

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Industrial y de Procesos

Optimización en el proceso de fabricación por impresión 3d de la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet aveo family para la mejora de propiedades mecánicas y térmicas

Ember Geovanny Zumba Novay

Nota del autor

Ember Geovanny Zumba Novay, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK

Directora Ing. Diana Belén Peralta Zurita, M.Sc. Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:
egzumba.mdin@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Ember Geovanny Zumba Novay, con cedula de identidad 060308264-5, 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 correspondiente 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.



EMBER GEOVANNY ZUMBA NOVAYN

C.I.: 060308264-5

Índice de Contenidos

Declaración Juramentada	2
CAE Ingeniería asistida por computadora (siglas en inglés)	13
CAD Diseño asistido por computador (siglas en inglés)	13
Impresión 3d de la manija del elevador de vidrio	14
Resumen.....	14
Abstract	16
Introducción	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema.....	21
Justificación	24
Hipótesis	26
Estado del Arte.....	26
La Industria automotriz.....	26
Vehículo Chevrolet	27
Tipos de plásticos que utilizan los vehículos	28
El Polipropileno (PP)	31
El Poliamida (PA).....	32
Polietileno HMW PE-500	34
Nylon - PA.6	35
Optimización de autopartes en el sector industrial	38
Impresión 3D	39
Criterios de Impresión 3D.....	40

Impresión 3D de autopartes en el sector industrial	42
Tipo de materiales utilizados para la impresión 3D.....	44
Selección de materiales para la impresión 3D	45
Selección de mallado para la impresión 3D.....	47
Validación CAE.....	47
Simulación en el software HyperWorks	48
Ponderación de peso	50
Método de Entropía.....	62
Ecuación 1.....	63
Ecuación2.....	64
Ecuación 3.....	64
Ecuación 4.....	64
Ecuación 5.....	65
Método de Desviación Estándar	65
Ecuación6.....	65
Ecuación 7.....	66
Método de Variación Estándar.....	66
Ecuación 8.....	67
Ecuación 9.....	67
Ecuación10.....	67
Ecuación 11.....	67
Ecuación 12.....	68
Método Multicriterio.....	68
Método Copras.....	70

Ecuación 13.....	70
Ecuación 14.....	70
Ecuación 15.....	71
Ecuación 16.....	71
Ecuación 17.....	71
Ecuación 18.....	72
Metodología	72
Propiedades de los materiales	73
Elaboración de método de ponderación y cálculo de pesos	77
Cálculo de Método de Entropía	77
Cálculo de Método de la Desviación Estándar	80
Método de Variación Estadística	82
Comparación de resultados de Métodos de Ponderación.....	85
Desarrollo de Métodos Multicriterios (MCDM).....	86
Desarrollo del Método Copras	86
Modelado CAD de la manija original	90
Simulación de Impresión 3D con Material PLA.....	91
Importación de elementos a imprimir	92
Generación de soportes	93
Parámetros de impresión 3D de la manija	93
Pre procesamiento de impresión 3D de la manija de diseño original	95
Proceso de impresión 3D de la manija optimizada	97
Impresión 3D de la manija de diseño original	99
Análisis de resistencia estructural del diseño original de la manija.....	100

Asignación de materiales	101
Asignación de cargas y restricciones de movimiento	101
Parámetros de mallado y ejecución de análisis de la manija original	103
Proceso de optimización de la manija original	104
Ejecución del proceso de optimización.....	105
Análisis estructural del diseño optimizado de la manija.....	106
Análisis térmico de la manija optimizada durante el proceso de impresión 3D.	108
Resultados	108
Procesos de impresión 3D de la manija original y optimizada	108
Pesos entre la manija de diseño original y optimizada	109
Esfuerzo de Von Mises en la manija original	109
Desplazamientos en la manija original	111
Factor de seguridad en la manija original	112
Esfuerzo de Von Mises en la manija optimizada	113
Desplazamientos en la manija optimizada	115
Factor de seguridad en la manija optimizada.....	116
Resultados del análisis térmico de la manija optimizada.....	117
Temperaturas durante el proceso de impresión 3D.....	118
Análisis del esfuerzo de Von Mises entre la manija original y optimizada	119
Análisis del factor de seguridad entre la manija original y optimizada	120
Análisis de la deformación entre la manija original y optimizada.....	121
Discusión de Resultados	122
Esfuerzos.....	126
Conclusiones	127

Recomendaciones	129
Referencias.....	131
Anexos	140

Índice de Figuras

Figura 1	Manija del elevador de vidrio.....	18
Figura 2	Software hyperworks.....	19
Figura 3	Manija.....	22
Figura 4	Manija del elevador de vidrio.....	23
Figura 5	Estructura del polietileno de alta densidad.....	35
Figura 6	Importaciones al país enero, febrero y marzo 2018.....	37
Figura 7	Diagrama de flujo para imprimir una pieza en 3D.....	47
Figura 8	Entorno del software HyperWorks.....	49
Figura 9	Diagrama de bloque para flujo de estudio.....	49
Figura 10	Manija del elevador de vidrio chevrolet aveo family.....	51
Figura 11	Manija del elevador de vidrio chevrolet aveo family.....	51
Figura 12	Tipos de esfuerzos.....	57
Figura 13	Malla estructurada.....	60
Figura 14	Malla no estructurada.....	61
Figura 15	Malla hibrida.....	62
Figura 16	Modelo para la toma de decisiones.....	69
Figura 17	Estructura metodológica.....	72
Figura 18	Seguimiento de metodologías.....	73
Figura 19	Diseño de la manija del elevador de vidrio para el vehículo chevrolet aveo family.....	91
Figura 20	Parte media optimizada de la manija.....	92
Figura 21	Base y empuñadura de la manija.....	92
Figura 22	Vista inferior de los elementos a imprimir.....	93
Figura 23	Porcentaje y tipo de relleno para impresión de la manija.....	94
Figura 24	Relleno tipo tri – hexagonal para impresión de la manija.....	94

Figura 25 Simulación del proceso de impresión 3D de la parte media de la manija	95
Figura 26 Simulación del proceso de impresión 3D de la base y empuñadura de la manija	95
Figura 27 Importación de la manija original al software Cura	96
Figura 28 Parámetros de impresión de la manija original.....	96
Figura 29 Simulación de la impresión de la manija original	97
Figura 30 Impresión 3D de soportes para la manija optimizada.....	97
Figura 31 Vista superior de la parte media optimizada impresa en 3D	98
Figura 32 Empuñadura y base impresas en 3D.....	98
Figura 33 Manija optimizada impresa en 3D.....	99
Figura 34 Manija de diseño original impresa en 3D usando PLA	99
Figura 35 Manija de diseño original impresa en 3D.....	100
Figura 36 Geometría importada al software Inspire	101
Figura 37 Asignación de material a la manija original	101
Figura 38 Restricciones de movimiento en la manija	102
Figura 39 Asignación de la carga sobre la manija en sentido del eje Y.....	103
Figura 40 Asignación de la carga sobre la manija en sentido del eje X.....	103
Figura 41 Ejecución del análisis estructural de la manija original.....	104
Figura 42 Proceso de optimización de la manija original	105
Figura 43 Ejecución del proceso de optimización	105
Figura 44 Diseño generativo optimizado de la manija.....	106
Figura 45 Diseño final de la manija optimizada	106
Figura 46 Propiedades mecánicas del PLA.....	107
Figura 47 Análisis estructural de la manija optimizada	107
Figura 48 Impresión 3D de la manija optimizada en Inspire	108
Figura 49 Esfuerzo de Von Mises en la manija original para una carga de 70 kg	110

Figura 50 Esfuerzo de Von Mises en manija original para fuerza vertical	110
Figura 51 Esfuerzo de Von Mises en manija original para fuerza horizontal.....	111
Figura 52 Deformación en la manija original a la carga de 70kg	111
Figura 53 Desplazamiento en la manija de diseño original	112
Figura 54 Coeficiente de seguridad para la carga de 70 kg en la manija original.....	112
Figura 55 Factor de seguridad en la manija original.....	113
Figura 56 Esfuerzos en la manija optimizada para la carga de 70 kg.....	114
Figura 57 Esfuerzo de Von Mises en la manija optimizada para fuerza vertical.....	114
Figura 58 Esfuerzo de Von Mises en la manija optimizada para la carga horizontal	115
Figura 59 Deformación en la manija optimizada bajo la carga de 70 kg.....	115
Figura 60 Desplazamiento en la manija optimizada	116
Figura 61 Factor de seguridad en la manija optimizada para la carga de 70kg	116
Figura 62 Factor de seguridad de la manija optimizada	117
Figura 63 Esfuerzos durante el proceso de impresión 3D.....	118
Figura 64 Temperaturas durante el proceso de impresión 3D	119
Figura 65 Comparación de materiales PC-ABS, PC, PLA, PVC	123
Figura 66 Comparación de valores de los tres métodos (método de entropía, método de desviación estándar, método de variación estadística)	124
Figura 67 Nivel de rendimiento (máx. 100 – min. 63,14).....	125
Figura 68 Proximidad de material ideal (máx. M2 PLA – min. M3 PVC).....	126

Tablas

Tabla 1	Plásticos	29
Tabla 2	Características Técnicas del Polipropileno	32
Tabla 3	Características Técnicas del Polipropileno	32
Tabla 4	Características Técnicas de la Poliamida.....	33
Tabla 5	Características Técnicas de la Poliamida.....	34
Tabla 6	Características Técnicas de Polietileno.....	35
Tabla 7	Características técnicas del Polietileno	35
Tabla 8	Características técnicas del Nylon	36
Tabla 9	Características Técnicas del Nylon.....	36
Tabla 10	Cantidad de Material Importado	37
Tabla 11	Listado de ensayos según Norma ISO	52
Tabla 12	Propiedades del PC-ABS	73
Tabla 13	Propiedades del PC	74
Tabla 14	Propiedades del PLA.....	74
Tabla 15	Propiedades del PVC	75
Tabla 16	Propiedades de los materiales comparación de materiales	76
Tabla 17	Matriz de Criterios	77
Tabla 18	Determinación de pesos por criterios para la entropía.....	80
Tabla 19	Valores de la Desviación Estándar.....	81
Tabla 20	Pesos de la Desviación Estándar.....	82
Tabla 21	Matriz de decisión normalizada por el método de variación estadística.....	83
Tabla 22	Matriz Normalizada de Decisión por el Método de Valoración Estándar	85
Tabla 23	Comparación de resultados de los métodos de ponderación analizados.....	85
Tabla 24	Consideración de Pesos a usar en el MCDM (Desviación Estándar)	86

Tabla 25 Matriz de decisión método Copras	86
Tabla 26 Criterios de la Matriz Normalizada.....	88
Tabla 27 Estandarizada de pesos Copras	88
Tabla 28 Pesos normalizados positivos COPRAS	89
Tabla 29 Pesos normalizados negativos COPRAS	89
Tabla 30 Prioridades relativas de cada material alternativo.....	89
Tabla 31 Proximidad relativa a solución ideal y ranking.....	90
Tabla 32 Diferencias entre la impresión 3D de la manija original y optimizada.....	109
Tabla 33 Pesos de la manija original y optimizada.....	109
Tabla 34 Resultados del esfuerzo de Von Mises para la carga de 70 kg	119
Tabla 35 Esfuerzo de Von Mises entre manija original y optimizada	120
Tabla 36 Factor de seguridad para la carga de 70 kg	120
Tabla 37 Factor de seguridad entre manija original y optimizada	121
Tabla 38 Deformación bajo la carga de 70 kg	121
Tabla 39 Deformación en la manija original y optimizada.....	121
Tabla 40 Comparación de las propiedades de los materiales.....	122
Tabla 41 Proximidad relativa a solución ideal y ranking.....	125

Abreviaturas

CAE	Ingeniería asistida por computadora (siglas en inglés)
CAD	Diseño asistido por computador (siglas en inglés)
FEM	Método de elementos finitos (siglas en inglés)
PC-ABS	Policarbonato/acrilonitrilo butadieno estireno
PLA	Ácido poliláctico
PVC	Polivilino de cloruro
PC	Policarbonato

Impresión 3D de la manija del elevador de vidrio

Resumen

La industria automotriz luego de la declaratoria de pandemia por parte de la Organización Mundial de la Salud se ha visto afectado en las importaciones de partes y repuestos de vehículos, por esta razón la presente investigación tiene como objetivo brindar una alternativa de solución a través de la impresión en 3D de la manija del elevador de vidrio, misma que es evaluada en el software Inspire donde se verificó sus propiedades mecánicas y térmicas previo a su impresión.

Por esta razón antes de la validación se realiza el diseño de la manija del elevador de vidrios en el software Inventor, luego se procede a simular la optimización en el software Inspire y su respectivo análisis del comportamiento mecánico y térmico, el estudio está basado en la aplicación del método de entropía, método de resultados estándar, método de variación estadística, método multicriterios y el método copras, con los materiales seleccionados como las mejores alternativas para remplazar al original entre ellos tenemos el PLA, PC y PVC. Como conclusión de la investigación se puede mencionar que el material más apto para remplazar al original es el PLA debido a que cuenta con excelentes características mecánicas, físicas y térmicas. Mediante Inspire se pudo cambiar el diseño original de la manija obteniendo una propuesta optimizada cuyo peso 2.7% menor, además el tiempo de impresión 3D se reduce 8.3% en comparación al modelo original, el análisis del comportamiento mecánico indica que la carga que produce tensión genera 3.3% menos en el valor del esfuerzo de Von Mises, sin embargo, en las cargas de flexión se incrementa el esfuerzo un 17.3%. Con el presente estudio se puede mencionar que el material alternativo PLA, es ideal para sustituir al original ABC-PC, los

beneficios del análisis ayudan a tener una alternativa a la producción industrial, dando una solución a las importaciones que se encuentran restringidas.

Palabras clave: Optimización, altair hyperworks, inspire, impresión 3D, diseño, simulación, análisis térmico, mecánico, elementos finitos.

Abstract

The automotive industry after the declaration of a pandemic by the World Health Organization has been affected in the imports of vehicle parts and spare parts, for this reason the present investigation aims to provide an alternative solution through the 3D printing of the glass lift handle, which is evaluated in the Inspire software where its mechanical and thermal properties were verified prior to printing.

For this reason, before validation, the design of the glass lift handle is carried out in the Inventor software, then the optimization is simulated in the Inspire software and its respective analysis of the mechanical and thermal behavior, the study is based on the application of the entropy method, standard results method, statistical variation method, multicriteria method and copras method, with the materials selected as the best alternatives to replace the original, among them we have PLA, PC and PVC. As a conclusion of the research, it can be mentioned that the most suitable material to replace the original is PLA because it has excellent mechanical, physical and thermal characteristics. Through Inspire it was possible to change the original design of the handle obtaining an optimized proposal whose weight is 2.7% lower, in addition the 3D printing time is reduced 8.3% compared to the original model, the analysis of the mechanical behavior indicates that the load that produces tension generates 3.3% less in the value of the Von Mises effort, however, in the bending loads the effort is increased by 17.3%. With this study it can be mentioned that the alternative material PLA is ideal to replace the original ABC-PC, the benefits of the analysis help to have an alternative to industrial production, giving a solution to imports that are restricted.

Keywords: Optimization, altair hyperworks, inspire, 3D printing, design, simulation, thermal analysis, mechanical, finite elements.

Introducción

Antecedentes

La industria automotriz a nivel internacional se encuentra suspendida debido a la emergencia sanitaria, “La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estado evaluando este brote de COVID-19 durante algunos días, dando niveles alarmantes de propagación y gravedad. Por lo tanto, la evaluación del COVID-19 puede caracterizarse como una epidemia la cual fue declarada por la OMS como una emergencia de salud pública de preocupación internacional el 30 de enero de 2020.”(OPS, 2020), por esta razón el sector industrial automotriz se encuentra paralizado a nivel mundial.

En la actualidad el sector industrial está relacionado con la tecnología, es por eso que el diseño y la fabricación asistidos por ordenador (CAD/CAE) es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos (Albarrán Ligeró, 2013), lo cual involucrando al diseño y la fabricación de los productos.

“A inicios del siglo XX se da inicio al desarrollo del sector automotriz Ecuatoriano, con las primeras importaciones de vehículos, en el año de 1992, con el levantamiento de la prohibición de las importaciones, en el Ecuador se ingresó una variedad de automotores que crearon una dura competencia en la industria nacional”.(García V, 2016)

En ingeniería avanzada el diseño asistido por computadora (CAD, CAE) han revolucionado el siglo XXI (Albarrán Ligeró, 2013), siendo estas herramientas importantes para ayudar a resolver problemas de forma eficiente y rápida con resultados confiables, el análisis y simulación es importante a la hora de fabricar productos en serie, esto ayuda a reducir la

contaminación ambiental que se produce a diario en el mundo, con esto el futuro lucirá ecológico y tecnológico. En la actualidad el sector automotriz se ha convertido en una de las industrias más importantes de la era moderna; su categoría radica en el efecto social y económico que provoca.(Elías & Sánchez)

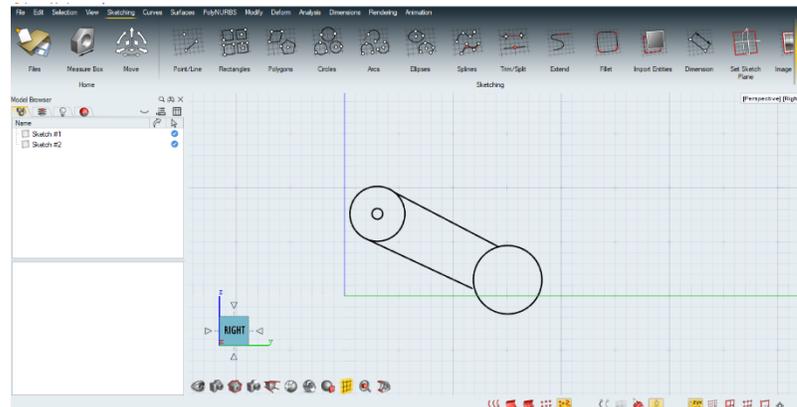


Figura 1 Manija del elevador de vidrio

La manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet Aveo Family puede diseñarse para realizar impresión 3D como una alternativa para los consumidores debido a que las importaciones a nivel internacional se encuentra paralizadas y en la actualidad se encuentran bordeando un precio de 12 dólares americanos en el mercado nacional (Mercado Libre, 2020), “El uso de los plásticos en la fabricación de piezas para el automóvil aumenta cada día más, las características de estos materiales, su coste económico y su capacidad de ser reciclados, son puntos importantes a tener en cuenta por los constructores a la hora de realizar el diseño y elegir el material con el que fabricar determinadas piezas.(Autocasión 2016)

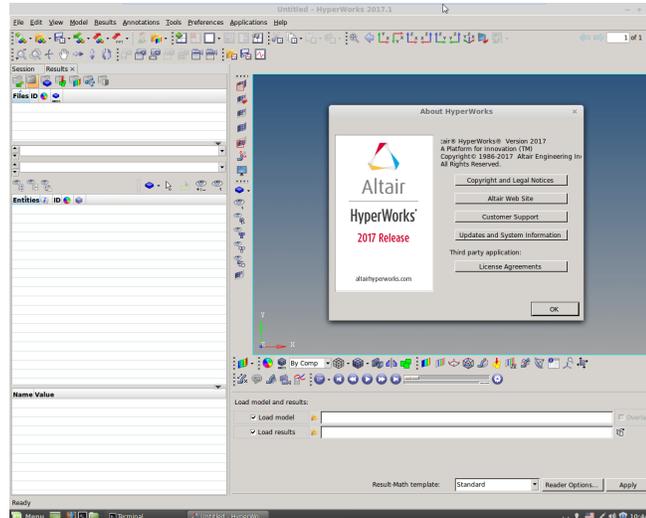


Figura 2 Software hyperworks
Fuente:(Hyperworks - Búsqueda de Google)

En la actualidad los materiales compuestos dan una reducción de peso y una resistencia térmica, química a la intemperie impulsando el desarrollo de nuevos materiales termoplásticos para la industria automotriz en componentes interiores, exteriores proporcionando así un nuevo estilo a las autopartes de los vehículos que deben estar diseñados y simulados en los programas más avanzados de la ingeniería moderna. (Technology, 2020)

“Debido a la gran variabilidad de los parámetros de fabricación, la integración de herramientas de simulación como el análisis de elementos finitos (FEA) con la fabricación de filamentos fusionados FFF es particularmente atractiva para diseñar productos impresos en 3D y analizar la mecánica de geometrías complejas”.(Provaggi, 2019)

Por esta razón analizamos la simulación de la impresión 3D que se realiza en el software Inspire debido a que imprimir diseños en 3D es hablar del proceso de fabricar y crear piezas y objetos, es decir utilizando el plano tridimensional x, y, z donde estas variables son el alto, largo y ancho a partir de un modelo digital del diseño que es construido mediante softwares informáticos y que luego serán impresos.

