuente: (Martinez-Gomez, 2016)

Coeficiente de correlación SPEARMAN

Posterior al estudio realizado con métodos multicriterio se considerara una valoración adicional que corrobore la similitud de resultados obtenidos de los métodos multicriterio, realizando la correlación de Spearman como menciona (Martinez, Tuya, & Martinez, 2009) el coeficiente de correlación de Spearman no debe utilizarse de manera comparativa entre dos métodos que tiene como finalidad, buscar resultados de un estudio de diferentes maneras, en otras palabras, se utiliza para dimensionar el nivel de semejanza entre dos cantidades.

Como lo expone (Mondragon, 2014) respecto a los análisis de correlación, son de aporte para determinar la intensidad que se observa entre dos datos, considerando a la correlación de Spearman como técnica no paramétrica, efectivos en muestras de menor cantidad de datos para disminuir cantidad de datos excesivos, obteniendo un resultado de rangos sin mucha dispersión.

Dentro de la obtención del coeficiente de correlación de Spearman, cabe recalcar que los resultados se obtendrán desde -1 hasta +1 considerando el 0, siendo este último un indicador de no existir correlación alguna, a diferencia de los otros limites, en este caso se debe considerar correlación positiva a los valores cercanos a 1, y correlación negativa a los cercanos a -1, obteniéndose la correlación de Spearman con la siguiente ecuación:

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum_y d^2}{n(n^2 - 1)} \quad (39)$$

Donde:

- R_s → Coeficiente de correlación de Spearman
- $\sum_y d^2$ → Suma de diferencias de los factores X y Y elevadas al cuadrado.
- n → Cantidad de variables.

Simulación

Para realizar una simulación requiere el desarrollo del modelo CAD 3D de una manija de apertura interior de puerta de vehículo con geometría similar a la de un vehículo Suzuki sidekick, el mismo que se le asignara el material del cual está fabricado, que están en la plataforma de software Autodesk Inventor 2019 (ABS).

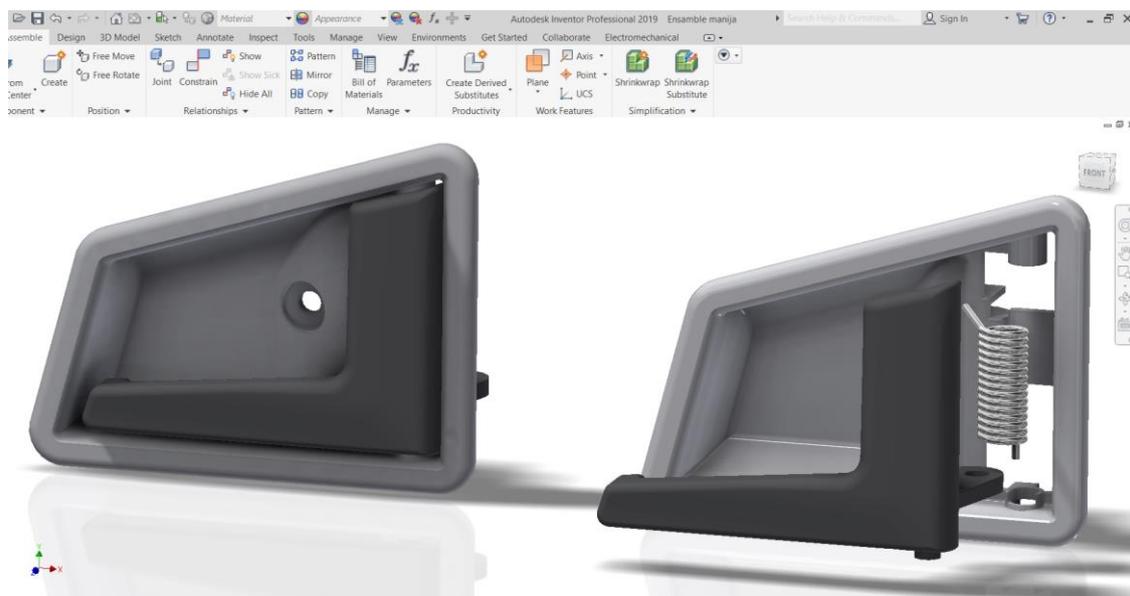


Figura 10. Modelado 3D de manija interior de vehículo

Para las consideraciones de simulación se tomarán en cuenta los valores de los materiales con las propiedades que dispone el software que en este caso son conocidos como materiales genéricos.

Como lo menciona (Rios & Roncancio, 2007) un buen diseño debe ser considerado con el coeficiente o factor de seguridad que es el resultado entre el valor calculado y el valor requerido, esto quiere decir que siendo el valor calculado superior al valor requerido el coeficiente de seguridad será superior a 1 garantizando la resistencia del diseño calculado, teniendo las consideraciones de ingeniería que un F.S. muy elevado es sobredimensionar el diseño, áreas, etc.

Experimentación

Ensayo de vida útil: se basa en accionar de manera cíclica una manija de apertura de puertas con el uso de motor reductor que simule el uso normal para determinar el deterioro de manera visual en el caso de presentar rotura, desgaste, presencia de virutas del material o deformaciones permanentes que eviten el uso y funcionamiento correcto de la manija.

Ensayo de arrastre: Se realizará un experimento, aplicando una carga puntual de apertura que aumentará hasta la ruptura de la misma mediante estiramiento manual con un dinamómetro para determinar la carga máxima de resistencia previo a su rotura.

Estos dos ensayos a realizarse no son pruebas estandarizadas, por lo cual sirven como referencia para evaluación del comportamiento del producto actual.

Se evaluarán los resultados de los ensayos obtenidos por los fabricantes de la materia prima del material actual y del ganador detallado en la tabla 8 por los diferentes métodos que se están empleando para la selección de un material alterno.

Tabla 8.
Listado de ensayos según norma ISO

PROPIEDADES	NORMA ISO	UNIDADES
Densidad	1183	(g/cm ³)
Índice de fluidez	1133	(gr/10min)
Módulo de flexión	ISO 178	Gpa
Resistencia a flexión	ISO 178	Mpa
Módulo de elasticidad	ISO 527-2/1A	Gpa
Resistencia a tracción	ISO 527-2/1A	Mpa
Temperatura de reblandecimiento (Vicat)	ISO 306	°C

Fuente: (Mariano, <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>, 2011)

Los resultados de los ensayos anteriormente servirán para validar los resultados obtenidos den la simulación CAD verificando los resultados de este estudio son aptos para proponer material alterno.

Método

El método de estudio se propone en tres etapas: la primera es el uso de selección mediante toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM) usando algunas técnicas que contribuyen a la elección acertada, la segunda etapa es evaluar el material ganador en el MCDM mediante simulación computarizada en escenarios iguales, estableciendo resultados comparativos con el material actual, la tercera etapa consiste en evaluar los resultados de pruebas experimentales con el material elegido en el MCDM, obteniendo resultados que serán comparados con las diferentes probetas y los resultados de las etapas anteriores.

Como principal objetivo de la investigación esta seleccionar un material alternativo para la manija de apertura interior de puerta de vehículo, empleando varios métodos de obtención de resultados que prueban de manera cuantitativa y cualitativa la selección ideal de materiales alternos con las siguientes consideraciones:

1. Establecer las características del material actual con el que se elabora la manija de puerta interna de vehículo.
2. Determinar 7 materiales con características similares al de uso actual en la fabricación de la manija de puerta interna de vehículo.
3. Uso de MCDM para elegir el material ideal.
4. Realizar simulaciones en software del material elegido.
5. Revisar los resultados experimentales, validando la simulación de tracción con el material ganador

A continuación, se determinará los requerimientos técnicos del material para su correcta funcionalidad en manija interna de puerta de vehículo de tal manera que se conozca su funcionamiento y las condiciones a las que está sometida.

Resorte de Torsión.

Datos de resorte de torsión

Es necesario conocer el comportamiento de los elementos que conforman el mecanismo de manija de apertura interior de puerta de vehículo, considerando ello y tomando las ecuaciones (1) y (2) se determina el índice del resorte o relación de carga que genera en función a la carga de:

$$I = 1 \text{ a } 5.5 \text{ aprox.}$$

Donde:

$I \rightarrow$ Índice del resorte

Al ser un índice de 5.5 a 1 se tiene que considerar que el resorte tiene dos puntos de apoyo, en este caso la reacción en cada punto será aproximadamente 2.75 veces la carga que reciba el resorte en cada punto para las simulaciones.

Características del ABS

En el medio actual existe una amplia gama de materiales con características semejantes, mejoradas y diferentes en el uso de plásticos en autopartes, sin embargo, dichas características que las diferencias del resto de materiales están relacionadas con sus propiedades mecánicas, físicas, químicas, simples de procesarlos, disponibilidad en el medio, ecológicas, costos, reciclabilidad entre otras variables que ofrecen alternativas de materiales para esta aplicación, en este caso vamos a entender la función de una manija de apertura interna de puerta de vehículo, que es esencialmente químicas, mecánicas y estéticas, las mismas que serán evaluadas según la exigencia que requiere una manija de apertura interna de puertas de vehículos en sus condiciones de trabajo.

Como mencionan (Palmer-Martin & Valera Nuñez, 1997) la alta aplicación de plásticos en la industria automotriz, tomando en cuenta el uso y la prestación de cada ítem, en el caso de ser de uso interno, externo, expuestos a calor, manipulación de usuario, etc. es por ello que las características esenciales de la manija interior de apertura interna de puerta para vehículo son:

- Termoplástico (resistente al calor)
- Buena rigidez y firmeza
- Resistente al impacto
- Buena resistencia dinámica (flexión)
- Sin presencia de envejecimiento (estéticamente aceptable)

se tiene que tener presente lo requerido en el literal 1 de la p. 59, se consideran aptos para la fabricación de una manija de apertura interna de puertas de vehículos, tomando en cuenta que materiales después de uso considerable puede mostrar fallas permanentes como deformaciones por fatiga, presencia de fisuras, envejecimiento prematuro o rotura por estar expuestos a manipulación, golpes, aplicaciones de esfuerzo de tracción por su funcionalidad, por este motivo es necesario considerar estos particulares para mejorar la calidad de prestación de la materia prima.

Densidad

La densidad es una magnitud que se da por la relación entre la masa y el volumen de una sustancia, como lo manifiesta (Roca, 2005) una de la clasificación que más se utiliza en las propiedades físicas de los polímeros es la densidad, ya que esta propiedad es un buen indicador de las propiedades mecánicas que puede ofrecer un polímero debido al empaquetamiento de las moléculas que se aprecian en la dureza, flexión, tracción, torsión, entre otras propiedades que ofrecen los polímeros por su densidad.

Índice de fluidez (MFI)

El índice de fluidez (MFI) es una propiedad que determina la viscosidad del material como lo menciona (Lerma, 2017) que esta enlazado con el peso molecular del material, el mismo que están relacionado con las propiedades del material, siendo este un indicio para mantener las propiedades mecánicas del material, no obstante (Lerma, 2017) puntualiza también que el índice de fluidez no es un indicador de procesabilidad, pero nos da una señal a ser un material que llenara el molde de inyección de manera más rápida y con presiones menores.

Esfuerzo de tracción

Se puede considerar al ensayo de tracción como uno de los fundamentales, ya que indica el comportamiento que del material cuando está expuesto a fuerzas exteriores que tratan de estirarlo, aumentando la fuerza hasta que llega a romperse, de esta manera se puede determinar el ensayo de esfuerzo – deformación, como lo menciona (Meza-de Luna, Moreno-Virgen, Beltrán-García, Villarreal-Varela, & Cardona-Avalos, 2017) en algunos casos un material puede tener un mayor módulo de elasticidad y ser inversamente proporcional con la resistencia a la rotura.



Figura 11. Diagrama tensión-deformación en ensayo de tracción

Fuente: (<http://www.zwick.es>, 2018)

Esfuerzo de flexión

El ensayo de flexión se usa principalmente para determinar la rigidez del material, el mismo que se utiliza bastante en los polímeros para determinar valores medibles de su capacidad de resistir cargas perpendiculares al eje longitudinal de la muestra a ensayar.

Como menciona (Aguilar, y otros, 2018) una flexión simple que se aplicaría al estudio presente que se da cuando la deformación del eje del elemento, en este caso la manija de apertura de puerta que es flexionada el momento de abrir la puerta del vehículo de manera curva en el mismo plano del esfuerzo y el momento flector que se genera, este último hace que se generen tensiones en el punto de apoyo, en este caso en la zona de contacto de la manija donde se puntualiza el fenómeno mecánico.

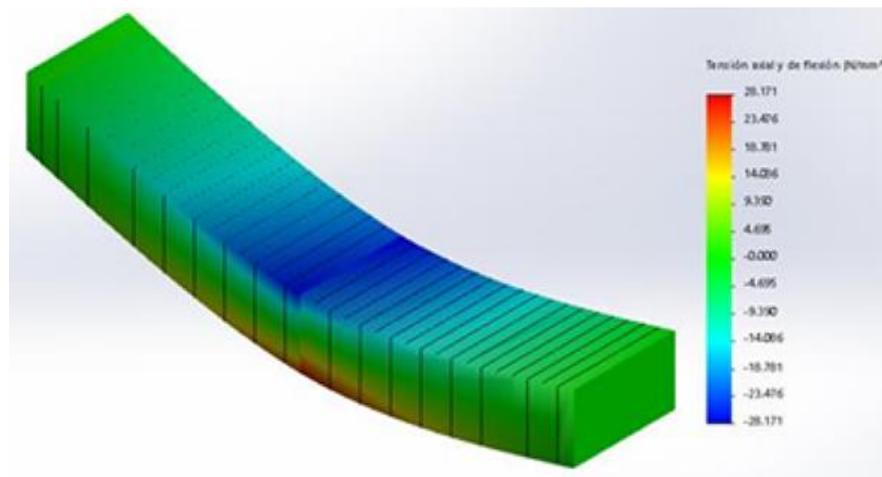


Figura 12. Ensayo de flexión

Fuente: (Armas-Ruiz, Ruiz-Galarza, Piován, Carrión-Matamoros, & Narváez-Muñoz, 2016)

Temperatura de reblandecimiento (VICAT)

Como lo menciona (Gavorskis Cárdenas, 2016) la temperatura VICAT o de reblandecimiento es un ensayo termodinámico que se enfoca en conocer hasta que temperatura un material es utilizable, para este estudio aplicaría tener como un punto a considerarse, ya que el ambiente al que está un vehículo al intemperie, puede tener

temperaturas considerable en tiempo pronunciados, por ello es necesario tener un margen de resistencia térmica de los plásticos al interior del vehículo.

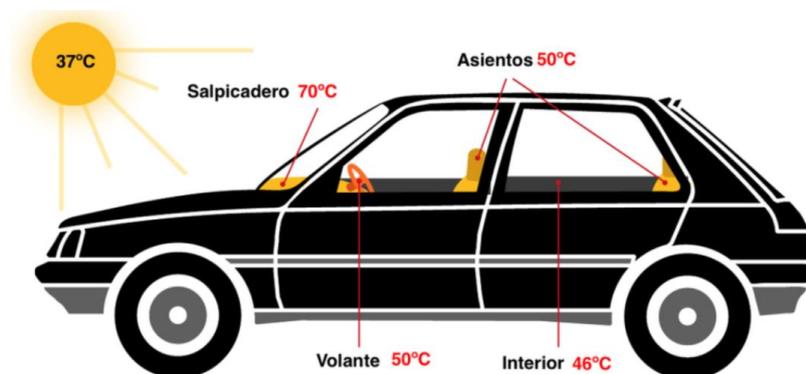


Figura 13. Temperaturas internas del vehículo.
Fuente: (Highmotor, 2018)

Costo

Estos valores de costo han sido considerados de varios distribuidores a nivel nacional como Quimasa, Dicter, Asoquim, etc. y aproximaciones de los costos de importación revisado de (SENAE, 2018), todos ellos considerados con valor por kilogramo de material.

Selección de materiales

A continuación, se indicarán las características a evaluar de los 7 materiales propuestos como candidatos para uso alternativo en la fabricación de manija interior de apertura de puerta de vehículo, considerando que el uso de un material alternativo debe dar las propiedades requeridas y calidad que garantice una vida útil de su uso:

Propiedades del ABS

Tabla 9.
Propiedades del ABS

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	(\$ / Kg)	2.82
Físicas	Densidad (Kg/m ³)	1.04
	MFI (gr/10min)	28.7
Mecánicas	Módulo de flexión (Gpa)	2
	Resistencia a la flexión (Mpa)	61
	Módulo de elasticidad (GPa)	1.8
	Resistencia a la tracción (MPa)	31.2
Térmicas	Vicat (°C)	101

Fuente: (www.chimeicorp.com, 2018); (www.ulprospector.com, 2018)

Propiedades del PP

Tabla 10.
Propiedades del PP

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	(\$ / Kg)	2.21
Físicas	Densidad (Kg/m ³)	0.95
	MFI (gr/10min)	29.9
Mecánicas	Módulo de flexión (Gpa)	1.13
	Resistencia a la flexión (Mpa)	44
	Módulo de elasticidad (GPa)	1.413
	Resistencia a la tracción (MPa)	17
Térmicas	Vicat (°C)	152

Fuente: (www.campusplastics.com, 2018); (https://www.ulprospector.com, 2018)

Propiedades del PS

Tabla 11.
Propiedades del PS

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	(\$ / Kg)	2.91
Físicas	Densidad (Kg/m ³)	1.05
	MFI (gr/10min)	12
Mecánicas	Módulo de flexión (Gpa)	1.6
	Resistencia a la flexión (Mpa)	80
	Módulo de elasticidad (GPa)	1.551
	Resistencia a la tracción (MPa)	56
Térmicas	Vicat (°C)	145

Fuente: (www.quiminet.com, 2019); (www.ulprospector.com, 2018)

Propiedades del PC

Tabla 12.
Propiedades del PC

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	(\$ / Kg)	7.51
Físicas	Densidad (Kg/m ³)	1.06
	MFI (gr/10min)	11
Mecánicas	Módulo de flexión (Gpa)	2.1
	Resistencia a la flexión (Mpa)	34
	Módulo de elasticidad (GPa)	1.559
	Resistencia a la tracción (MPa)	20
Térmicas	Vicat (°C)	103

Fuente: (www.bayplastics.co.uk, 2018); (www.ulprospector.com, 2018)

Propiedades del PA 6

Tabla 13.
Propiedades del PA

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	(\$ / Kg)	5.9
Físicas	Densidad (Kg/m ³)	1.1
	MFI (gr/10min)	9
Mecánicas	Módulo de flexión (Gpa)	1.58
	Resistencia a la flexión (Mpa)	5
	Módulo de elasticidad (GPa)	1.45
	Resistencia a la tracción (MPa)	75
Térmicas	Vicat (°C)	235

Fuente: (www.quadrantplastics.com, 2018); (www.campusplastics.com, 2018)

Propiedades del PBT

Tabla 14.
Propiedades del PBT

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	(\$ / Kg)	4.92
Físicas	Densidad (Kg/m ³)	1.31
	MFI (gr/10min)	23
Mecánicas	Módulo de flexión (Gpa)	2.04
	Resistencia a la flexión (Mpa)	79
	Módulo de elasticidad (GPa)	2.6
	Resistencia a la tracción (MPa)	58
Térmicas	Vicat (°C)	225

Fuente: (www.sabic.com, 2018); (www.polyram-group.com, 2019);
(www.ulprospector.com, 2018)

Propiedades del HDPE

Tabla 15.
Propiedades del HDPE

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	(\$ / Kg)	1.25
Físicas	Densidad (Kg/m ³)	0.97
	MFI (gr/10min)	21.5
Mecánicas	Módulo de flexión (Gpa)	1.70
	Resistencia a la flexión (Mpa)	32
	Módulo de elasticidad (GPa)	1.106
	Resistencia a la tracción (MPa)	48
Térmicas	Vicat (°C)	127

Fuente: (www.fpcusa.com, 2018); (www.ulprospector.com, 2018)

Propiedades del PVC

Tabla 16.
Propiedades del PVC

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	(\$ / Kg)	3.1
Físicas	Densidad (Kg/m ³)	1.315
	MFI (gr/10min)	17
Mecánicas	Módulo de flexión (Gpa)	1.865
	Resistencia a la flexión (Mpa)	84
	Módulo de elasticidad (GPa)	2.7
	Resistencia a la tracción (MPa)	30
Térmicas	Vicat (°C)	92

Fuente: (www.jq.com.ar, 2018); (www.upv.es, 2018); (www.smithmetal.com, 2018); (www.bayplastics.co.uk, 2018)

A continuación, se detalla la tabla de variables y niveles que se usara para agrupar las diferentes características que se tomaran de los materiales obtenidos de diversos fabricantes y fichas técnicas disponibles en web, para una referencia respecto a sus propiedades

Tabla 17.
Propiedades de los materiales propuestos

VARIABLES		PROPIEDADES							
PROPIEDADES	CARACTERISTICA	ABS	PP	PS	PC	PA	PBT	HDPE	PVC
Costo	(\$ / Kg)	2.82	2.21	2.91	7.51	5.9	4.92	1.25	3.1
Físicas	Densidad: ISO 1183 (Kg/m ³)	1.04	0.95	1.05	1.06	1.1	1.31	0.97	1.31
	MFI: ISO 1133 (gr/10min)	28.7	29.9	12	11	9	23	21.5	5 17
Mecánicas	Módulo de flexión: ISO 178 (Gpa)	2	1.13	1.6	2.1	1.58	2.04	1.7	1.86
	Resistencia a la flexión: ISO 178 (Mpa)	61	44	80	34	55	79	32	5 84
	Módulo de elasticidad: ISO 527 (GPa)	1.8	1.413	1.551	1.559	1.45	2.6	1.106	2.7
	Resistencia a tracción: ISO 527 (MPa)	31.2	17	56	20	75	58	48	30
Térmicas	Vicat: ISO 306 (°C)	101	152	145	103	235	225	127	92

Fuente: (www.quiminet.com, 2018); (www.chimeicorp.com, 2018); (www.sabic.com, 2018); (www.bayplastics.co.uk, 2018); (https://www.ulprospector.com, 2018) (Mariano, http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com, 2011); (www.smithmetal.com, 2018); (www.ulprospector.com, 2018); (www.campusplastics.com, 2018)

Es importante tener presente que el material **ABS** se encuentra solo como referencia, en el siguiente estudio no estará para la selección multicriterio.

Ahora que se tiene el listado y propiedades de materiales propuestos y la información del material actual (ABS) se procede con la selección multicriterio (MCDM)

Elaboración de método de ponderación y calcular pesos

Calculo de Método de Entropía

Una vez obtenidos las propiedades de cada material, esta información será usada para el desarrollo de los métodos de ponderación, valoración, y organización para el desarrollo de la matriz unificada.

Tabla 18.
Matriz de criterios

Material	\$ / Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Mod. flex (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Mod. Elas. (GPa)	Res. tracción (MPa)	Vicat (°C)
ABS	2.82	1.04	28.7	2	61	1.8	31.2	101
PP (M1)	2.21	0.95	29.9	1.13	44	1.413	17	152
PS (M2)	2.91	1.05	12	1.6	80	1.551	56	145
PC (M3)	7.51	1.06	11	2.1	34	1.559	20	103
PA(M4)	5.9	1.1	9	1.58	55	1.45	75	235
PBT (M5)	4.92	1.31	23	2.04	79	2.6	58	225
HDPE (M6)	1.25	0.97	21.5	1.7	32	1.106	48	127
PVC (M7)	3.1	1.315	17	1.865	84	2.7	30	92

La tabla 18 detalla los valores que serán utilizados para los métodos multicriterio, valoraciones y ponderación, para generalizar la matriz de criterio, cada material será llamado como **M** y numerado según al material que se le quiera mencionar, y los criterios serán valorados con la letra **w** según los diferentes criterios que serán evaluados.

Para el desarrollo del método entropía se considera el orden planteado desde el literal 1. de la p. 35:

1. Matriz de decisión.

Datos obtenidos de las características de los diferentes materiales detallados a continuación.

Datos de la tabla 18 para la matriz X:

$$X = \begin{bmatrix} 2.21 & 0.95 & 29.9 & 1.13 & 44 & 1.413 & 17 & 152 \\ 2.91 & 1.05 & 12 & 1.6 & 80 & 1.551 & 56 & 145 \\ 7.51 & 1.06 & 11 & 2.1 & 34 & 1.559 & 20 & 103 \\ 5.9 & 1.1 & 9 & 1.58 & 55 & 1.45 & 75 & 235 \\ 4.92 & 1.31 & 23 & 2.04 & 79 & 2.6 & 58 & 225 \\ 1.25 & 0.97 & 21.5 & 1.7 & 32 & 1.106 & 48 & 127 \\ 3.1 & 1.315 & 17 & 1.865 & 84 & 2.7 & 30 & 92 \end{bmatrix}$$

2. Normalización de la matriz:

Se aplica la ecuación (3), con los valores conseguidos se formará la matriz P_{ij} .

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0.079 & 0.123 & 0.242 & 0.094 & 0.108 & 0.114 & 0.056 & 0.141 \\ 0.105 & 0.135 & 0.097 & 0.133 & 0.196 & 0.125 & 0.184 & 0.134 \\ 0.270 & 0.137 & 0.089 & 0.175 & 0.083 & 0.126 & 0.066 & 0.095 \\ 0.212 & 0.142 & 0.073 & 0.132 & 0.135 & 0.117 & 0.247 & 0.218 \\ 0.177 & 0.169 & 0.186 & 0.170 & 0.194 & 0.210 & 0.191 & 0.209 \\ 0.045 & 0.125 & 0.174 & 0.141 & 0.078 & 0.089 & 0.158 & 0.118 \\ 0.112 & 0.170 & 0.138 & 0.155 & 0.206 & 0.218 & 0.099 & 0.085 \end{bmatrix}$$

3. Calculo de valor de Entropía.

Aplicando la ecuación (4) y posteriormente la ecuación (5) con la constante K .