“Durante la impresión 3D se aporta y adhiere controladamente diferentes tipos de materiales para crear objetos a partir de los datos de un modelo en tres dimensiones, normalmente capa sobre capa (ASTM International 203AD). Ello facilita la impresión de objetos con geometrías más intrincadas, cambios y personalizaciones llegando a poder fabricar en un solo paso diseños complejos”.(Futuro & Oliva, 2013)

En general, este proceso se puede realizar a través de dos sistemas; sustractivos o aditivos. Los sistemas sustractivos extraen material y se asocian a las máquinas de control numérico - CN. Los sistemas aditivos solidifican material y se vinculan a las máquinas de prototipo rápido – PR”(A. Scheer.)

“El mundo tecnológico se mueve a una gran velocidad, a la velocidad de los bits o fuentes de información”.(Gil Gil, 2015)

“El sector automotriz en el Ecuador, presenta varios indicadores que deben ser considerados como factores de revisión entre ellos las excesivas importaciones de repuestos en el 2019”.(Problema p. 1)

“La declaratoria del estado de excepción, que suspende la jornada laboral presencial, ha obligado a las plantas de producción de las ensambladoras y de las empresas autopartistas a paralizar completamente, dado que por el giro de negocio no pueden acogerse al teletrabajo ni a modificar su rutina.”(Universo, 2020)

La pandemia ha puesto en jaque a los empresarios del sector automotor, cuyo rápido crecimiento de los últimos cuatro años se ha visto frenado por las restricciones de importaciones

durante esta emergencia sanitaria .” (Resolucion).Por tal motivo se realiza la presente investigación para darle una alternativa al mercado nacional.

“Con todo esto esperamos que el sector empiece a mostrar una recuperación el próximo año, la cual podría acelerarse hacia 2022, considerando que existe un esfuerzo mundial por tratar de activar la recuperación económica global, con lo que se han anunciado medidas extraordinarias de estímulo, esperamos que el sector pudiera empezar a registrar tasas de crecimiento positivas hacia la segunda mitad de 2021” (El Economista, 2020)

Planteamiento del problema

“En la actualidad el coronavirus puso de rodillas a la industria automotriz mundial la expansión del virus deja en evidencia la dependencia del sector automotor global entorno al mercado chino. Varios mercados del mundo sufren por la interrupción en el abastecimiento de autopartes.”(Infobae, 2020)

En el país existen algunas importaciones que están suspendidas entre ellas la del sector automotriz, por lo que se dificulta adquirir algunos accesorios y repuestos en el mercado nacional debido a la emergencia que vive el país, por esta razón se realiza la optimización en el proceso de fabricación por impresión 3D de la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet Aveo Family para la mejora de propiedades mecánicas y térmicas , el análisis de impresión 3D se realiza en el software Inspire dando así una alternativa a la ingeniería y a la ciencia para ser amigables con el medio ambiente.

La manija del elevador de vidrios está construida de material plástico y en el mercado nacional se encuentra en el precio de 12 dólares americanos(Mercado Libre, 2020), con la

propuesta de diseño lograremos darle una alta dureza buscando resistencia al calor y al impacto y tratando de seleccionar el material más apropiado para ésta autoparte “los materiales para impresión 3D disponibles en el mercado son el resultado de un largo camino recorrido desde los inicios de la tecnología de fabricación aditiva. Ahora encontramos una gran variedad de ellos en diversos estados – polvo, filamentos, gránulos, resinas y cada uno para un destino específico”.(Sicnova, 2019)



Figura 3 Manija

Fuente:(Manija Elevavidrios Chevrolet Aveo U\$S 8.00 - Ocompra.Com Ecuador, n.d.)



Figura 4 Manija del elevador de vidrio

Fuente: (Manija Del Elevador de Vidrios - Búsqueda de Google, n.d.)

Las manijas de los elevadores de vidrio se cambian con frecuencia luego de un determinado periodo de tiempo, las razones por las que se reemplaza es debido a que existe desgaste en la parte interior del acople presentando daño, avería o falla al momento de cumplir con su función de desplazamiento, a partir de los resultados obtenidos en el análisis CAE se plantea utilizar en la fabricación materiales alternativos en la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet Aveo Family.

Justificación

El estudio se basa en la optimización en el proceso de fabricación por impresión 3D de la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet Aveo Family para la mejora de propiedades mecánicas y térmicas, luego de que el planeta se encuentra en estado de emergencia y las importaciones están restringidas.

Con esta investigación lograremos evaluar y ajustar la optimización, el diseño, y modelación de la manija mediante el software Inspire, se realizara el análisis donde se visualiza el comportamiento mecánico – térmico.

Mediante la utilización de estas herramientas informáticas se puede reducir la contaminación ambiental debido a que la modelación se la realiza de forma virtual siendo amigables con el medio ambiente.

El estudio se realiza en el momento propicio para que la industria tenga alternativas de fabricación mediante la impresión 3D, está acompañada con la tendencia tecnológica.

El alcance del presente estudio se enfoca al modelo de la manija del elevador de vidrios dándole una alternativa a la industria en esta emergencia sanitaria que vive el país y para que se genere fuentes de empleo con talento nacional, además se pretende disminuir los costos de la manija que en la actualidad se encuentran en un precio de 12 dólares americanos (Mercado Libre, 2020).

La manija del elevador de vidrio es parte fundamental del sistema, debido a que cumple la función de palanca que sirve para subir o bajar el vidrio, tiene un componente conocido como grapa deslizante que asegura la manija con el engranaje del sistema, las razones por las que se

reemplaza es debido a que existe desgaste en la parte interior del acople presentando daño, avería o falla al momento de realizar su función de desplazamiento.

El objetivo principal del presente estudio es: Optimizar el proceso de fabricación por impresión 3D de la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet Aveo Family para la mejora de propiedades mecánicas y térmicas, el análisis de impresión 3D se realizará en el software Inspire dando así una alternativa a la ingeniería y a la ciencia siendo amigables con el medio ambiente.

Con el propósito de alcanzar los objetivos específicos trazados se puede mencionar los siguientes:

- Diseñar en 3D virtualmente el elevador de vidrio del vehículo Chevrolet Aveo Family mediante el uso del software Inspire para la simulación del comportamiento mecánico con el material alternativo PLA
- Analizar la información mediante la investigación para determinar criterios de impresión 3D
- Optimizar el diseño original de la manija mediante el software Inspire simulando las cargas actuantes para mejorar el comportamiento mecánico del elemento.
- Definir los parámetros idóneos de impresión 3D mediante la simulación en el software Cura con el fin de proponer una alternativa eficiente para el reemplazo de la manija del elevador de vidrios comercial.
- Analizar los esfuerzos producidos en la propuesta optimizada por medio del software Inspire para determinar la funcionalidad del diseño simulada con el nuevo material propuesto y la viabilidad de su producción.

- Analizar el comportamiento térmico de la manija mediante la simulación del proceso de impresión 3D en el software Inspire con el fin de verificar la factibilidad del procedimiento para su obtención.
- Comparar los resultados del comportamiento mecánico del diseño original y optimizado
- Determinar la eficiencia de la propuesta optimizada mediante la comparación de los resultados del análisis de resistencia con la manija original para ser reemplazada en caso de avería.

Hipótesis

Se mejora las propiedades mecánicas y térmicas de la pieza del elevador de vidrios mediante la optimización en el proceso de fabricación por impresión 3D con el uso de materiales alternativos al original.

Estado del Arte

La Industria automotriz

A nivel internacional, la industria automotriz presenta un alentador desarrollo para otros sectores de alto valor agregado, misma que está considerada en la actualidad como uno de los sectores estratégicos , presentando una participación importante en las exportaciones, despuntando incluso las del sector petrolero y se constituye como la precursora de la competitividad (SE Secretaría de Economía, 2012).

La industria automotriz viene siendo considerada como la impulsora de la economía en el mundo, por ser un sector generador de empleo y divisas.(Fecyt, 2018).

La industria automotriz desde sus comienzos y durante los últimos 100 años, ha funcionado con un solo modelo de negocios: producir y vender vehículos, y realizarles mantenimiento. Sin embargo, los grandes analistas mencionan que se acerca rápidamente un cambio radical para la industria automotriz mundial.(Value)

La industria automotriz aporta directamente con alrededor de 5% del empleo mundial de manufactura, y que cada empleo directo en la industria contribuye con otros 5 empleos indirectos.(Sostenibilidad, 2017)

“Las industrias manufactureras ayudan a impulsar el crecimiento económico y el aumento de los niveles de vida durante casi tres siglos y seguirá haciéndolo en las economías en desarrollo, El sector automotriz no es ajeno a la evolución de la industria manufacturera cuyo desarrollo está ligado al control de parámetros técnico-económicos, con el objetivo de hacer organizaciones más eficientes.”(Guamán Lozano, 2018)

“El brote de COVID-19 ha expuesto varios desafíos para el sector automotriz. Los gobiernos a nivel mundial se están preparando para una propagación más amplia del virus.”(Becker & Partner, 2020)

Vehículo Chevrolet

“Con miles de vehículos en las carreteras de Ecuador, Chevrolet es una de las marcas más populares. El modelo Aveo que se vende en Ecuador, es un automóvil de turismo del segmento B producido por GM-DAEWOO Motors.

Fue introducido al mercado en diciembre de 1998 y es comercializado en 120 países bajo cinco nombres diferentes. El Aveo ha evolucionado a través de los años, experimentando dos rediseños, tres estilos de carrocería. Es una buena opción como auto familiar, económico, en donde encontrarás todo lo que buscas: seguridad, confort, potencia y amplitud, en el mercado

nacional el vehículo Chevrolet Aveo Family AC TM 1.5 4P tiene un precio \$15.999” (Foros Ecuador, 2014)

“El vehículo Chevrolet presenta una combinación de diseño y tecnología de avanzada, seguridad, compatibilidad, economía y ecológica dentro del mercado internacional.” (Spark, 2018)

El vehículo Aveo Family no se producirá en Ecuador desde el 2020 quienes manifiestan que los repuestos están garantizados, dijo General Motors, informó el 5 de junio del 2019 a un diario del país (El Comercio), quien manifiesta que dará espacios a nuevas plataformas, el modelo Aveo Family se ensamblará y comercializará hasta 2019, y no se producirá en el 2020, el mercado estará abastecido en lo que tiene que ver a piezas, partes y repuestos. Desde su lanzamiento en 2009 hasta mayo de 2019 se han comercializado cerca de 70 000 unidades de Aveo Family, indicó la firma.(El Comercio, 2019) .

Tipos de plásticos que utilizan los vehículos

El plástico es utilizado para la fabricación de manijas, tapetes, interruptores, ventilas del aire acondicionado, las bolsas de aire, entre otros, están fabricados de plástico. Este material se lo utiliza mayormente en la manufactura de los coches pues según el American Chemistry Council de Estados Unidos, son durables, baratos de fabricar y se moldean en casi cualquier forma.(Noticias T, 2014).

“El desarrollo de la industria automotriz está relacionado directamente y de forma significativa al uso de diferentes materiales y aunque no todos los autos son iguales, los materiales de que se construyen son prácticamente los mismos, el plástico es el material mayoritario a la hora de revestir el interior del habitáculo de pasajeros.”(Ramos Rivero, 2018)

“Los plásticos están considerados como un compuesto sintético formado por la suma de una serie de moléculas denominadas monómeros que al unirse forman cadenas con distintas formas llamadas polímeros. Los plásticos termoplásticos más comunes empleados en el automóvil son los siguientes:

Tabla 1 Plásticos

Termoplásticos más flexibles		Termoplásticos menos flexibles	
Código	Nombre	Código	Nombre
PA	Poliamida	ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
PC	Policarbonato	SAN	Estireno acrilonitrilo
PE	Polietileno	PMMA	Polimetacrilato metilo
PP	Polipropileno	PPO	Óxido de polifenileno
PVC	Cloruro de polivinilo		

Fuente:(Ruta 401 Teroson, 2019)

Otros plásticos también presentes en el automóvil son el Acrilonitrilo estireno acrilato (ASA) , el Tereftalato de butileno (PBT) o aleaciones como el PP/EPDM “(Polipropileno/Elastómero de Polipropileno Modificado)”(GmbH, 2005) o el PP/PE (Polipropileno/Polietileno).”(Ruta 401 Teroson, 2019).

Según algunos autores entre los materiales más importantes tenemos el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) es uno de los plásticos más utilizados en la industria automotriz debido a que arde bien, tipo termoplástico, humo muy negro, tiene un color de la llama amarillo anaranjado y tiene una temperatura de soldadura de 300° a 350° C (Elchapista, 2018)

Dentro de sus características importantes la tenacidad, dureza y rigidez le otorgan una excelente resistencia y estabilidad a los impactos y vibraciones inclusive en temperaturas bajas por lo que es utilizado en las impresiones 3D.

Así lo menciona (Cornish Alvarez, 1997) que el ABS es un material con buena estabilidad dimensional, que resiste a los rayos UV, además de tener otras características extraordinarias hace que este material sea uno de los más utilizados para el uso de autopartes en los vehículos.

El material ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) es considerado un material que pertenece a la familia de los termoplásticos, perteneciendo a los polímeros que tienen una de las características moldeables a ser expuesto a los procesos de transformación. Es calificado en el mercado internacional como el plástico de ingenieros por su compleja fabricación.

“En la industria automotriz, una de las principales ventaja que tiene el ABS es que puede ser pintado , además es compatible a la mezcla con materiales como el policarbonato (PC). Por las características antes mencionadas el ABS es utilizado en muchas partes internas de los vehículos, como en las puertas, paneles de control, accesorios de mando, cajetines, compartimientos, para choques, rejillas de ventilación protectores de airbag.” (Pesantez, 2019).

El Polipropileno (PP)

Es un termoplástico con excelentes características de rigidez y a la dureza. Presenta buena resistencia al impacto y a la abrasión, resistente a la intemperie. Su resistencia a los agentes químicos destaca a la mayoría de los termoplásticos, salvo algunas excepciones. Su costo lo hace que este sea competitivo en el mercado frente a los otros polímeros en diferentes aplicaciones.(Electrocome, 2019)

Según (*QuimiNet. 2018*) dentro de sus propiedades mecánicas estos polímeros pueden usarse como elementos para deslizarse sin tener que lubricar, tiene una eficiente resistencia superficial, presenta buena resistencia al calor, química a la humedad sin deformarse, presentan una estabilidad al momento de ser utilizado en la fabricación de cualquier objeto.

Entre sus propiedades físicas presentan una alta resistencia a los impactos, posee buena capacidad para recuperarse elásticamente, se pueden reciclar con facilidad, buena adaptación con el medio.

En el sector industrial son utilizadas para prótesis y similares, en bombas, es atóxica, para accesorios en los laboratorios, utilizada en embaces, entre otras.

Tiene ventajas como baja capacidad de absorber la humedad, material liviano, presente una excelente resistencia a la tensión y compresión, resistente a los ácidos.

DENOMINACIONES COMERCIALES: HOSTALEN PPH, VESTOLEN PP, TROVIDUR PP, ISPLEN PP, PLASTPUR PP, PROPIL.

Tabla 2 Características Técnicas del Polipropileno

MATERIAL	DENSIDAD gr/cm ³	PUNTO FUSIÓN °C	TEMP. MÁXIMA UTIL. CONT. °C	TEMP. MÍNIMA UTIL. CONT. °C	ALARG. A ROTURA %	RESIST. A ROTURA Kg / cm ²
POLIPROPILENO PP	0,91	160	100	-10	650	300

Fuente: (Electrocome, 2019)

Tabla 3 Características Técnicas del Polipropileno

MATERIAL	RESIST. AL CHOQUE Kj / m ²	MÓDULO ELAST. TRACCIÓN N / mm ²	ABSORCIÓN AGUA 100% Hr 23 %	RESIST. SUPERF. OHM	CONDOC. TERMICA W / Km	DUREZA Shore D.A. Rockwell M. Brinell H.
POLIPROPILENO PP	NO ROMPE	1300	0,01	1.10 ¹³	0,22	D.65

Fuente: (Electrocome, 2019)

El Poliamida (PA)

La poliamida posee mejores propiedades mecánicas y de mayor dureza que la Poliamida 6, es un termo-plástico que presenta buenas propiedades mecánicas a la tenacidad, desgastes y rigidez, este material tiene un buen aislamiento eléctrico y es fácil de maquinar. Por su baja absorción a la humedad es más apropiada para fabricar componentes con tolerancias más rígidas. Su resistencia química a las bases y ácidos es baja y buena a los disolventes, es utilizada en manguitos, asientos entre otros.(Electrocome, 2019).Citar bien)

Las aplicaciones más utilizadas son para ruedas de engranajes, partes de bombas, ejes de deslizamiento, abrazaderas, cremalleras, entre otras.

Según (Polit & Catalunya, 1998) Las poliamidas pueden ser naturales o sintéticas, pudiéndose establecer dentro de cada una de ellas, existen Poliamidas.

Naturales - Globulares, Fibrilares Sintéticas - Aromáticas, Alifáticas (Polipéptidos, Nylons, Nylons modificados)

El criterio de (Ferrás & Rodríguez, 2010) menciona que las poliamidas con sus derivados establecen una familia de polímeros de amplia querencia y de gran interés técnico, debido a las excelentes prestaciones que poseen.

DENOMINACIONES COMERCIALES: NYLATRON 66, ERTALON 66-SA, TECAMID 66

Tabla 4 Características Técnicas de la Poliamida

MATERIAL	DENSIDAD gr/cm³	PUNTO FUSIÓN °C	TEMP. MÁXIMA UTIL. CONT. °C	TEMP. MÍNIMA UTIL. CONT. °C	ALARG. A ROTURA %	RESIST. A ROTURA Kg / cm²
POLIAMIDA PA – 66	1,15	250	110	-30	25	700

Fuente: (Electrocome, 2019)

Tabla 5 Características Técnicas de la Poliamida

MATERIAL	RESIST. AL CHOQUE Kj / m ²	MODULO ELAST. TRACCION N / mm ²	ABSORCION AGUA 100% Hr 23 %	RESIST. SUPERF. OHM	CONduc. TERMICA W / Km	DUREZA Shore D.A. Rockwell M. Brinell H.
POLIAMIDA PA – 66	5	3000	8	1.10 ¹³	0,25	D.75

Fuente:(Electrocome, 2019)

Polietileno HMW PE-500

Cuenta con un bajo peso específico pero tiene un alto peso molecular cuenta además con una elevada resistencia al impacto, es decir tiene además propiedades de deslizamiento y cuenta con una resistencia a la abrasión por lo que es utilizada en la ingeniería mecánica.(Electrocome, 2019)

“Para (Moreira, 2005) menciona que el Polietileno es considerado como un polímero sintético termoplástico que se consigue por polimerización del etileno. Es considerado un material parcialmente amorfo y cristalino, que tiene un color blanquecino y translucido. Los diversos tipos de Polietileno que se encuentran en el mercado son el resultado de las diferentes condiciones de operación, llevadas a cabo en la reacción de polimerización.”