Se obtiene los valores (e) de cada criterio siguiente:

$$e_1 = 0.931 \quad ; \quad e_2 = 0.996 \quad ; \quad e_3 = 0.96 \quad ; \quad e_4 = 0.992$$

$$e_5 = 0.966 \quad ; \quad e_6 = 0.977 \quad ; \quad e_7 = 0.942 \quad ; \quad e_8 = 0.972$$

4. Determinación de grado de divergencia.

Se aplica la ecuación (6) para obtener el valor d siguiente:

$$d_1 = 1 - 0.931 = 0.069 \quad d_2 = 1 - 0.996 = 0.004 \quad d_3 = 1 - 0.96 = 0.04$$

$$d_4 = 1 - 0.992 = 0.008 \quad d_5 = 1 - 0.966 = 0.034 \quad d_6 = 1 - 0.977 = 0.026$$

$$d_7 = 1 - 0.942 = 0.058 \quad d_8 = 1 - 0.972 = 0.028$$

5. Obtención de pesos.

Se usa la ecuación (7) siendo w los pesos de los criterios de cada material d_j son los grados de divergencia, dividido para su respectiva sumatoria.

$$\sum_{j=1}^m d_j = 0.069 + 0.004 + 0.04 + 0.008 + 0.034 + 0.026 + 0.058 + 0.028 = 0.267$$

$$w_1 = 0.26 \qquad w_2 = 0,014 \qquad w_3 = 0.151 \qquad w_4 = 0.031$$

$$w_5 = 0.127 \qquad w_6 = 0.096 \qquad w_7 = 0.216 \qquad w_8 = 0.106$$

Tabla 19.
Determinación de pesos por criterio para entropía

w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
0.26	0.014	0.151	0.031	0.127	0.096	0.216	0.106

Calculo de Método de la Desviación Estándar

1. Matriz de decisión.

Se elabora con la misma matriz del método entropía.

Valores de la matriz de decisión.

$$X = \begin{bmatrix} 2.21 & 0.95 & 29.9 & 1.13 & 44 & 1.413 & 17 & 152 \\ 2.91 & 1.05 & 12 & 1.6 & 80 & 1.551 & 56 & 145 \\ 7.51 & 1.06 & 11 & 2.1 & 34 & 1.559 & 20 & 103 \\ 5.9 & 1.1 & 9 & 1.58 & 55 & 1.45 & 75 & 235 \\ 4.92 & 1.31 & 23 & 2.04 & 79 & 2.6 & 58 & 225 \\ 1.25 & 0.97 & 21.5 & 1.7 & 32 & 1.106 & 48 & 127 \\ 3.1 & 1.315 & 17 & 1.865 & 84 & 2.7 & 30 & 92 \end{bmatrix}$$

2. Cálculo de Desviación Estándar.

Se trabaja con la ecuación (8) para obtener la desviación estándar σ_j que será tomada posteriormente como constante.

$$\bar{x}_1 = 3.971 \quad \bar{x}_2 = 1.108 \quad \bar{x}_3 = 17.629 \quad \bar{x}_4 = 1.716$$

$$\bar{x}_5 = 28.286 \quad \bar{x}_6 = 1.768 \quad \bar{x}_7 = 43.429 \quad \bar{x}_8 = 154.14$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i1} - \bar{x}_1)^2 = 29.16 \quad \sum_{i=1}^m (x_{i2} - \bar{x}_2)^2 = 0.13$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i3} - \bar{x}_3)^2 = 344.89 \quad \sum_{i=1}^m (x_{i4} - \bar{x}_4)^2 = 0.65$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i5} - \bar{x}_5)^2 = 3057.43 \quad \sum_{i=1}^m (x_{i6} - \bar{x}_6)^2 = 2.32$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i7} - \bar{x}_7)^2 = 2815.71 \quad \sum_{i=1}^m (x_{i8} - \bar{x}_8)^2 = 18860.86$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{29.16}{7}} = 2.084 \quad \sigma_2 = \sqrt{\frac{0.13}{7}} = 0.138 \quad \sigma_3 = \sqrt{\frac{344.89}{7}} = 7.019$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{0.65}{7}} = 0.305 \quad \sigma_5 = \sqrt{\frac{3057.43}{7}} = 20.899 \quad \sigma_6 = \sqrt{\frac{2.32}{7}} = 0.575$$

$$\sigma_7 = \sqrt{\frac{2815.71}{7}} = 20.056 \quad \sigma_8 = \sqrt{\frac{18860.86}{7}} = 51.908$$

Tabla 20.
Valores de la desviación estándar

σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_7	σ_8
2.054	0.138	7.019	0.305	20.899	0.575	20.056	51.908

$$\sum_{j=1}^n \sigma_j = 2.054 + 0.138 + 7.019 + 0.305 + 20.899 + 0.575 + 20.056 + 51.908 = 102.854$$

3. Obtención de pesos para cada uno de los criterios.

Se aplica la ecuación (9) para encontrar los valores W , datos de la tabla 20.

$$w_1 = \frac{2.054}{102.854} = 0.19 \quad w_2 = \frac{0.138}{102.854} = 0.001 \quad w_3 = \frac{7.019}{102.854} = 0.068$$

$$w_4 = \frac{0.305}{102.854} = 0.003 \qquad w_5 = \frac{20.899}{102.854} = 0.202 \qquad w_6 = \frac{0.575}{102.854} = 0.006$$

$$w_7 = \frac{20.056}{102.854} = 0.194 \qquad w_8 = \frac{51.908}{102.854} = 0.504$$

Tabla 21.

Pesos de la desviación estándar

w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
2.054	0.138	7.019	0.305	20.899	0.575	20.056	51.908

Método de Variación Estadística

1. Matriz de decisión.

Para esta matriz se aplicará la misma que se desarrolló en el método de entropía, siendo matriz X, para la agrupación correspondiente.

$$X = \begin{bmatrix} 2.21 & 0.95 & 29.9 & 1.13 & 44 & 1.413 & 17 & 152 \\ 2.91 & 1.05 & 12 & 1.6 & 80 & 1.551 & 56 & 145 \\ 7.51 & 1.06 & 11 & 2.1 & 34 & 1.559 & 20 & 103 \\ 5.9 & 1.1 & 9 & 1.58 & 55 & 1.45 & 75 & 235 \\ 4.92 & 1.31 & 23 & 2.04 & 79 & 2.6 & 58 & 225 \\ 1.25 & 0.97 & 21.5 & 1.7 & 32 & 1.106 & 48 & 127 \\ 3.1 & 1.315 & 17 & 1.865 & 84 & 2.7 & 30 & 92 \end{bmatrix}$$

2. Normalización de matriz de decisión.

Utilizaremos la ecuación número (10) para normalizar la matriz de decisión.

Esta matriz normalizada se obtiene aplicando las ecuaciones (11) y (12) en el mismo orden para encontrar los valores máximos y mínimos.

En la tabla 22 muestra los valores obtenidos, donde P y el primer número represente el material, y el siguiente número simboliza el valor del criterio designado.

Tabla 22.
Matriz decisión normalizada método variación estadística

Material	Criterio 1	Valor 1	Criterio 2	Valor 2	Criterio 3	Valor 3	Criterio 4	Valor 4	Criterio 5	Valor 5	Criterio 6	Valor 6	Criterio 7	Valor 7	Criterio 8	Valor 8
PP (M1)	P11	0.566	P12	1	P13	0.301	P14	1	P15	0.727	P16	0.783	P17	1	P18	0.605
PS (M2)	P21	0.43	P22	0.905	P23	0.75	P24	0.706	P25	0.4	P26	0.713	P27	0.304	P28	0.634
PC (M3)	P31	0.166	P32	0.896	P33	0.818	P34	0.538	P35	0.941	P36	0.709	P37	0.85	P38	0.893
PA(M4)	P41	0.212	P42	0.864	P43	1	P44	0.715	P45	0.582	P46	0.763	P47	0.227	P48	0.391
PBT (M5)	P51	0.254	P52	0.725	P53	0.391	P54	0.554	P55	0.405	P56	0.425	P57	0.293	P58	0.409
HDPE (M6)	P61	1	P62	0.979	P63	0.419	P64	0.665	P65	1	P66	1	P67	0.354	P68	0.724
PVC (M7)	P71	0.403	P72	0.722	P73	0.529	P74	0.606	P75	0.381	P76	0.41	P77	0.567	P78	1

3. Cálculo de la variación estadística.

Se ejecutará la ecuación (13) para determinar el valor V_j , y poder continuar con el proceso de cálculo.

$$\bar{p}_1 = 0.433 \quad \bar{p}_2 = 0.87 \quad \bar{p}_3 = 0.601 \quad \bar{p}_4 = 0.683$$

$$\bar{p}_5 = 0.634 \quad \bar{p}_6 = 0.686 \quad \bar{p}_7 = 0.513 \quad \bar{p}_8 = 0.665$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{i1} - \bar{p}_1)^2 = 0.492 \quad \sum_{i=1}^m (p_{i2} - \bar{p}_2)^2 = 0.074$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{i3} - \bar{p}_3)^2 = 0.401 \quad \sum_{i=1}^m (p_{i4} - \bar{p}_4)^2 = 0.146$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{i5} - \bar{p}_5)^2 = 0.411 \quad \sum_{i=1}^m (p_{i6} - \bar{p}_6)^2 = 0.259$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{i7} - \bar{p}_7)^2 = 0.553 \quad \sum_{i=1}^m (p_{i8} - \bar{p}_8)^2 = 0.313$$

$$V_1 = 0.07 \quad V_2 = 0.011 \quad V_3 = 0.057 \quad V_4 = 0.021$$

$$V_5 = 0.059 \quad V_6 = 0.037 \quad V_7 = 0.079 \quad V_8 = 0.045$$

$$\sum_{j=1}^m V_j = 0.378$$

4. Determinación de pesos para cada criterio.

Se usará la ecuación (14), de ello se obtiene los valores W , que corresponden a los pesos conseguidos por método de Variación Estándar.

Donde:

$w_j \rightarrow$ Peso de cada criterio.

$$w_1 = 0.186 \quad w_2 = 0.28 \quad w_3 = 0.151$$

$$w_4 = 0.055 \quad w_5 = 0.155 \quad w_6 = 0.098$$

$$w_7 = 0.209 \quad w_8 = 0.118$$

Tabla 23.

Matriz decisión normalizada método variación estadística

w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
0.186	0.28	0.151	0.055	0.155	0.098	0.209	0.118

Comparación de resultados de Métodos de Ponderación

Una vez que se han realizado varios métodos de ponderación, se tabularan los resultados de manera comparativa para seleccionar del método con el cual se continuara el estudio.

Tabla 24.

Comparación de resultados de ponderación de todos los métodos

Método	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
Entropía	0.260	0.014	0.151	0.031	0.127	0.096	0.216	0.106
Desviación Estándar	2.054	0.138	7.019	0.305	20.899	0.575	20.056	51.908
Variación Estadística	0.186	0.028	0.151	0.055	0.155	0.098	0.209	0.118

El material que sería apto para esta aplicación debe cumplir varias funciones por cual se tomara los pesos de los valores del método de desviación estándar, ya que en más de un criterio posee una amplia diferencia respecto a los otros métodos.

Los valores que serán considerados para el material elegido serán el módulo de elasticidad (w_5) resistencia a la tracción (w_6) y en el caso de haber más de un material idóneo con estas características, se incluirá otro valor de ponderación.

Para el desarrollo de selección por métodos multicriterio serán los detallados en la tabla 25:

Tabla 25.

Pesos a usar en MCDM (desviación estándar)

w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
2.054	0.138	7.019	0.305	20.899	0.575	20.056	51.908

Desarrollo de Métodos Multicriterio (MCDM)

Una vez seleccionados los pesos de desviación estándar, se procede a ejecutarse los métodos multicriterio planteados.

Desarrollo del Método VIKOR

1. Elaboración de la matriz de decisión.

En la tabla 26 se agrupan los valores de los criterios de los diferentes materiales propuestos, siendo esta matriz la que se use en todos los métodos multicriterio.

Tabla 26.
Matriz de decisión método VIKOR

Código	\$ / Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10 min)	Mod. flex (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Mod. Elas. (GPa)	Res. tracción (MPa)	Vicat (°C)
M1	2.21	0.95	29.9	1.13	44	1.413	17	152
M2	2.91	1.05	12	1.6	80	1.551	56	145
M3	7.51	1.06	11	2.1	34	1.559	20	103
M4	5.9	1.1	9	1.58	55	1.45	75	235
M5	4.92	1.31	23	2.04	79	2.6	58	225
M6	1.25	0.97	21.5	1.7	32	1.106	48	127
M7	3.1	1.315	17	1.865	84	2.7	30	92

$$X = \begin{bmatrix} 2.21 & 0.95 & 29.9 & 1.13 & 44 & 1.413 & 17 & 152 \\ 2.91 & 1.05 & 12 & 1.6 & 80 & 1.551 & 56 & 145 \\ 7.51 & 1.06 & 11 & 2.1 & 34 & 1.559 & 20 & 103 \\ 5.9 & 1.1 & 9 & 1.58 & 55 & 1.45 & 75 & 235 \\ 4.92 & 1.31 & 23 & 2.04 & 79 & 2.6 & 58 & 225 \\ 1.25 & 0.97 & 21.5 & 1.7 & 32 & 1.106 & 48 & 127 \\ 3.1 & 1.315 & 17 & 1.865 & 84 & 2.7 & 30 & 92 \end{bmatrix}$$

2. Normalización de matriz de decisión.

En el método VIKOR se usará la ecuación (15) para determinar los valores r , y poder resolver la matriz R_{ij} , de esta manera se obtiene la matriz normalizada con sus respectivos valores en la tabla 28.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} 0.187 & 0.322 & 0.596 & 0.245 & 0.269 & 0.287 & 0.134 & 0.353 \\ 0.246 & 0.355 & 0.239 & 0.347 & 0.488 & 0.315 & 0.442 & 0.337 \\ 0.635 & 0.359 & 0.219 & 0.455 & 0.208 & 0.317 & 0.158 & 0.239 \\ 0.499 & 0.372 & 0.179 & 0.343 & 0.336 & 0.295 & 0.593 & 0.546 \\ 0.416 & 0.443 & 0.458 & 0.442 & 0.482 & 0.528 & 0.458 & 0.523 \\ 0.106 & 0.328 & 0.428 & 0.369 & 0.195 & 0.225 & 0.379 & 0.295 \\ 0.262 & 0.445 & 0.339 & 0.404 & 0.513 & 0.549 & 0.237 & 0.214 \end{bmatrix}$$

Tabla 27.
Criterios de Matriz Normalizada (Rij) VIKOR

Código	\$/ Kg	Densidad (Kg/m³)	MFI (gr/10min)	Mod. flex (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Mod. Elas. (GPa)	Res. tracción (MPa)	Vicat (°C)
M1	0.187	0.322	0.596	0.245	0.269	0.287	0.134	0.353
M2	0.246	0.355	0.239	0.347	0.488	0.315	0.442	0.337
M3	0.635	0.359	0.219	0.455	0.208	0.317	0.158	0.239
M4	0.499	0.372	0.179	0.343	0.336	0.295	0.593	0.546
M5	0.416	0.443	0.458	0.442	0.482	0.528	0.458	0.523
M6	0.106	0.328	0.428	0.369	0.195	0.225	0.379	0.295
M7	0.262	0.445	0.339	0.404	0.513	0.549	0.237	0.214

3. Desarrollo de la Matriz Estandarizada de Pesos.

Para la construcción de esta matriz de se debe multiplicar los pesos por el valor ponderado normalizado que se calculó anteriormente como detalla la ecuación (16) determinando los valores de la matriz, detallados también en la tabla 28.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} 0.0909 & 2.3299 & 0.0849 & 0.8039 & 0.0129 & 0.4992 & 0.0067 & 0.0068 \\ 0.1198 & 2.5751 & 0.0341 & 1.1382 & 0.0234 & 0.5479 & 0.0221 & 0.0065 \\ 0.3091 & 2.5996 & 0.0312 & 1.4939 & 0.0099 & 0.5507 & 0.0079 & 0.0046 \\ 0.2428 & 2.6977 & 0.0255 & 1.1240 & 0.0161 & 0.5122 & 0.0295 & 0.0105 \\ 0.2025 & 3.2127 & 0.0653 & 1.4512 & 0.0231 & 0.9185 & 0.0228 & 0.0101 \\ 0.0514 & 2.3789 & 0.0610 & 1.2093 & 0.0093 & 0.3907 & 0.0189 & 0.0057 \\ 0.1276 & 3.2250 & 0.0482 & 1.3267 & 0.0245 & 0.9538 & 0.0118 & 0.0041 \end{bmatrix}$$

Tabla 28.
Matriz estandarizada de pesos VIKOR

Código	\$ / Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Mod. flex (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Mod. Elas. (GPa)	Res. tracción (MPa)	Vicat (°C)
M1	0.0909	2.3299	0.0849	0.8039	0.0129	0.4992	0.0067	0.0068
M2	0.1198	2.5751	0.0341	1.1382	0.0234	0.5479	0.0221	0.0065
M3	0.3091	2.5996	0.0312	1.4939	0.0099	0.5507	0.0079	0.0046
M4	0.2428	2.6977	0.0255	1.1240	0.0161	0.5122	0.0295	0.0105
M5	0.2025	3.2127	0.0653	1.4512	0.0231	0.9185	0.0228	0.0101
M6	0.0514	2.3789	0.0610	1.2093	0.0093	0.3907	0.0189	0.0057
M7	0.1276	3.2250	0.0482	1.3267	0.0245	0.9538	0.0118	0.0041

4. Determinación de indicadores de resultados positivos y negativos de manera ideal.

Para el cálculo de los indicadores se aplica las ecuaciones (17) y (18) de donde tomaremos los criterios f , considerando el valor más alto en los criterios C para la ecuación (17) es el mejor, y para la ecuación (18) el valor más bajo es mejor.

$$C_1 \rightarrow \text{menor es mejor}$$

$$f_1^{max} = 0.3091 \qquad f_1^{min} = 0.0514$$

$$C_2 \rightarrow \text{mayor es mejor}$$

$$f_2^{max} = 3.225 \qquad f_2^{min} = 2.3299$$

$$C_3 \rightarrow \text{mayor es mejor}$$

$$f_3^{max} = 0.0849 \qquad f_3^{min} = 0.0255$$

$$C_4 \rightarrow \text{mayor es mejor}$$

$$f_4^{max} = 1.4939 \qquad f_4^{min} = 0.8039$$

$$C_5 \rightarrow \text{mayor es mejor}$$

$$f_5^{max} = 0.0245 \qquad f_5^{min} = 0.0093$$

$C_6 \rightarrow$ mayor es mejor

$$f_6^{max} = 0.9538 \quad f_6^{min} = 0.3907$$

$C_7 \rightarrow$ mayor es mejor

$$f_7^{max} = 0.0295 \quad f_7^{min} = 0.0067$$

$C_8 \rightarrow$ mayor es mejor

$$f_8^{max} = 0.0105 \quad f_8^{min} = 0,0041$$

5. Cálculo de soluciones óptimas.

Llamadas (U_i); (R_i) las clases de soluciones óptimas donde se aplica la ecuación (19) para determinar los valores de la matriz (U_i), datos que servirán para continuar con el proceso.

$$U_i = \begin{bmatrix} 1.739 & 0.138 & 0.000 & 0.305 & 16.076 & 0.465 & 20.056 & 30.128 \\ 1.509 & 0.100 & 6.012 & 0.157 & 1.608 & 0.415 & 6.570 & 32.669 \\ 0.000 & 0.096 & 6.348 & 0.000 & 20.095 & 0.412 & 19.019 & 47.915 \\ 0.528 & 0.081 & 7.019 & 0.163 & 11.655 & 0.451 & 0.000 & 0.000 \\ 0.850 & 0.002 & 2.317 & 0.019 & 2.010 & 0.036 & 5.878 & 3.630 \\ 2.054 & 0.130 & 2.821 & 0.126 & 20.899 & 0.575 & 9.336 & 39.203 \\ 1.447 & 0.000 & 4.332 & 0.074 & 0.000 & 0.000 & 15.561 & 51.908 \end{bmatrix}$$

$$U_1 = 68.907 \quad U_2 = 49.04 \quad U_3 = 93.885 \quad U_4 = 19.899$$

$$U_5 = 14.742 \quad U_6 = 75.145 \quad U_7 = 73.322$$

$$U_i \text{ Max} = 93.885 \quad U_i \text{ Min} = 14.742$$

Con la ejecución de la ecuación (20) se conseguirá los valores R_i para la obtención de los siguientes valores:

$$R_1 = 30.128 \quad R_2 = 32.669 \quad R_3 = 47.915 \quad R_4 = 11.655$$

$$R_5 = 5.878 \quad R_6 = 39.203 \quad R_7 = 51.908$$

$$R_i \text{ Max} = 51.908 \quad R_i \text{ Min} = 5.878$$

Ahora se utilizará la ecuación (21) para determinar los valores llamados V_{ij} , para ello se usarán los datos U y R obtenidos anteriormente, de esta manera podemos obtener los resultados finales de este método que se pondrán en ranking de valoración.

Donde:

$\alpha \rightarrow$ Constante con valor de 0,5

$$V1 = 0.57$$

$$V2 = 0.48$$

$$V3 = 0.92$$

$$V4 = 0.06$$

$$V5 = -0.03$$

$$V6 = 0.71$$

$$V7 = 0.84$$

6. Ranking.

El valor más aproximado a cero es considerado la mejor propuesta con escala de 1 a 7

Tabla 29.

Ranking método VIKOR

Alternativa	Valor
M1	0.57
M2	0.48
M3	0.92
M4	0.06
M5	-0.03
M6	0.71
M7	0.84

En la tabla 29 se detalla los valores del método VIKOR siendo el menor valor numérico la mejor alternativa entre todas las opciones de materiales candidatos

Desarrollo del Método PUGH

1. Elaboración de la matriz de decisión.

Se usará la matriz de decisión desarrollada en el método VIKOR, detallada en la tabla número 30.

Tabla 30.
Matriz de decisión método PUGH

Código	\$/ Kg	Densidad (Kg/m³)	MFI (gr/10min)	Mod. flex (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Mod. Elas. (GPa)	Res. tracción (MPa)	Vicat (°C)
M1	2.21	0.95	29.9	1.13	44	1.413	17	152
M2	2.91	1.05	12	1.6	80	1.551	56	145
M3	7.51	1.06	11	2.1	34	1.559	20	103
M4	5.9	1.1	9	1.58	55	1.45	75	235
M5	4.92	1.31	23	2.04	79	2.6	58	225
M6	1.25	0.97	21.5	1.7	32	1.106	48	127
M7	3.1	1.315	17	1.865	84	2.7	30	92

2. Matriz de priorización de pesos.

La comparación se realiza comparativamente con los criterios iniciales, en este caso son los criterios de material base.

Donde:

- 1 → mejor que el original
- 0 → igual que el original
- 1 → peor que el original

Posterior a esta asignación se genera una matriz en una etapa inicial como detalla la tabla 31:

Tabla 31.
Matriz de ponderación de pesos etapa I PUGH

Criterio	Valor Original	W	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
C1	2.82	2.054	1	-1	-1	-1	-1	1	-1
C2	1.04	0.138	-1	1	1	1	1	-1	1
C3	28.7	7.019	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C4	2	0.305	-1	-1	1	-1	1	-1	-1
C5	61	20.899	-1	1	-1	1	1	-1	1
C6	1.8	0.575	-1	-1	-1	-1	1	-1	1
C7	31.2	20.056	-1	1	-1	1	1	1	-1
C8	101	51.908	1	1	1	1	1	1	-1

La siguiente etapa es aplicar la ecuación (22) para determinar la matriz de ponderación de pesos detallado en la tabla 32.

Tabla 32.
Matriz de ponderación de pesos etapa 2 PUGH

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
2.82	-2.82	-2.82	-2.82	-2.82	2.82	-2.82
-1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	-1.04	1.04
28.7	-28.7	-28.7	-28.7	-28.7	-28.7	-28.7
-2	-2	2	-2	2	-2	-2
-61	61	-61	61	61	-61	61
-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	1.8	-1.8	1.8
-31.2	31.2	-31.2	31.2	31.2	31.2	-31.2
101	101	101	101	101	101	-101

3. Sumatoria de valores de ponderación etapa 2.

Aplicando la ecuación (23), se determina la suma de los valores M , siendo estos los resultados para posteriormente ser ordenados por su puntuación para el ranking del método.

Tabla 33.
Sumatoria de etapas de ponderación de pesos PUGH

Material	Resultados de ponderación
$M1$	35.48
$M2$	158.92
$M3$	-21.48
$M4$	158.92
$M5$	166.52
$M6$	40.48
$M7$	-101.88

4. Ranking

Se toman los valores M y se designa la posición de ranking en función al valor, siendo el mayor la posición 1 y posteriores los valores de manera decrecientes.

Tabla 34.
Ranking PUGH

Alternativa	Valor
M1	35.48
M2	158.92
M3	-21.48
M4	158.92
M5	166.52
M6	40.48
M7	-101.88

En la tabla 34 se detalla los valores del método PUGH, entre todas las opciones de materiales candidatos.

Desarrollo del Método TOPSIS

1. Elaboración de la Matriz de Decisión.

Se usará la matriz de decisión desarrollada en el método VIKOR.

2. Matriz de Priorización de Pesos.

Se usará la misma matriz normalizada del método VIKOR.

3. Elaboración de la Matriz Estandarizada de Pesos.

Se usará la misma matriz estandarizada del método VIKOR.

4. Determinación de las Soluciones Ideales.

Para el desarrollo de soluciones ideales aplicaremos la ecuación (24), de la que se conseguirán las soluciones ideales detalladas en la matriz de la tabla 35.

$$A^* = \{0.0526; 3.0383; 0.093; 1.4652; 0.0217; 0.8745; 0.0263; 0.011\}$$

$$A^- = \{0.3159; 2.1223; 0.0342; 0.7884; 0.0073; 0.3225; 0.0048; 0.0041\}$$

Tabla 35.
Matriz soluciones ideales positivas y negativas TOPSIS

Solución Ideal Positiva	0.0514	3.225	0.0849	1.4939	0.0245	0.9538	0.0295	0.0105
Solución Ideal Negativa	0.3091	2.3299	0.0255	0.8039	0.0093	0.3907	0.0067	0.0041

5. Calculo de diferencias entre mediciones.

Aplicando la ecuación (25) se obtendrán las diferencias entre medidas siendo estos los valores *S* positivo y negativo que se detalla en la tabla 36.

Tabla 36.

Matriz distancias de soluciones positivas y negativas TOPSIS

Material	Distancia a Solución Positiva ideal	Distancia a Solución Negativa ideal
M1	1.238	0.13
M2	0.867	0.449
M3	0.746	0.801
M4	0.786	0.538
M5	0.223	1.226
M6	1.087	0.41
M7	0.25	1.183

6. Cálculo de la proximidad a la solución ideal.

Aplicando la ecuación (27) para determinar los valores de C que representan los valores de cada material expuesto en la tabla 37.

Tabla 37.

Proximidad a solución ideal TOPSIS

Material	Distancia a Solución Positiva ideal
C_1^*	0.0949
C_2^*	0.3412
C_3^*	0.5175
C_4^*	0.4065
C_5^*	0.9091
C_6^*	0.2740
C_7^*	0.8254

7. Ranking TOPSIS.

Se toman los valores M y se designa la posición de cada material candidato en función al valor, siendo el mayor la posición 1 y posteriores los valores de manera decrecientes.

Tabla 38.

Ranking TOPSIS

Alternativa	Valor
M1	0.095
M2	0.341
M3	0.518
M4	0.406
M5	0.909
M6	0.274
M7	0.825

Desarrollo del Método PROMETHEE II

1. Elaboración de la Matriz de Decisión.

Se usará la matriz de decisión desarrollada en el método VIKOR.

Tabla 39.

Matriz de decisión método PROMETHEE II

Código	\$ / Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Mod. flex (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Mod. Elas. (GPa)	Res. tracción (MPa)	Vicat (°C)
M1	2.21	0.95	29.9	1.13	44	1.413	17	152
M2	2.91	1.05	12	1.6	80	1.551	56	145
M3	7.51	1.06	11	2.1	34	1.559	20	103
M4	5.9	1.1	9	1.58	55	1.45	75	235
M5	4.92	1.31	23	2.04	79	2.6	58	225
M6	1.25	0.97	21.5	1.7	32	1.106	48	127
M7	3.1	1.315	17	1.865	84	2.7	30	92

2. Normalización de la matriz de decisión.

Se aplica el mismo procedimiento del método VIKOR como indica la tabla 40:

Tabla 40.

Matriz de decisión método PROMETHEE II

Código	Ch	Ci	Cj	Ck	Cl	Cm	Cn	Co
M1	Ch 1	Ci 1	Cj 1	Ck 1	Cl 1	Cm 1	Cn 1	Co 1
M2	Ch 2	Ci 2	Cj 2	Ck 2	Cl 2	Cm 2	Cn 2	Co 2
M3	Ch 3	Ci 3	Cj 3	Ck 3	Cl 3	Cm 3	Cn 3	Co 3
M4	Ch 4	Ci 4	Cj 4	Ck 4	Cl 4	Cm 4	Cn 4	Co 4
M5	Ch 5	Ci 5	Cj 5	Ck 5	Cl 5	Cm 5	Cn 5	Co 5
M6	Ch 6	Ci 6	Cj 6	Ck 6	Cl 6	Cm 6	Cn 6	Co 6
M7	Ch 7	Ci 7	Cj 7	Ck 7	Cl 7	Cm 7	Cn 7	Co 7
Pesos	2.054	0.138	7.019	0.305	20.899	0.575	20.056	51.908

3. Calcular funciones de diferencia para cada criterio: forma común.

- a. Se busca la diferencia entre el valor de dos alternativas.
- b. Se reemplaza los valores de las matrices de diferencias por código binario, usando el 0 y 1 como se determine los criterios.

Matriz de diferencia para criterio 1 (Ch)

$$Ch = \begin{bmatrix} 0 & -0.70 & -5.30 & -3.69 & -2.71 & 0.96 & -0.89 \\ 0.70 & 0 & -4.60 & -2.99 & -2.01 & 1.66 & -0.19 \\ 5.30 & 4.60 & 0 & 1.61 & 2.59 & 6.26 & 4.41 \\ 3.69 & 2.99 & -1.61 & 0 & 0.98 & 4.65 & 2.80 \\ 2.71 & 2.01 & -2.59 & -0.98 & 0 & 3.67 & 1.82 \\ -0.96 & -1.66 & -6.26 & -4.65 & -3.67 & 0 & -1.85 \\ 0.89 & 0.19 & -4.41 & -2.80 & -1.82 & 1.85 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Preferencia para el Criterio 1 (C1).

C1 es un criterio donde mayor es mejor.

Dónde: Si $Ch \leq 0 = 0$; Si $Ch > 0 = 1$

$$CI = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de diferencia para criterio 2 (Ci)

$$Ci = \begin{bmatrix} 0 & -0.1 & -0.11 & -0.15 & -0.36 & -0.02 & -0.365 \\ 0.1 & 0 & -0.01 & -0.05 & -0.26 & 0.08 & -0.265 \\ 0.11 & 0.01 & 0 & -0.04 & -0.25 & 0.09 & -0.255 \\ 0.15 & 0.05 & 0.04 & 0 & -0.21 & 0.13 & -0.215 \\ 0.36 & 0.26 & 0.25 & 0.21 & 0 & 0.34 & -0.005 \\ 0.02 & -0.08 & -0.09 & -0.13 & -0.34 & 0 & -0.345 \\ 0.365 & 0.265 & 0.255 & 0.215 & 0.005 & 0.345 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Preferencia para el Criterio 2 (C2).

C2 es un criterio donde mayor es mejor.

Dónde: Si $Ci \leq 0 = 0$; Si $Ci > 0 = 1$

$$C2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de diferencia para criterio 3 (C_j)

$$C_j = \begin{bmatrix} 0 & 17.9 & 18.9 & 20.9 & 6.9 & 8.4 & 12.9 \\ -17.9 & 0 & 1 & 3 & -11 & -9.5 & -5 \\ -18.9 & -1 & 0 & 2 & -12 & -10.5 & -6 \\ -20.9 & -3 & -2 & 0 & -14 & -12.5 & -8 \\ -6.9 & 11 & 12 & 14 & 0 & 1.5 & 6 \\ -8.4 & 9.5 & 10.5 & 12.5 & -1.5 & 0 & 4.5 \\ -12.9 & 5 & 6 & 8 & -6 & -4.5 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Preferencia para el Criterio 3 ($C3$).

$C3$ es un criterio donde mayor es mejor.

Dónde: Si $C_j \leq 0 = 0$; Si $C_j > 0 = 1$

$$C3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de diferencia para criterio 4 (C_k)

$$C_k = \begin{bmatrix} 0 & -0.47 & -0.97 & -0.45 & -0.91 & -0.57 & -0.735 \\ 0.47 & 0 & -0.5 & 0.02 & -0.44 & -0.1 & -0.265 \\ 0.97 & 0.5 & 0 & 0.52 & 0.06 & 0.4 & 0.235 \\ 0.45 & -0.02 & -0.52 & 0 & -0.46 & -0.12 & -0.285 \\ 0.91 & 0.44 & -0.06 & 0.46 & 0 & 0.34 & 0.175 \\ 0.57 & 0.1 & -0.4 & 0.12 & -0.34 & 0 & -0.165 \\ 0.735 & 0.265 & -0.235 & 0.285 & -0.175 & 0.165 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Preferencia para el Criterio 4 ($C4$).

$C4$ es un criterio donde mayor es mejor.

Dónde: Si $C_k \leq 0 = 0$; Si $C_k > 0 = 1$

$$C4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de diferencia para criterio 5 (Cl)

$$Cl = \begin{bmatrix} 0 & -36 & 10 & -11 & -35 & 12 & -40 \\ 36 & 0 & 46 & 25 & 1 & 48 & -4 \\ -10 & -46 & 0 & -21 & -45 & 2 & -50 \\ 11 & -25 & 21 & 0 & -24 & 23 & -29 \\ 35 & -1 & 45 & 24 & 0 & 47 & -5 \\ -12 & -48 & -2 & -23 & -47 & 0 & -52 \\ 40 & 4 & 50 & 29 & 5 & 52 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Preferencia para el Criterio 5 ($C5$).

$C5$ es un criterio donde mayor es mejor.

Dónde: Si $Cl \leq 0 = 0$; Si $Cl > 0 = 1$

$$C5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de diferencia para criterio 6 (Cm)

$$Cl = \begin{bmatrix} 0 & -0.138 & -0.146 & -0.037 & -1.187 & 0.307 & -1.287 \\ 0.138 & 0 & -0.008 & 0.101 & -1.049 & 0.445 & -1.149 \\ 0.146 & 0.008 & 0 & 0.109 & -1.041 & 0.453 & -1.141 \\ 0.037 & -0.101 & -0.109 & 0 & -1.15 & 0.344 & -1.25 \\ 1.187 & 1.049 & 1.041 & 1.15 & 0 & 1.494 & -0.1 \\ -0.307 & -0.445 & -0.453 & -0.344 & -1.494 & 0 & -1.594 \\ 1.287 & 1.149 & 1.141 & 1.25 & 0.1 & 1.594 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Preferencia para el Criterio 6 ($C6$).

$C6$ es un criterio donde mayor es mejor.

Dónde: Si $Cm \leq 0 = 0$; Si $Cm > 0 = 1$

$$C6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de diferencia para criterio 7 (Cn)

$$Cn = \begin{bmatrix} 0 & -26.1 & 9.9 & -45.1 & -28.1 & -18.1 & -0.1 \\ 26.1 & 0 & 36 & -19 & -2 & 8 & 26 \\ -9.9 & -36 & 0 & -55 & -38 & -28 & -10 \\ 45.1 & 19 & 55 & 0 & 17 & 27 & 45 \\ 28.1 & 2 & 38 & -17 & 0 & 10 & 28 \\ 18.1 & -8 & 28 & -27 & -10 & 0 & 18 \\ 0.1 & -26 & 10 & -45 & -28 & -18 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Preferencia para el Criterio 7 ($C7$).

$C7$ es un criterio donde mayor es mejor.

Dónde: Si $Cn \leq 0 = 0$; Si $Cn > 0 = 1$

$$C7 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 8 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de diferencia para criterio 8 (Co)

$$Co = \begin{bmatrix} 0 & 7 & 49 & -83 & -73 & 25 & 60 \\ -7 & 0 & 42 & -90 & -80 & 18 & 53 \\ -49 & -42 & 0 & -132 & -122 & -24 & 11 \\ 83 & 90 & 132 & 0 & 10 & 108 & 143 \\ 73 & 80 & 122 & -10 & 0 & 98 & 133 \\ -25 & -18 & 24 & -108 & -98 & 0 & 35 \\ -60 & -53 & -11 & -143 & -133 & -35 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Preferencia para el Criterio 8 (C8).

C8 es un criterio donde mayor es mejor.

Dónde: Si $C_{o} \leq 0 = 0$; Si $C_{o} > 0 = 1$

$$C8 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4. Calcular índice de preferencia agregada:

Aplicamos la ecuación (28) y se obtendrán la matriz de preferencia.

$$C_{pref} = \begin{bmatrix} 0 & 26.4014 & 33.3443 & 5.11429 & 4.97429 & 32.4733 & 26.4286 \\ 2.86124 & 0 & 42.93 & 14.2073 & 12.1314 & 164.8 & 29.1571 \\ 3.53129 & 0.67414 & 0 & 2.09414 & 0.3 & 5.53129 & 0.3 \\ 52.7329 & 44.6686 & 53.3729 & 0 & 44.2857 & 52.5071 & 44.2857 \\ 52.5643 & 55.85 & 56.6314 & 24.55 & 0 & 55.85 & 44.0057 \\ 7.55429 & 3.73 & 29.1443 & 4.15714 & 0.70286 & 0 & 28.5143 \\ 17.1257 & 15.2686 & 33.5036 & 16.1114 & 13.2764 & 12.84 & 0 \end{bmatrix}$$

5. Obtención de flujos de superación positivos y negativos.

Para este desarrollo se aplicará las ecuaciones (29) y (30) y obtener los valores agrupados de flujos, mostrados en la tabla 41.

Tabla 41.
Tabla de flujos preferencial método PROMETHEE II

Código	ϕ^+	ϕ^-
M1	128.736	136.370
M2	266.087	146.593
M3	12.431	248.926
M4	291.853	66.234
M5	289.451	75.671
M6	73.803	324.002
M7	108.126	172.691

6. Determinar Flujo Neto de Superación.

Se aplica la ecuación (31) con la cual se consigue el valor de los flujos netos de superación previo a los resultados finales del método PROMETHEE II, mostrado en la tabla 42.

Tabla 42.

Tabla de flujos neto preferencial método PROMETHEE II

Código	ϕ^+	ϕ^-	$\phi^+ - \phi^-$
M1	128.736	136.370	-7.634
M2	266.087	146.593	119.495
M3	12.431	248.926	-236.496
M4	291.853	66.234	225.619
M5	289.451	75.671	213.781
M6	73.803	324.002	-250.199
M7	108.126	172.691	-64.566

7. Ranking.

En la tabla 43 se detalla los valores del método PROMETHEE II, entre todas las opciones de materiales candidatos, siendo el de mayor valor la mejor opción entre todos los candidatos de materiales propuestos.

Tabla 43.

Ranking PROMETHEE II

Alternativa	Valor
M1	-7.634
M2	119.495
M3	-236.496
M4	225.619
M5	213.781
M6	-250.199
M7	-64.566

Desarrollo de Método COPRAS

1. Construcción de la Matriz de Decisión.

Para el desarrollo de la matriz de decisión se trabajará con el procedimiento que se utilizó en el método VIKOR.

Tabla 44.
Matriz de decisión método COPRAS

Código	\$ / Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Mod. flex (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Mod. Elas. (GPa)	Res. tracción (MPa)	Vicat (°C)
M1	2.21	0.95	29.9	1.13	44	1.413	17	152
M2	2.91	1.05	12	1.6	80	1.551	56	145
M3	7.51	1.06	11	2.1	34	1.559	20	103
M4	5.9	1.1	9	1.58	55	1.45	75	235
M5	4.92	1.31	23	2.04	79	2.6	58	225
M6	1.25	0.97	21.5	1.7	32	1.106	48	127
M7	3.1	1.315	17	1.865	84	2.7	30	92

2. Calculo de la matriz de decisión normalizada.

Se aplicará la ecuación (33) para obtener la matriz normalizada, como detallada la tabla 45.

Tabla 45.
Matriz de decisión Normalizada (Rij) COPRAS

Código	\$ / Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Mod. flex (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Mod. Elas. (GPa)	Res. tracción (MPa)	Vicat (°C)
M1	0.187	0.322	0.596	0.245	0.269	0.287	0.134	0.353
M2	0.246	0.355	0.239	0.347	0.488	0.315	0.442	0.337
M3	0.635	0.359	0.219	0.455	0.208	0.317	0.158	0.239
M4	0.499	0.372	0.179	0.343	0.336	0.295	0.593	0.546
M5	0.416	0.443	0.458	0.442	0.482	0.528	0.458	0.523
M6	0.106	0.328	0.428	0.369	0.195	0.225	0.379	0.295
M7	0.262	0.445	0.339	0.404	0.513	0.549	0.237	0.214

3. Calculo de la matriz estandarizada de pesos.

Se aplicará la ecuación (34) para obtener la matriz estandarizada requerida, como muestra la tabla 46:

Tabla 46.

Matriz estandarizada de pesos COPRAS

Código	\$ / Kg	Densidad (Kg/m ³)	MFI (gr/10min)	Mod. flex (GPa)	Res. Flex. (MPa)	Mod. Elas. (GPa)	Res. tracción (MPa)	Vicat (°C)
M1	0.0909	2.3299	0.0849	0.8039	0.0129	0.4992	0.0067	0.0068
M2	0.1198	2.5751	0.0341	1.1382	0.0234	0.5479	0.0221	0.0065
M3	0.3091	2.5996	0.0312	1.4939	0.0099	0.5507	0.0079	0.0046
M4	0.2428	2.6977	0.0255	1.1240	0.0161	0.5122	0.0295	0.0105
M5	0.2025	3.2127	0.0653	1.4512	0.0231	0.9185	0.0228	0.0101
M6	0.0514	2.3789	0.0610	1.2093	0.0093	0.3907	0.0189	0.0057
M7	0.1276	3.2250	0.0482	1.3267	0.0245	0.9538	0.0118	0.0041

4. Cálculo de pesos normalizados.

Se aplicará la ecuación (35) y (36) para obtener la comparativa de las propiedades de cada material detallado en la tabla 47:

Tabla 47.

Pesos normalizados positivos COPRAS

S+1	S+2	S+3	S+4	S+5	S+6	S+7
31.107	38.584	21.8397	48.8319	50.125	30.3011	29.4448

Tabla 48.

Pesos normalizados negativos COPRAS

S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7
0.3837	0.5052	1.30404	1.02448	0.8543	0.21705	0.53828

5. Cálculo de prioridades relativas.

Se aplicará la ecuación (37) para determinar los valores de prioridades por las propiedades de los materiales planteados, mostrado en la tabla 49:

Tabla 49.

Prioridades Relativas

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
32.01	39.27	22.1	49.17	50.53	31.89	30.09

$Q_{max} = 50.53$

6. Cálculo de rendimientos por niveles.

Se aplicará la ecuación (38) para determinar los valores en porcentaje para las propiedades de los materiales en análisis y se considerará el valor mayor como material ganador según su porcentaje, indicado en la tabla 50:

Tabla 50.
Ranking COPRAS

Alternativa	Valor
M1	63.346
M2	77.712
M3	43.745
M4	97.306
M5	100
M6	63.118
M7	59.542

Simulación

Para el desarrollo de simulación se ha realizado el sólido 3D del ítem que se analiza, como es la propuesta de este estudio, en proponer para la fabricación de manija interior de apertura de puerta de vehículo Suzuki sidekick (geometría aproximada para referencia), con las dimensiones generales detalladas en la figura 14.



Figura 14. Perspectivas 3D manija

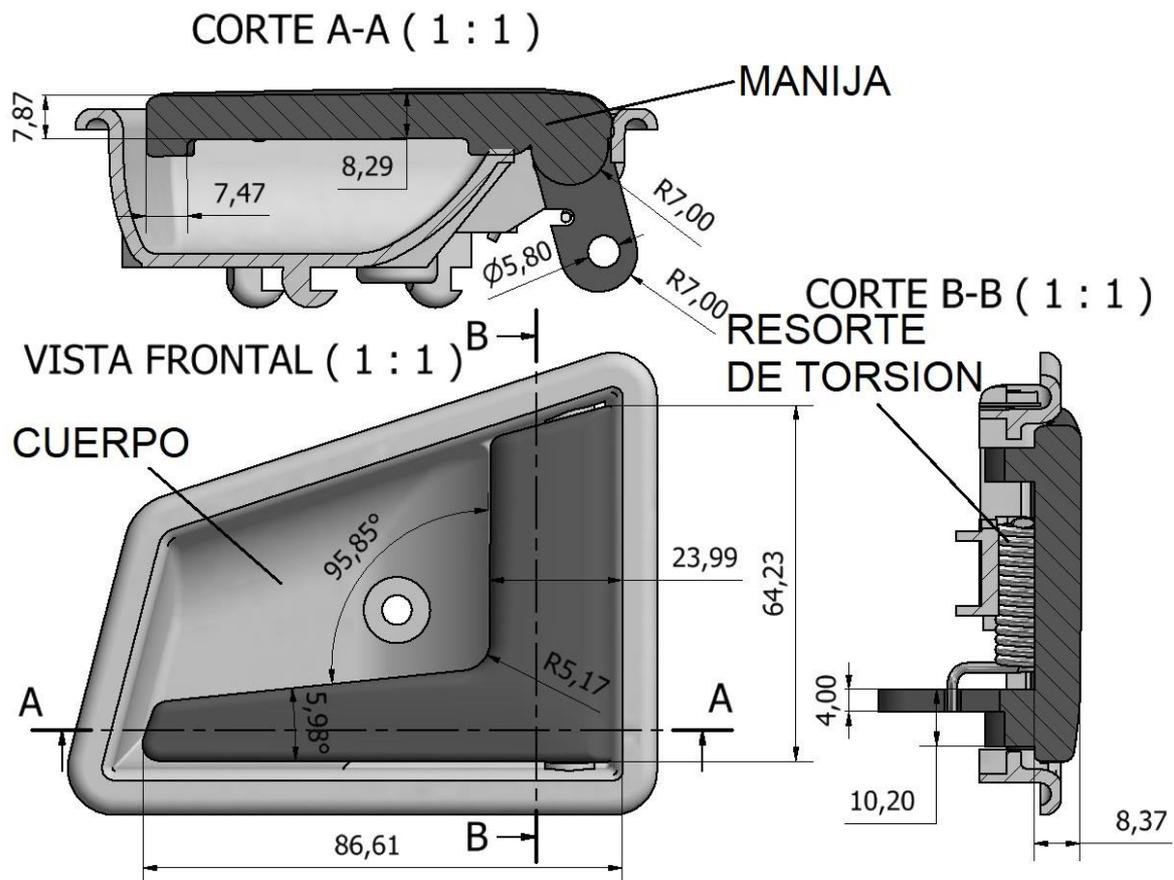


Figura 15. Plano, partes y cortes de manija

Simulación de Tracción

Una vez realizado el modelado CAD 3D, para hacer la simulación de manija interior de apertura de puerta de vehículo, se ingresa en la plataforma de Autodesk Inventor Professional 2019, siendo necesario definir el material de todos los ítems que están dentro del análisis, en este caso se ingresa el ABS en un inicio ya que es semejante al material que es actualmente usado, posteriormente en PBT que es el elegido para ser un material alternativo en esta aplicación de autoparte, a pesar que no enfocarse el estudio en el resorte, se le considera como un acero al carbono, para poner atención en las reacciones que ejerce el resorte de torsión sobre el punto de apoyo en la agarradera.

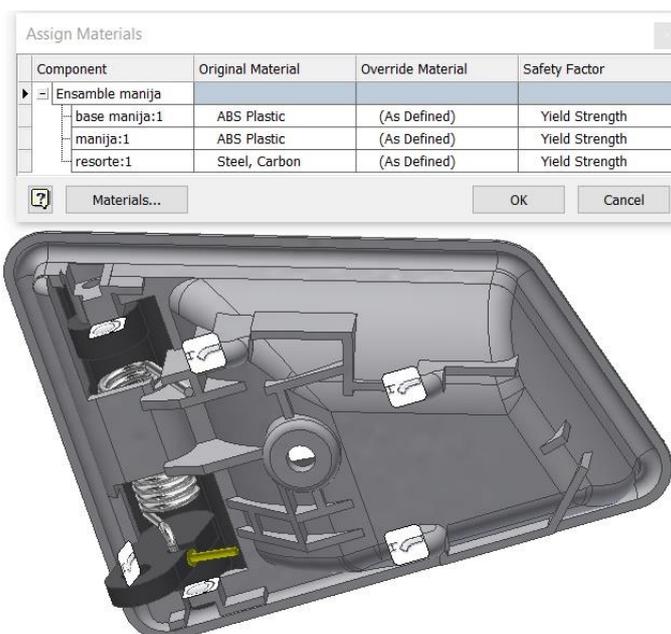


Figura 16. Selección de materiales

En la tabla 51 se muestra los valores de materiales donde serán ingresados los datos que se requiere para la simulación, también en la p. 130, figura 50 y p. 131. figura 51, que se aplicarán en el estudio, el ABS como material actual, el PBT como material ganador.

Tabla 51.
Condiciones de entorno

	VARIABLES	PROPIEDADES	
PROPIEDADES	CARACTERISTICA	ABS	PBT
Físicas	Densidad	1.04	1.31
	Módulo de flexión	2	2.04
Mecánicas	Resistencia a la flexión	61	79
	Módulo de elasticidad	1.8	2.6
	Resistencia a tracción	31.2	58

En la figura 17 se ingresa en la plataforma en modalidad de análisis para crear un estudio, donde se puede detallar los parámetros de investigación, los rangos de trabajo y los niveles de precisión que se plantea.

Create New Study

Name: Static Analysis:1

Design Objective: Single Point

Study Type Model State

Static Analysis

Detect and Eliminate Rigid Body Modes

Separate Stresses Across Contact Surfaces

Motion Loads Analysis

Part: [] Time Step: []

Modal Analysis

Number of Modes: 8

Frequency Range: 0.000 - 0.000

Compute Preloaded Modes

Enhanced Accuracy

Contacts

Tolerance: 0.100 mm Type: Sliding / No Separation

Normal Stiffness: 0.000 N/mm Tangential Stiffness: 0.000 N/mm

Shell Connector Tolerance: 1.750 (as a multiple of shell thickness)

Figura 17. Parámetros de simulación mecánico

Para el mallado se define un tipo tetraédrico con tamaño de elementos de 0.30 mm, factor de gradiente de 5 y ángulo máximo de 30° , de lo que se obtiene un mallado de buena calidad con cerca de 65.300 nodos de análisis y compuesto por más de 35.000 elementos, este valor se debe como resultado a varias simulaciones con mallado más fino de hasta más de 500.000 nodos con 300.000 elementos encontrando resultados más precisos pero cercanos a los obtenidos con una malla de menor densidad, a lo que se atribuye como prioridad el número de iteraciones de la simulación y el criterio de parar la simulación cuando la variación entre iteraciones es inferior a un porcentaje determinado, en este estudio se determinó hacer simulaciones con 10 iteraciones y 1% de falla para detener la simulación, consiguiendo resultados de convergencia cercanos y repetitivos a cero, como muestras la figura 18.