(Expandido, 2015) considera que el polietileno es químicamente el polímero más simple. Se trata de un plástico barato que puede modelarse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas.

El polietileno es conocido en el mercado como de alta, media y baja densidad, ante agentes químicos presentan alta resistencia a la exposición de agentes químicos o ácidos.

Para (Mariano, 2011) indica que el polietileno de alta densidad o PEAD (HDPE en inglés) es un polímero de cadena lineal no ramificada, donde su densidad es alta y las fuerzas intermoleculares también.

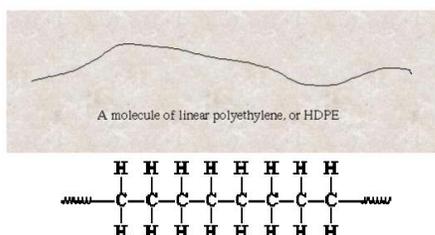


Figura 5 Estructura del polietileno de alta densidad
Fuente. (Mariano, 2011)

Tabla 6 Características Técnicas de Polietileno

MATERIAL	DENSIDAD gr/cm ³	PUNTO FUSIÓN °C	TEMP. MÁXIMA UTIL. CONT. °C	TEMP. MÍNIMA UTIL. CONT. °C	ALARG. A ROTURA %	RESIST. A ROTURA Kg / cm ²
POLIETILENO PE-500	0,96	135	80	-100	>600	300

Fuente:(Electrocome, 2019)

Tabla 7 Características técnicas del Polietileno

MATERIAL	RESIST. AL CHOQUE Kj / m ²	MÓDULO ELAST. TRACCIÓN N / mm ²	ABSORCIÓN AGUA 100% Hr 23 %	RESIST. SUPERF. OHM	CONduc. TERMICA W / Km	DUREZA Shore D.A. Rockwell M. Brinell H.
POLIETILENO PE-500	NO ROMPE	900	0,01	1.10 ¹³	0,42	D.65

Fuente: (Electrocome, 2019)

Nylon - PA.6

El Nylon es una poliamida con excelentes cualidades, tales como dureza, capacidad de amortiguación de golpes, ruidos, vibraciones, resistencia al desgaste, a la abrasión, etc. Es capaz

de soportar cargas dinámicas, es bastante resistente al calor, y tiene buena resistencia contra alguna materia química, se utiliza en la automoción.(Electrocome, 2019)

DENOMINACIONES COMERCIALES: NYLON-6, POLIAMIDA-6, NYLATRON-6, AKULON-6, ULTRAMID-B, DURETHAN-B, TECAMID-6, ERTALON-6 SA, AMIDAN-6.(Electrocome, 2019).

Tabla 8 Características técnicas del Nylon

MATERIAL	DENSIDAD gr/cm ³	PUNTO FUSIÓN °C	TEMP. MÁXIMA UTIL. CONT. °C	TEMP. MÍNIMA UTIL. CONT. °C	ALARG. A ROTURA %	RESIST. A ROTURA Kg / cm ²
NYLON PA – 6	1,14	213	90	-40	>50	650

Fuente: (Electrocome, 2019)

Tabla 9 Características Técnicas del Nylon

MATERIAL	RESIST. AL CHOQU E Kj / m ²	MÓDULO ELAST. TRACCIÓN N / mm ²	ABSORCIÓN N AGUA 100% Hr 23 %	RESIST. SUPERF. OHM	CONduc. TERMICA W / Km	DUREZA Shore D.A. Rockwell M. Brinell H.
NYLON PA – 6	3,8	2800	9	5.10 ¹²	0,28	D.75

Fuente: (Electrocome, 2019)

En el país se registraron las siguientes importaciones de materiales.

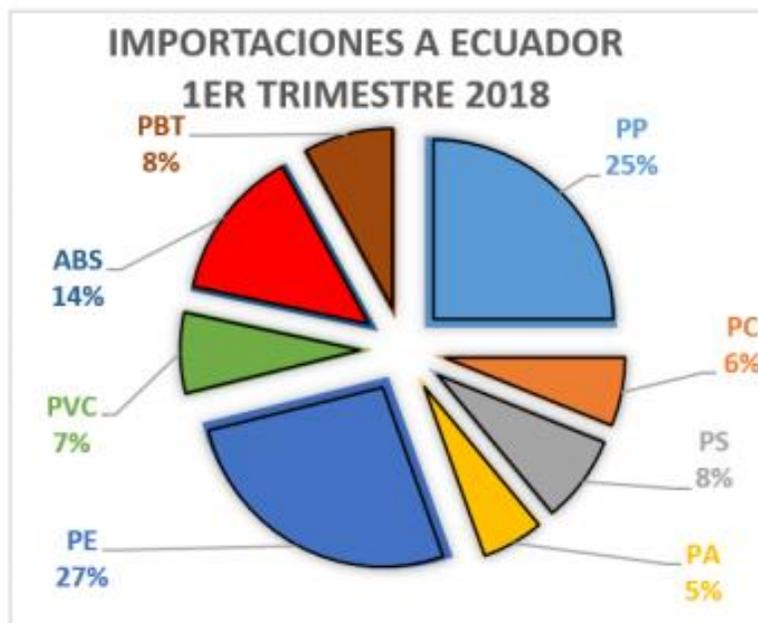


Figura 6 Importaciones al país enero, febrero y marzo 2018
Fuente: (SENAE-SENAE-2018-0082-RE – Servicio Nacional de Aduana Del Ecuador)

La Tabla 10 resume la cantidad en toneladas de material importado al país.

Tabla 10 Cantidad de Material Importado

Cantidad de Material Importado	
Polipropileno (PP)	12600 Ton
Policarbonato (PC)	3100 Ton
Poliestireno (PS)	3950 Ton
Poliamida (PA)	2800 Ton
Polietileno (PE)	13400 Ton
Policloruro de Vinilo (PVS)	3650 Ton
Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)	6875 Ton
Tereftalato de polibuteno (PBT)	4025 Ton

Fuente:(SENAE-SENAE-2018-0082-RE – Servicio Nacional de Aduana Del Ecuador)

Optimización de autopartes en el sector industrial

La Optimización de autopartes en el sector industrial, en consecuencia, el 80 por ciento de las compañías automotrices y relacionadas informan que Coronavirus tendrá un impacto directo en sus ingresos de 2020. El 78 % de las empresas no tienen suficiente personal para operar una línea de producción completa, con la cual se puede predecir que la economía de uno de los sectores más importantes se encuentra en peligro”(Becker & Partner, 2020).

“La optimización multiobjetivos se refiere a la minimización y/o maximización de varias características o respuestas simultáneas de procesos o sistemas, como son por ejemplo calidad, costo y diseño en un espacio de búsqueda, donde se busca optimizar, restringir y buscar las soluciones más óptimas para el proceso o sistema.”(Ciencia Mx Noticia, 2017).

“Diversos son los factores que hacen que los procesos productivos se desenvuelvan rápidamente y que llevan a las industrias a optimizarlos; entre estos se incluyen el aumento de la demanda de productos, la fuerte competencia caracterizada por la elevada variabilidad de los precios, las restricciones de productos, los elevados costos de producción, la escasez de recursos naturales, entre otros, para esto las herramientas de optimización presenta tres etapas principales entre ellas se detalla:

El primer nivel es el de la planificación estratégica, con un horizonte temporal de mediano y largo plazo.

El segundo nivel se encuentra la planificación de la producción. Aquí se tratan los objetivos económicos —relacionados con logística, distribución, transporte y producción, entre otros.

El tercer nivel es el de la programación de la producción. Es muy complejo, ya que tiene como objetivo generar una programación de la producción viable para todas las operaciones que satisfaga las demandas en el tiempo previsto y reduzca al mínimo el almacenamiento de materias primas y productos,.”(Acevedo Peña, 2015)

“En un mercado tan competitivo, con una demanda tan cambiante y con una sociedad tan exigente, las empresas están obligadas a la búsqueda de nuevas estrategias para optimizar sus procesos y no caer en la obsolescencia, una de las estrategias más utilizadas para optimizar procesos es la metodología Kaizen, que consiste en usar a la misma gente de la empresa para analizar los procesos, para estandarizarlos y generar una cultura donde los problemas no sean escondidos sino más bien expuestos a la luz para mejorar con trabajo en equipo.”(Polanco, 2017)

La optimización debe ser la acción que permita mejorar los procesos establecidos corrigiendo los errores para hacerlo más rentable al proceso productivo.

Impresión 3D

La fabricación aditiva es el nombre técnico que engloba todas las tecnologías de impresión 3D, se trata de la fabricación de objetos tridimensionales por aportación de material en vez de sustracción, es decir se aplican capas sucesivas de materia para crear un objeto tangible.(Jorquera, 2017).

Con la impresión 3D se puede hacer realidad nuevos diseños y geometrías que no sólo reducen peso, sino que abren nuevas vías al diseño optimizado de componentes.(Factoría del Futuro, 2017).

“Muchas empresas creen fervientemente que la Impresión 3D va a cambiar el mundo y queremos ser parte de ese cambio, ayudando que los niños para que puedan materializar sus sueños, los médicos salven más vidas, los ingenieros construyan lo imposible y los artistas nos asombren con nuevas e increíbles creaciones. Todo esto a través de la difusión masiva, la educación personalizada, los servicios profesionales, una oferta de productos de alta calidad con respaldo local y con la comunidad más grande de Latino América.”(Alvarez & Ruiz-Tagle, 2017).

Los principales tipos de impresoras 3D que hay en el mercado en este momento son: FDM, SLA, DLP, MSLA, SLS, SLM, DMLS EBM, BJ, DOD y MJ, con la norma ISO/ASTM 52900, que fue publicada en 2015, tiene como objetivo normalizar toda la terminología y clasificar cada uno de los diferentes tipos de impresoras 3D.(All3DP, 2020)

La impresión 3D sin duda ha revolucionado todos los sistemas industriales lo que antes se creía imposible hoy a través de los avances tecnológicos podemos hacer realidad muchas ideas que antes creíamos improbable.

Criterios de Impresión 3D

Para realizar la impresión 3D se debe tener en cuenta el tipo de filamento. En el ámbito de la impresión 3D para principiantes, el ácido poliláctico (PLA) es el rey. Aunque a menudo se compara con el filamento ABS (el segundo filamento 3D más usado), el filamento PLA es con

diferencia el filamento 3D más popular, por esta razón debemos tomar en cuenta estos criterios importantes para nuestro análisis.(All3DP, 2020)

“Entre los principales tipos de filamentos 3d comunes tenemos los siguientes:

- Filamento PLA
- Filamento ABS
- Filamento PETG
- Tipos de filamentos especiales
- Filamento TPU
- Filamento Nylon
- Filamento HIPS
- Filamento PVA
- Se debe considerar el policarbonato (PC)
- El diámetro de filamentos 3D

POLVOS

- Poliamida (Nylon)
- Alúmina

RESINAS

- Resinas de alto nivel de detalle
- Resina pintable

Resina transparente Estas son algunas de las características que se debe considerar en los filamentos, polvos y resinas para la impresión 3D.”(Tresdpro, 2019)

La gran variedad de tecnologías 3D, fabrican con diferentes tipos de materiales, por ejemplo, la tecnología FDM/FFF (modelo por deposición fundida/fabricación con filamento fundido) trabaja con filamentos, la esterolitografía con resinas líquidas de fotopolímeros y el sinterizado láser con polvos termoplásticos.(3Dnatives, 2019)

“Para realizar la impresión 3D se debe considerar ciertos aspectos para la fabricación de FFF (Fusion Filament Fabrication), entre ellas tenemos las características geométricas.

Si la pieza que se quiere imprimir tiene salientes o voladizos, cavidades y circuitos internos, etc., es muy probable que la geometría necesite de la generación de soportes para poder obtener una geometría perfecta. En estos casos, necesitaremos usar un material de soporte. Dependiendo del material de construcción, se elegirá el material de soporte adecuado. Es muy importante tener en cuenta la compatibilidad de los distintos materiales a la hora de la selección del material de soporte.

Se debe considerar la calidad y la presión que necesito en cada pieza, existen materiales que se han diseñado específicamente para obtener un acabado excepcional en cuanto a precisión de impresión, ya que se ha mejorado su adhesión entre capas y flujo de material, lo que junto con la precisión de la impresora hace que se puedan obtener piezas óptimas para aplicaciones que requieran de altas precisiones, calidad y tolerancias.

Siempre se debe considerar aspectos estéticos, detalles mínimos, resolución y calidad superficial en la impresión de la pieza 3D, constantemente se debe recordar que cuando realizamos estos trabajos estamos utilizando el plano de coordenadas X,Y,Z” . (JCR3D, 2019).

Impresión 3D de autopartes en el sector industrial

“En la industria automotriz tradicionalmente se han fabricado los vehículos de forma convencional la cual hasta el momento ha brindado buenos resultados sin embargo la tecnología avanza con gran rapidez y actualmente existe otro método en proceso de investigación, desarrollo y aprobación el cual es por medio de la impresión en 3D, este proceso es un sistema mucho más ecológico y mucho más rápido en cuanto a diseño de prototipos actualmente, otro de los casos de estudio es el hacerlo mucho más rápido para poder generar producciones en masa de vehículos para que sea mucho más competitivo con el actual de fabricación de vehículos.”(Durazo)

La impresión 3D, en el sector automotriz “es una tecnología en la que los objetos se construyen gracias a un gran número de capas muy finas. El nombre de Manufactura aditiva, viene del principio en el que se basa esta tecnología, “adicionar” capa por capa la cantidad de material exacto que se requiere para darle forma y volumen a la pieza que se quiere crear” según (Köksal & Penez, 2015), dando así alternativas que pueden mejorar los precios del mercado nacional .

En las empresas de “Volkswagen, Ford y otros fabricantes de automóviles han estado utilizando la impresión aditiva para manejar las roturas de herramientas en las líneas de montaje. En el pasado, una vez que se producía una falla, se trataba de esperar a que se enviara una pieza de reemplazo a la fábrica. Eso podría llevar días, y mientras tanto los autos no están saliendo de la línea.

Ahora, los fabricantes de automóviles están imprimiendo herramientas en o cerca de las instalaciones de producción, reduciendo el tiempo de inactividad y mejorando las ganancias.

En la industria Automotriz menos peso significa mayor eficiencia, ya sea que un automóvil use un motor de combustión interna o motores eléctricos. También se traduce en una aceleración más rápida, un manejo más nítido y un mejor rendimiento de parada. Es probable que estos atributos signifiquen que los modelos de automóviles impresos en 3D estarán primero en los segmentos de rendimiento, luego se filtran a más vehículos de pasajeros de uso común.”

(Intelligy, n.d.)

Tipo de materiales utilizados para la impresión 3D

Antes de revisar el tipo de material que se utilizara en la impresora, se debe tener en cuenta las características del material que se utilizara para la impresión de los sólidos.

Dependiendo de la industria o negocio en el cual vaya a ser utilizada la impresora variará el material, ya que cada uno tiene propiedades distintas que determinarán la apariencia final del sólido, gran parte de las impresoras utilizan un filamento de material termoplástico, el cual durante la impresión sale derretido del extrusor y luego se endurece a medida que se enfría. Los más comunes son los ABS y los PLA, por lo cual hablaremos de los más utilizados para nuestro estudio.

El material ABS es un plástico que puede resistir altas temperaturas por lo que debe ser utilizado en impresoras que sean capaces de alcanzar temperaturas elevadas, la misma que les da resistencia y dureza a los diseños impresos, En cambio el PLA es un material termoplástico de origen natural, cuenta con buenas características. La impresión con este material es más rápida, aunque los sólidos obtenidos no presentan mucha resistencia, como se puede analizar el ABS vs

el PLA se puede mencionar que para nuestro análisis podríamos seleccionar el material ABS por presentar mejores propiedades en cuanto tiene que ver a dureza y resistencia.(Tresdpro, 2019)

El material ASA, técnicamente conocido como Acrilonitrilo estireno acrilato tiene propiedades similares al ABS, pero con una mayor resistencia a los rayos UV, aunque también es posible encontrar algunas complicaciones a la hora de imprimir con este material, se recomienda tener una plataforma de impresión calefactada cuando se trabaje con este componente.(Sánchez, 2019)

Selección de materiales para la impresión 3D

Según (Ultimaker, 2011) “menciona que elegir el material correcto es crucial para el éxito de la impresión 3D. Con el sistema de filamento abierto de Ultimaker, puede imprimir con cualquier filamento de 2,85 mm y perfiles de impresión de Ultimaker Marketplace para optimizar la preparación de la impresión y maximizar la tasa de éxito de sus trabajos de impresión.”

“Las características de los materiales que se deben tener en cuenta, al elegir los materiales adecuados para impresión 3D, generalmente pertenecen a 3 categorías: relativas al proceso de impresión, a la calidad visual y a las propiedades físicas. La elección final del material realmente depende de lo que el usuario quiere imprimir. Por ello, enumeramos los criterios de decisión clave para elegir un material:

Proceso de impresión: los principales puntos a considerar para el proceso de fabricación son:

- Temperaturas de ambiente.
- Temperatura de la base.
- Temperatura del extrusor.

- Adhesión a la base.
- Diámetro de nozzle.
- Velocidad de impresión.

Calidad visual: la calidad visual está directamente relacionada con la altura de capa.

Propiedades físicas: especialmente relativas al rendimiento mecánico del material y entre las que podemos citar las siguientes:

Máxima tensión: es el nivel máximo de tensión que puede sufrir el material antes de contraerse significativamente.

Alargamiento a la rotura: longitud máxima que una pieza ha sido estirada antes de romperse.

Resistencia al impacto: equivale a la energía necesaria para romper un objeto con un impacto repentino.

Adhesión de capa (isotropía): se refiere a cómo es la adherencia entre capas de material. En este sentido, cuanto mejor es la adhesión de la capa, más isotropo será el objeto, es decir, presentará las mismas propiedades en cada una de sus direcciones.

Resistencia al calor: es la temperatura máxima que el objeto puede soportar antes de suavizarse y deformarse.

Resistencia química: ausencia de efectos notables ante productos químicos y corrosión.

Propiedades post-impresión: también se ha de valorar la capacidad del material para ser sometido a posibles procesos tras la impresión, como la facilidad de lijar o pintar el material.”(Sicnova, 2019)

Estos son algunos de los requisitos que se debe tener en cuenta al momento de selección el material para la impresión 3D que deben ser considerados para tener un excelente producto que cumpla con los requisitos que necesitemos darle a la aplicación del objeto que será impreso.

Selección de mallado para la impresión 3D

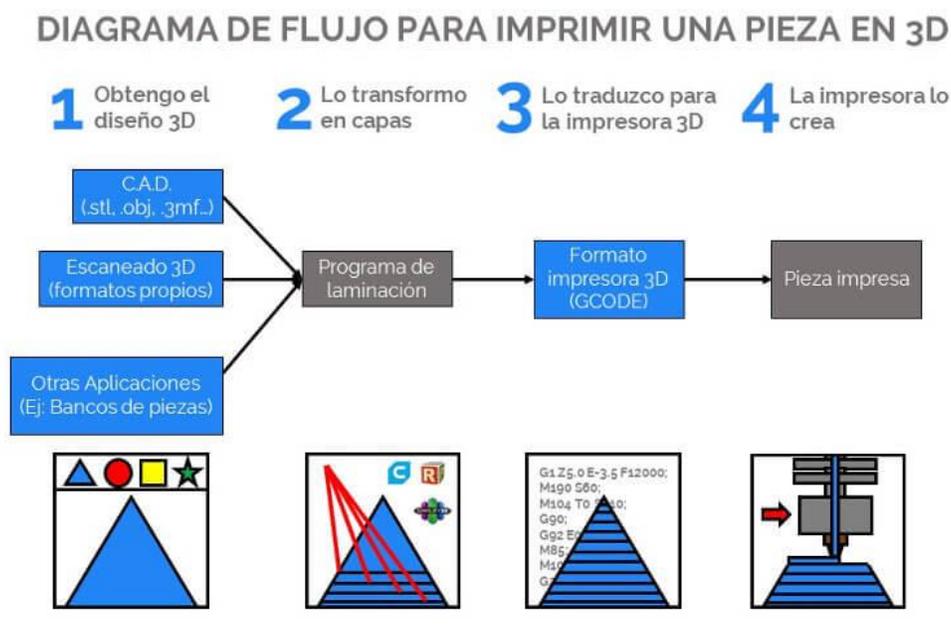


Figura 7 Diagrama de flujo para imprimir una pieza en 3D

Fuente:(www.of3lia.com, 2019)

Validación CAE

El avance tecnológico ha permitido un rápido crecimiento en la industria del plástico a nivel mundial, y demanda de un rápido desarrollo de productos y procesos. La ejecución de

herramientas de ingeniería computacionales proporciona una respuesta a estas demandas en los mercados internacionales.

Para realizar la validación del presente estudios se debe analizar el comportamiento mecánico y térmico la cual se realizará a través del software Inspire y Hyperworks.

Para (Miguel Ángel Gómez González, 2010) el software formula las ecuaciones que rigen el comportamiento de cada elemento teniendo en cuenta su conectividad con los demás elementos. Los análisis matemáticos están establecidos por ecuaciones que hacen referencia a la respuesta de cargas, restricciones y propiedades del material conocidas que se utiliza en la impresión 3D, después organiza las ecuaciones en un conjunto algebraicas simultáneas y resuelve las desconocidas dando valores para la comprobación de resultados.

El criterio de (Ipm, 2016) en los últimos años, ha habido una considerable actividad relacionada con las capacidades de diseño asistido por computador (CAD) y de ingeniería asistida por computador (CAE), siendo vital en la industria automotora, petrolera, energía, salud, aeroespacial, y en especial en la industria de defensa y seguridad a nivel mundial.

Simulación en el software HyperWorks

“HyperWorks es una solución de simulación empresarial para un rápido diseño de exploración y toma de decisiones. Como uno de los HyperWorks, la solución CAE más completa de la industria, ofrece un conjunto integrado de herramientas de primer nivel para el modelado, análisis, optimización, visualización, informes y gestión de datos de rendimiento. Firmemente comprometido con una filosofía de sistemas abiertos, HyperWorks continúa liderando la industria con la más amplia interoperabilidad con soluciones comerciales CAD y

CAE.(Engineering & Engineering, 2010), en la Figura 8 se puede observar el entorno de este software.

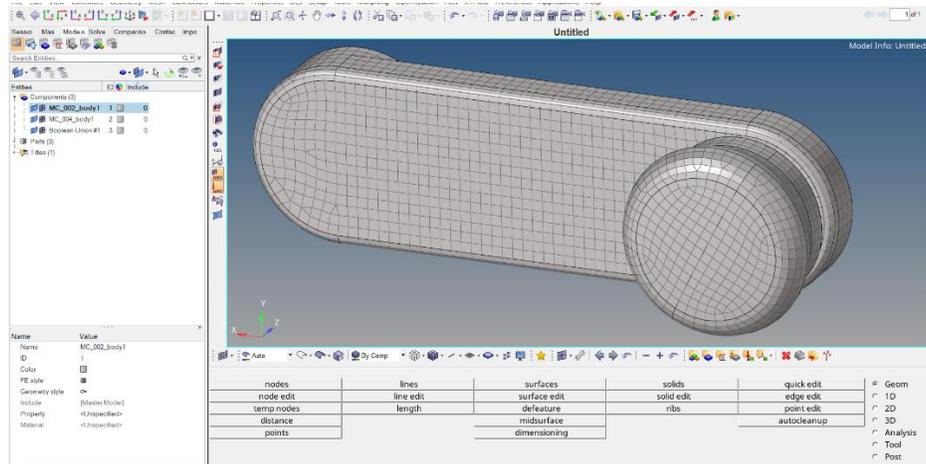


Figura 8 Entorno del software HyperWorks

“La selección de materiales es una actividad onerosa pero muy importante en el proceso de diseño. Una inapropiada elección de materiales puede afectar adversamente la productividad y la rentabilidad. La complejidad de la selección de materiales hace que el análisis multicriterio sea invaluable herramienta en el proceso de diseño de ingeniería.”(Pesantez, 2019)

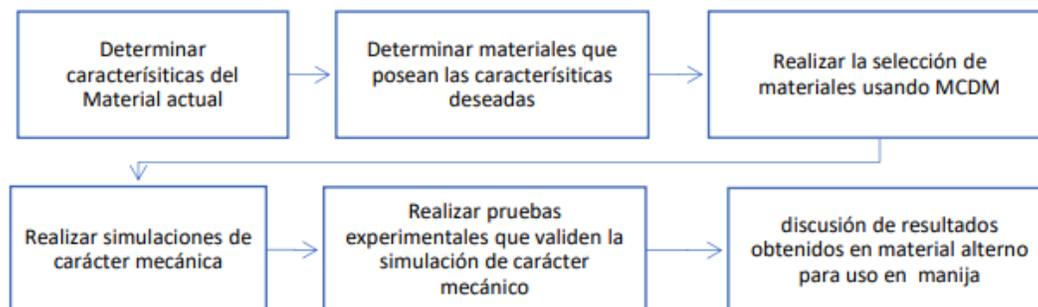


Figura 9 Diagrama de bloque para flujo de estudio
Fuente:(Jahan, 2011)

Con el método MCDM (Multiple-criteria decision-making) se puede llegar a una correcta selección de materiales, para que pueda tener una aplicación eficiente a la hora de imprimir el diseño 3D.

“Para (Kumar, 2017) el análisis de decisiones es una herramienta valiosa para resolver problemas, caracterizada por múltiples actores. Criterios y objetivos. Los problemas de MCDM generalmente se componen de cinco componentes que son: meta, preferencias del tomador de decisiones, alternativas, criterios y resultados respectivamente”

Ponderación de peso

Para el análisis de este estudio se utiliza tres métodos de ponderación en función a las variables que presenta cada material, donde se busca obtener un material candidato a reemplazar el material original, se debe tomar en cuenta las propiedades mecánicas y térmicas del material que puede reemplazar al material con el que está construida la manija del elevador de vidrio además de tener cuenta el costo del mismo.

“Para medir la calidad en los servicios, por consiguiente, hay que medir necesariamente la satisfacción de los clientes con el servicio recibido y la ponderación es una herramienta por la cual se mide la calidad del servicio a través de puntuaciones dadas por diferentes valores que se obtienen de los materiales” (Palacios, 2002)

A la ponderación se la puede considerar como la herramienta que ayuda a medir la calidad de servicio que se brinda a partir de un análisis de puntuación.

Simulación

Para este análisis se requiere tener diseñando la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet Aveo Family mediante el modelado CAD 3D, su estudio se realiza con el material original del cual está fabricado.

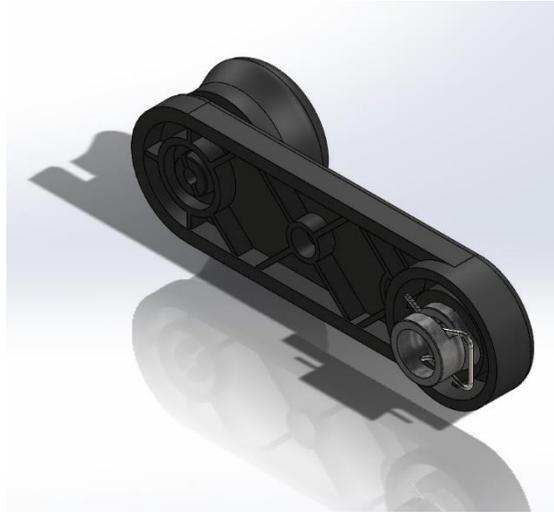


Figura 10 Manija del elevador de vidrio chevrolet aveo family

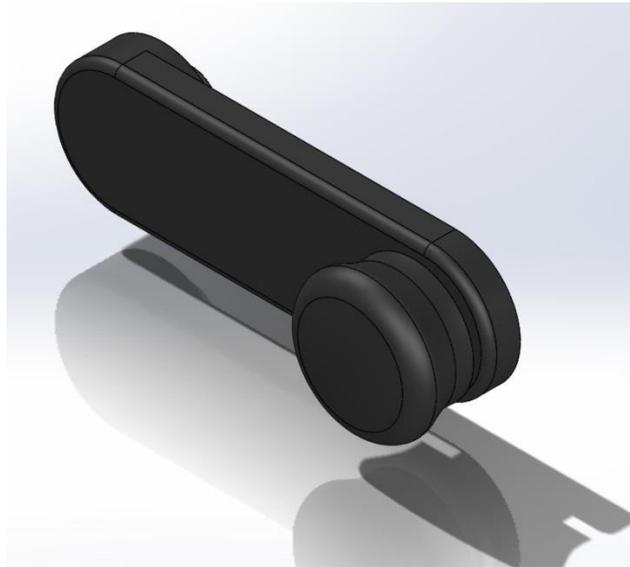


Figura 11 Manija del elevador de vidrio chevrolet aveo family

Para realizar la simulación se debe considerar las características del material, con las propiedades que puede disponer el software, materiales que son considerados genéricos.

Para (Seguridad, 2007) en un diseño se debe considerar el factor de seguridad y el coeficiente 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, así también lo considera.(Pesantez, 2019)

Para maximizar la eficiencia, los diseñadores deben ser capaces de diseñar en 3D con la menor cantidad de pasos posible, sin comprometer la calidad del producto.(S T E P H E N W O L F E)

Experimentación

Para realizar la experimentación se deben considerar algunas propiedades como son el índice de fluidez, densidad, resistencia a la flexión, módulo de flexión, módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, temperatura de reblandecimiento (Vicat)

Con todos estos resultados se podrán validar cual es el material que se puede proponer como alterno del material original, que servir para la construcción de la manija del elevador de vidrio del vehículo Chevrolet Aveo Family.

Tabla 11 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 la flexión	ISO 178	Mpa
Módulo de elasticidad	ISO 527-2/1A	Gpa
Resistencia a tracción	ISO 527-2/1A	Mpa
Temperatura de	ISO 306	°C

reblandecimiento (Vicat)

Fuente:(Mariano, 2011)

Para realizar el presente análisis se procederá a realizar en tres etapas:

- 1.- En la primera etapa se procederá a seleccionar el material a través del método Multicriterio (MCDM) utilizando una acertada elección del material.
- 2.- En la segunda etapa se evaluará el material que presenta mejores características y propiedades a través del método Multicriterio (MCDM) con una simulación computarizada a través del software teniendo escenarios similares.
- 3.- En la tercera etapa evaluaremos los resultados con el material elegido a través del método Multicriterio (MCDM), obteniendo resultados acertados que sean similares a los del material original.

Dentro del objetivo principal de este análisis se propone optimizar el proceso de fabricación por impresión 3D de la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet Aveo Family para la mejora de propiedades mecánicas y térmicas, con la correcta selección del material alternativo empleando métodos de obtención de manera cuantitativa y cualitativa, en la cual se deberá tener en cuenta consideraciones como las siguientes:

- 1.- Establecer características del material original de la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet Aveo.
- 2.- Determinar 3 materiales que se asemejen al original
- 3.- Elección del material ideal a través del método Multicriterio (MCDM)

4.- Aplicar la simulación en el software

5.- Analizar los resultados para su validación del material ganador

Luego de realizar todos estos procedimientos se determinará los requisitos para la impresión 3d de la manija del elevador de vidrio.

El material original de la manija del elevador de vidrio del Vehículo Chevrolet Aveo presenta una mezcla de policarbonato y plástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno conocido como PC-ABS.

PC- ABS Características de Policarbonato / Acrilonitrilo Butadieno Estireno

“Muchos autores coinciden en definir a las mezclas PC/ABS como un sistema parcialmente miscible debido a los desplazamientos observados en los valores de Temperatura de transición vítrea (T_g) de cada una de las fases con respecto a los materiales de partida.”(Santana Pérez & Martínez Benasat, 2011)

Para (Tecnología de los Plásticos, 2011) el amplio rango de propiedades que exhibe el ABS es debido a las propiedades que presentan cada uno de sus componentes.

El acrilonitrilo proporciona:

- Resistencia térmica
- Resistencia química
- Resistencia a la fatiga
- Dureza y rigidez

El butadieno proporciona:

- Ductilidad a baja temperatura

- Resistencia al impacto
- Resistencia a la fusión

El estireno proporciona:

- Facilidad de procesado (fluidez)
- Brillo
- Dureza y rigidez

En la actualidad en el mercado existe una extensa gama de materiales que presentan características semejantes y mejoradas que son utilizadas en las autopartes en la industria automotriz, las cuales van variando dependiendo de sus propiedades físicas, mecánicas, químicas, costos, reciclables entre otros.

“ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno): Tiene buenas propiedades en cuanto a rigidez, tenacidad, estabilidad dimensional, resistencia a los productos químicos y buena calidad de las superficies. Se emplea en la fabricación de calandras y rejillas, interior del motor, estructuras de salpicaderos, tapacubos, spoilers, cantoneras en estructuras entre otros componentes.”(Lucas & Rivero, 2018)

La elevada aplicación de plásticos ha ido evolucionando la industria automotriz, debido a que se logra reducir el peso en sus autopartes teniendo una mayores características y propiedades a la hora de ser combinados.

Densidad

Para la (OILM, 2011)“La densidad se define como la relación de la masa de un producto (por ejemplo, como si fuera pesado en el vacío) con su volumen.”

La densidad está relacionada entre masa y volumen de una sustancia, la densidad es una de las propiedades más utilizadas dentro de las propiedades físicas de los polímeros.

Índice de fluidez

“La densidad se define como la relación de la masa de un producto (por ejemplo, como si fuera pesado en el vacío) con su volumen.”(Margarita et al., 2016)

El índice de fluidez pertenece a una propiedad que nos permite determinar la viscosidad del material, donde se requiere tener un amplio conocimiento y control para poder manejar la fluidez de los plásticos fundidos.

Esfuerzo de tracción

“La tracción es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo. Se considera que las tensiones que tienen cualquier sección perpendicular a dichas fuerzas, son normales a esa sección, son de sentidos opuestos a las fuerzas que intentan alargar el cuerpo. La tracción produce un alargamiento sobre el eje X, produce a su vez una disminución sobre los ejes Y y Z. Esto se conoce como módulo de Poisson.”(Federación de Enseñanza de Andalucía, 2011)

Algunos autores consideran al esfuerzo como la deformación del material luego de ser sometido a un estiramiento, indicando el comportamiento que presenta cuando está expuesto a fuerzas, en algunos casos los materiales pueden tener un mayor módulo de elasticidad, estos pueden ser inversamente proporcional presentando resistencia a la rotura.

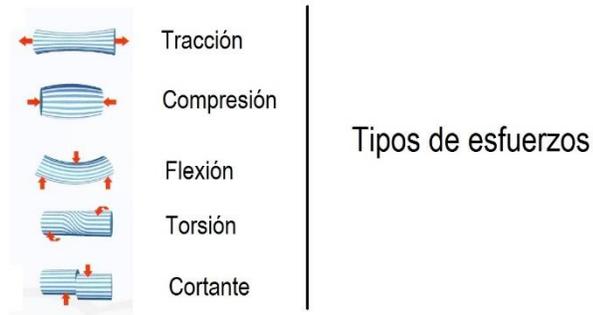


Figura 12 Tipos de esfuerzos

Fuente:(Federación de Enseñanza de Andalucía, 2011)

(Elementos) considera que un elemento está sometido a tracción cuando actúan fuerzas que tiene que estirar un elemento donde los tensores son elementos que aguantan este tipo de esfuerzos.

Esfuerzo de flexión

“Las propiedades de flexión de un material son propiedades que definen la flexibilidad de un material o la resistencia que opone un material a ser doblado por una fuerza. La prueba se realiza suspendiendo una muestra o probeta con unas dimensiones definidas, entre soportes y aplicando una carga hacia abajo en el punto medio entre ellos.”(*Propiedades de Flexión*)

La flexión esta considerada como la oposición que presenta un material antes de ser deformado (estirado), para nuestro caso de estudio la manija del elevador de vidrio que es agarrada por la parte del mango también podría presentar una flexión al momento de abrir el vidrio del vehículo, por lo cual sera motivo de analisis.

Temperatura de Reblandecimiento(VICAT)

“Una determinación del punto de reblandecimiento para termoplásticos que no tienen definido el punto de fusión. El punto de reblandecimiento se toma como la temperatura a la cual

una probeta es penetrada hasta una profundidad de 1mm por una aguja de punta plana, circular o cuadrada de 1 mm², bajo una carga de 1000 gramos.”(Plasticos)

“La temperatura de reblandecimiento VICAT se define como la temperatura a la cual una aguja de punta plana penetrará 1 mm en el interior de una probeta plana de material plástico rígido a temperatura ambiente bajo unas ciertas condiciones de carga (10 ó 50 N) y velocidad de calentamiento (50 ó 120 °C/hora). Las condiciones para el análisis están descritas en las normas ISO 306 y ASTM D1525.”(LATEP, 2020)

La temperatura de VICAT se la puede considerar como un ensayo termodinámico que permite analizar hasta que punto de temperatura máxima que un material puede ser utilizado, en nuestro estudio debemos tener en cuenta que la temperatura interna a la que se encuentra el vehículo puede ser considerable en un determinado periodo de tiempo, por ello debemos considerar un margen de resistencia térmica que puede resistir un material al interior de un auto.

Costos

Los costos de materiales para impresión 3D son considerados a nivel nacional por los distribuidores de Dicter, Quimasa; Asoquim, costos de importación que son revisados en (SENAE-SENAE-2018-0082-RE), materiales que tiene su valor en kilogramos.

Selección de Materiales

A continuación procederemos a revisar las características y propiedades de los tres materiales que serán analizados en nuestro estudio para realizar la impresión de la manija del elevador de vidrio del Vehículo Chevrolet Aveo, dando una alternativa que cumpla con la calidad y las propiedades requeridas para reemplazar al material original.

Análisis de elementos finitos

“El análisis de elementos finitos es usado para ejecutar, empleando computadoras, análisis del comportamiento estático, dinámico o térmico de sistemas físicos, estructuras y componentes, y es utilizado cuando el cálculo manual no ofrece suficiente precisión o el sistema a ser analizado es demasiado complejo”(Ramos, n.d.)

Por esta razón se utiliza el análisis de elementos finitos mismo que brinda un soporte matemático para hacer un análisis computacional apegado a la realidad, para la resolución de los diferentes sistemas ya sean estáticos o dinámicos “generalmente tienen incorporado cientos de bibliotecas con diferentes tipos de elementos finitos, sin embargo el 90% de los problemas de la ingeniería pueden ser resueltos con 4 o 5 tipos básicos de elementos”(Ramos, n.d.)

Existen varios tipos de análisis que se realizan a través de los elementos finitos entre ellos tenemos los siguientes que detallo a continuación los más importantes:

- “Elementos tipo sólido: Son usados para modelar estructuras y componentes en los que el espesor es sustancial cuando se compara con las otras dimensiones, los elementos tienen 8 nodos con tres grados de libertad en cada uno”(Ramos, n.d.)

A partir de estos elementos se derivan los elementos tetraédricos lineales y los tetraédricos parabólicos, los “tetraédricos lineales considerados de primer orden y se componen de 4 nodos en esquinas conectados por 6 ejes rectos.”(Ramos, n.d.)