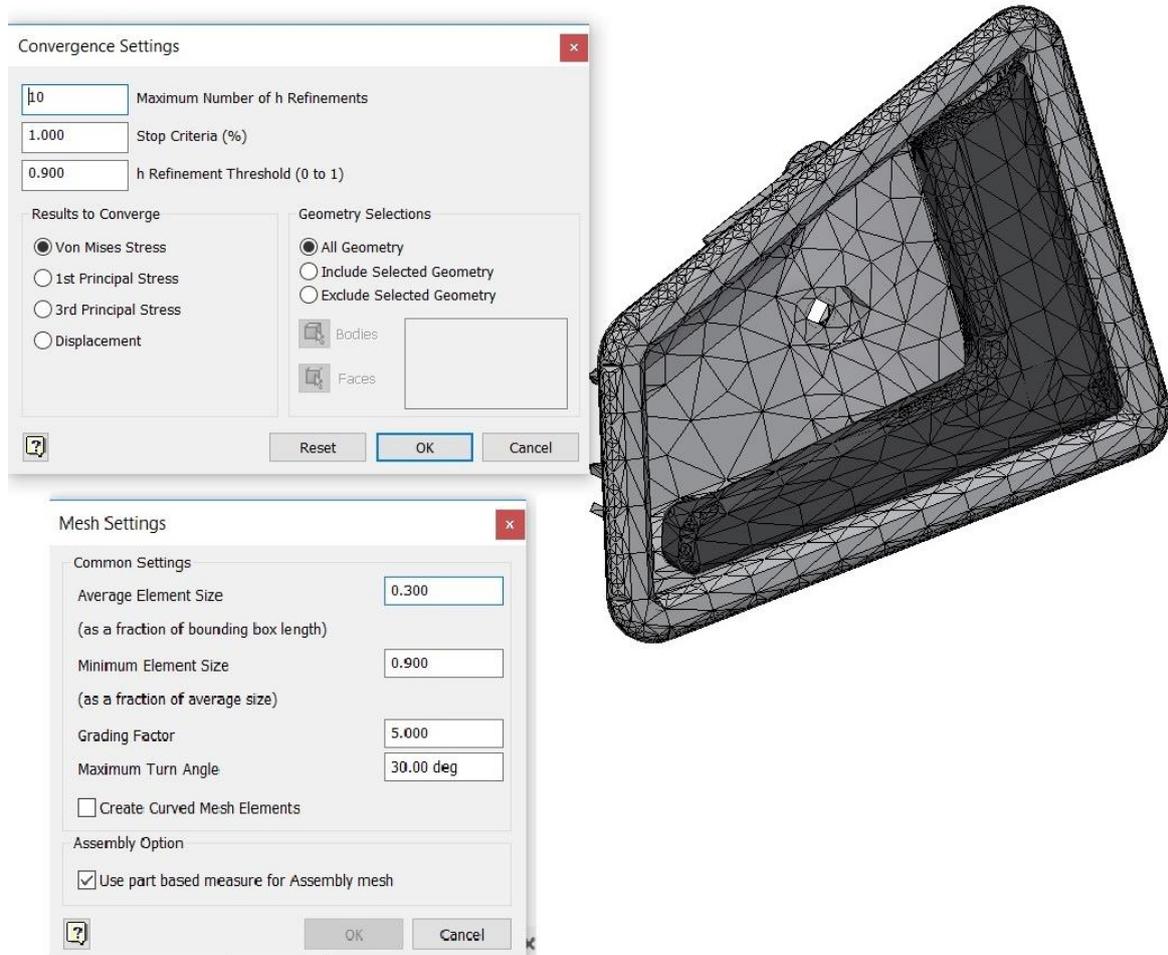


Figura 18. Configuración y convergencia de mallado en conjunto

Ahora es necesario detallar los puntos de fijación, similar a la posición del cuerpo de la manija empotrado en la puerta del vehículo, el apoyo que genera el resorte de torsión con la manija y los pivotes de apoyo entre el cuerpo y la manija, detallado en la figura 19.

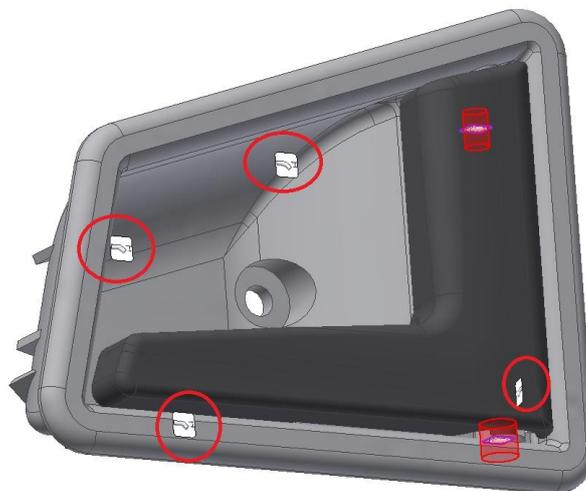


Figura 19. Puntos de fijación

En este paso se va a detallar la ubicación y puntos de esfuerzos donde se someten las cargas dentro de la manija, uno esta donde el usuario manipula normalmente y la reacción que genera el resorte de torsión, siendo un esfuerzo puntual donde se apoya el resorte.

El valor de la carga se definirá en los resultados, posterior a varias simulaciones aumentando la carga para que se pueda apreciar el factor de seguridad (FS) cercano a 1 que significa un punto cercano a la rotura del ítem ensayado donde se podrá apreciar.



Figura 20. Distribución de cargas

En la tabla 52 se muestra las condiciones del entorno de simulación, para mejorar la calidad de los resultados considerando que la presión será de 1 atmosfera a la que se realizará el ensayo, la temperatura del ambiente, en este caso será 23°C que es la temperatura a la cual se realizan la mayoría de los ensayos ISO detallados en la tabla 8 y la gravedad que se considera en la simulación como valor negativo, siendo este la atracción que se genera al piso de manera general.

Tabla 52.
Condiciones de entorno

Presión atmosférica	Temperatura ambiente	Tiempo	Gravedad
1 atmosfera	23°C	Transcurso estable	- 9.81 m / s ²

En la tabla 53 se muestra los datos que serán ingresados para las simulaciones.

Tabla 53.
Datos de simulación

CARGA	ABS y PBT	ABS y PBT	ABS y PBT
fuerza 1	49 N - 5 Kg	68.6 N - 7 Kg	88.26 N - 9 Kg
fuerza 2	134.84 N - 13.75 Kg	188.77 N - 19.25 Kg	242.7 N - 24.75 Kg
momento	9.8 N*m - 1 kgf	9.8 N*m - 1 kgf	9.8 N*m - 1 kgf



Figura 21. Simulación en software

Este ejercicio de simulación se lo realizará varias ocasiones, con diferentes cargas en el material actual (ABS) y en el material ganador (PBT), de esta manera se dará valoración al material ganador de manera comparativa con el material actual, confirmando la validación de simulación en software como muestra la figura 22.

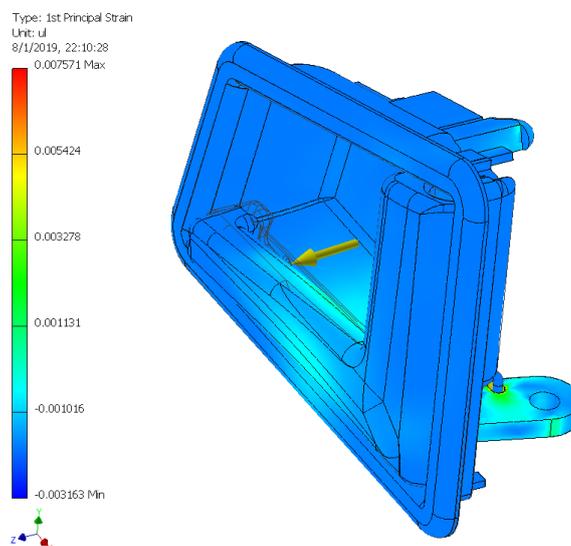


Figura 22. Resultados de simulación con software

Experimentación

Instrumentos de investigación: A continuación, se detallará todos los equipos, instrumentos y herramientas a usarse en esta investigación:

Materiales

- 3 manijas de apertura interior de puerta de vehículo.

Equipos de medición

- Calibrado digital (pie de rey)
- Galgas de radios.
- Flexómetro Stanley.
- Motor reductor WEG.
- Dinamómetro Wei Heng.
- Playo Stanley.
- Destornillador Stanley.
- Llave de boca Stanley.
- Multímetro Pluke.
- Llaves hexagonales Stanley.



Figura 23. Materiales y equipos para pruebas experimentales

Herramientas de diseño (Software)

- Autodesk Inventor 2019

Resultados

Resultados de Métodos de Ponderación

Los resultados de los métodos de ponderación son representados sus valores en la tabla 54, y de manera gráfica en la figura 24.

Tabla 54.
Resultados de métodos de ponderación

Método	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
Entropía	0.260	0.014	0.151	0.031	0.127	0.096	0.216	0.106
Desviación Estándar	2.054	0.138	7.019	0.305	20.899	0.575	20.056	51.908
Variación Estadística	0.186	0.028	0.151	0.055	0.155	0.098	0.209	0.118

Como se aprecia ver el punto de reblandecimiento, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión entre otros criterios de evaluación, el método de ponderación de desviación estándar muestra los valores de pesos con variación considerable en sus resultados, debido a esto se podrá apreciar de manera más perceptible variación de resultados en los métodos multicriterio, es por ello que se escogió el valor de la desviación estándar.

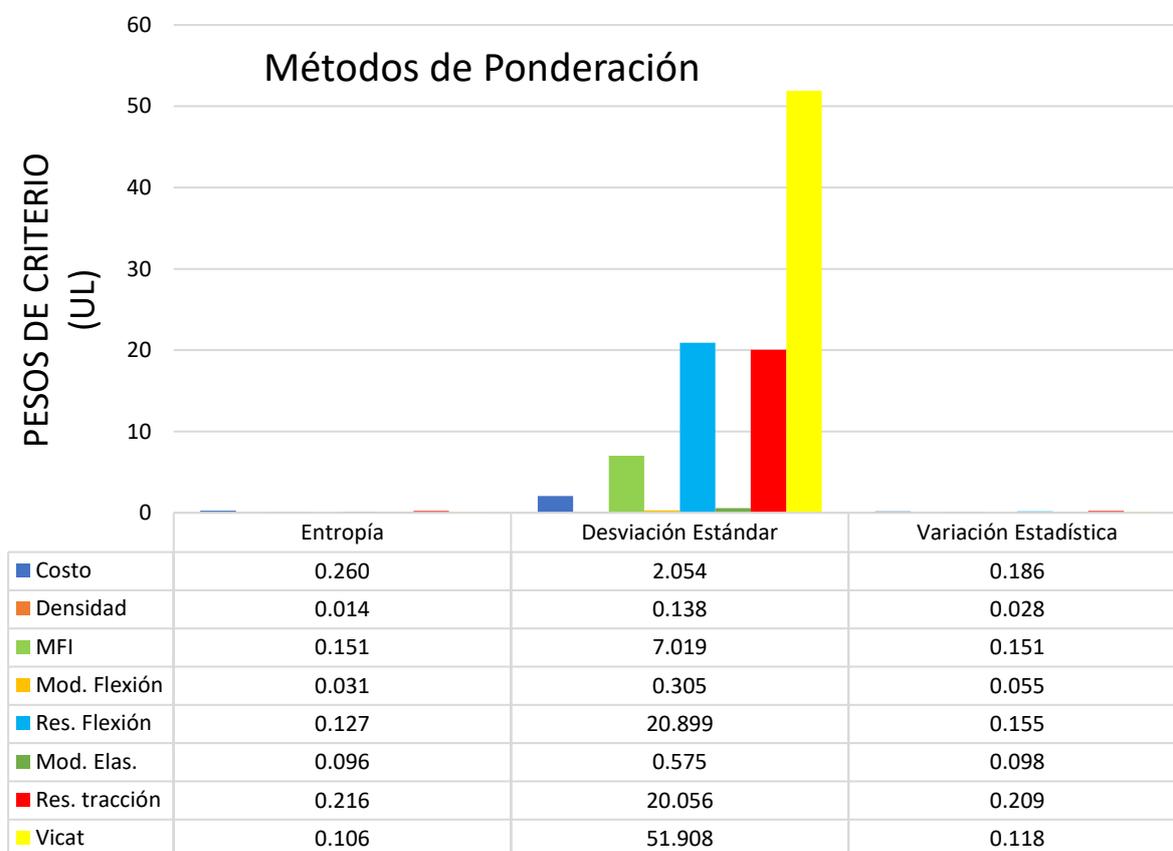


Figura 24. Resultados de Métodos de Ponderación

Resultados de Métodos Multicriterio (MCDM)

A continuación, se mostrará los resultados de todos los métodos multicriterio respecto al uso de ponderación del método de desviación estándar los valores conseguidos.

Resultados del método VIKOR

Este método evalúa independientemente los valores positivos y negativos de los criterios de cada material propuesto como el costo, resistencia a la tracción y su comportamiento ante elevadas temperaturas.

Las consideraciones del método multicriterio VIKOR se muestra la tabla 55, despuntado es el polibutileno tereftalato considerando que el menor valor es la posición 1.

Tabla 55.
Resultados de métodos VIKOR

Alternativa	Valor	Ranking
Polipropileno (PP)	0.57	4
Poliestireno (PS)	0.48	3
Policarbonato (PC)	0.92	7
Poliamida 6 (PA)	0.06	2
Polibutileno tereftalato (PBT)	-0.03	1
Polietileno de alta densidad (HDPE)	0.71	5
Policloruro de Vinilo (PVC)	0.84	6

Los resultados del método multicriterio VIKOR se muestra en la figura 25.

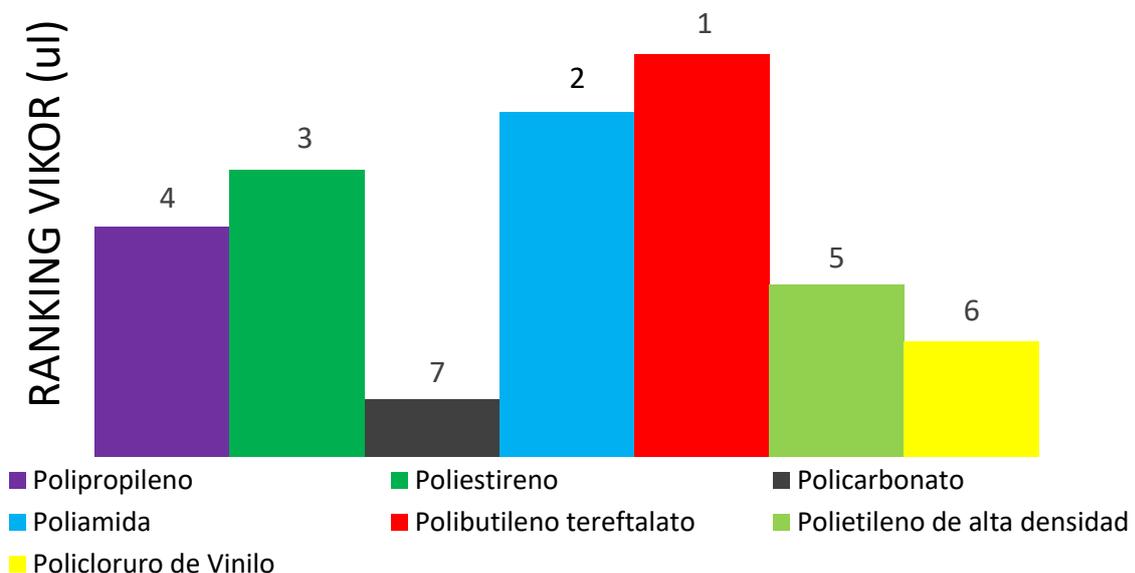


Figura 25. Resultados de Método VIKOR

Resultados del método PUGH

Se evaluó de manera comparativa entre los criterios técnicos, mecánicos, térmicos o el costo de cada material propuesto con un valor positivo, negativo o cero en el caso de ser igual al valor de otro material candidato.

Se realizó el método multicriterio PUGH, donde se obtuvieron los resultados que muestra la tabla 56, en la cual el material ganador es el polibutileno tereftalato.

Tabla 56.
Resultados de métodos PUGH

Alternativa		Valor	Ranking
Polipropileno	(PP)	35.48	4
Poliestireno	(PS)	158.92	2
Policarbonato	(PC)	-21.48	5
Poliamida 6	(PA)	158.92	2
Polibutileno tereftalato	(PBT)	166.52	1
Polietileno de alta densidad	(HDPE)	40.48	3
Policloruro de Vinilo	(PVC)	-101.88	6

A continuación, se muestra en la figura 26 los resultados de selección de material obtenidos en el uso del método multicriterio PUGH donde podemos apreciar como material ganador a al polibutileno tereftalato

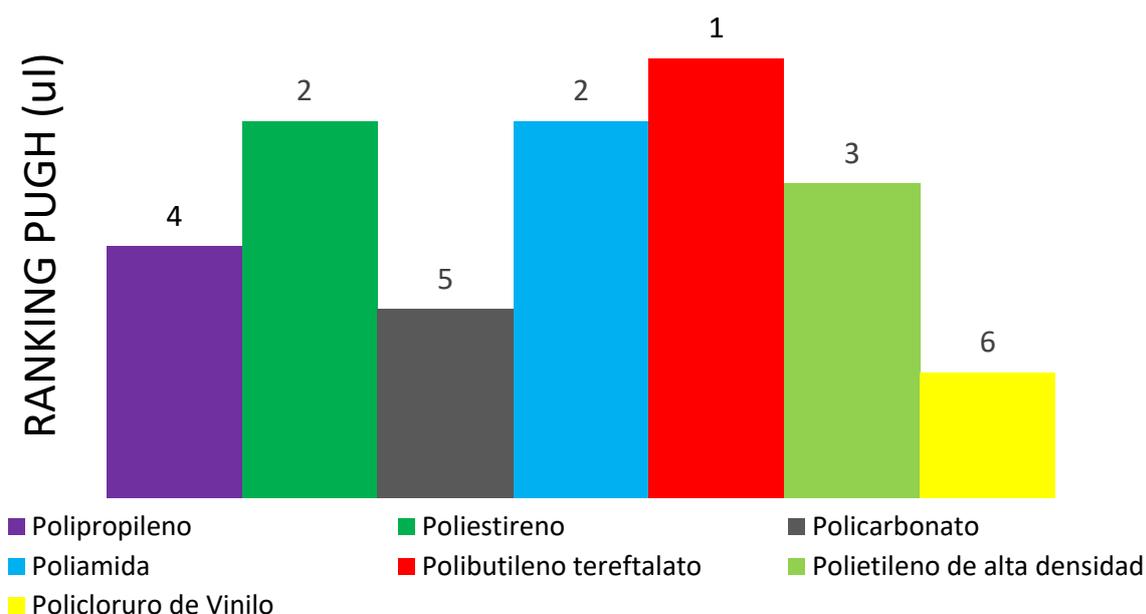


Figura 26. Resultados de Método PUGH

Resultados del método TOPSIS

Con este método se obtuvo la solución ideal positiva y negativa, relacionada con los diferentes valores que ofrece el material actual (ABS), dando un resultado próximo a las diferencias en el caso de mejores o ineficiencias de cada criterio evaluado con las otras opciones de materiales.

Se realizó el método multicriterio TOPSIS, donde se obtuvieron los resultados que muestra la tabla 55, en la cual el material ganador el polibutileno tereftalato.

Tabla 57.
Resultados de métodos TOPSIS

Alternativa		Valor	Ranking
Polipropileno	(PP)	0.982	7
Poliestireno	(PS)	0.987	5
Policarbonato	(PC)	0.9895	3
Poliamida 6	(PA)	0.9892	4
Polibutileno tereftalato	(PBT)	0.998	1
Polietileno de alta densidad	(HDPE)	0.984	6
Policloruro de Vinilo	(PVC)	0.996	2

En la figura 27 y los resultados de multicriterio TOPSIS donde podemos apreciar como material ganador a al polibutileno tereftalato.

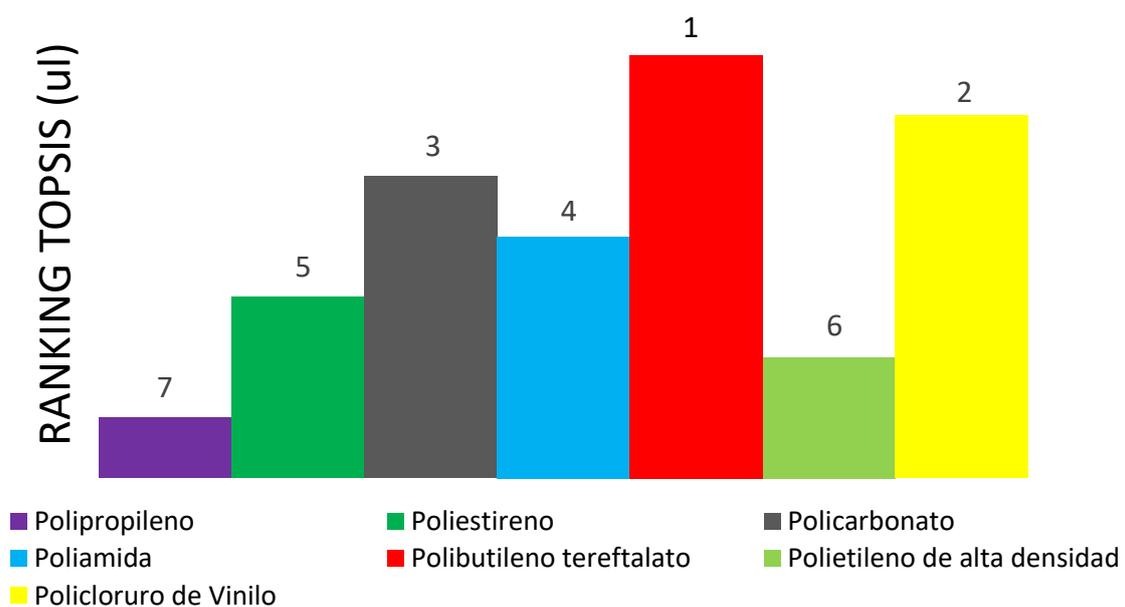


Figura 27. Resultados de Método TOPSIS

Resultados del método PROMETHEE II

Los resultados obtenidos por el método PROMETHEE II son en base del rendimiento de alternativa comparando con el mismo criterio de otra alternativa de material, por medio de soluciones ideales.

Se realizó el método multicriterio PROMETHEE II, donde se obtuvieron los resultados que muestra la tabla 56, en la cual el material ganador la Poliamida 6.

Tabla 58.
Resultados de métodos PROMETHEE II

Alternativa	Valor	Ranking
Polipropileno (PP)	-7.633	4
Poliestireno (PS)	119.494	3
Policarbonato (PC)	-236.495	6
Poliamida 6 (PA)	225.618	1
Polibutileno tereftalato (PBT)	213.780	2
Polietileno de alta densidad (HDPE)	-250.199	7
Policloruro de Vinilo (PVC)	-64.565	5

A continuación, se muestra en la figura 28 los resultados de selección de material obtenidos en el uso del método multicriterio PROMETHEE II donde podemos apreciar como material ganador la poliamida 6.

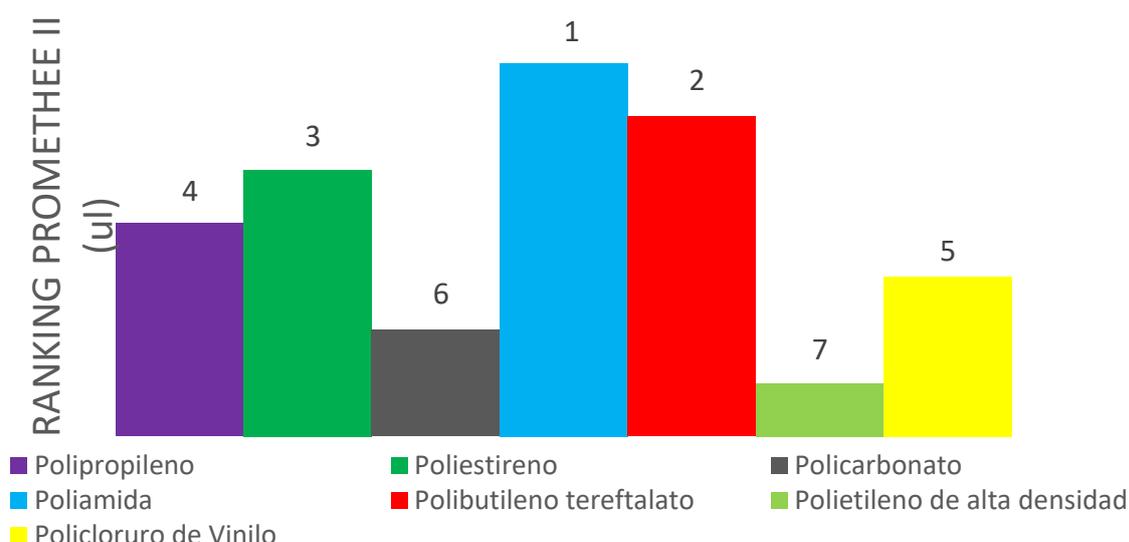


Figura 28. Resultados de Método PROMETHEE II

Resultados del método COPRAS

Los resultados del método COPRAS buscan los mejores valores orientados a los resultados ideales de manera comparativa entre todos los criterios, mecánicos, térmicos y el costo de los diferentes materiales.

Se realizó el método multicriterio COPRAS, donde se obtuvieron los resultados que muestra la tabla 59, en la cual el material ganador la Poliamida 6.

Tabla 59.
Resultados de métodos COPRAS

Alternativa		Valor	Ranking
Polipropileno	(PP)	63.343	4
Poliestireno	(PS)	77.712	3
Policarbonato	(PC)	43.745	7
Poliamida 6	(PA)	97.306	2
Polibutileno tereftalato	(PBT)	100	1
Polietileno de alta densidad	(HDPE)	63.118	5
Policloruro de Vinilo	(PVC)	59.542	6

A continuación, se muestra en la figura 29 los resultados de selección de material obtenidos en el uso del método multicriterio COPRAS donde podemos apreciar como material ganador la poliamida 6.