- “Elementos solidos tetraédricos parabólicos considerados de segundo orden o de orden superior, estos elementos se componen por 4 nodos en las esquinas, 6 nodos a mitas de cara y 6 ejes parabólicos”(Ramos, n.d.)
- “Elementos tipo Shell triangular lineal, está definido por tres nodos en las esquinas conectadas por tres ejes rectos”(Ramos, n.d.)
- “Elemento Shell triangular parabólico, formado por tres nodos en las esquinas, tres nodos a mitas de cara y tres ejes parabólicos y para cálculos se consideran 6 grados de libertad (3 traslaciones y 3 rotaciones) y en problemas térmicos 1 (la temperatura).”(Ramos, n.d.)

A partir de aquí tomaremos encuesta los mallados mas importantes que citarems acontinuación:

Mallada Estructurada

“Una malla estructurada se caracteriza por una conectividad regular que puede expresarse como una matriz de dos o tres dimensiones, esto restringe las opciones de elementos a cuadriláteros en 2D o hexaedros en 3D”(Gómez González, n.d.)

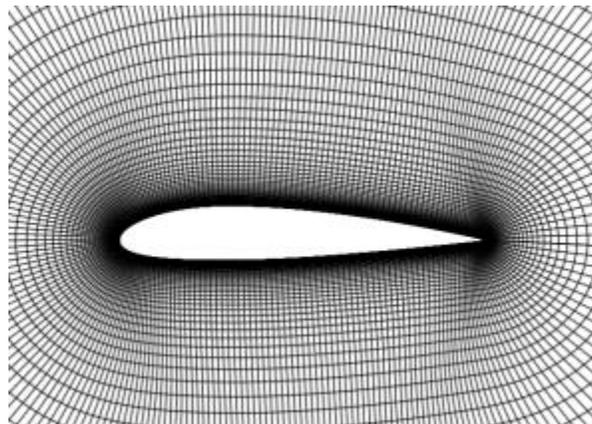


Figura 13 Malla estructurada

Fuente:(Gómez González, n.d.)

Mallado no Estructurado

“Una malla no estructurada se caracteriza por una conectividad irregular que no se expresa fácilmente como una matriz de dos o tres dimensiones en la memoria del ordenador. Esto permite cualquier elemento posible que un solver podría utilizar. En comparación con las mallas estructuradas, los requisitos de almacenamiento para una malla no estructurada pueden ser sustancialmente mayores puesto que la conectividad vecina debe ser almacenada explícitamente”(Gómez González, n.d.)

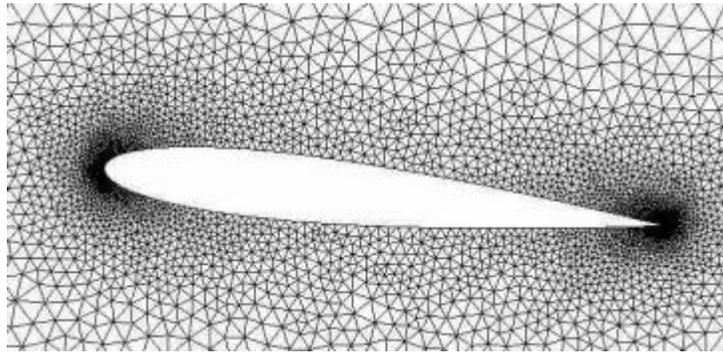


Figura 14 Malla no estructurada

Fuente: (Gómez González, n.d.)

Malla Híbrida

“Una malla híbrida es una malla que contiene porciones estructuradas y porciones no estructuradas” (Gómez González, n.d.)

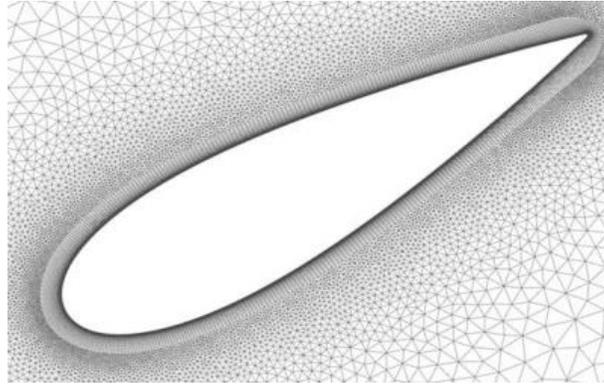


Figura 15 Malla híbrida

Fuente:(Gómez González, n.d.)

Método de Entropía

“Para (Pesantez, 2019) y para (Estrada García & Meza Puesto, 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.”

Por lo que la teoría de la información y la mecánica estadística están relacionadas de forma directa en lo que tiene que ver a la incertidumbre que genera el indicador o ensayo, permitiendo entender la cantidad los datos del indicador.

Según (Estrada García & Meza Puesto, 2002) brinda un aporte en el esclarecimiento de entropía tomando en cuenta variables importantes como:

Un cambio mínimo de las probabilidades de información, cambia un poco en la entropía media y todos los elementos que conforman el indicador presentan una semejanza en las probabilidades el instante en que evaluamos, dándonos que la entropía se puede interpretar como máxima.

Cuando ejecutamos el método de entropía se debe tener en cuenta los siguientes procedimientos:

1. Se debe construir la matriz de decisiones: nombrada matriz (X) que se produce por la agrupación de dos variables, siendo estos los materiales planteados (M) en las siguientes columnas (M1,M2...), teniendo como criterios (C) en las filas (C1,C2...) siendo estos los valores los datos de propiedades de cada material insinuado

$$X = \begin{bmatrix} C1M1 & \dots & C1n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Cm1 & \dots & Cnm \end{bmatrix}$$

Los valores CM vienen a ser analizados como X_{ij}

2.-Luego se tiene la matriz de normalización la cual está considerada como decisión, este paso sirve para obtener los valores de criterio cola la ecuación (1):

Ecuación 1

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

Donde

P_{ij} = Valores resultantes

X_{ij} = Valores de la matriz de decisión

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

$$P = \begin{bmatrix} P11 & \dots & P1n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Pm1 & \dots & Pmn \end{bmatrix}$$

3.- Valor de la entropía: aquí se calcula el valor de la Entropía con la siguiente ecuación (2):

Ecuación 2

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (2)$$

Ecuación 3

$$k = \frac{1}{\ln m} = \frac{1}{\ln 3} = 0,91 \quad (3)$$

Donde:

$k = \frac{1}{\ln m}$ = Constante que corresponde un valor establecido $0 \leq e_j \leq 1$

m = Número de materiales

e_j = Valor de la entropía

P_{ij} = Valores de la matriz normalizada

\ln = Logaritmo natural

4. Nivel de Divergencia: Aquí se calcula la divergencia de los valores, es decir cada criterio contiene información relativa aplicando la ecuación (4)

Ecuación 4

$$d_j = 1 - e_j \quad (4)$$

Donde:

d_j = Grado de divergencia

e_j = Valor de entropía

5. Obtención de pesos: aquí se procede a calcular los valores finales o atributos que han adquirido cada uno de los criterios con la ecuación (5)

Ecuación 5

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (5)$$

Donde:

W_j = Pesos

$\sum d_j$ = Sumatoria de los grados de divergencia

Método de Desviación Estándar

“El desvío estándar es simplemente la raíz cuadrada positiva de la varianza. De este modo si la varianza es 8.1, la desviación estándar es 9”(Osvaldo & Castillo, 2016)

El método de desviación estándar permite identificar variaciones que están compuestas dentro de un mismo universo, teniendo una evaluación que muestra el intervalo promedio de dispersión respecto al punto central o medio, la desviación nos indica el valor más cercano a la posición que tenemos como referencia.

La 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. Se debe construir la matriz de decisión aplicando el método de entropía.
2. Se procede a realizar el cálculo de la derivación estándar: se calculará los valores dispersos en función de los valores dispersos en función de los valores promedio, con la ecuación (6)

Ecuación 6

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m}} \quad (6)$$

Donde:

X_{ij} = Son los valores de la matriz de decisión ,

m = son números de materiales

σ_j = Son los valores de la desviación estandar

\bar{X}_j = Es el valor de la sumatoria de los criterios dividido para m

3. Se procede a tener la obtención del peso para criterios, siendo sus propiedades obtenidas mediante la ecuación (7)

Ecuación 7

$$W_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad (7)$$

Donde:

W_j = Peso de cada criterio

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

Método de Variación Estándar

Este método es utilizado para conocer los objetos en análisis dentro de un intervalo o variables de estudio, teniendo en cuenta que la variación está ligada con el valor de la media aritmética, constituyendo una matriz de decisiones que concuerda de forma numérica e identifica el resultado más próximo al valor ideal.

Estos métodos estadísticos se planifican desde la construcción de la matriz de decisión, calculando los valores para la obtención de peso.

Para realizar el método de la variación estadística debemos aplicar la matriz del método de la entropía ecuación (8)

Ecuación 8

$$P_j = \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^m X_{ij}} \quad (8)$$

Donde:

P_{ij} = Son valores de la matriz normalizada

m = Corresponde al número de evaluaciones de los criterios

X_{ij} = Son valores de la matriz de decisión.

Para normalizar la matriz, a los valores obtenidos se aplica la ecuación (9) y (10), usando los valores máximos y mínimos.

Ecuación 9

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{ij \max}} \quad (9)$$

Ecuación 10

$$P_{ij} = \frac{X_{ij \min}}{X_{ij}} \quad (10)$$

Para el cálculo de la variación estadística que sería un valor promedio de una lista de iteraciones de cada criterio con la ecuación (11)

Ecuación 11

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^m (P_{ij} - \bar{P}_j)^2}{m} \quad (11)$$

Donde:

P_{ij} = Son los Valores de la matriz de decisiones 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, desarrollo de la ecuación (12)

Ecuación 12

$$W_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^m v_j} \quad (12)$$

Donde:

W_j = Es el peso de cada criterio.

Método Multicriterio

Para esta investigación utilizaremos el método de multicriterios (MCDM) acompañado del método de Copras obtendremos resultados cualitativos que servirán para seleccionar el material más apropiados de acuerdo a sus características.

“La estructura de decisión goza de consistencia desde un punto de vista lógico, no obstante a la hora de aplicar este tipo de configuración a la práctica presenta considerables desviaciones respecto al proceso real de toma de decisiones.”(Cabello, 2017)

“El análisis multicriterio se puede visualizar como una herramienta analítica de una gran potencialidad en los procesos de ingeniería de sistemas. Esta imbricación de los enfoques multicriterio y sistémico puede plantearse tanto a un nivel conceptual como a un nivel operativo o de actuaciones concretas.”(Romero, 1996)

“Los MCDM son un enfoque de apoyo en la evaluación y decisión operativa para hacer frente a problemas complejos que ofrecen una alta incertidumbre, objetivos contradictorios, diferentes formas de datos e información, intereses múltiples y perspectivas, evolución de sistemas complejos.”(Mayor & Botero, 2016)

El uso de este método Multicriterio ayuda a identificar los materiales que presentan mejores propiedades y son los más recomendados para cumplir las funciones requeridas en nuestro estudio, teniendo en cuenta que existe una gran gama de materiales que pueden ser utilizados en muchas áreas de la industria automotriz.

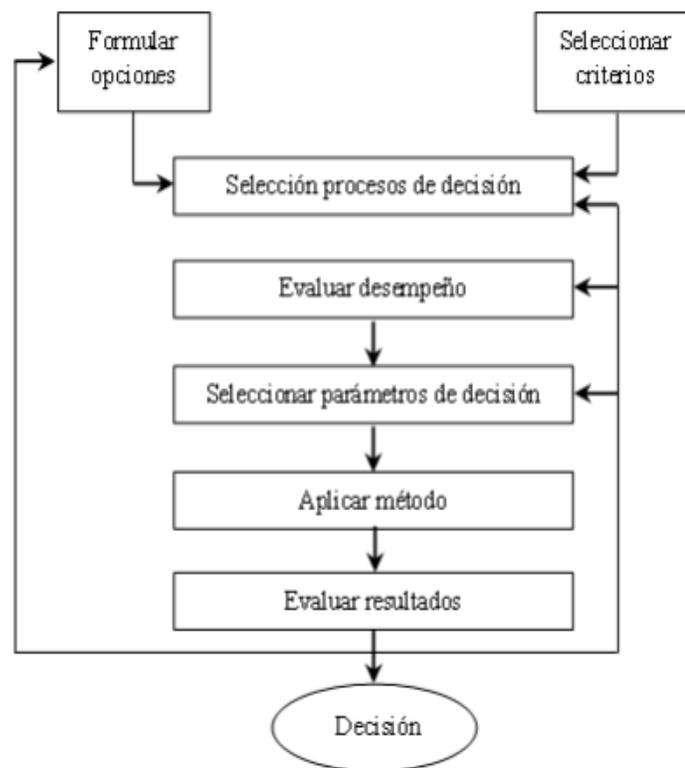


Figura 16 Modelo para la toma de decisiones
Fuente:(Grajales-Quintero, 2015)

Método Copras

Según (Pesantez, 2019) y (Chérrez-Troya et al., 2018) mencionan que este método nos ayuda a seleccionar los mejores valores que orienten a los resultados ideales, aplicando el algoritmo del método se obtiene con los siguientes pasos:

1. Desarrollo de la matriz de decisión: Se usará la misma matriz normalizada del método Copras
2. Definir matriz de decisión normalizada: ejecutamos la ecuación (13):

Ecuación 13

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (13)$$

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.

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

3. Matriz estandarizada de pesos: Se ejecutan la ecuación (14):

Ecuación 14

$$V_{ij} = (w_i)(r_{ij}) \quad (14)$$

Donde:

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

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

4. Obtención de pesos normalizados: se dará peso a cada criterio según propiedad comparada con la propiedad que se quiere alcanzar, con las ecuaciones (22) y (23):

Ecuación 15

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^m V_{+ij} \quad (15)$$

Ecuación 16

$$S_{-i} = \sum_{j=1}^m V_{-ij} \quad (16)$$

Donde:

- S_{+i} → Peso normalizado positivo.
- S_{-i} → Peso normalizado negativo.
- $\sum_{j=1}^m V_{+ij}$ → Sumatoria de los pesos de cada criterio positivo.
- $\sum_{j=1}^m V_{-ij}$ → Sumatoria de los pesos de cada criterio negativo.

5. Calcular el índice de rendimiento de cada alternativa: Se busca un grado de satisfacción de cada alternativa con la ecuación (24):

Ecuación 17

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{j=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{-j}}} \quad (17)$$

Donde:

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

6. Cálculo de rendimiento por niveles: Se plantea comparar las cualidades de cada alternativa buscando la más eficiente por el porcentaje con la ecuación (25):

Ecuación 18

$$U_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100 \quad (18)$$

Donde:

U_i → Rendimiento.
 Q_i → Prioridad.
 Q_{max} → Prioridad máxima.

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

Estos métodos se han considerado para ser tomados en cuenta para la correcta selección del material en función a las características que presenta el material original para cumplir la función para la que fue diseñado.

Metodología

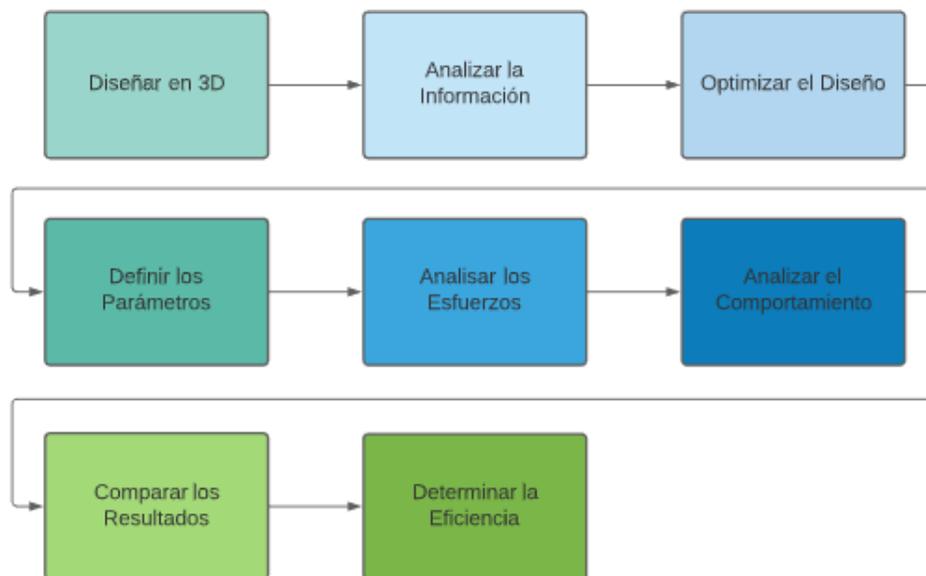


Figura 17 Estructura metodológica

La metodología se aplicara cumpliendo con los objetivos trazados para llegar a los resultados deseados que se pretenden tener en este análisis.

En la metodología visualizaremos la tabla de propiedades de los materiales más apropiados para la impresión de la manija, donde procederemos a dar cumplimiento a lo mencionado en el gráfico establecido de la Fig. 17

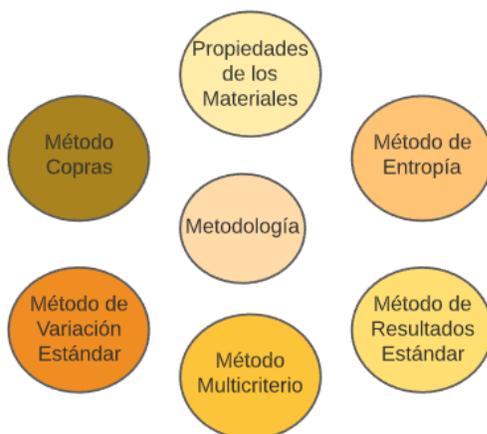


Figura 18 Seguimiento de metodologías

Propiedades de los materiales

Tabla 12 Propiedades del PC-ABS

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	\$/ Kg	10.00
Físicas	Densidad (g/cc)	1.15
	MFI (gr/10min)	10
Mecánicas	Resistencia a la tracción (MPa)	45
	Elongación a la rotura (%)	100
	Módulo elástico en tracción (GPa)	2.3
	Resistencia a la flexión (MPa)	80
	Resistencia al impacto (J/M)	587

Térmicas	Temperatura Vicat (°C)	129
----------	------------------------	-----

Fuente:(Siemens, 2020) (Índice de Fluidiez, 2017)(Pesantez, 2019)(Vlado Vukasovic Herrero, 2018)(Manufacture)

Tabla 13 Propiedades del PC

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	\$/ Kg	7.51
Físicas	Densidad (g/cc)	1.06
	MFI (gr/10min)	11
Mecánicas	Resistencia a la tracción (MPa)	20
	Elongación a la rotura (%)	110
	Módulo elástico en tracción (GPa)	2.1
	Resistencia a la flexión (MPa)	34
	Resistencia al impacto (J/M)	600
Térmicas	Temperatura Vicat (°C)	103

Fuente:(Siemens, 2020) (Pesantez, 2019)(Serini, 2000)(Polimeros)

Tabla 14 Propiedades del PLA

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	\$/ Kg	8.00
Físicas	Densidad (g/cc)	1.3
	MFI (gr/10min)	23
Mecánicas	Resistencia a la tracción (MPa)	20
	Elongación a la rotura (%)	6
	Módulo elástico en tracción (GPa)	3.5
	Resistencia a la flexión (MPa)	80
	Resistencia al impacto (J/M)	600
Térmicas	Temperatura Vicat (°C)	60

Fuente: (Prospector)(HXX) (Propiedades Del PLA)(Ponce & Guerrero, 2014)(Libre)(Pesantez,
2019)(Manufacture)(E. PVC)(Prospector)

Tabla 15 Propiedades del PVC

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	VALOR
Costo	\$/ Kg	6.90
Físicas	Densidad (g/cc)	1.315
	MFI (gr/10min)	20
Mecánicas	Resistencia a la tracción (MPa)	30
	Elongación a la rotura (%)	210
	Módulo elástico en tracción (GPa)	2.7
	Resistencia a la flexión (MPa)	84
	Resistencia al impacto (J/M)	800
Térmicas	Temperatura Vicat (°C)	92

Fuente: (Plasticbages) (PVC)(Industria Jq)(Resistencia del PVC)(G. PVC)(PLASTICS)(Pesantez,
2019)(Ecuador)(Manufacture)(E. PVC)

Tabla 16 Propiedades de los materiales comparación de materiales

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	PC ABS	PC	PLA	PVC
Costo	\$/ Kg	10	7.51	8.00	6.90
Físicas	Densidad (g/cc)	1.15	1.06	1.3	1.315
	MFI (gr/10min)	10	11	23	20
Mecánicas	Resistencia a la tracción (MPa)	45	20	20	30
	Elongación a la rotura (%)	100	110	6	210
	Módulo elástico en tracción (GPa)	2.3	2.1	3.5	2.87
	Resistencia a la flexión (MPa)	80	34	80	84
	Resistencia al impacto (J/M)	587	600	600	800
Térmicas	Temperatura Vicat (°C)	129	103	60	92

Fuente: (Prospector)(HXX) (Propiedades Del PLA)(Ponce & Guerrero, 2014)(Vlado Vukasovic Herrero, 2018)(Pesantez, 2019)(Manufacture)(E. PVC)(Industria Jq)(G. PVC)(E. PVC)(Prospector)

El material PC-ABS solo se considera como referencia , no sera considerado para la selección del metodo multicriterio.

Con el listado de materiales y sus propiedades se procedera a realizar el analisis multicriterio para seleccionel el material que sera el alterno para imprimir en 3D la manija del elevador de vidrios del Vehículo Crevrolet Aveo.

Elaboración de método de ponderación y cálculo de pesos

Cálculo de Método de Entropía

Luego de obtener las características de los material, la informaión se utilizara para el desarrollo de los respectivos metodos de valoración , ponderación y organización el mismo que se utilizara en la matriz unificada.

Tabla 17 Matriz de Criterios

MATERIAL	\$/Kg	Densidad (Kg/m3)	MFI (gr/10min)	Res. a Trac. (MPa)	Elong. (%)	Mod. Elast. (GPa)	Res. Flex (MPa)	Res. Imp. (J/M)	Temp. Vicat (°C)
PC-ABS	10	1.15	10	45	100	2.3	80	587	129
PC(M1)	7.51	1.06	11	20	110	2.1	34	600	103
PLA(M2)	8.00	1.3	23	20	6	3.5	80	600	60
PVC(M3)	6.90	1.31	20	30	210	2.7	84	800	92

Estos valores se utilizaran para nuestro analisis en la seleccción de materiales que seran aplicados el metodo multicriterios, valoración y ponderación, donde se generaliza la matris de multicriterios de cada material que tendra la dominación de (M) donde cada material tendra su respectiva numeración en el orden de la tabla, para los criterios se procedera a valorar con la letra w según los criterios que entraran en el analisis a ser evaluados.

En este analisis se debe tener en cuenta las ecuaciones que se encuentran debidamente numeradas mismas que seran utilizadas para el desarrollo del método de entropía.

1.- Contrucción de la Matriz de Desición

Estos datos son seleccionados de las características de los materiales que seran utilizados y que se detallan acontinuación.

Datos de la tabla para la elaboración de la matriz X:

$$X = \begin{bmatrix} 7.51 & 1.06 & 11 & 20 & 110 & 2.10 & 34 & 600 & 103 \\ 8.00 & 1.30 & 23 & 20 & 6 & 3.50 & 80 & 600 & 60 \\ 6.90 & 1.31 & 20 & 30 & 210 & 2.70 & 84 & 800 & 92 \end{bmatrix}$$

2.-Normalización de la Matriz

Para obtener estos valores procedemos a aplicar la ecuación número (1)

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$$

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.29 & 0.20 & 0.29 & 0.34 & 0.25 & 0.17 & 0.30 & 0.43 \\ 0.36 & 0.35 & 0.43 & 0.29 & 0.02 & 0.42 & 0.40 & 0.30 & 0.24 \\ 0.31 & 0.36 & 0.37 & 0.43 & 0.64 & 0.33 & 0.42 & 0.40 & 0.36 \end{bmatrix}$$

3.- Cálculo de Entropía

Se aplica la ecuación (2) y luego la (3) con la constante k

Aquí obtenemos los valores de (e) de cada criterio.

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (2)$$

$$k = \frac{1}{\ln m} = \frac{1}{\ln 3} = 0,91 \quad (3)$$

$$P_{ij} \times \ln P_{ij} = \begin{bmatrix} -0.37 & -0.36 & -0.32 & -0.36 & -0.37 & -0.35 & -0.30 & -0.36 & -0.37 \\ -0.37 & -0.36 & -0.36 & -0.36 & -0.08 & -0.36 & -0.37 & -0.36 & -0.34 \\ -0.36 & -0.37 & -0.37 & -0.36 & -0.29 & -0.37 & -0.36 & -0.37 & -0.37 \end{bmatrix}$$

$$e_1 = \quad e_2 = 1 \quad e_3 = 0.956 \quad e_4 = 0.983$$

$$e_5= 0.673 \quad e_6= 0.983 \quad e_7= 0.937 \quad e_8= 0.983 \quad e_9= 0.983$$

4.- Determinación de grado de divergencia

Aquí aplicamos la ecuación (4) para obtener el valor d siguiente:

$$d_j = 1 - e_j$$

$$d_1=1-1=0 \qquad d_2=1-1=0 \qquad d_3=1-0.956=0.044$$

$$d_4=1-0.983=0.017 \qquad d_5=1-0.673=0.327 \qquad d_6=1-0.983=0.017$$

$$d_7=1-0.937=0.063 \qquad d_8=1-0.956=0.44 \qquad d_9=1-0.983=0.017$$

5.-Obtención de Pesos.

Se aplica la ecuación (5) donde w es el peso de los criterios de cada material d_j vienen hacer los grados de divergencia, dividido para su respectiva sumatoria.

$$\sum_{j=1}^m d_j = \text{Sumatoria de los grados divergencia}$$

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}$$

$$\sum_{j=1}^m d_j = 0 + 0 + 0.44 + 0.017 + 0.327 + 0.017 + 0.063 + 0.044 + 0.017 = 0.925$$

$$w_1=0 \quad w_2=0 \quad w_3=0.476 \quad w_4=0.018 \quad w_5=0.354$$

$$w_6=0.018 \quad w_7=0.068 \quad w_8=0.476 \quad w_9=0.018$$

Tabla 18 Determinación de pesos por criterios para la entropía.

w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9
0	0	0.476	0.018	0.354	0.018	0.068	0.476	0.018

Cálculo de Método de la Desviación Estándar

1.-Matriz de Decisión

Esta tabla es la misma del Método de Entropía

Valores de la matriz de decisión.

$$X = \begin{bmatrix} 7.51 & 1.06 & 11 & 20 & 110 & 2.10 & 34 & 600 & 103 \\ 8.00 & 1.30 & 23 & 20 & 6 & 3.50 & 80 & 600 & 60 \\ 6.90 & 1.31 & 20 & 30 & 210 & 2.70 & 84 & 800 & 92 \end{bmatrix}$$

2.-Cálculo de Desviación Estándar

Aquí trabajaremos aplicando la ecuación (6) para poder obtener los valores de la desviación estándar σ_j que luego será tomada como constante.

$$\bar{X}_1 = 7.47 \quad \bar{X}_2 = 1.22 \quad \bar{X}_3 = 18 \quad \bar{X}_4 = 23.33 \quad \bar{X}_5 = 108.67$$

$$\bar{X}_6 = 2.77 \quad \bar{X}_7 = 66 \quad \bar{X}_8 = 666.67 \quad \bar{X}_9 = 85$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i1} - x_1)^2 = 0.06$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i2} - x_2)^2 = 1.36$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i3} - x_3)^2 = 78$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i4} - x_4)^2 = 66.66$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i5} - x_5)^2 = 20810.66$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i6} - x_6)^2 = 0.978$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i7} - x_7)^2 = 1544$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i8} - x_8)^2 = 906754.67$$

$$\sum_{i=1}^m (x_{i9} - x_9)^2 = 998$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=j}^m (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{m}}$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{0.06}{3}} = 0.141$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{1.36}{3}} = 0.673$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{78}{3}} = 5.099$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{66.66}{3}} = 4.714$$

$$\sigma_5 = \sqrt{\frac{20810.66}{3}} = 83.288$$

$$\sigma_6 = \sqrt{\frac{0.987}{3}} = 0.574$$

$$\sigma_7 = \sqrt{\frac{1544}{3}} = 22.69$$

$$\sigma_8 = \sqrt{\frac{906754.67}{3}} = 549.774$$

$$\sigma_9 = \sqrt{\frac{998}{3}} = 18.24$$

Tabla 19 Valores de la Desviación Estándar

σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_7	σ_8	σ_9
0.141	0.673	5.099	4.714	83.288	0.574	22.69	549.774	18.24

$$\sum_{j=1}^m \sigma_j = \text{Sumatoria de Desviación Estándar}$$

$$\sum_{j=1}^m \sigma_j = 0.141 + 0.673 + 5.099 + 4.714 + 83.288 + 0.574 + 22.69 + 549.774 + 18.24 = 685.193$$

$$W_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j}$$

$$w_1 = \frac{0.141}{685.193} = 0.0002$$

$$w_2 = \frac{0.673}{685.193} = 0.0010$$

$$w_3 = \frac{5.099}{685.193} = 0.0074$$

$$w_4 = \frac{4.714}{685.193} = 0.0069$$

$$w_5 = \frac{83.288}{685.193} = 0.1216$$

$$w_6 = \frac{0.574}{685.193} = 0.0008$$

$$w_7 = \frac{22.69}{685.193} = 0.0331$$

$$w_8 = \frac{549.774}{685.193} = 0.8024$$

$$w_9 = \frac{18.24}{685.193} = 0.0266$$

Tabla 20 Pesos de la Desviación Estándar

w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9
0.0002	0.0010	0.0074	0.0069	0.1216	0.0008	0.0331	0.8024	0.0266

Método de Variación Estadística

1.- Matriz de decisión.

Para realizar esta matriz se utilizará la misma matriz de la entropía, donde X es la matriz.

$$X = \begin{bmatrix} 7.51 & 1.06 & 11 & 20 & 110 & 2.10 & 34 & 600 & 103 \\ 8.00 & 1.30 & 23 & 20 & 6 & 3.50 & 80 & 600 & 60 \\ 6.90 & 1.31 & 20 & 30 & 210 & 2.70 & 84 & 800 & 92 \end{bmatrix}$$

2.-Normalización de la Matriz de Decisión.

En este método aplicaremos la ecuación (8) para la matriz de decisión y la ecuación (9) y (10) para la matriz de normalizada en el mismo valor para encontrar los valores máximos y mínimos.

$$P_j = \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^m X_{ij}}$$

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{ij \max}}$$

$$P_{ij} = \frac{X_{ij \min}}{X_{ij}}$$

Tabla 21 Matriz de decisión normalizada por el método de variación estadística

Material	Criterio1	Valor1	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	Criterio 9	Valor 9
PC(M1)	P11	0.94	P12	1	P13	1	P14	1	P15	0.66	P16	1	P17	1	P18	1	P19	0.60
PLA(M2)	P21	0.86	P22	0.83	P23	0.47	P24	1	P25	1	P26	0.60	P27	0.43	P28	1	P29	1
PVC(M3)	P31	1	P32	0.81	P33	0.54	P34	0.67	P35	0.33	P36	0.76	P37	0.40	P38	0.75	P39	0.67

3.-Cálculo de la Variación Estadística

Aquí se aplica la ecuación (11) para determinar los valores de V_j , y poder continuar con el análisis de cálculo.

$$\bar{P}_1=0.933 \quad \bar{P}_2=0.880 \quad \bar{P}_3=0.670$$

$$\bar{P}_4=0.890 \quad \bar{P}_5=0.663 \quad \bar{P}_6=0.787$$

$$\bar{P}_7=0.610 \quad \bar{P}_8=0.917 \quad \bar{P}_9=0.757$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.875 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.0218 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.166$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.0726 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.225 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.081$$

$$\sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.229 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.0417 \quad \sum_{i=1}^m (p_{ij} - p_j)^2 = 0.091$$

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

$$V_1 = 0.292$$

$$V_2 = 0.0073$$

$$V_3 = 0.0553$$

$$V_4 = 0.0242$$

$$V_5 = 0.0750$$

$$V_6 = 0.0270$$

$$V_7 = 0.0763$$

$$V_8 = 0.0139$$

$$V_9 = 0.0304$$

$$\sum_{j=1}^m V_j = 0.6014$$

4.-Determinación de pesos para cada criterio

Se aplica la ecuación (12) para la obtención de los valores w , correspondientes a los pesos del método de Variación Estándar.

$$W_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^m v_j}$$

Donde:

w_j= pesos de cada criterio

w₁=0.4855 w₂=0.0121 w₃=0.0920

w₄=0.0402 w₅=0.1247 w₆=0.0449

w₇=0.1269 w₈=0.0231 w₉=0.0505

Tabla 22 Matriz Normalizada de Decisión por el Método de Valoración Estándar

w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9
0.4855	0.0121	0.0920	0.0402	0.1247	0.0449	0.1269	0.0231	0.0505

Comparación de resultados de Métodos de Ponderación

Luego que se realizan varios métodos de ponderación, se procede a realizar la tabulación con los resultados de manera comparativa para elegir el método con el cual se continuara el estudio.

Tabla 23 Comparación de resultados de los métodos de ponderación analizados.

Método	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9
Entropía	0	0	0.476	0.018	0.354	0.018	0.068	0.476	0.018
Desviación Estándar	0.0002	0.0010	0.0074	0.0069	0.1216	0.0008	0.0331	0.8024	0.0266
Variación Estadística	0.4855	0.0121	0.0920	0.0402	0.1247	0.0449	0.1269	0.0231	0.0505

El material más opcionado debe cumplir algunas funciones para lo cual se tomará en cuenta los pesos de los valores del método aplicado de Desviación Estándar, debido a que en la mayoría de criterios tiene una amplia diferencia respecto a los otros Métodos.

Los valores que se consideraran para elegir el material será la resistencia a la tracción (w4) y el módulo de elasticidad (w6).

Para realizar el análisis de la selección de material se utilizará el método multicriterio que se trabaja con la siguiente.

Tabla 24 Consideración de Pesos a usar en el MCDM (Desviación Estándar)

w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9
0.0002	0.0010	0.0074	0.0069	0.1216	0.0008	0.0331	0.8024	0.0266

Desarrollo de Métodos Multicriterios (MCDM)

Luego de la selección de pesos por el método de Desviación Estándar, se procede a ejecutar el método de Copras Planteado.

Desarrollo del Método Copras

Para realizar este método se realiza lo siguiente:

1.- Construir de la matriz de decisión.

Tabla 25 Matriz de decisión método Copras

Código	\$/Kg	Densidad (Kg/m3)	MFI (gr/10min)	Res. a Trac.	Elong. (%)	Mod. Elast.	Res. Flex	Res. Imp.	Temp. Vicat
--------	-------	---------------------	-------------------	-----------------	---------------	----------------	--------------	--------------	----------------

	(MPa)	(GPa)	(MPa)	(J/M)	(°C)				
PC(M1)	7.51	1.06	11	20	110	2.1	34	600	103
PLA(M2)	8.00	1.3	23	20	6	3.5	80	600	60
PVC(M3)	6.90	1.31	20	30	210	2.7	84	800	92

$$X = \begin{bmatrix} 7.51 & 1.06 & 11 & 20 & 110 & 2.10 & 34 & 600 & 103 \\ 8.00 & 1.30 & 23 & 20 & 6 & 3.50 & 80 & 600 & 60 \\ 6.90 & 1.31 & 20 & 30 & 210 & 2.70 & 84 & 800 & 92 \end{bmatrix}$$

2.- Normalización de la matriz de decisión.

Para analizar el método Copras aplicaremos la ecuación (13) para obtener los valores de R_{ij} , de esta forma tendremos la matriz normalizada con sus respectivos valores.

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} 0.335 & 0.288 & 0.203 & 0.285 & 0.337 & 0.253 & 0.171 & 0.300 & 0.403 \\ 0.356 & 0.354 & 0.425 & 0.285 & 0.018 & 0.421 & 0.404 & 0.300 & 0.235 \\ 0.307 & 0.356 & 0.370 & 0.428 & 0.644 & 0.325 & 0.424 & 0.400 & 0.360 \end{bmatrix}$$

Tabla Criterios de Matriz Normalizada (R_{ij}) Copras

Tabla 26 Criterios de la Matriz Normalizada

Código	\$/Kg	Densidad (Kg/m3)	MFI (gr/10min)	Res. a Trac. (MPa)	Elong. (%)	Mod. Elast. (GPa)	Res. Flex (MPa)	Res. Imp. (J/M)	Temp. Vicat (°C)
PC(M1)	0.335	0.288	0.203	0.285	0.337	0.253	0.171	0.300	0.403
PLA(M2)	0.356	0.356	0.425	0.285	0.018	0.421	0.404	0.300	0.235
PVC(M3)	0.307	0.356	0.370	0.428	0.644	0.325	0.424	0.400	0.360

3.-Desarrollo de la Matriz Estadística de Pesos

Para realizar la matriz se debe multiplicar los pesos por el valor ponderado normalizado, el cálculo se debe realizar con la ecuación (14) para obtener los valores de la matriz.

$$V_{ij} = (w_i)(r_{ij})$$

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} 0.00006 & 0.00003 & 0.00150 & 0.00196 & 0.04535 & 0.00020 & 0.00564 & 0.24072 & 0.01071 \\ 0.00006 & 0.00006 & 0.00314 & 0.00196 & 0.00218 & 0.00033 & 0.01333 & 0.24072 & 0.00625 \\ 0.00006 & 0.00004 & 0.00273 & 0.00295 & 0.07831 & 0.00026 & 0.01399 & 0.32096 & 0.00957 \end{bmatrix}$$

Tabla 27 Estandarizada de pesos Copras

Código	\$/Kg	Densidad (Kg/m3)	MFI (gr/10min)	Res. a Trac. (MPa)	Elong. (%)	Mod. Elast. (GPa)	Res. Flex (MPa)	Res. Imp. (J/M)	Temp. Vicat (°C)
PC(M1)	0.00006	0.00028	0.00159	0.00196	0.04535	0.00020	0.00564	0.24072	0.01071
PLA(M2)	0.00006	0.00035	0.00314	0.00196	0.00218	0.00033	0.01333	0.24072	0.00625
PVC(M3)	0.00006	0.00036	0.00273	0.00295	0.07831	0.00026	0.01399	0.32096	0.00957

4.- Cálculo de los valores de pesos normalizados para criterios donde se puede verificar si existen beneficios o no.

Se aplicará las ecuaciones (15) y (16)

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^m V_{+ij}$$

$$S_{-i} = \sum_{j=1}^m V_{-ij}$$

Tabla 28 Pesos normalizados positivos COPRAS

S_{+1}	S_{+2}	S_{+3}
0.0079	0.0156	0.0173

Tabla 29 Pesos normalizados negativos COPRAS

S_{-1}	S_{-2}	S_{-3}
0.2986	0.2526	0.4118

5.- Obtención de la prioridad relativa de las alternativas.

Aplicamos la ecuación (17) para determinar el valor de las prioridades en función a las propiedades de los materiales planteados.