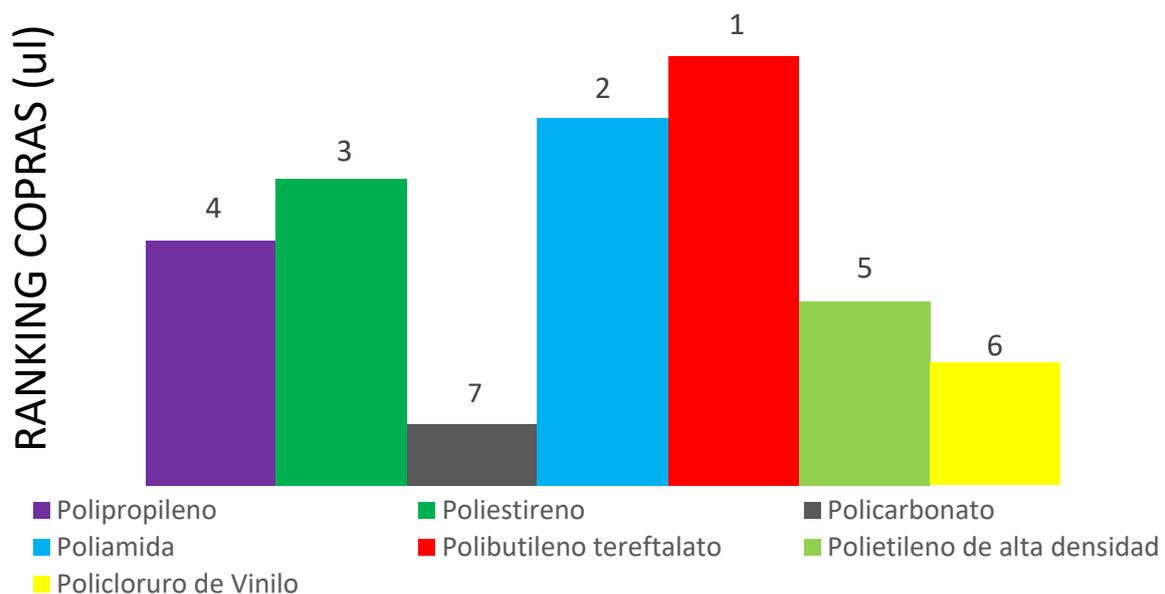


Figura 29. Resultados de Método COPRAS

Resultados de correlación de SPEARMAN

Tabla 60.

Correlación de Spearman aplicados en MCDM

	VIKOR	PUGH	TOPSIS	PROMETHEE II
PUGH	0.88	-	-	-
TOPSIS	0.11	-0.08	-	-
PROMETHEE II	0.86	0.69	0.25	-
COPRAS	1.00	0.88	0.86	0.86

Como se indica en la tabla 60 una comparación que existen entre los resultados obtenidos por los métodos M.C.D.M. aplicados, este análisis se lo realiza con el uso de correlación del coeficiente de Spearman, puntualizando los resultados, en el caso del método VIKOR con sus semejantes, se aprecia que su correlación con tres métodos esta desde 0.86 hasta 1 valor que muestras una correlación positiva máxima, siendo en este caso una concordancia de resultados entre los dos métodos, sin embargo con el método TOPSIS muestra una correlación de 0.11, siendo esta muy débil al estar cercana a cero.

El coeficiente de SPEARMAN en el caso del método PUGH presente una correlación positiva consistente de 0.69 con el método PROMETHEE II y mejor aún con el método COPRAS de 0.88, a diferencia de una correlación negativa y muy cercana a ser nula o muy débil con el método TOPSIS de -0.08.

En el caso del método TOPSIS como base en el análisis del coeficiente de correlación de SPEARMAN es débil con un valor de 0.25 respecto al método PROMETHEE II y muy aceptable con COPRAS con un valor de 0.86, siendo este último valor similar al coeficiente de correlación entre los métodos PROMETHEE II y el método COPRAS, como se muestra en la figura 30 la correlación que tiene cada uno de los métodos entre sí.

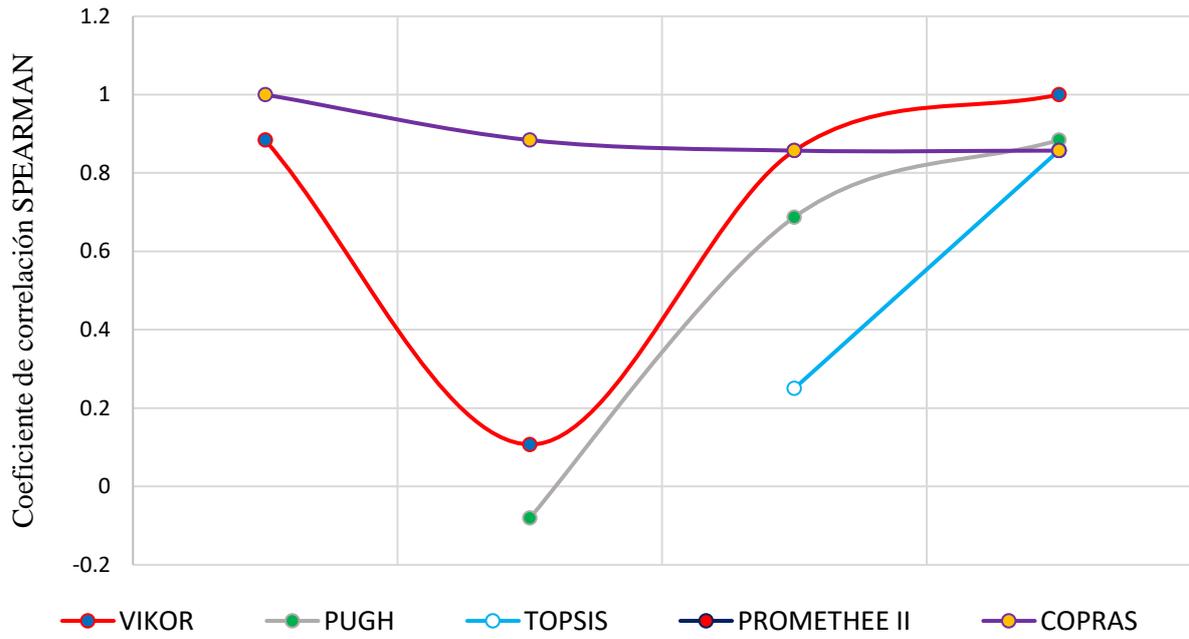


Figura 30. Comparación de correlación Spearman aplicado en MCDM

Resultados Simulación Mecánica

Se realizó la simulación mecánica del sistema de manija de apertura interior de puerta de vehículo, donde se obtuvieron resultados relacionados al comportamiento del sistema como los esfuerzos resultantes debido a la tracción y flexión que se genera en la parte móvil de la manija, resultados que se mostrarán comparando el CAD 3D ejecutada en material ABS (material actual) con el material PBT (material ganador en M.C.D.M.)

Resultados de Factor de Seguridad (F.S.)

Este coeficiente de seguridad garantiza el sistema como tal, ha sido evaluado hasta encontrar un valor inferior a 1 en el caso del material actual ABS, con una carga de aplicación aproximada a 8.5 Kgf. El factor de seguridad mostro un valor de (0.77 ul.) siendo este valor unidad adimensional, pero al ser inferior a 1 muestra que el sistema colapsa o se llega a romper en la zona donde muestra el valor inferior de F.S. en condiciones iguales se hace la simulación al material ganador en selección multicriterio PBT con un F.S. de (2.12 ul.) siendo este valor representativo en cuanto a las propiedades mecánicas que el ABS.

Considerando los resultados de M.C.D.M., podemos consolidar en el Factor de Seguridad las propiedades físicas y mecánicas del PBT superan al ABS en la densidad, y la resistencia a la tracción, en las cuales aumentan la compactación de la manija por su material y las cargas ensayadas no alteran de manera permanente a la manija como se puede revisar los resultados en las figuras 31 (a), (b) y (c) muestran como al aumentar la carga en la simulación de 5 Kg a 7 Kg y posteriormente 9 Kg. va disminuyendo el F. S. y se prevé que entre 7 y 9 Kg llegue a la fractura como lo menciona (Rios & Roncancio, 2007) valores inferiores a 1 demuestra que el valor requerido es inferior al valor calculado poniendo en riesgo de rotura al ítem diseñado, a diferencia del PBT en las figuras 32 (a), (b) y (c), donde su valor de F.S. supera fácilmente a 1 siendo resistente a estas cargas.

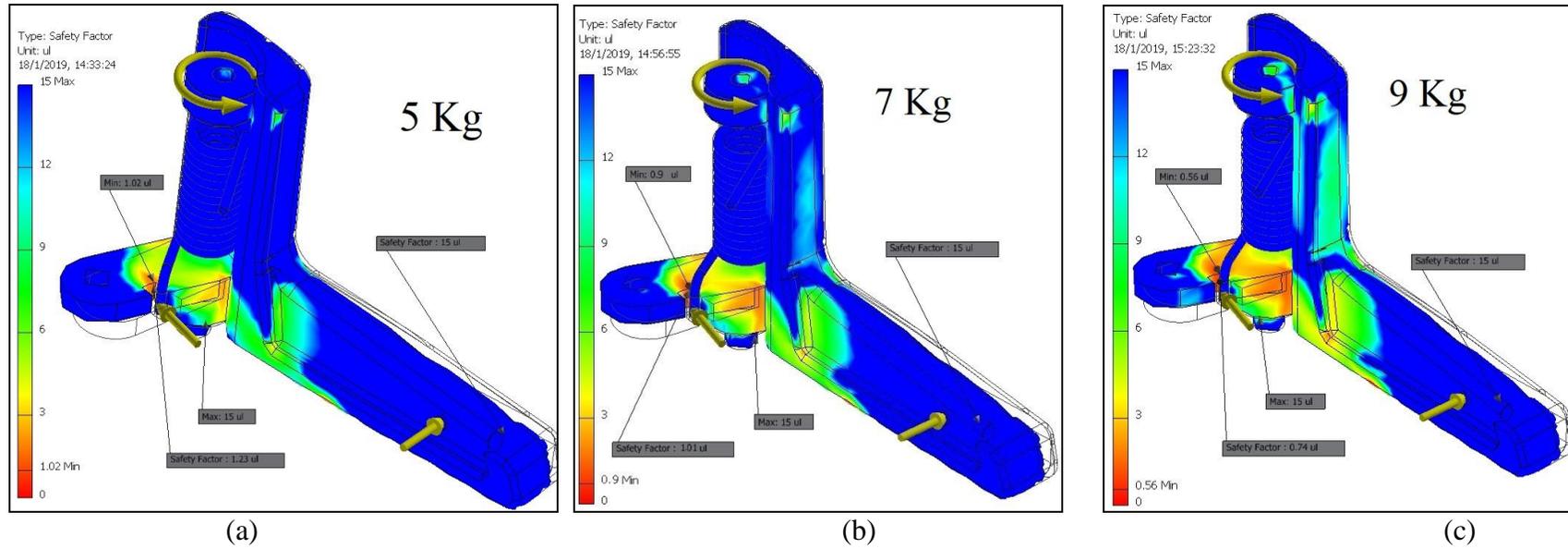


Figura 31. Factor de seguridad de ABS en simulación

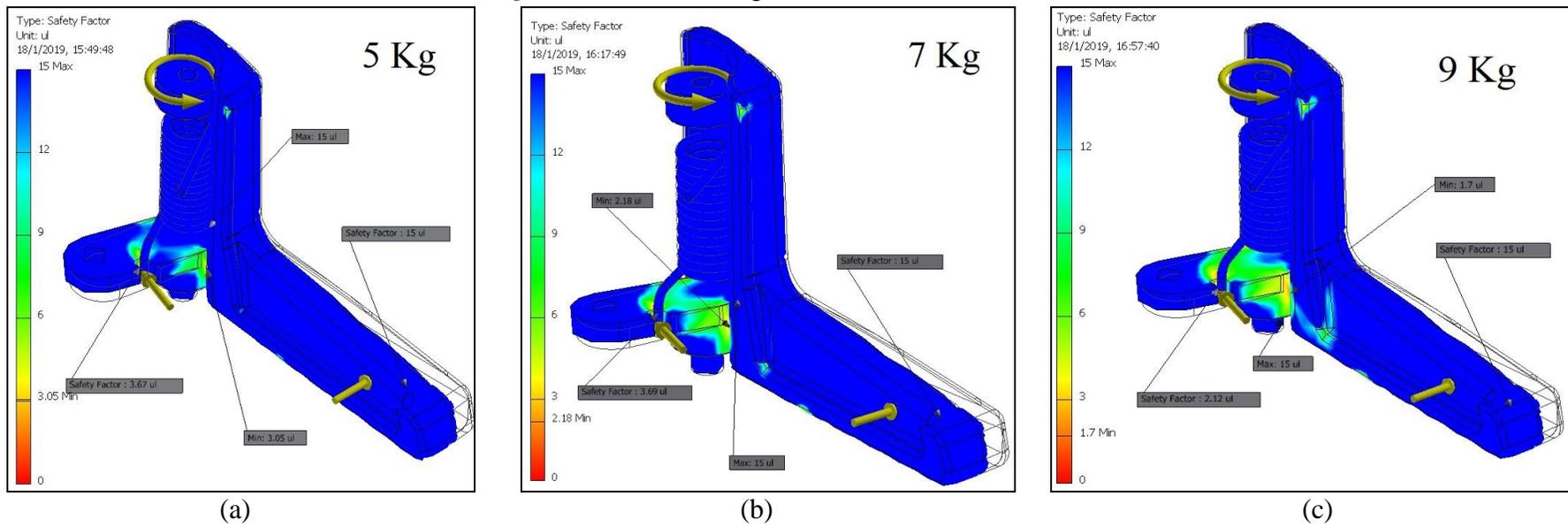


Figura 32. Factor de seguridad de PBT en simulación

Resultados de Esfuerzo Deformación

A continuación, se muestra el esfuerzo deformación en los dos casos de materiales a evaluar con el método que propone el software esfuerzo Von Misses conocida como teoría de falla siendo proporcional a la energía de distorsión, el desplazamiento de los elementos, a pesar que no será identificado como critico ya que el sistema en estudio es de manera estática y con este método se evaluara los criterios de falla elástico de la manija que está en constante movimiento sin embargo, será complemento de las gráficas obtenidas.

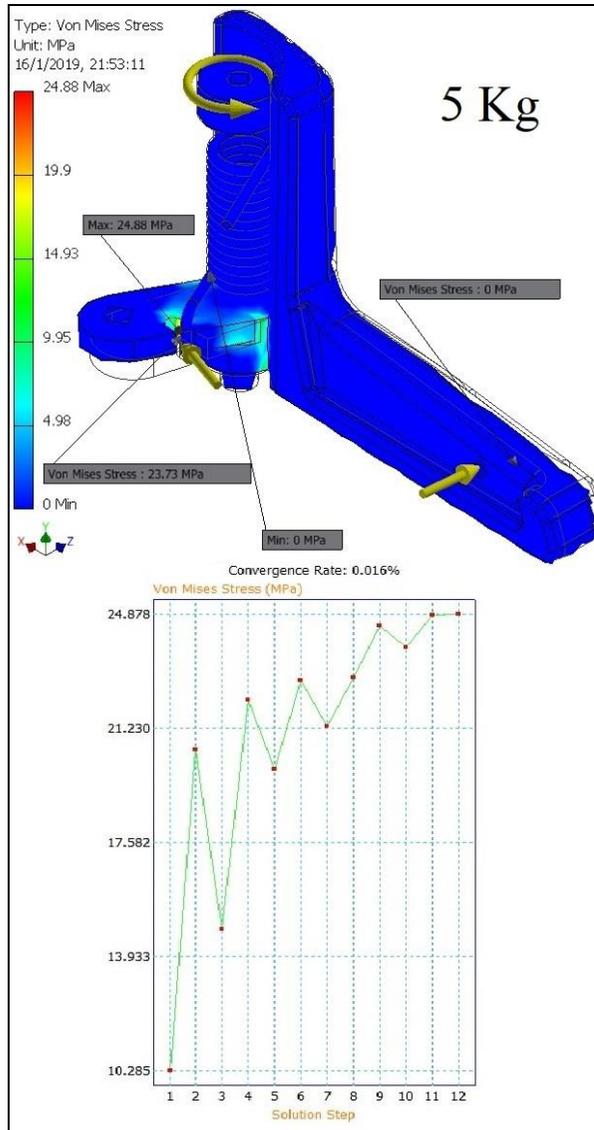
De esta simulación se determina el comportamiento de los materiales en similares condiciones de evaluación, donde observamos que el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción del PBT al ser mayor que el ABS, los resultados obtenidos por el PBT poseen una mayor resistencia, dando mejores resultados que el ABS.

La tabla 61 muestra los resultados de la simulación con el criterio de Von Misses.

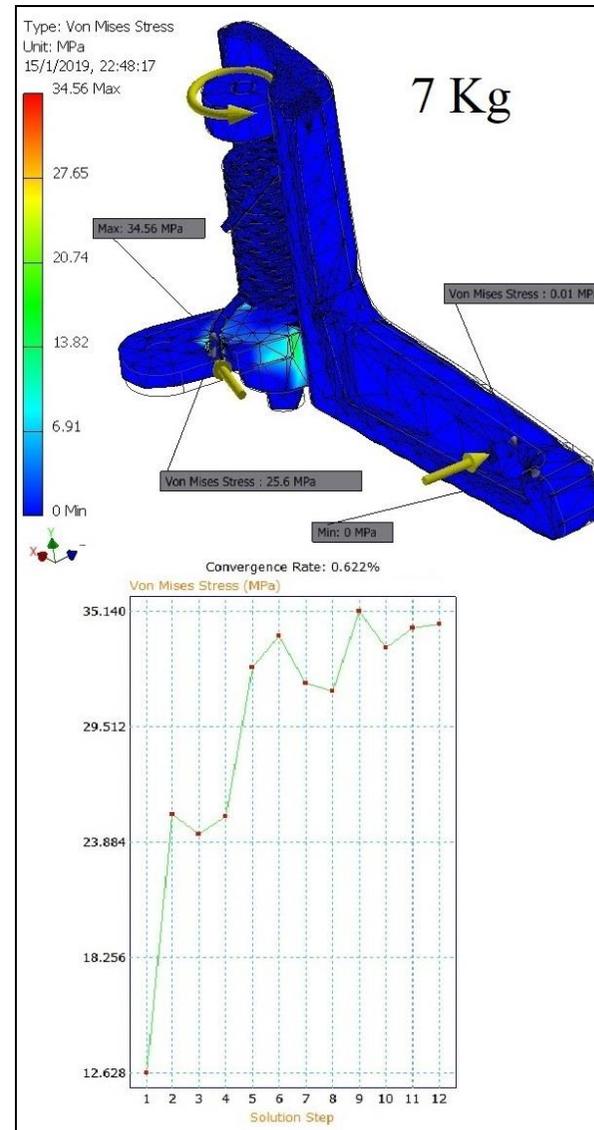
Tabla 61.
Resultados de simulación esfuerzo deformación

Material	ABS	PBT	ABS	PBT	ABS	PBT
Esfuerzo a	5 Kg	5 Kg	7 Kg	7 Kg	9 Kg	9 Kg
Máximo	24.88 MPa	27.56 MPa	34.56 MPa	35.96 MPa	45.99 MPa	49.45 MPa
Punto rotura	23.73 MPa	26.55 MPa	25.6 MPa	29.43 MPa	34.07 MPa	46.9 MPa
Extremo manija	0	0.03 MPa	0.01 MPa	0.02 MPa	0.02 MPa	0.04 MPa

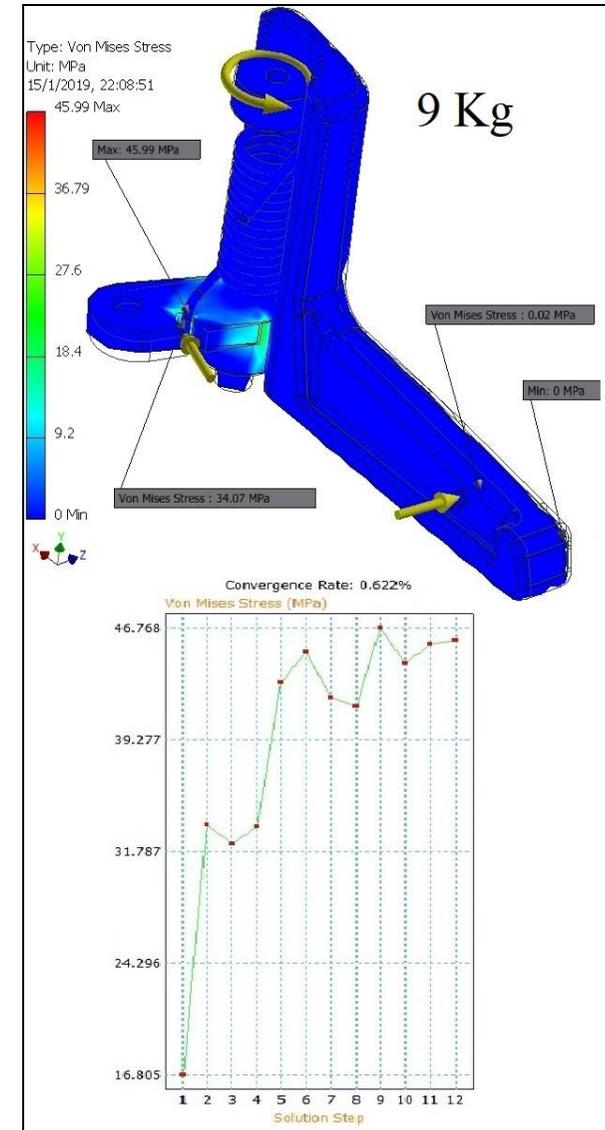
En las figuras 33 (a), (b) y (c) muestran el aumentar de carga en simulación de 5 Kg a 7 Kg y posteriormente 9 Kg. mostrando la resistencia a la deformación del ABS de 23,73 MPa. a 25,6 Mpa. y 34,07 MPa. en el punto de fractura. A diferencia del PBT en las figuras 34 (a), (b) y (c), mostrando valores de resistencia a la deformación mayor con las mismas cargas que son desde 26,55 MPa. a 29,43 MPa. y 46.9 MPa. mostrando mejores resultados que el ABS, todos ellos con su respectiva curva de iteraciones hasta alcanzar una variación inferior a 1% de variación, siendo este un valor cercano a la convergencia en decimales.