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

$$Q_1 = 0.0079 + \frac{0.963}{0.2986(9.736)} = 0.339$$

$$Q_2 = 0.0156 + \frac{0.963}{0.2526(9.736)} = 0.407$$

$$Q_3 = 0.0173 + \frac{0.963}{0.4118(9.736)} = 0.257$$

Tabla 30 Prioridades relativas de cada material alternativo

Q_1	Q_2	Q_3
0.339	0.407	0.257

6.- Determinar el nivel de rendimiento

Aplicamos la ecuación (18) para determinar los valores en porcentaje donde obtendremos el análisis de las propiedades de los materiales seleccionados considerado material ganador teniendo en cuenta su porcentaje.

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

$$U_1 = \frac{0.339}{0.407} * 100 = 83.29\%$$

$$U_2 = \frac{0.407}{0.407} * 100 = 100\%$$

$$U_3 = \frac{0.257}{0.407} * 100 = 63.14\%$$

Tabla 31 Proximidad relativa a solución ideal y ranking

Código	Nivel de rendimiento	Ranking
M1	83.29%	1
M2	100%	2
M3	63.14%	3

Modelado CAD de la manija original

El modelado CAD de la manija del elevador de vidrio del vehículo Chevrolet Aveo Family se realizó en el software Autodesk Inventor Profesional 2019 para poder ejecutar el análisis de optimización.

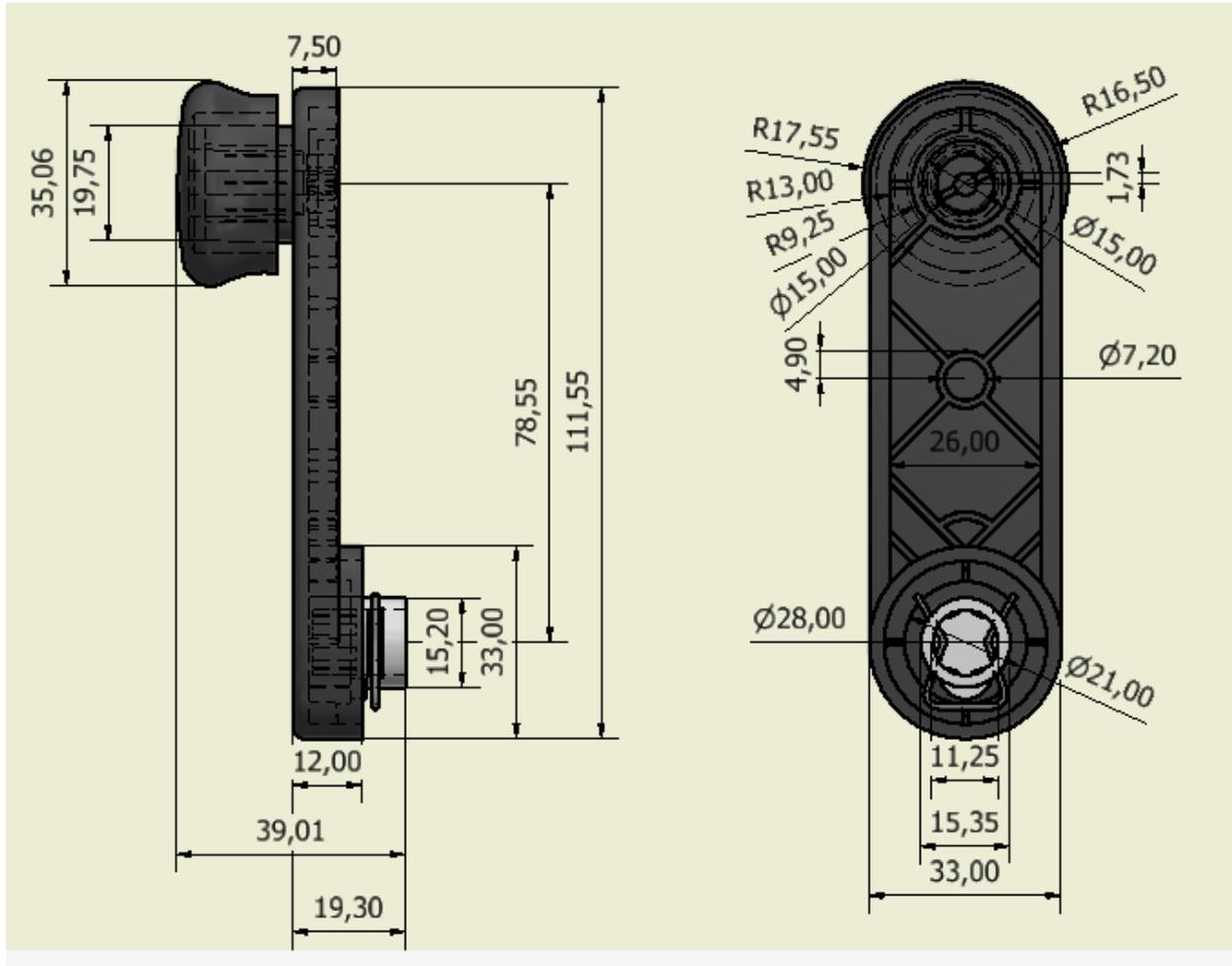


Figura 19 Diseño de la manija del elevador de vidrio para el vehículo chevrolet aveo family

Simulación de Impresión 3D con Material PLA

Para realizar la simulación de la manija del elevador de vidrio del vehículo chevrolet aveo family se realizó el modelado en 3D como se planteó en la propuesta de estudio, donde se mencionó que se ejecutaría una solución a través de la impresión 3D con el material seleccionado como ganador (PLA) que es elegido como material alternativo ya que cumple y presenta mejores propiedades mecánicas y térmicas entre las opciones planteadas.

La simulación 3D de la manija del elevador de vidrios del Vehículo Chevrolet Aveo Family se realiza en el Software Cura versión 4.6.1 (Cura)

Importación de elementos a imprimir

Con la importación de la geometría a imprimir es importante su adecuada ubicación en la cama virtual de la impresora, considerando que es un proceso por deposición de material fundido, en lo posible se debe lograr que la mayor cantidad de la superficie de las piezas deben estar asentadas para evitar el excesivo uso de soportes.

El proceso de impresión se llevó a cabo en dos partes, una que correspondiente a la impresión de la parte media optimizada de la manija Figura 20 y la otra que abarca la base y empuñadura Figura 21

Figura 20 Parte media optimizada de la manija *Figura 21 Base y empuñadura de la manija*

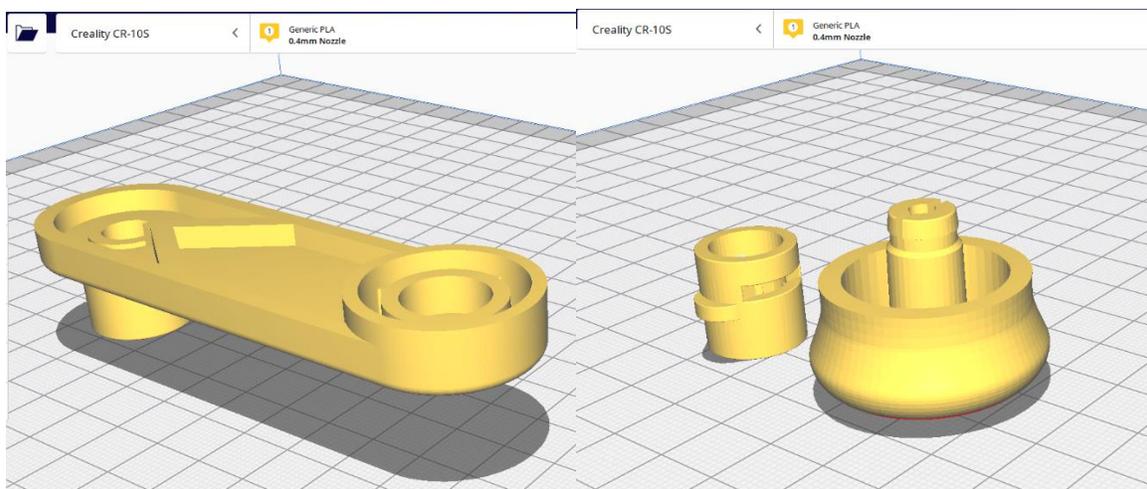


Figura 20 Parte media optimizada de la manija

Figura 21 Base y empuñadura de la manija

En las figuras presentadas anteriormente se muestra la interfaz del software donde es posible observar el área de impresión disponible después que se ha seleccionado el tipo de impresora, en este caso corresponde a una Creality CR-10S, la selección del PLA y la boquilla de

0.4mm que se emplearán en el presente trabajo, además las geometrías fueron rotadas y posicionadas convenientemente.

Generación de soportes

La Figura 22 representa una vista inferior de los elementos colocados sobre la cama de impresión, el software muestra en color rojo las superficies donde deben ir necesariamente soportes.

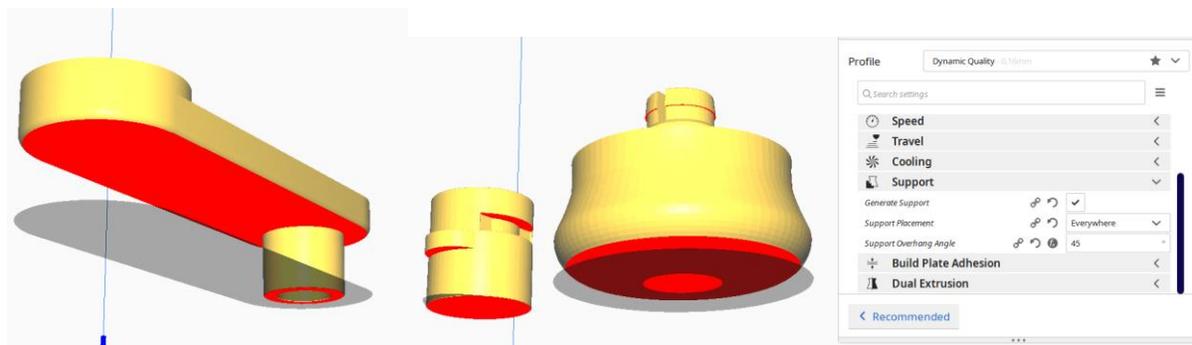


Figura 22 Vista inferior de los elementos a imprimir

La generación de soportes ha sido configurada de tal manera que se generen automáticamente en las superficies que tengan una inclinación menor a 45 grados.

Parámetros de impresión 3D de la manija

Se ha establecido una calidad dinámica de impresión con lo cual se generaron capas de 0.16mm de altura, además la capa inicial y final fueron definidas de 0.84mm de espesor.

De acuerdo al estudio realizado por (Álvarez , Lagos, & Aizpun, 2016) existe un mejor comportamiento mecánico a la tracción de los elementos impresos en 3D cuando tienen un 100% de relleno, por otro lado en el trabajo desarrollado por (Calle, 2016) hace referencia a piezas impresas en 3D sometidas a cargas de flexión, llega a la conclusión que se obtienen mejores resultados con un 100% de relleno y de tipo panal de abeja, tomando en cuenta estas

consideraciones, como se observa en la Figura 23, los parámetros del porcentaje y tipo de relleno fueron definidos para la impresión de la manija.

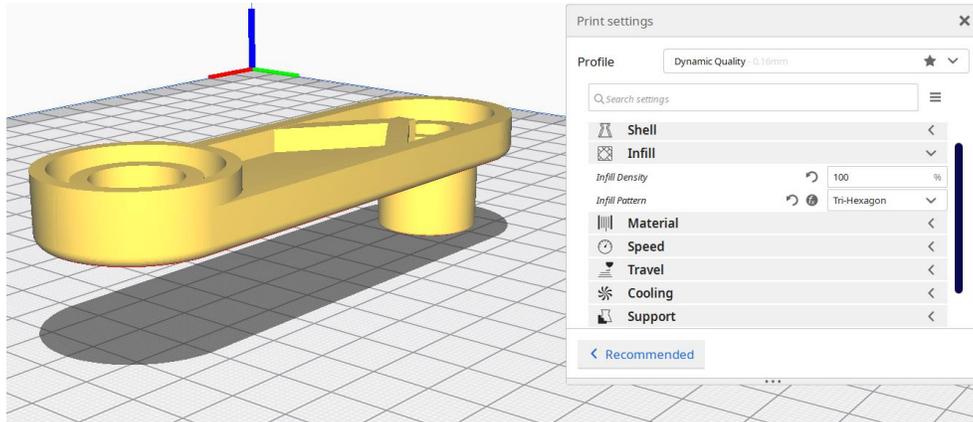


Figura 23 Porcentaje y tipo de relleno para impresión de la manija

Considerando lo recomendado por (Pacheco , 2019), la temperatura del extrusor para fundir el PLA fue establecida en 215°C, la temperatura de la cama en 50°C y la velocidad de impresión en 60mm/s.

La Figura 24 muestra el tipo de relleno empleado para la impresión de la manija optimizada.

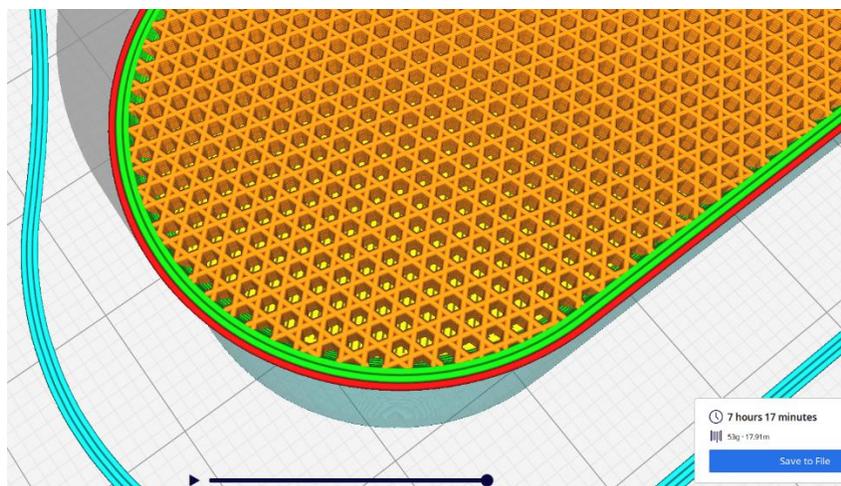


Figura 24 Relleno tipo tri – hexagonal para impresión de la manija

Una vez definidos principalmente estos parámetros se ejecutó la simulación de la impresión, en la Figura 25, Figura 26 es posible visualizar en color azul los soportes que se han

creado y el software a calculado que el proceso se tardará en total 6 horas 49 minutos y se usarán 17.84 metros de PLA.

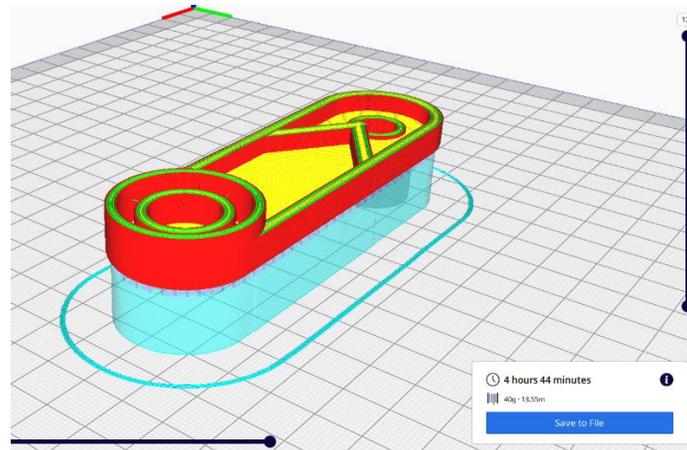


Figura 25 Simulación del proceso de impresión 3D de la parte media de la manija

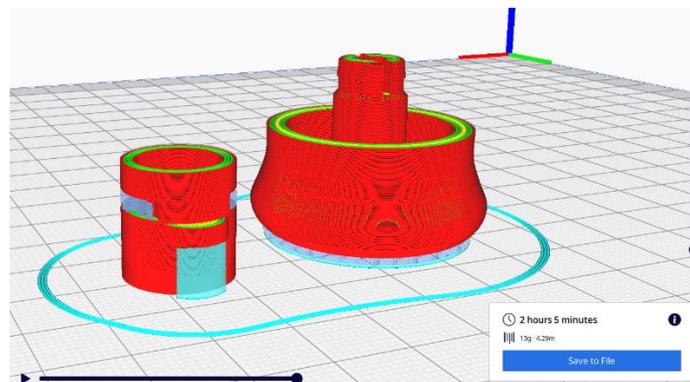


Figura 26 Simulación del proceso de impresión 3D de la base y empuñadura de la manija

Finalmente se generó el código G para iniciar el proceso de impresión 3D.

Pre procesamiento de impresión 3d de la manija de diseño original

Considerando el empleo de los mismos parámetros de impresión establecidos anteriormente, se planteó la posibilidad de llevar a cabo la impresión 3D de la manija de diseño original usando PLA, de esta manera se inició con la importación y posicionamiento de las geometrías tal como se observa en la Figura 27.

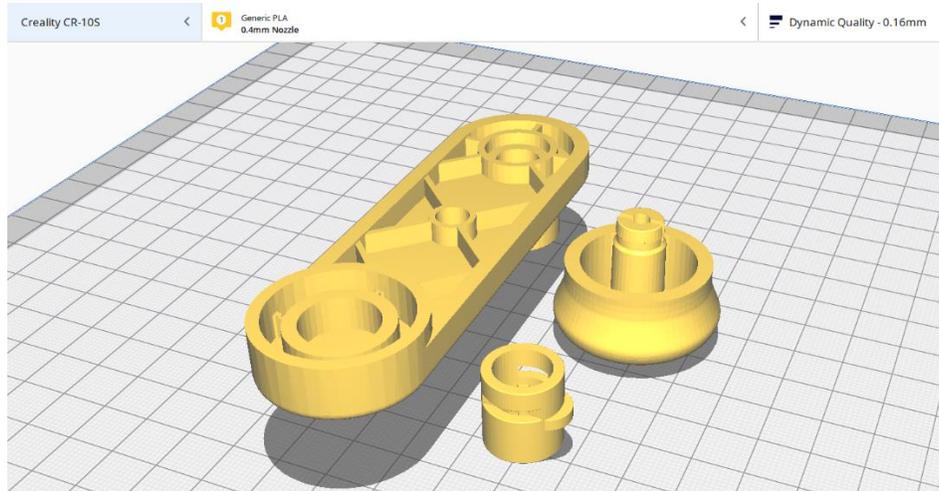


Figura 27 Importación de la manija original al software Cura

Con la finalidad de establecer una comparativa entre los procesos de impresión de la manija original y optimizada se emplearon los mismos parámetros de impresión como velocidad, porcentaje y tipo de relleno entre otras, en la Figura 28 se puede observar la configuración para este modelo.

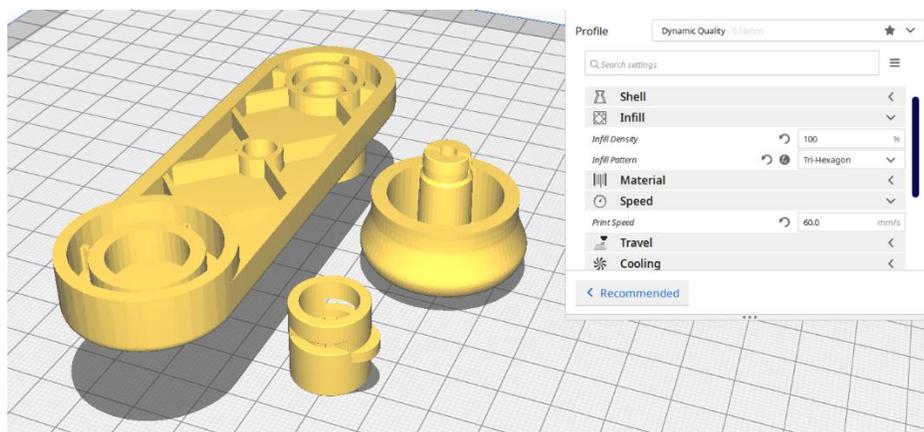


Figura 28 Parámetros de impresión de la manija original

Una vez que se establecieron todos los parámetros, se ejecutó la simulación del proceso de impresión 3D, como se observa en la Figura 29 se han generado los soportes para todas las superficies y el software calcula que el tiempo de impresión será de 7 horas con 26 minutos y se usarán 17.96m de material PLA.