(a)

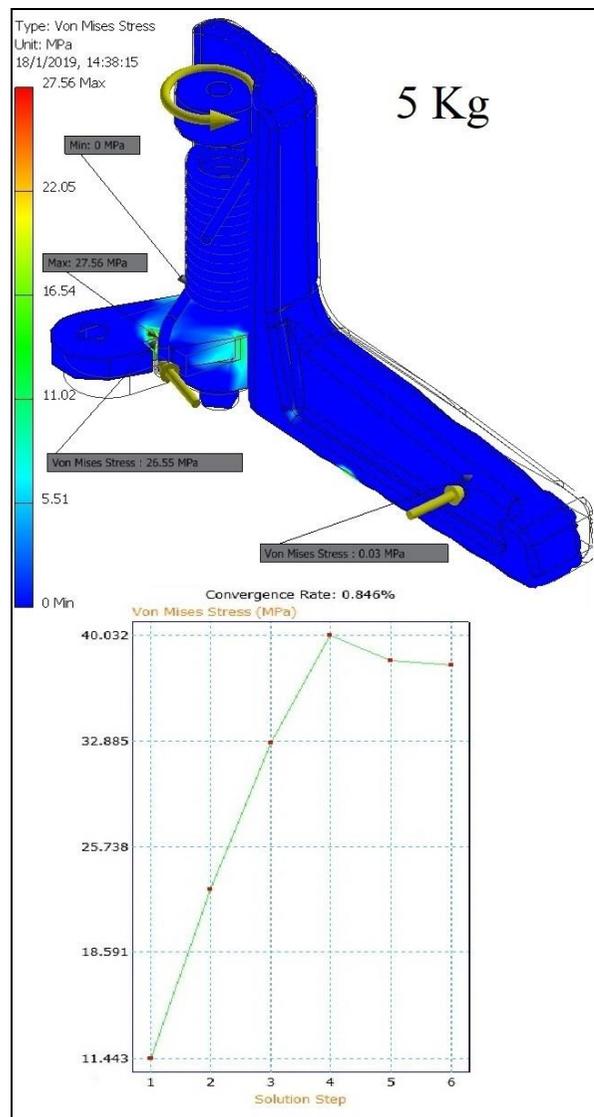


(b)

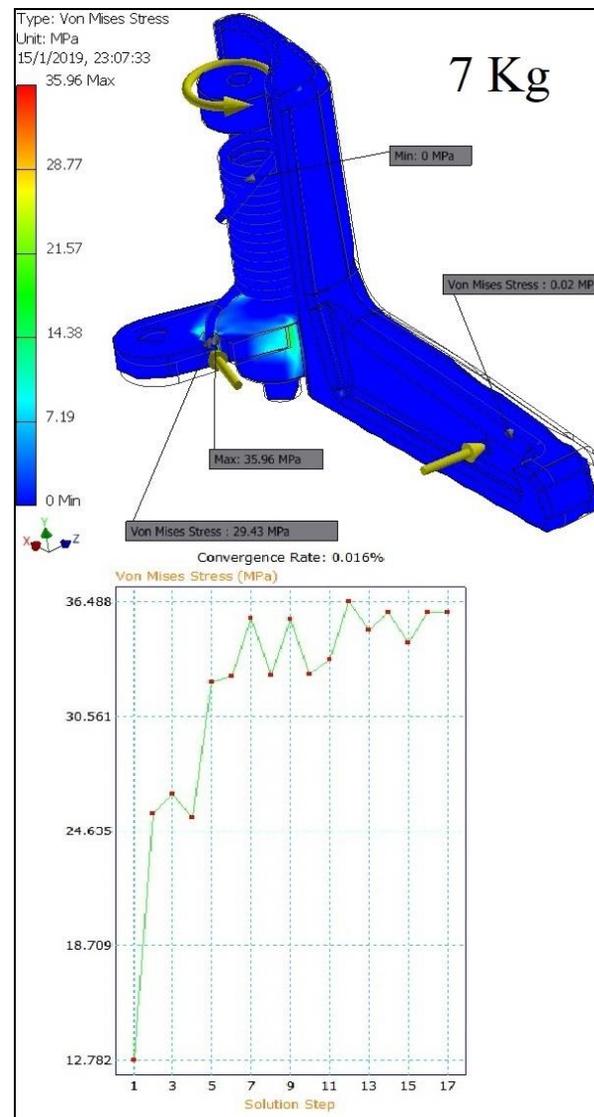


(c)

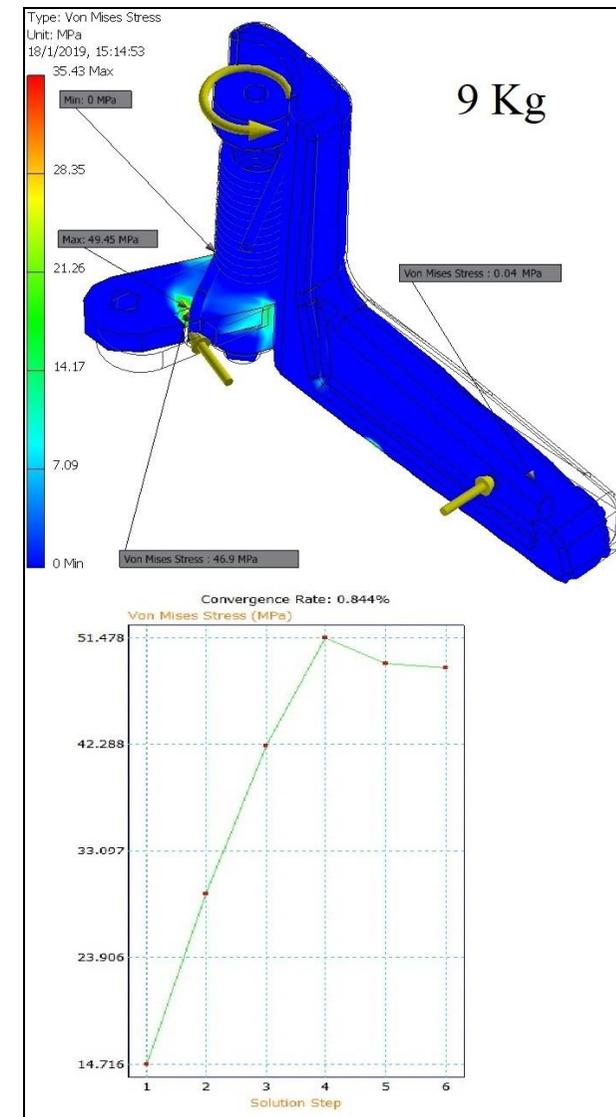
Figura 33. Esfuerzo deformación del ABS en simulación



(a)



(b)



(c)

Figura 34. Esfuerzo deformación del PBT en simulación

Resultados de Desplazamiento

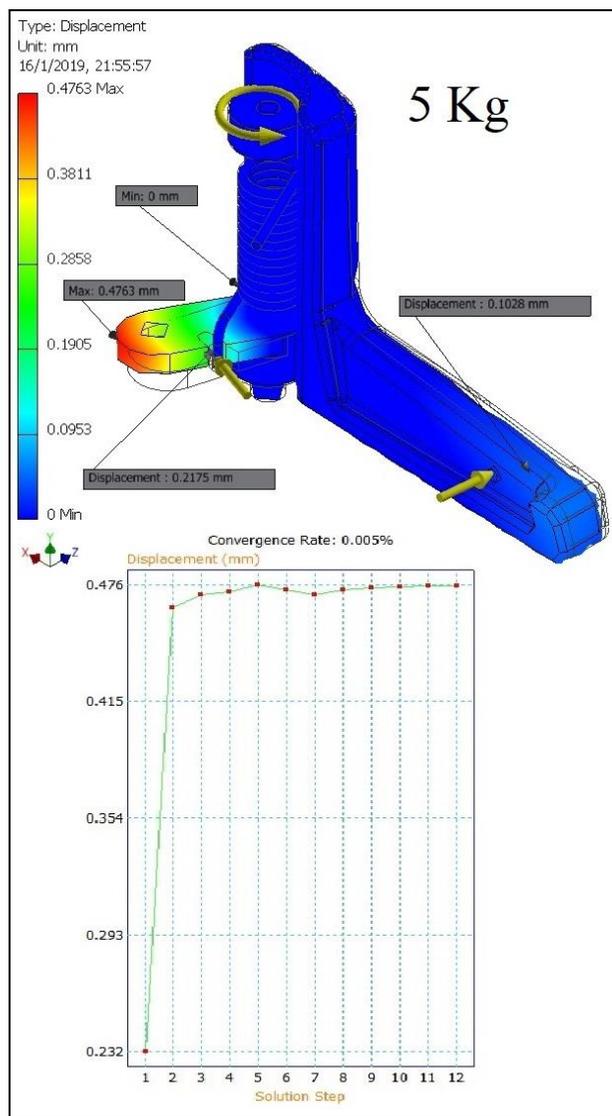
Otra variable a evaluar, es el desplazamiento que se genera por las cargas aplicadas en la simulación, mostrando las zonas críticas del mecanismo en análisis, con estos resultados podemos dichas zonas como falta de rendimiento en las propiedades del material base.

Se analiza el desplazamiento en la manija durante la aplicación de fuerza respecto al desplazamiento que se dan por la reacción del resorte, y las paredes donde está fijada la manija como tal, considerando que está apoyada al cuerpo manija de manera deslizante en los extremos con un desplazamiento radial donde sus cargas al no ser mayores a las recibidas en la zona donde se apoya el resorte de torsión no serán consideradas, en el caso del ABS con una carga de aplicación de 9 Kg. el ABS muestran un desplazamiento de 0.9 mm y en el caso de PBT, el desplazamiento es de 0.3 mm, considerado el 66% de desplazamiento menos que el ABS.

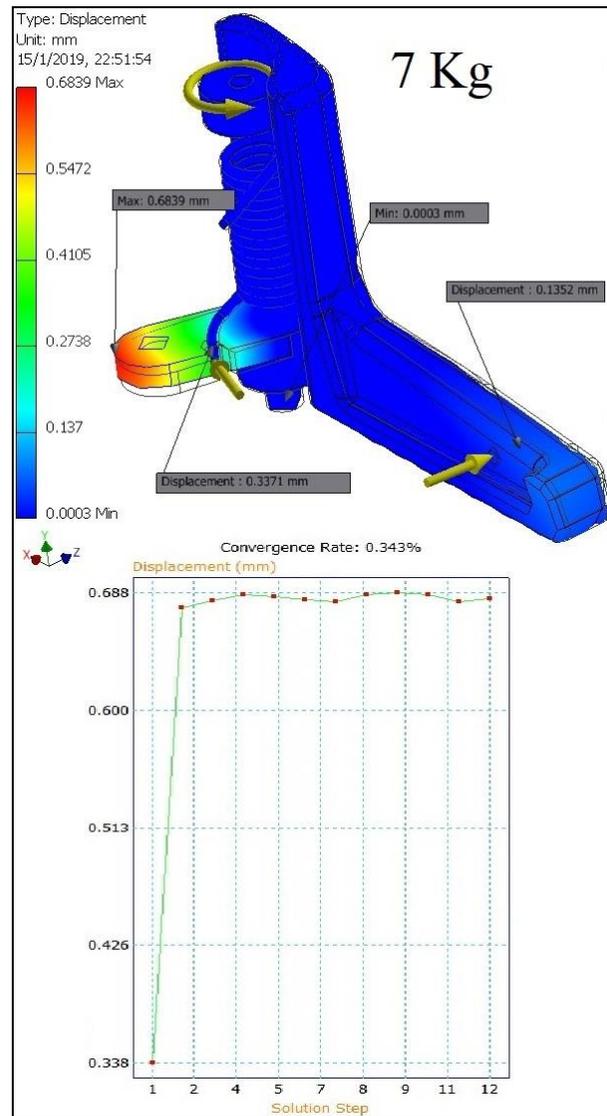
Tabla 62.
Resultados de simulación desplazamiento

Material	ABS	PBT	ABS	PBT	ABS	PBT
Esfuerzo a	5 Kg	5 Kg	7 Kg	7 Kg	9 Kg	9 Kg
desplaz. mínimo	0	0	0.0003 mm	0	0.0004 mm	0.0001 mm
desplaz. máximo	0.4763 mm	0.1384 mm	0.6839 mm	0.2168 mm	0.9102 mm	0.2902 mm
desplaz. en punto rotura	0.2175 mm	0.0657 mm	0.3371 mm	0.1039 mm	0.4486 mm	0.1402 mm
desplaz. extremo manija	0.1028	0.055 mm	0.1352 mm	0.1095 mm	0.1799 mm	0.1455 mm

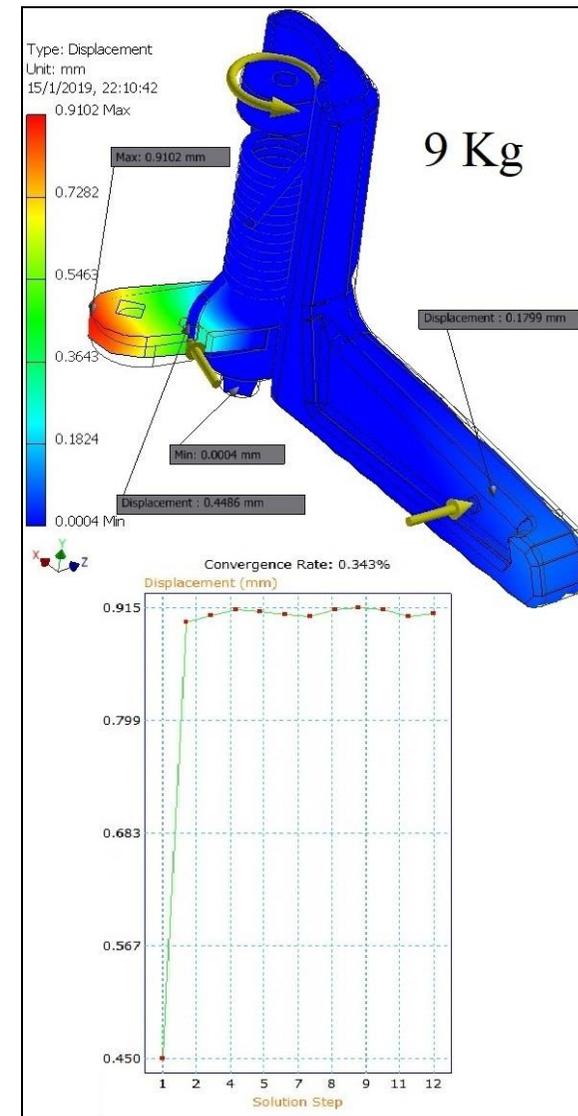
Esto podría ser un indicador que el ABS es un material más sensible a presentar daños de deformación permanente o posibles puntos de fisura como se puede evidenciar en los resultados de F.S. que los puntos críticos están aledaños a los vistos en las figuras 35 (a), (b) y (c) con desplazamiento detallado en la tabla 62 y sus respectivos valores crecientes de carga, y en la figura 36 (a), (b) y (c) son los desplazamientos con las mismas cargas aplicadas al PBT



(a)

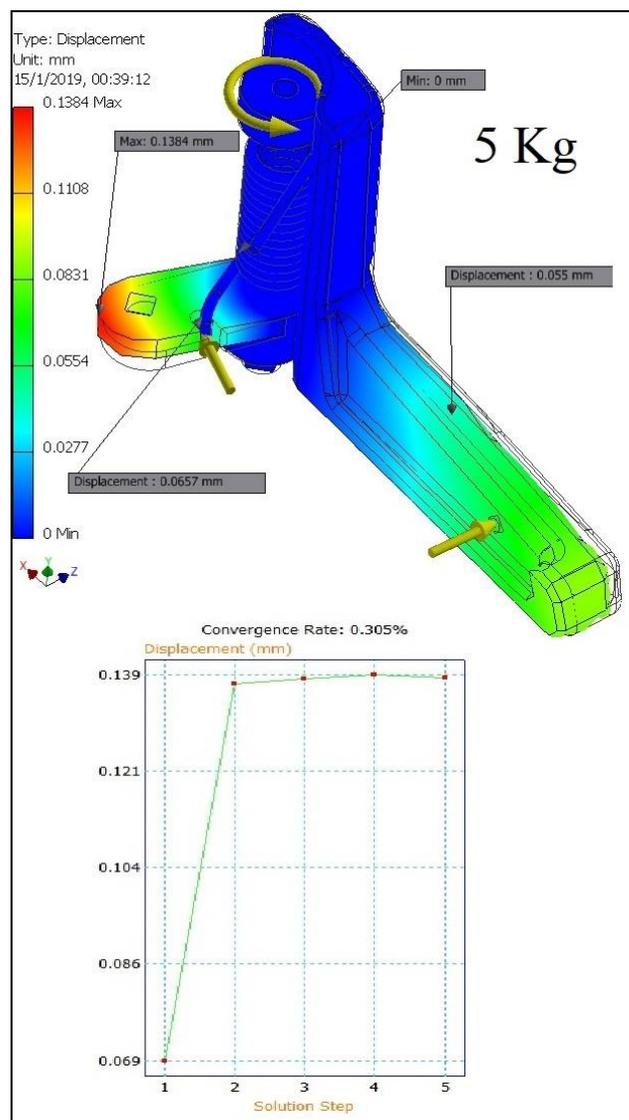


(b)

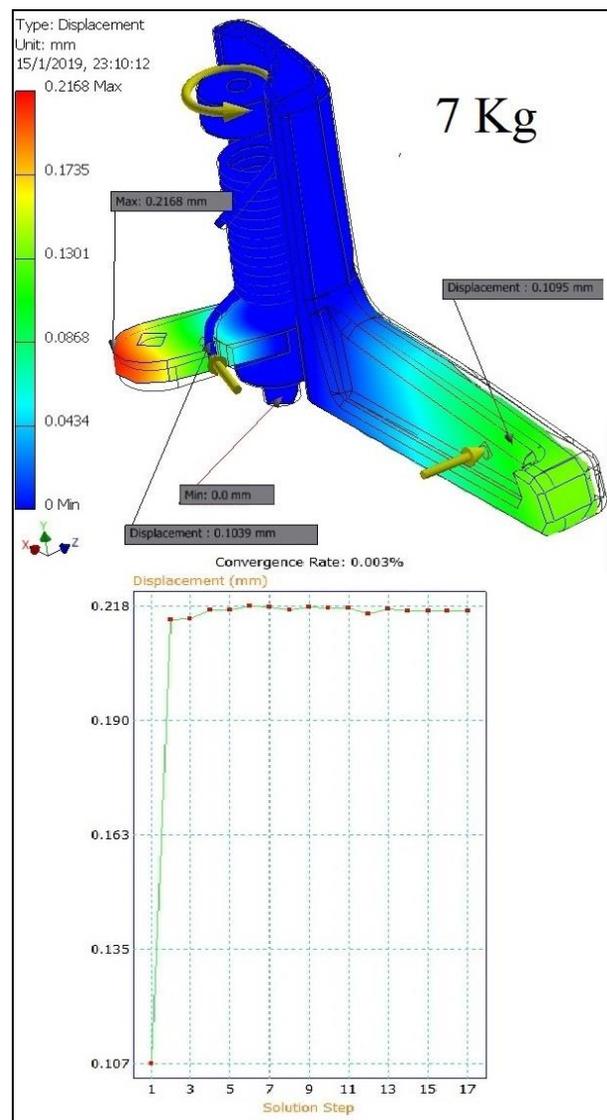


(c)

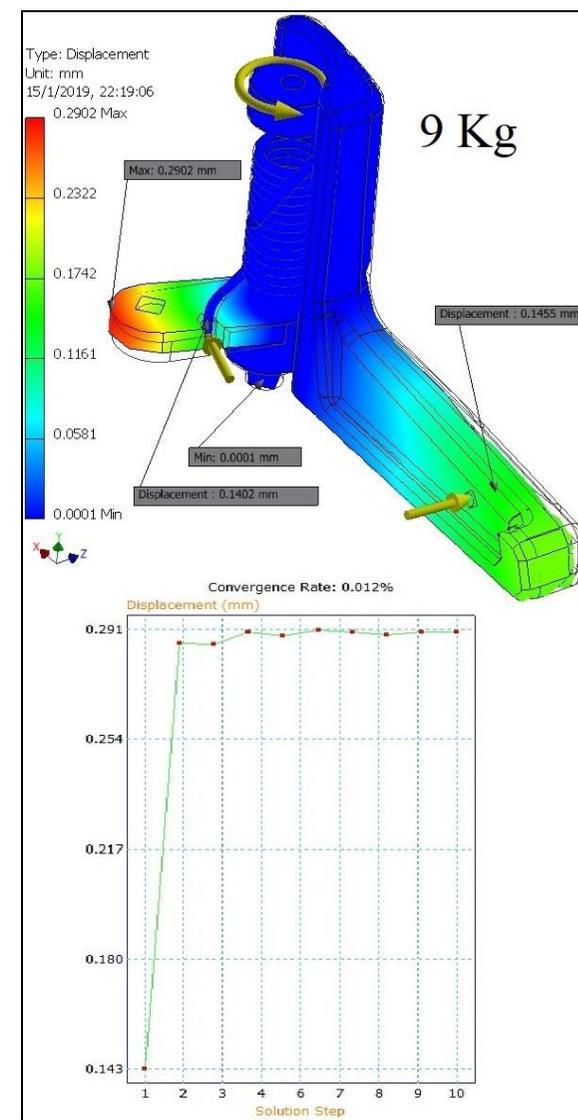
Figura 35. Desplazamiento del ABS en simulación



(a)



(b)



(c)

Figura 36. Desplazamiento del PBT en simulación

Resultados comparativos de simulación

En las figuras 31, 32, 33, 34, 35 y 36 se muestra los resultados obtenidos de varias simulaciones hasta determinar el posible punto de ruptura del material actual y el comportamiento del material ganador a las mismas condiciones que colapsa el material actual.

Se debe tener presente que cada material tiene propiedades diferentes, en algunas favorece el ser de mayor dureza y en otras la facilidad de flexibilidad, en esta aplicación, si favorece que el material tenga mayor resistencia a las cargas aplicadas tomando en cuenta la compactación del material que sería directamente proporcional a la densidad de la materia prima y varias características que se ven reflejadas en los resultados obtenidos.

En las figuras 37, 38 y 39 se muestra el análisis comparativo de factor de seguridad entre el ABS y PBT en sus diferentes cargas aplicadas.

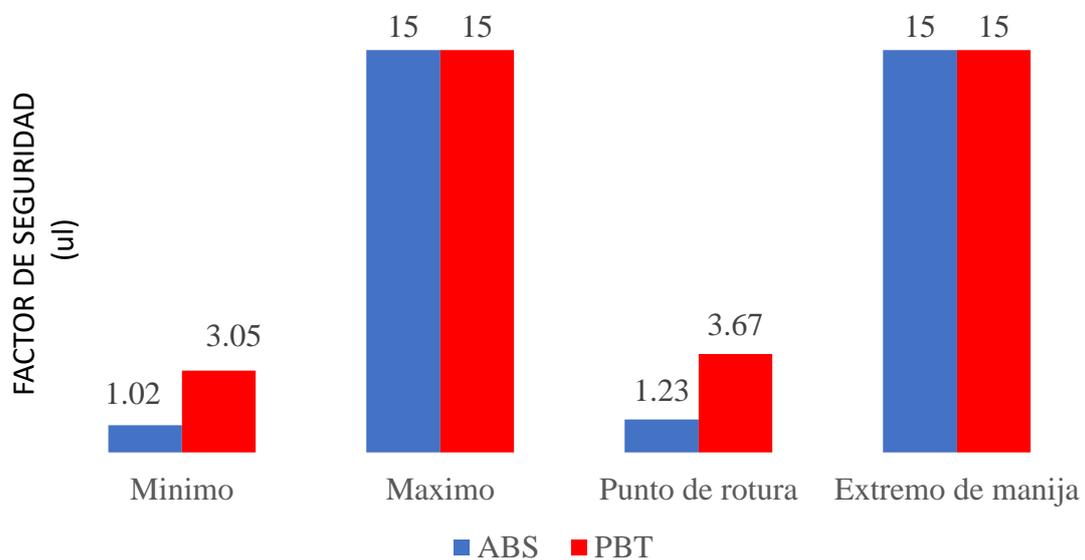


Figura 37. Comparación F.S. ABS y PBT 5 Kg

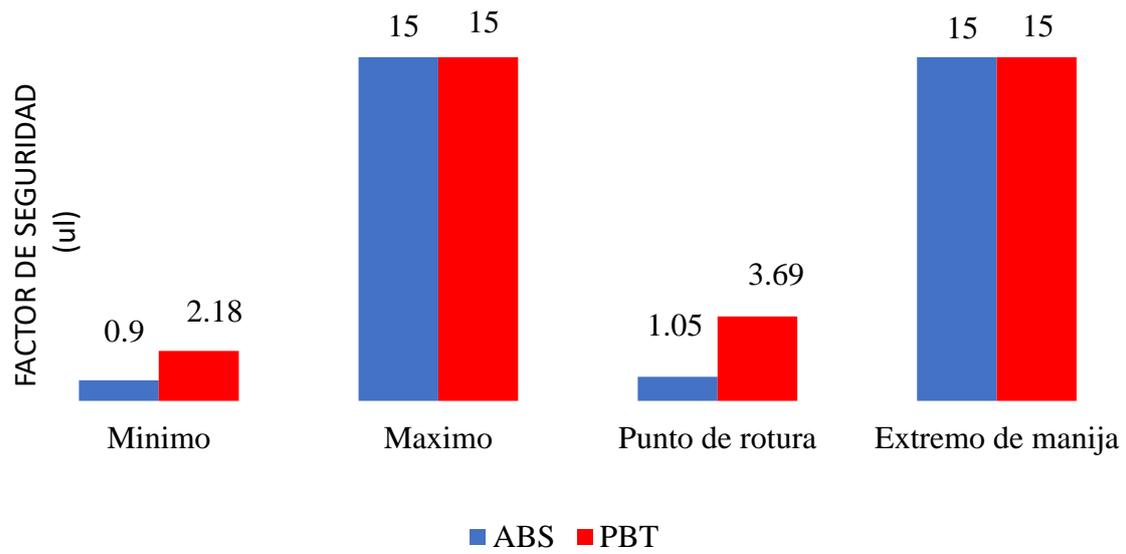


Figura 38. Comparación F.S. ABS y PBT 7 Kg

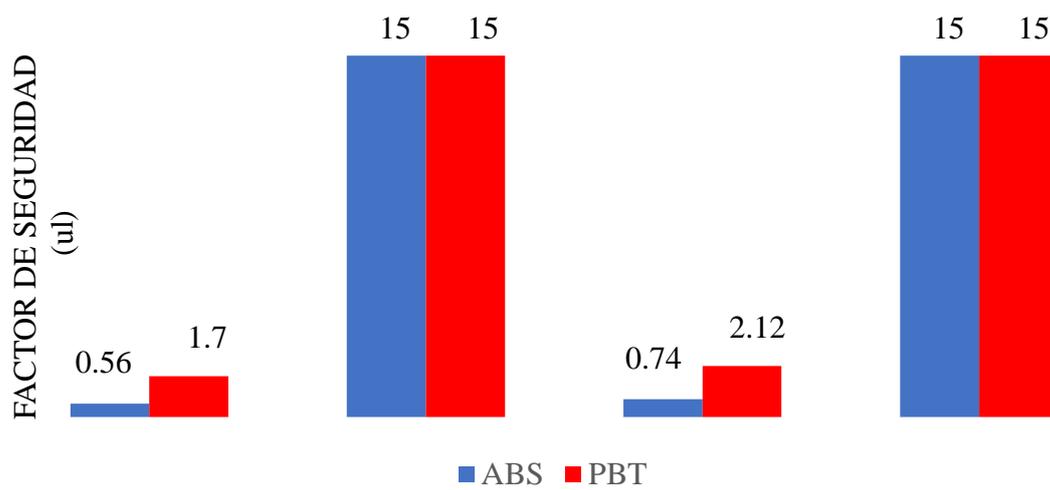


Figura 39. Comparación F.S. ABS y PBT 9 Kg

Las figuras 40, 41 y 42, se muestra el análisis comparativo de desplazamiento entre el ABS y PBT en sus diferentes cargas aplicadas.

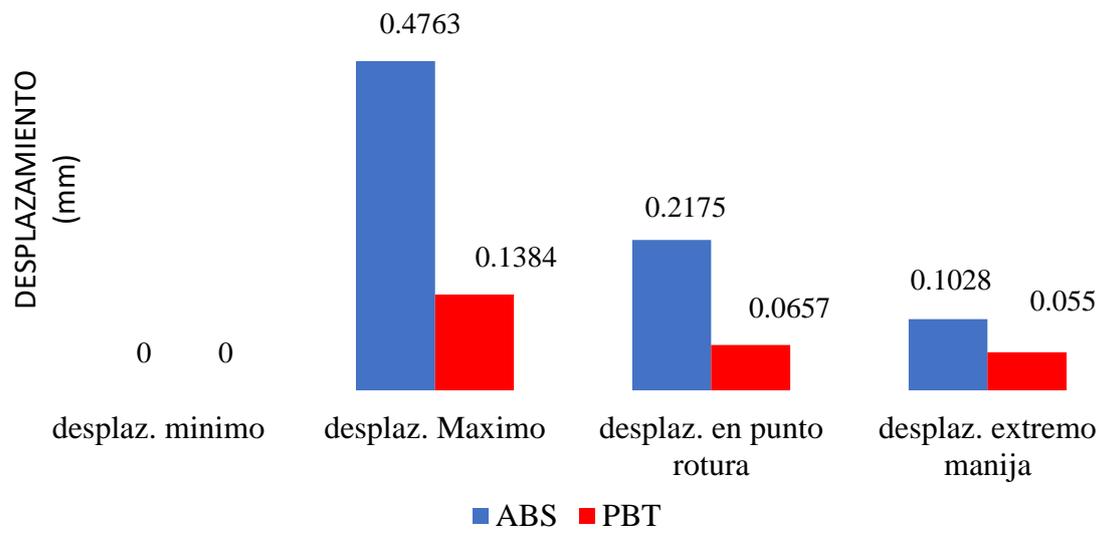


Figura 40. Comparación Desplazamiento entre ABS y PBT 5 Kg

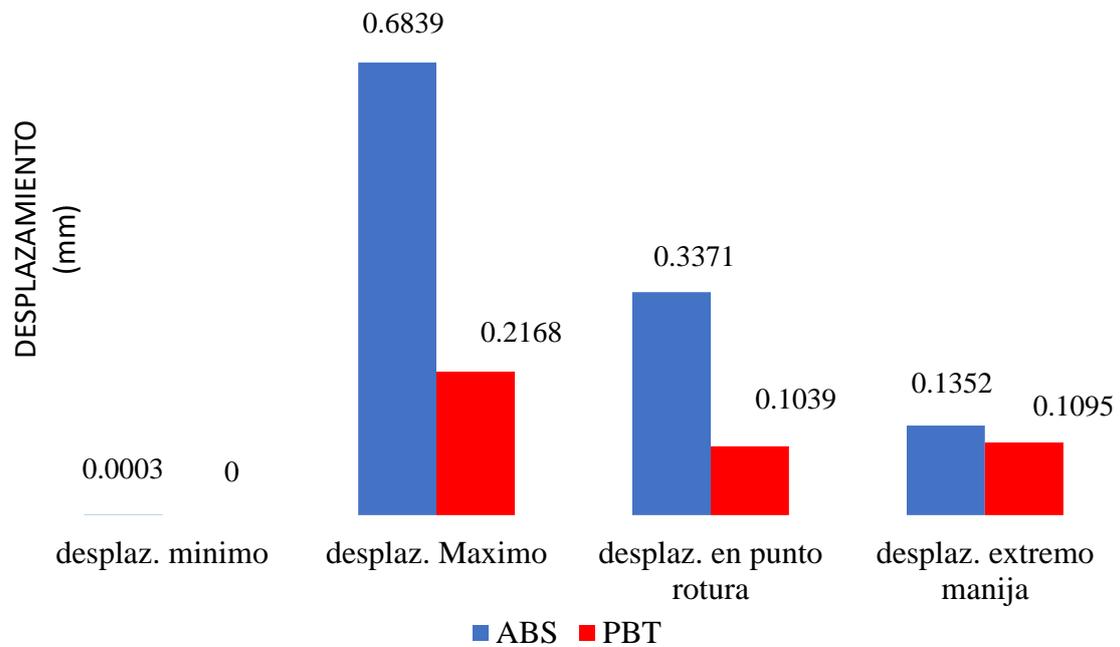


Figura 41. Comparación Desplazamiento entre ABS y PBT 7 Kg

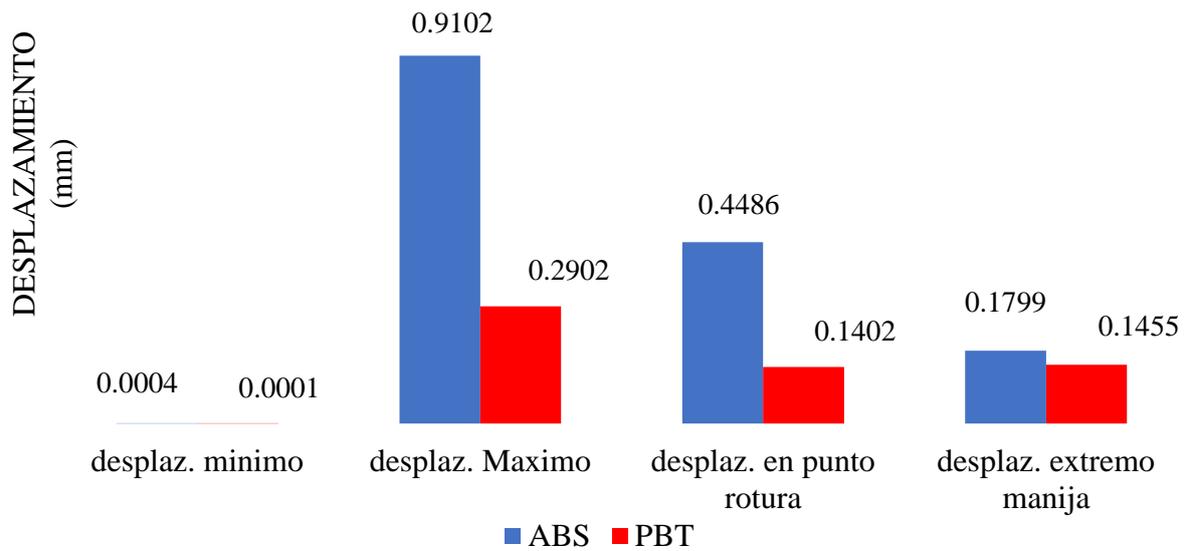


Figura 42. Comparación Desplazamiento entre ABS y PBT 9 Kg

En esta evaluación de desplazamiento hay que tener presente que el ABS presenta mayor desplazamiento o se podría señalar también como una debilidad a mantener su geometría inicial de manera prolongada, llegando un punto al que esta deformación podría ser permanente.

Las figuras 43, 44 y 45 muestran el análisis comparativo bajo el criterio de falla entre el ABS y PBT en sus diferentes cargas aplicadas.

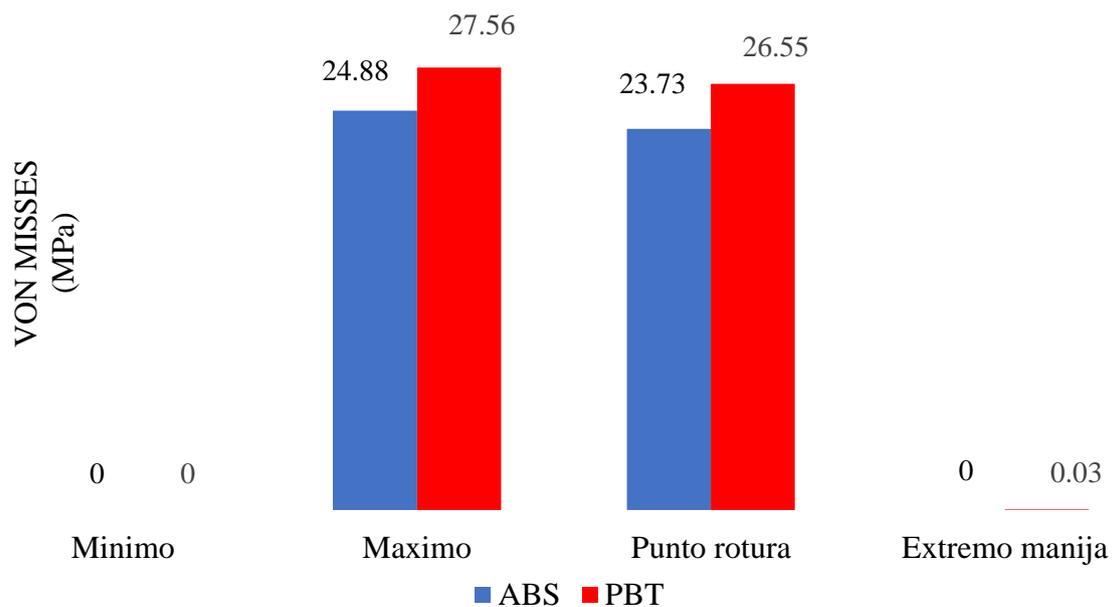


Figura 43. Comparación de teoría de falla entre ABS y PBT 5 Kg

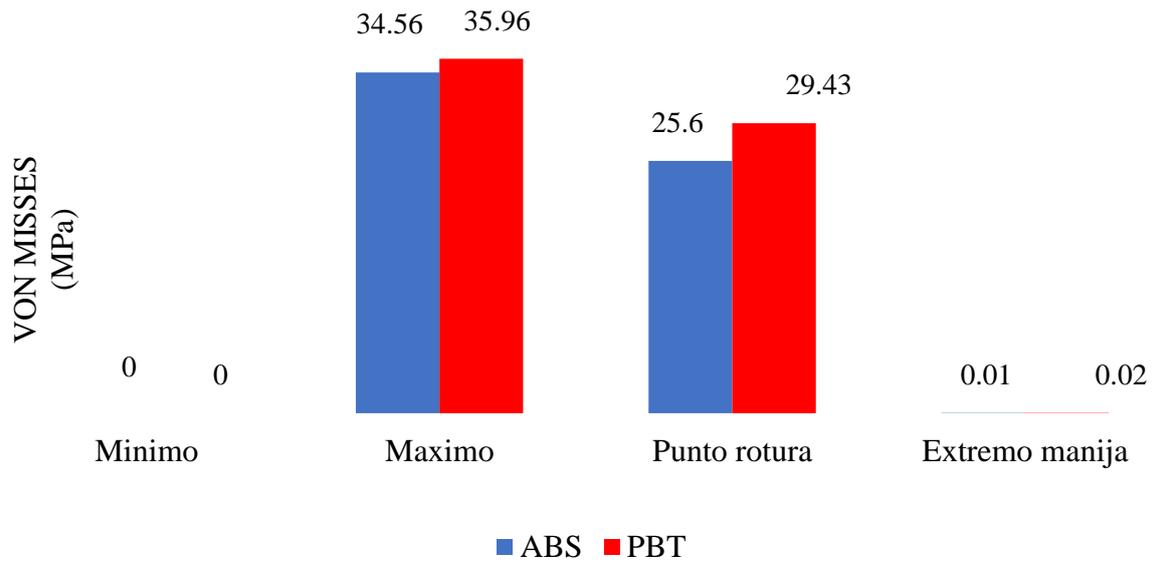


Figura 44. Comparación de teoría de falla entre ABS y PBT 7 Kg

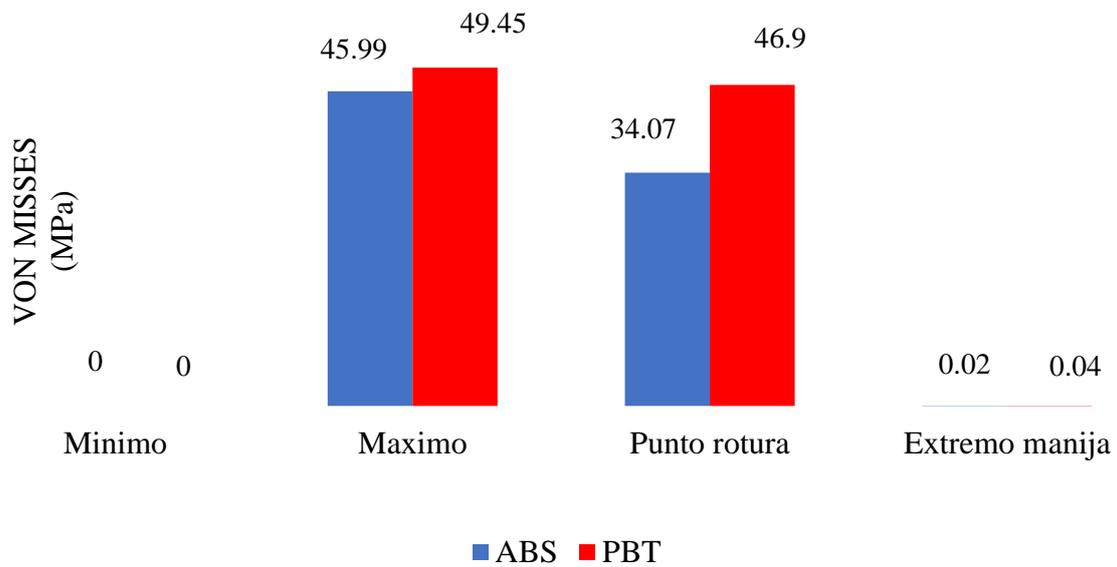


Figura 45. Comparación de teoría de falla entre ABS y PBT 9 Kg

De esta manera se demuestra por simulación que el PBT puede ser un material de mayor vida útil que el actual ABS.

Resultados de Ensayos Experimentales

En el caso experimental se realizaron dos ensayos empíricos, para considerar el comportamiento de la manija de apertura interior de puerta de vehículo en un posible escenario de uso normal de este ítem en el ensayo de vida útil, en el segundo experimento se genera una carga para determinar la resistencia de la manija a esfuerzo exagerado posible de presentarse en el mal uso.

Ensayo de vida útil: se adaptó una manija de apertura interior de puerta a un moto-reductor de $\frac{1}{4}$ HP con 55 rpm, que estuvo encendido por 40 horas que representan 130.000 aplicaciones de la manija como muestra la figura 46, donde posterior al ensayo no presento daños de la manija de manera permanente, más que un ligero desgaste en la zona de apoyo del resorte en la parte posterior con leve presencia de virutas o pequeños desprendimientos de material en dicho contacto como muestra la figura 47.

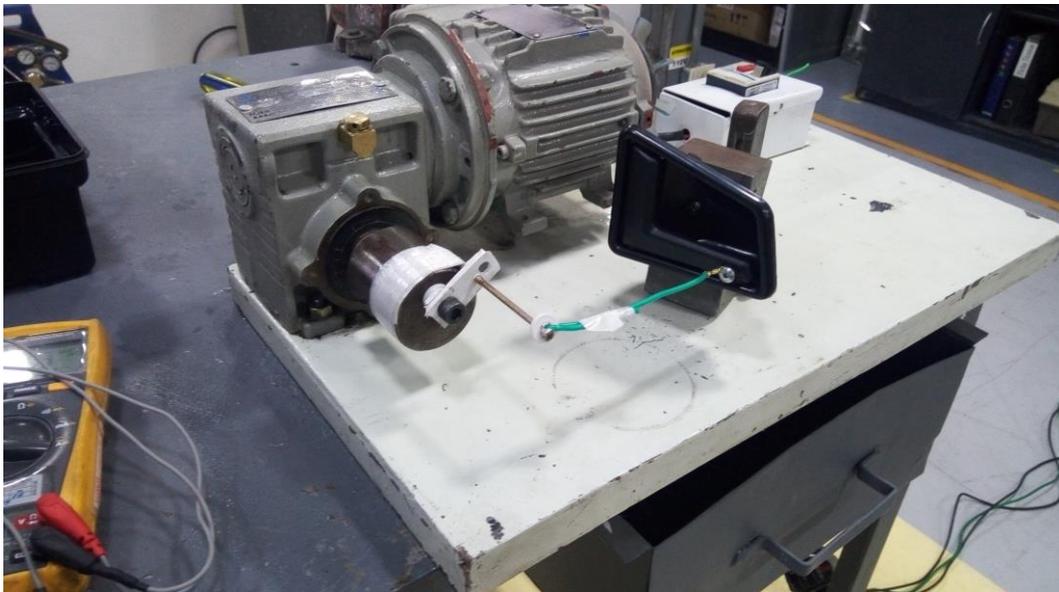


Figura 46. Ensayo de vida útil



Figura 47. Manija posterior a ensayo de vida útil

Ensayo de arrastre: Se realizará un experimento a tres manijas, aplicando una carga puntual de apertura que aumentará hasta la ruptura de la misma mediante estiramiento manual con un dinamómetro para determinar la carga máxima de resistencia previo a su rotura como muestras la figura 48.



Figura 48. Ensayo de arrastre por tracción

Los resultados como muestra la figura 49 posterior a los 8.6 Kg. 7.9 Kg y 8.3 Kg. de carga aproximadamente presento rotura en la parte posterior de la manija donde apoya el resorte, es por ello que los resultados de este ensayo experimental muestran la ubicación donde la manija es más susceptible a fallo.



Figura 49. Rotura de manija por tracción

Certificado de análisis ABS

En la figura 50 siguientes se muestra los resultados de los ensayos mecánicos de material de uso actual ABS.

Los datos obtenidos de este análisis fueron los que se utilizaron para el método multicriterio PUGH, el mismo y de igual manera esta información de propiedades mecánicas, fueron utilizadas para la simulación en CAD 3D

CHIMEI 奇美實業股份有限公司
CHI MEI CORPORATION
 TEL: +886-6-2663000 FAX: +886-6-2665622~3

ORIGINAL

E101850486

DATE: JUN. 02, 2018

CERTIFICATE OF ANALYSIS

COMMODITY	QUANTITY
PC RESIN PC-175	1.8 MT
ABS RESIN PA-757H A16637B5+UV	3 MT
ABS RESIN PA-757H H15A09B5 (UV)	11.7 MT

	16.5 MT

Shipment :WAN HAI 516 E034
 From KAOHSIUNG, TAIWAN to GUAYAQUIL

Production Name PA-757H
 H15A09B5 (UV)
 A16637B5+UV

Lot No. 8Q33A261

Item	Unit	Test Method	Result	Result	Result
Density	g/cm3	ISO 1183	1.040		
Melt Index MVR 220 0 ×10kg	cm3/10min	ISO 1133	28.700		
Tensile Modulus	MPa	ISO 527	1.800		
Tensile Strength	MPa	ISO 527	31.200		
Tensile Elongation (50 mm/min	%	ISO 527	42.000		
Charpy Impact Strength	KJ/M2	ISO 179	26.800		
-----to be continue-----					

Figura 50. Ensayos mecánicos ABS

Fuente: (Wayne, 2018)

Certificado de análisis PBT

En la figura 51 se muestra los resultados de los ensayos mecánicos de material de uso actual PBT los mismo que presentan mejores propiedades mecánicas, físicas y térmicas que el material actual ABS, siendo la única limitante del PBT el costo elevado con respecto al material actual, sin embargo, este material tiene un mayor costo debido a sus mejores prestaciones.

Company: Polyram Plastic Industries Ltd.
 Company Address: Ram-on 19205 ISRAEL
 Print Date: 03 Oct 2018



Product Description: White P.B.T, Injection Molding Applications

Product Information:

Characteristic	Unit	Test method	Property value
Physical properties			
Density	g/cm ³	ISO 1183	1.31
MFI (250/2.16kg)	g/10min	ISO 1133	23
Moisture Absorption	%	ISO-62	0.08
Mold Shrinkage Flow 2mm	%	INTERNAL	1.5 - 2
Mold Shrinkage X Flow 2mm	%	INTERNAL	1.6 - 2.3
Water Absorption	%	ISO-62	0.34
Mechanical properties			
Strain at Break	%	ISO 527-2/1A	12
Strain at Yield	%	ISO 527-2/1A	10
Tensile Modulus	MPa	ISO 527-2/1A	2600
Tensile Strength	MPa	ISO 527-2/1A	58
Impact properties			
Notched IZOD Impact	kJ/m ²	ISO 180	6
Thermal properties			
HDT 1.8MPa	°C	ISO-75	52

Processing recommendations:
Recommended Mold Temperature: 70 - 90 °C
Feed: 40 - 60 °C
Zone 1: 235 - 255 °C
Zone 2: 235 - 255 °C
Zone 3: 240 - 260 °C

Figura 51. Ensayos mecánicos PBT
 Fuente: (Polyram, 2018)

Discusión de Resultados

Para este estudio se plantea la elección de material alternativo para la aplicación de manija de apertura interior de puerta de vehículo, sobre la cual de manera investigativa se levantan muchas variables para decidir el mejor postulante de una amplia gama de materia prima disponibles en el medio, es por ello que se planifica una metodología de investigación para un correcto desarrollo que inicia por el asentamiento de selección de materiales, definiendo una o varias herramientas con las cuales se podrá valorar las características de todos los materiales participantes según las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Como lo manifiestan (Milani, Eskicioglu, Robles, Bujun, & Hosseini-Nasab, 2011) en búsqueda de enfoques interdisciplinarios, por un lado características mecánicas, físicas, químicas, costos etc. y por otro lado el aspecto ambiental de los productos finales haciendo hincapié en el aspecto ambiental de los productos finales con respecto a la reciclabilidad y su eliminación posterior a la vida útil, haciendo uso de MCDM, que radican en conflictos que se genera por criterios de diseño y selección de material.

Otro punto de vista lo mencionan (Méndez, Álamo, Frutos, & Aguasca, 2017) que los MCDM no pretenden buscar la solución óptima, en vista de varios conflictos que pueden ocasionarse por pesos o variables en estudio, por ello lo identifican como una solución de compromiso para aclarar y definir las opciones.

Posterior a la planificación de estudio se plantean varios materiales como candidatos a evaluar según sus propiedades físicas, mecánicas, térmicas, disponibilidad en el medio y el costo de cada uno de ellos que serían las variables de estudio, claramente todos estos materiales deben cumplir la mayor cantidad de requerimientos según las propiedades especificadas anteriormente, en este caso los materiales postulantes son polipropileno,

policarbonato, poliestireno, poliamida 6, polibutileno tereftalato, polietileno de alta densidad y policloruro de vinilo, los mismos que estarán en una evaluación desde varios puntos de vista y seleccionar el material ideal.

Como primera herramienta a usarse se propone el uso de toma de decisiones por criterio múltiple, sin embargo, el ingreso de datos de cada material postulante tiene que ser evaluado como pesos de ponderación sus características, es por ello que se ha utilizado el método de desviación estándar, que es más notorio los resultados que los métodos de ponderación de pesos como el de entropía y valoración estándar, que no se aplicaron por ofrecer resultados sesgados.

Una vez que se tiene la ponderación de cada una de las variables que corresponden a los materiales participantes como menciona (Martinez-Gomez, 2016) las aplicaciones de aproximación matemática pueden ofrecer resultados positivos, pero la selección por multicriterio valoran las características y dan importancia a cada una de las opción, siendo esta herramienta muy valiosa para considerar todas las alternativas de manera más crítica y de valoración potencial para una buena decisión. Existen varios tipos de MCDM para aplicarse, en este estudio se utilizaron los métodos VIKOR, PUGH, TOPSIS, PROMETHEE II y COPRAS.

El uso de MCDM según (Grajales-Quintero, Serrano-Moya, & Hahn Von, 2013) manifiesta que puede ser considerado como procedimiento arduo que consiente en describir una realidad, trazar un espacio de hechos y delimitar los posibles resultados, que en otras palabras se entendería como establecer controles como posibilidades que se pueden dar en el futuro, manteniendo como alineamiento que al delimitar los pesos buscado, este sistema podrá identificar los pesos de mayor relevancia a los resultados buscados.

Comparación de resultados Multicriterio (MCDM)

El primer método que se aplicó fue VIKOR, en el cual el material que obtuvo la mejor puntuación, en este caso la mejor puntuación es el de menor valor siendo el PBT con un valor de -0.03 seguido por la PA 6 con valor de 0.06 los mismos que se muestran en la tabla 55 y la figura 25, siendo un valor muy próximo comparado con los resultados de los otros materiales, el segundo análisis que se realizó fue con el método PUGH siendo este un método que genera una valoración muy cambiante a excepción de los tres primeros materiales que han tenido un resultado poco estrecho, en el cual el material PBT fue de mayor puntuación en este caso con un resultado de 166.52 seguido de cerca por el PS y PA empatando en la segunda posición con 158.92 los mismos que se pueden observar en la tabla 56 y la figura 26. El método TOPSIS es el tercer modelo que se utiliza donde el PBT con valor de 0.9985 es superior a PA y PS en cuarto y quinto lugar respectivamente que han estado en los métodos anteriores con resultados muy cercanos detallado en la tabla 57 y la figura 27, el método PROMETHEE II es el cuarto en ser aplicado teniendo como ganador a PA 6 con 225 seguido por el PBT y el PS con 213 y 219 respectivamente, dando por entendido que el desempeño de estos materiales son válidos para esta aplicación como muestra la tabla 58 y la figura 28, y por último en el método COPRAS el PBT es vencedor seguido por los materiales antes mencionado en el mismo orden con resultados de 100, 97 y 77 respectivamente presentados en la tabla 59 y la figura 29.

Viendo los resultados anteriores, se determina que el material ganador es el Polibutileno Tereftalato, que únicamente en el método PROMETHEE II ha estado en segundo lugar de los 5 métodos aplicados como se detalla en la figura 52.

Alternativa	VIKOR	PUGH	TOPSIS	PROMETHEE II	COPRAS
Polipropileno	4	4	7	4	4
Poliestireno	3	2	5	3	3
Policarbonato	7	5	3	6	7
Poliamida 6	2	2	4	1	2
Polibutileno Tereftalato	1	1	1	2	1
polietileno de alta densidad	5	3	6	7	5
Policloruro de Vinilo	6	6	2	5	6

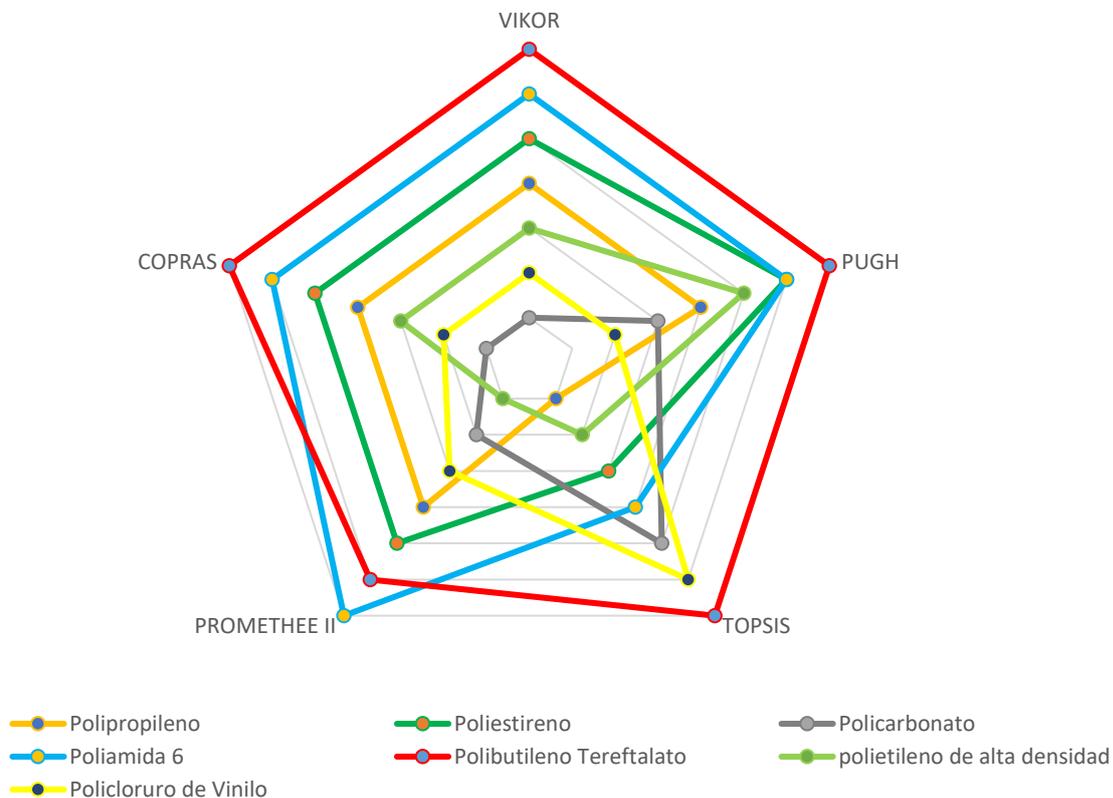


Figura 52. Comparación de resultados MCDM

Validación de coeficiente de correlación de Spearman

El coeficiente de Spearman es una relación que existe entre resultados que se obtienen por medio de varios datos en estudio, en este caso lo menciona (Martínez-Gómez & Narvaez, 2018) al cuantificar los resultados obtenidos por varios métodos multicriterio, en este caso se corrobora los resultados de varios métodos como material ganador al PBT, y en otro método como fue TOPSIS, en el cual la correlación con PROMETHEE II, VIKOR y PUGH es muy débil, sin embargo con COPRAS es alta, adicional a ello el coeficiente de correlación entre los otros métodos da una alta estabilidad de afirmar los resultados de elección por multicriterio.

Comparación de resultados de Simulación

En los resultados de simulación CAD 3D se presenta en la figura 53 en Factor de Seguridad a 5 Kg, 7 Kg. y 9 Kg. para el material actual ABS y el PBT material ganador de los MCDM.

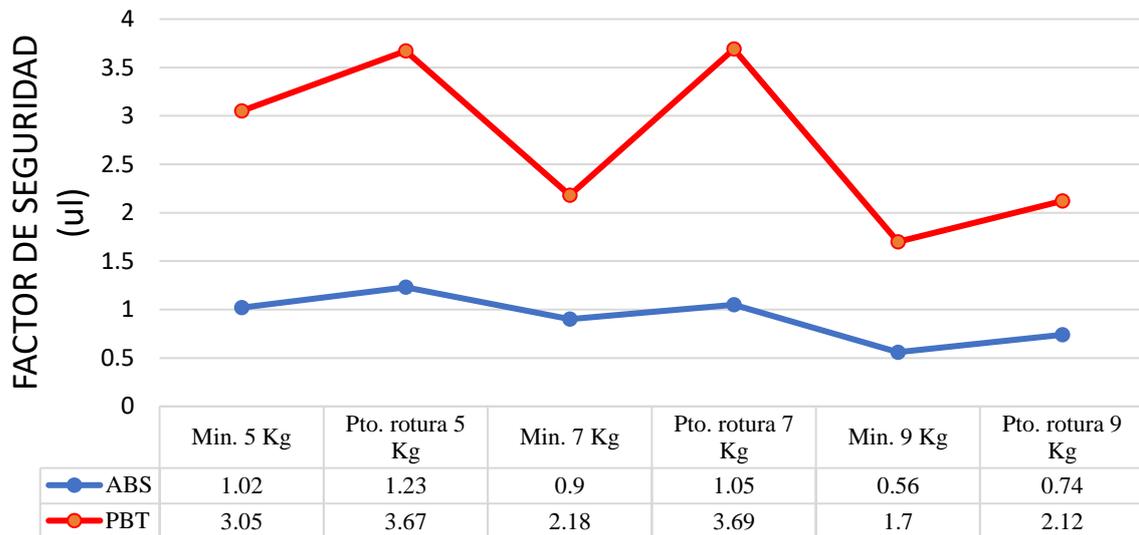


Figura 53. Comparación de resultados F.S. ABS – PBT

En la figura 54 muestra los resultados relacionado al desplazamiento de la manija de apertura interior de puerta de vehículo en simulación, que en este caso muestra la resistencia a la flexión de los materiales ensayados, siendo mejor el que presente menor desplazamiento frente a una carga aplicada máxima de 9 Kg. 0.45 mm en ABS y 0.14 mm en PBT.

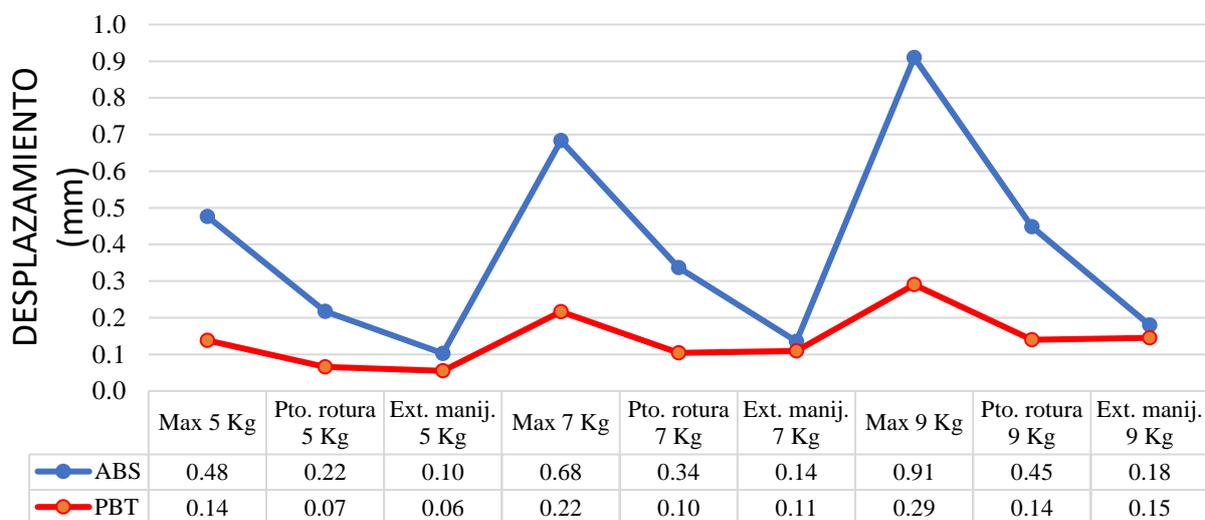


Figura 54. Comparación de resultados Desplazamiento ABS – PBT

Por último, en la figura 55 representa la energía de distorsión o teoría de falla que muestra los esfuerzos permisibles dentro del dominio elástico del material en estudio previo a su fractura, información que puede ser analizada conjuntamente con el Factor de seguridad, mostrando mayor resistencia el PBT que el ABS de uso actual.

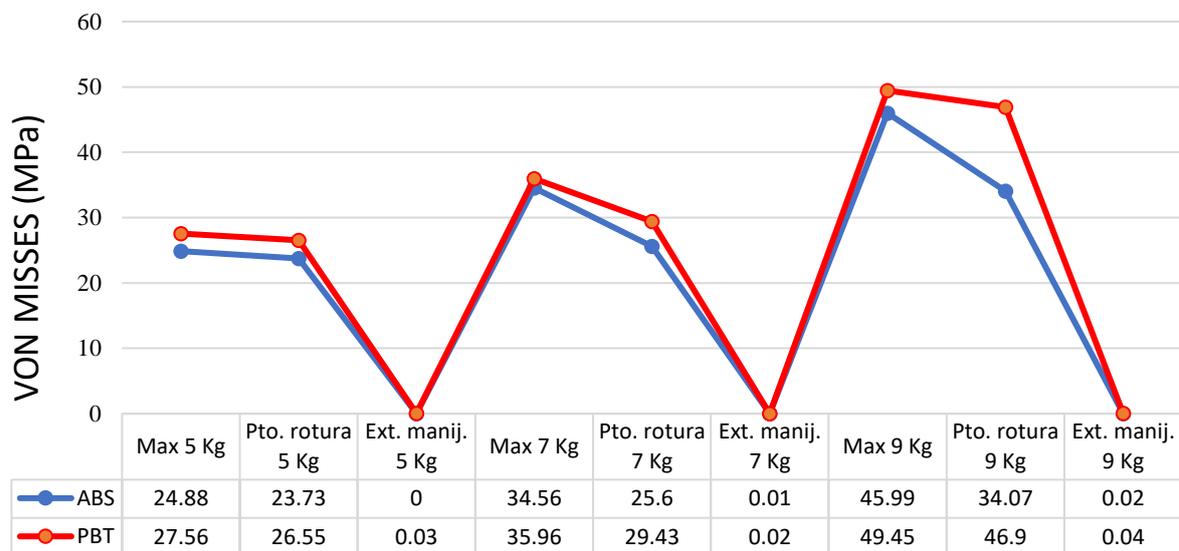


Figura 55. Comparación de resultados Von Misses ABS – PBT

Como lo menciona (Negrin-Hernandez & Perez-Ruiz, 2008) los resultados obtenidos por simulación computarizada facilita datos confiables de modelado, debido a que los resultados que se generan pueden ser corroborados con ensayos prácticos, en el caso de ensayos destructivos monitoreados.

Comparación de Simulación – Ensayos Experimentales – Certificados de Análisis

Como lo demuestran (Arteaga, Mena, Caiza, & Vilaña) el uso de herramientas de simulación, aplicada al diseño y desarrollo, son de gran ayuda para disminuir gastos de prototipos, cálculos y selección de materiales, de esta manera se pudo aplicar en este estudio al coincidir resultados de simulación computacional, ensayos experimentales de tracción, ensayo cíclico y los certificados de análisis de cada uno de los materiales, dando cada uno de estos valor agregado a los resultados alcanzados.

Conclusiones

Se determinó que el uso de métodos multicriterio brindan resultados aceptables para la selección de materiales aplicados en este caso (VIKOR, PUGH, TOPSIS, PROMETHEE II y COPRAS) siendo estos métodos, sistemas analíticos desde varios puntos de vista, señalando como ganador al de valor, menor valor, valores promedio y comparativos, demostrando que cuatro de los cinco métodos utilizados identifican al PBT como material válido para la fabricación de manijas de apertura interior de puerta de vehículo.

Se ratificó que el método de desviación estándar es el más apropiado para aplicarlo en este estudio, debido a sus resultados obtenidos para cada peso de las variables se adaptaron a los métodos multicriterio de manera positiva por los resultados.

Se estableció que el uso de material alternativo en este caso PBT es una oportunidad de negocio debido a los resultados que se obtuvieron en los ensayos, siendo superior a los del material actual, a pesar de ser material de mayor costo que el material actual, este garantiza una mayor vida útil del producto, ya que este ítem tiene un consumo considerable como repuesto por las fracturas que presenta en la zona detectada en este estudio.

Se confirmó que utilizar únicamente un método de selección de materiales por MCDM no es un resultado efectivamente garantizado, en este caso se aplicaron cinco métodos multicriterio, teniendo como elegido al PBT con 80% de resultados confirmados.

Se detectó que es necesario usar más de un método para selección de materiales, en este estudio se utilizó MCDM, simulación de análisis mecánico computacional, ensayos experimentales y ensayos mecánicos normalizados, siendo cuatro métodos aplicados y confirmando una selección de material óptima para su aplicación.

Recomendaciones

Revisando los materiales ensayados en este estudio, se muestran potencial en todos estos materiales que pueden ser aplicados en la industria plástica aplicada al parque automotriz, generando motivación al uso de estas herramientas para investigaciones futuras, correcto uso de selección de materiales, optimización de resultados previo a inversiones, procesos innecesarios y complicaciones posteriores a una elección inapropiada de materiales.

Este tipo de estudio se puede aplicar al uso de materiales combinado, materiales con fibra o materiales con porcentaje de material reciclado, garantizando el buen uso de materiales que actualmente pueden ser considerarse como ineficientes, al no ser acondicionados para mejorar sus características.

Referencia

- Aguilar, A., Aguilar, G., Chacon, I., Herrera, C., Paternina, D., & Ramos, A. (2018). Análisis de elementos sometidos a esfuerzos de flexión y pandeo de columnas. *Universidad Tecnológica de Bolívar*, 1-3.
- Ahmed Ali, B., Sapuan, S., Zainudin, E., & Othman, M. (2015). Implementation of the expert decision system for environmental assessment in composite materials selection for automotive components. *Journal of Cleaner Production*, 40.
- Andrade, X., Pisco, I., Quinde, L., & Asencio, M. (2018). Estudio Sectorial Plásticos. *Camara de la Industria Guayaquil*, 16-20.
- Armas-Ruiz, D., Ruiz-Galarza, S., Piován, M., Carrión-Matamoros, L., & Narváez-Muñoz, C. (2016). Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo. *Redalyc, Científica* 20 (1): 21-31.
- Arteaga, O., Mena, S., Caiza, V., & Vilaña, J. (s.f.). DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO TIPO FÓRMULA SAE. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, 9-11.
- ASEPLAST, A. E. (2019). Estadísticas. *Integra*, 32.
- Barrosa-Herrera, S., Gil-Bercero, J. R., & Camacho-Lopez, A. (2010). *Introducción a conocimiento de los materiales y sus aplicaciones*. Madrid: UNED.
- Callister, W. (2007). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Barcelona: Reverté.
- Chatterjee, P., & Chakraborty, S. (2011). Material selection using preferential ranking methods. *Materials and Design*, 10.
- Chatterjee, P., Manikrao Athawale, V., & Chakraborty, S. (2009). Selection of materials using compromise ranking and outranking methods. *Materials and Design*, 11.
- Chérrez-Troya, M., Martínez-Gómez, J., Peralta-Zurita, D., & Llanes-Cedeño, E. A. (2018). Metodo Multicriterio aplicados en la seleccion de un material para discos de freno. *Ingenius*, 6-8.
- Cornish Alvarez, M. L. (1997). *El ABC de los plásticos*. México, D.F.: Universidad Iberoamericana. Departamento de Diseño Industrial, Gráfico y Textil.
- Estrada García, J. M. (2002). Asignación de pesos no subjetivo para la valuación. *Instituto tecnológico de la construcción.*, 54.
- Gavorskis Cárdenas, A. G. (2016). Caracterización de mezclas REX-PLA/ABS microespumadas mediante moldeo por inyección MuCell®. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 44-46.
- Grajales-Quintero, A., Serrano-Moya, E. D., & Hahn Von, C. (2013). LOS MÉTODOS Y PROCESOS MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN. *Luna Azul*, 286-306.

- Gul, M., Celik, E., Gumus, A., & Guneri, A. (2017). A fuzzy logic based promethee method for material selection problems. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 36.
- Highmotor. (25 de 05 de 2018). *www.highmotor.com*. Obtenido de <https://www.highmotor.com/temperaturas-alcanza-coche-interior-sol.html>
- http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com*. (02 de junio de 2011). Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html>
- http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com*. (16 de julio de 2012). Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/07/polietileno-pe.html>
- http://www.elaplas.es*. (04 de junio de 2018). Obtenido de <http://www.elaplas.es/materiales/plasticos-tecnicos/poliamida-pa/>
- http://www.jq.com.ar*. (04 de Junio de 2018). Obtenido de <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PVC/PVCprop/propiedades.htm>
- http://www.zwick.es*. (20 de 06 de 2018). Obtenido de <http://www.zwick.es/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/ensayo-de-traccion.html>
- https://blog.reparacion-vehiculos.es*. (04 de junio de 2018). Obtenido de <https://blog.reparacion-vehiculos.es/plastico-abs-resistente-ligero-moldeable>
- https://www.ulprospector.com*. (2018). Obtenido de <https://plastics.ulprospector.com/materials/2332/sabic-pp>
- INEC, L. E. (2016). *Visualizador de Estadísticas Productivas*. Quito: INEC.
- Jahan, A., Yusof Ismail, M., Shuib, S., Norfazidah, D., & Edwards, K. (2011). An aggregation technique for optimal decision-making in materials selection. *Materials and Design*, 7.
- Jerry, M. M. (10 de 09 de 2010). *www.justanswer.com*. Obtenido de <https://www.justanswer.com/dodge/3z7ag-2001-dodge-caravan-passenger-door-interior-door-latch-does.html>
- Jeya, R., Girubha., & Vinodh, S. (2012). Application of fuzzy VIKOR and environmental impact analysis for material selection of an automotive component. *Materials and Design*, 9.
- Kolios, A., Mytilinou, V., Lozano Minguez, E., & Salonitis, K. (21 de 07 de 2016). A Comparative Study of Multiple-Criteria Decision-Making Methods under Stochastic Inputs. *energies*, 21.
- Lerma, J. R. (12 de 09 de 2017). Indice de fluidez, su importancia real. *Interempresas*. Obtenido de www.interempresas.net: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/193925-Indice-de-fluidez-su-importancia-real.html>

- Mariano. (27 de 06 de 2011). <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/listado-de-ensayos-normalizados.html>
- Mariano. (13 de junio de 2011). <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/policarbonato.html>
- Mariano. (03 de junio de 2011). <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/poliestireno.html>
- Mariano. (26 de Diciembre de 2011). <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/pbt.html>
- Martinez, J., Vaca, D., Orozco, M., Montero, A., & Carrion, D. (2015). Aplicacion de métodos multicriterio para la selección de materiales para menaje de cocinas de inducción. *Revista Tecnica Energia*, 5-8.
- Martinez, R., Tuya, L., & Martinez, M. (2009). *El coeficiente de correlacion de los rangos de Spearman caracterización*. La Habana: SCIELO-Revista Habanera de Ciencias Médicas.
- Martinez-Gomez, J. (2016). Uso de métodos multicriterio de toma de decisiones para la selección de biomasa en reactores Fischer Tropsch. *Ingenius*, 34-36.
- Martínez-Gómez, J., & Narvaez, R. (2018). Material selection for multi-tubular fixed bed reactor Fischer-Tropsch reactor. *Journal of Mathematics in Operational Research*.
- Méndez, M., Álamo, A.-L., Frutos, M., & Aguasca, R. (2017). *Fundamentos de ayuda multicriterio a la decisión*. Las Palmas de Gran Canaria: Las Palmas de Gran Canaria.
- Meza-de Luna, A., Moreno-Virgen, R., Beltrán-García, C. A.-D., Villarreal-Varela, C. D., & Cardona-Avalos, L. F. (2017). Comportamiento Mecánico del Plástico Proveniente de Residuos Urbanos con Carga de Tensión. *Redalyc - Conciencia Tecnológica*, 1-3.
- Milani, A. S., Eskicioglu, C., Robles, K., Bujun, K., & Hosseini-Nasab, H. (2011). Multiple criteria decision making with life cycle assessment. *eXPRESS Polymer Letters*, 13.
- Mondragon, M. (2014). *Uso de correlacion de Spearman en un estudio de intervencion en fisioterapia*. Medallin: Universidad CES.
- Mott, R. L. (2004). *Diseño de Elementos de Maquinas*. Mexico: Pearson Educación.
- Negrin-Hernandez, I., & Perez-Ruiz, E. (2008). ANÁLISIS DE SIMULACIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIÓN PLÁSTICA DURANTE EL CONTACTO Y DESLIZAMIENTO DE DOS CUERPOS. *Scientia et Technica*, 150-151.
- Network, A. K. (06 de 01 de 2019). www.knowledge.autodesk.com. Obtenido de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/Inventor-Help/files/GUID-6057C1D3-E1F4-4F41-A4F6-BB9488A9BF1C-htm.html>
- Nieuwenhuis, P., & Wells, P. (2015). *The Global Automotive Industry*. Ucrania: John Wiley & Sons, Ltd.

- Noryani, M., Sapuan, S. M., & Mastura, M. (2018). Multi-criteria decision-making tools for material selection of natural fibre . *UMP Universiti Malaysia Pahang*, 24.
- Palacios Gomez, J. L. (2002). Estrategia de ponderación de la respuestas en encuestas de usuarios de servicios. *Metodología de encuestas*, 175.
- Palmer-Martin, G., & Valera Nuñez, G. (1997). Tendencias actuales de los plásticos en la industria automovilística. *Universidad Tecnológica de La Habana Jose Antonio Echeverria*, 49-55.
- Pérez-Domínguez, L., Macías-García, J. L., Sánchez-Mojica, K. Y., & Luviano-Cruz, D. (2017). Comparación Método multi-criterio TOPSIS y MOORA para la optimización de un proceso de inyección de plástico. *Mundo Fesc*, 99-101.
- Polyram. (2018). *Certificate of Analysis*. Ram-On Israel: Polyram.
- Prasenjit, C., & Shankar, C. (2011). Material selection using preferential ranking methods. *Materials and Design*, 10.
- Ribeiro, I., Peças, P., & Henriques, E. (2013). A life cycle framework to support materials selection for Ecodesign: A case study on biodegradable polymers. *Materials and Design*, 9.
- Rios, L. C., & Roncancio, E. (2007). ANÁLISIS Y DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE SELECCIÓN RÁPIDA DE FACTORES DE SEGURIDAD, PARA DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS. *Redalic*, 255-260.
- Riva Romeva, C. (2008). *Selección de materiales en el diseño mecánico*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Roca, I. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sanabria Aguilar, M. A. (2006). Toma de Decisiones con Criterios Múltiples: un resumen conceptual . *Toma de Decisiones con Criterios Múltiples: un resumen conceptual* . Quito, Pichincha, Ecuador: UNED.
- SENAE, S. N. (2018). *Importaciones de bobinas de encendido hasta febrero 2018*.
- Shanian, A., Milani, A., Carson, C., & Abeyaratne, R. C. (2008). A new application of ELECTRE III and revised Simos' procedure for group. *Knowledge-Based Systems*, 12.
- Szeteiová, K. (2010). Automotive materials plastics in automotive markets today. *Institute of Production Technologies*, 29.
- telegrafa, E. (07 de 06 de 2018). Las empresas autopartistas trabajan a medio gas. *Las empresas autopartistas trabajan a medio gas*, pág. 1.
- Venkata Rao, R. (2008). A decision making methodology for material selection using an improved compromise ranking method. *Materials and Design*, 6.
- Wayne, L. (2018). *Certificate of Analysis*. Zhenjiang: Chi Mei Corporation.

- www.acsesspring.com. (octubre de 2018). www.acsesspring.com. Obtenido de <https://www.acsesspring.com/espanol/articulo-tecnico-de-resorte-de-torsion.html>
- www.bayplastics.co.uk. (2018). Obtenido de <http://www.bayplastics.co.uk/productdatasheets.htm>
- www.bayplastics.co.uk. (2018). Obtenido de <http://www.bayplastics.co.uk/downloads/datasheets/Bay%20Datasheets/Palsun%20FIat%20Polycarbonate%20Sheet%20Datasheet.pdf>
- www.campusplastics.com. (2018). Obtenido de <https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/ALCOM+PA66+9101+PTFE20/ALBIS+Plastic+GmbH/5/38315622>
- www.campusplastics.com. (2018). Obtenido de <https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/ALTECH+PP-B+ECO+2030150/ALBIS+Plastic+GmbH/5/8372eeb7>
- www.chimeicorp.com. (21 de 06 de 2018). Obtenido de ABS | Chi Mei Corporation: Bringing you Real Happiness: <http://www.chimeicorp.com/en-us/products/plastics/abs/#item-general>
- www.fpcusa.com. (2018). Obtenido de <http://www.fpcusa.com/products/pe/pdf/hb5502b.pdf>
- www.jq.com.ar. (2018). Obtenido de <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pvc/pvcprop/dtecnicos.htm>
- www.peru.masmuelles.com. (septiembre de 2018). Obtenido de <http://www.peru.masmuelles.com/resorte-torsion>
- www.polyram-group.com. (12 de 01 de 2019). Obtenido de <https://www.polyram-group.com/action?type=search&query=ramster&Action%28save%29=Buscar>
- www.quadrantplastics.com. (2018). Obtenido de https://www.quadrantplastics.com/fileadmin/quadrant/documents/QEPP/EU/Product_Data_Sheets_PDF/GEP/Ertalon_66_SA_PDS_E_25012011.pdf
- www.quiminet.com. (04 de junio de 2018). Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/propiedades-del-polipropileno-2671066.htm>
- www.quiminet.com. (21 de 06 de 2018). Obtenido de <https://ind.lu/Ftd/gcd9sga>
- www.quiminet.com. (13 de 01 de 2019). Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/todo-sobre-el-poliestireno-3337.htm>
- www.sabic.com. (21 de 06 de 2018). Obtenido de <https://www.sabic.com/en/products/polymers/polybutylene-terephthalate-pbt/valox-resin>
- www.smithmetal.com. (2018). Obtenido de <https://www.smithmetal.com/pdf/plastics/pvc-u.pdf>
- www.ulprospector.com. (2018). Obtenido de <https://materials.ulprospector.com/en/profile/default?e=285217>

www.ulprospector.com. (2018). Obtenido de <https://materials.ulprospector.com/en/results>

www.ulprospector.com. (2018). Obtenido de

<https://materials.ulprospector.com/en/profile/odm?tds&docid=202003>

www.ulprospector.com. (2018). Obtenido de <https://materials.ulprospector.com/en/results>

www.ulprospector.com. (2018). Obtenido de <https://materials.ulprospector.com/en/results>

www.upv.es. (2018). Obtenido de https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_3.html

Yamazaki, A., Sakamoto, N., Kosuge, H., Sugauchi, Y., Togasaki, J., & Sakurai, A. (2002).
PLATED SYNTHETIC RESIN MEMBER FOR VEHICLE. *Patent Application
Publication*, 8.