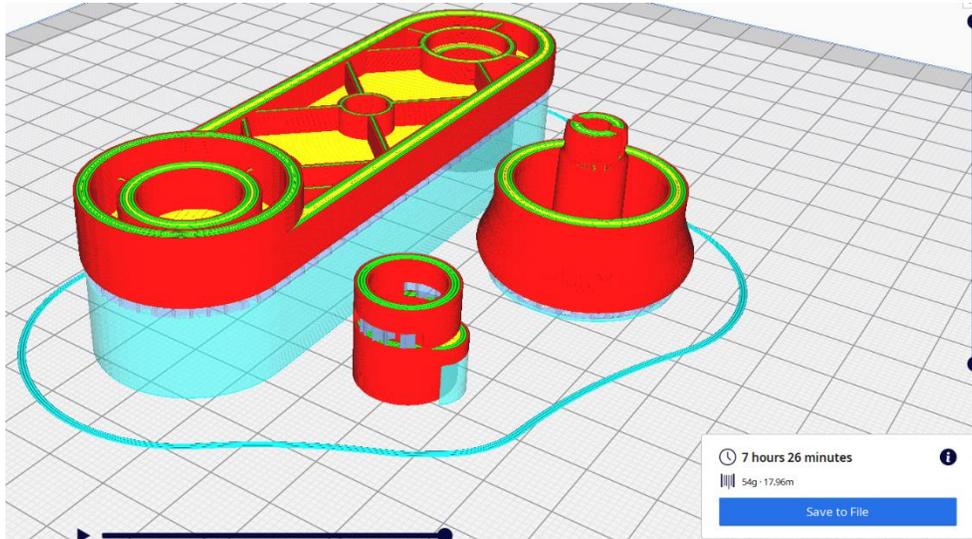


Figura 29 Simulación de la impresión de la manija original

Proceso de impresión 3d de la manija optimizada

Como se mencionó anteriormente el proceso de impresión se llevó a cabo en dos partes, en la Figura 30 se observa parte del procedimiento de impresión de la parte media optimizada de la manija donde se visualizan los soportes que se han generado.

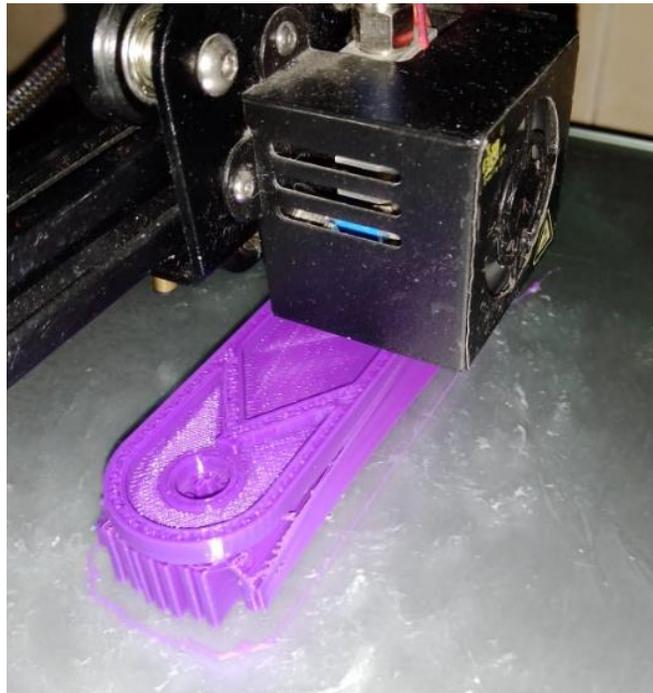


Figura 30 Impresión 3D de soportes para la manija optimizada

En la Figura 31 mostrada a continuación se observa la parte superior de la propuesta optimizada con el nuevo diseño una vez que ha terminado la impresión 3D del elemento.



Figura 31 Vista superior de la parte media optimizada impresa en 3D

La otra parte del proceso de impresión 3D se muestra en la Figura 32 donde se observa la empuñadura y la base de la manija, además los soportes que se generaron.



Figura 32 Empuñadura y base impresas en 3D

Finalmente, después de retirar los soportes en todos los elementos impresos y ensamblar los componentes se obtiene la propuesta optimizada de la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet Aveo family impresa en 3D presentada en la Figura 33.



Figura 33 Manija optimizada impresa en 3D

Impresión 3d de la manija de diseño original

La Figura 34 muestra los elementos que han sido impresos en 3D después de haber retirado los soportes que se generaron.



Figura 34 Manija de diseño original impresa en 3D usando PLA

Con el fin de facilitar el ensamblaje de los elementos, se lijó todas las superficies y se aplicó masilla para mejorar su presentación, además se pintó de color negro para obtener finalmente el modelo presentado en la Figura 35.



Figura 35 Manija de diseño original impresa en 3D

Análisis de resistencia estructural del diseño original de la manija.

Considerando que el proceso de optimización se llevará a cabo en el software Inspire, se decidió realizar todos los análisis tanto estructurales como térmicos únicamente en este software ya que cuenta con todos los módulos necesarios para llevarlo a cabo, además el pre-procesamiento de la simulación es sencilla y los resultados obtenidos son muy precisos pues el método de solución está basado en el análisis por elementos finitos.

Es importante en primer lugar conocer la resistencia estructural que presenta la manija en el estado actual, para este análisis se empleó el software Inspire partiendo con la importación de la geometría, tal como se muestra en la Figura 36.

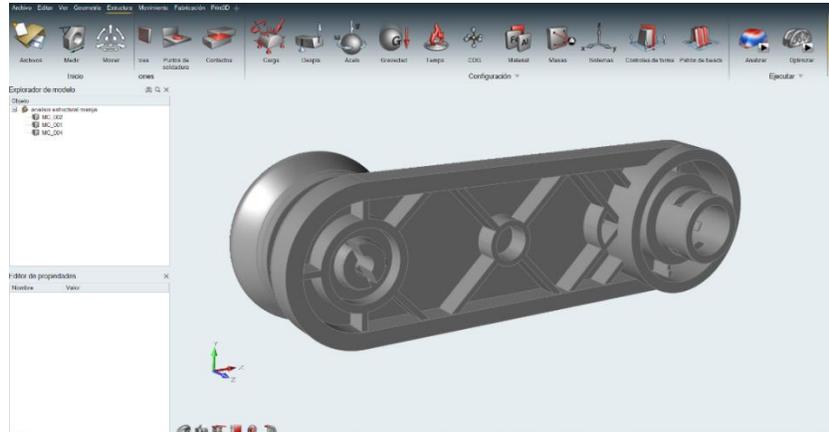


Figura 36 Geometría importada al software Inspire

Asignación de materiales

Considerando que toda la geometría está constituida como un solo elemento, se procedió a seleccionar y asignar el plástico ABS como material de fabricación, este proceso se puede observar en la Figura 37

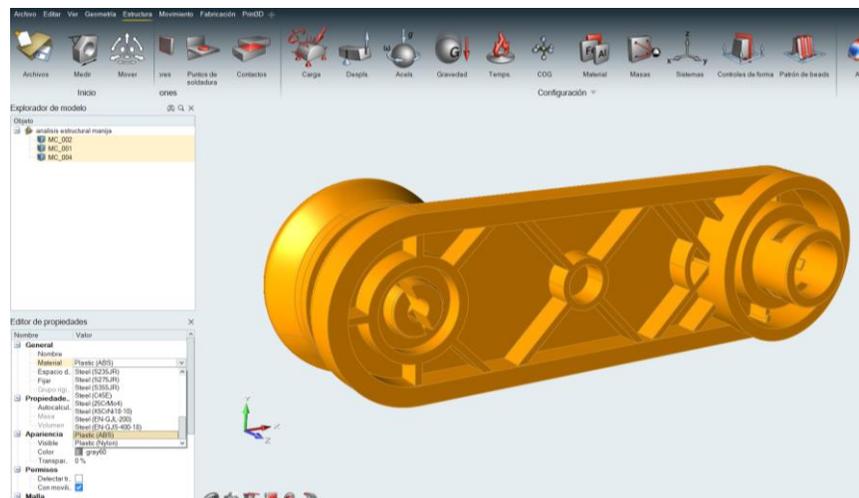


Figura 37 Asignación de material a la manija original

Asignación de cargas y restricciones de movimiento

En la Figura 38 se puede observar la selección de las superficies sobre las cuales se ha restringido el movimiento de todo el elemento tanto en rotación como en traslación, es decir

considerando un análisis completamente estático del elemento en la posición más extrema de uso.

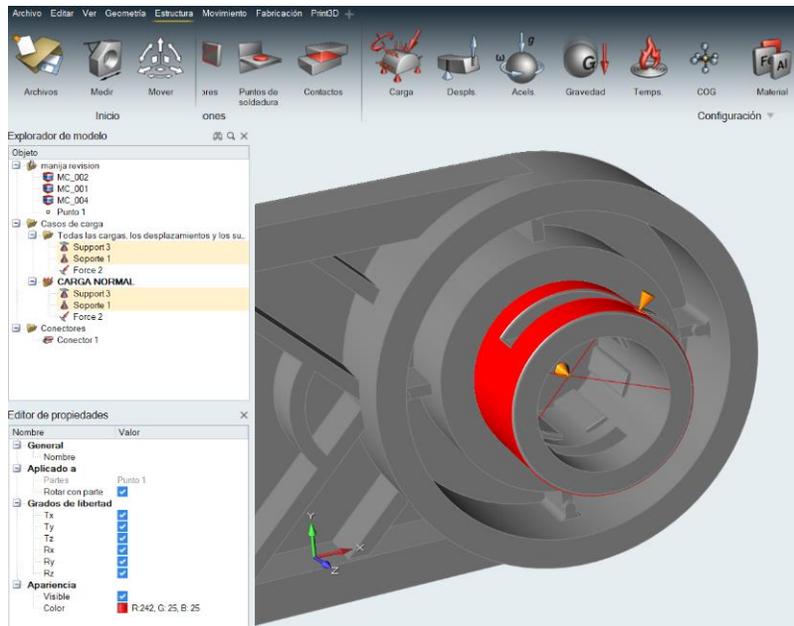


Figura 38 Restricciones de movimiento en la manija

Una vez asignadas las restricciones se continuó con la aplicación de las cargas a las que está expuesta la manija, el primer análisis en llevarse a cabo fue considerando la acción de una fuerza extrema de 70kg tomando en cuenta el peso promedio de una persona de 170 cm de estatura de edad adulta (FertiLab, 2019), mientras que para el otro análisis se consideró la capacidad de empuje y halar de una persona promedio, dichos valores según (Barbosa & Delgado, 2004) son 11.77 kgf y 12.67kgf respectivamente, la Figura 39 muestra el vector fuerza que ha sido aplicado sobre la superficie que sirve de agarre para el usuario, esta fuerza actúa en sentido del eje Y negativa.

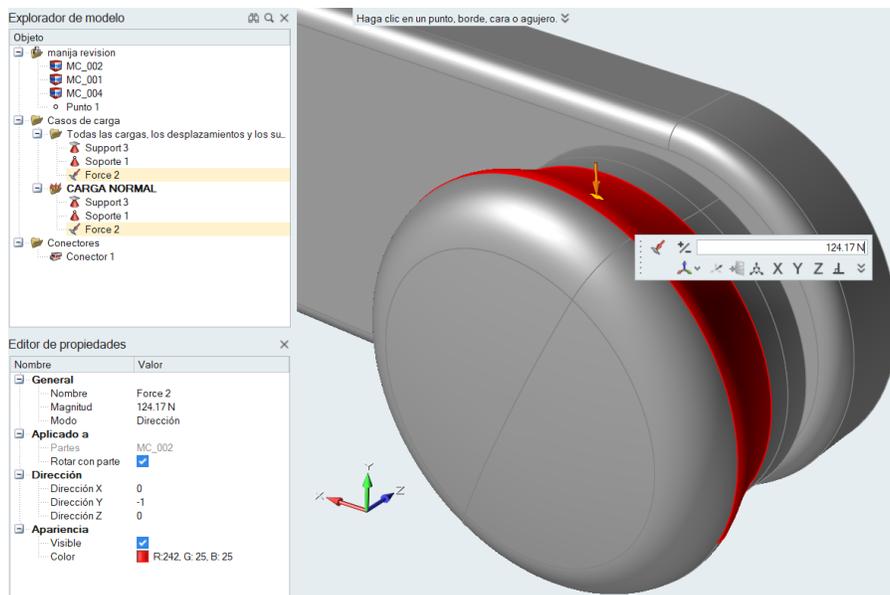


Figura 39 Asignación de la carga sobre la manija en sentido del eje Y

Si se considera el caso en el que la fuerza actúe a lo largo del eje X producirá distintos esfuerzos sobre la manija en comparación al análisis anterior, es por eso que se realizó otro análisis tomando en cuenta esta consideración tal como se ilustra en la Figura 40.

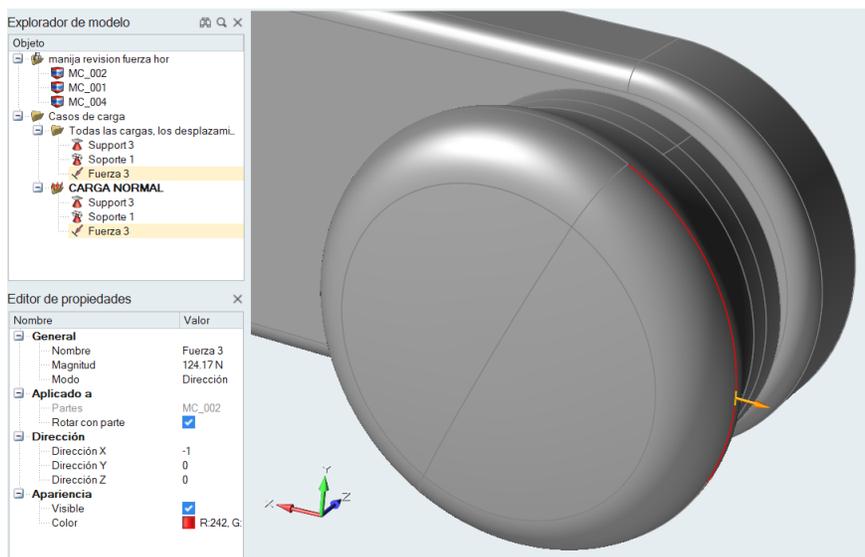


Figura 40 Asignación de la carga sobre la manija en sentido del eje X

Parámetros de mallado y ejecución de análisis de la manija original

El mallado de la geometría se llevó a cabo considerando los parámetros por defecto que fueron planteados por el software, como se observa en la Figura 41 se asignó un tamaño del elemento de 1mm considerando una obtención de resultados más precisa.

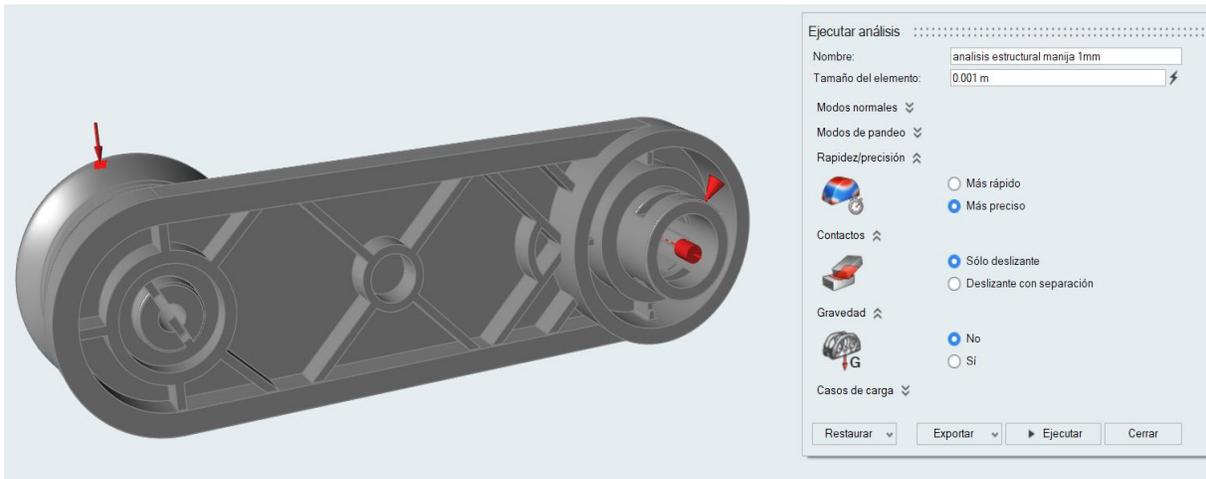


Figura 41 Ejecución del análisis estructural de la manija original

Proceso de optimización de la manija original

El proceso de optimización de la manija se llevó a cabo en el software Inspire, partiendo con la eliminación de los refuerzos internos del modelo original y aumentando la cantidad de material en la sección media de la manija de tal manera que el software pueda ir eliminando material hasta obtener un diseño adecuado para las cargas a las que está expuesta la geometría.

En la Figura 42 se puede observar el proceso de optimización de la manija original donde se han colocado las cargas en ambas direcciones analizadas y las respectivas restricciones de movimiento.

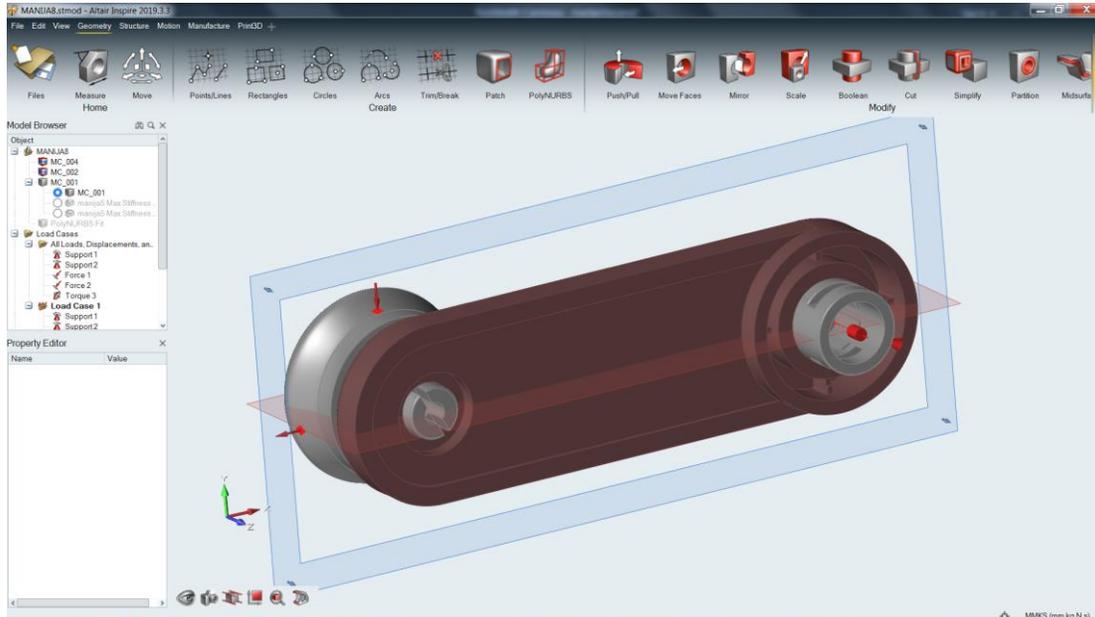


Figura 42 Proceso de optimización de la manija original

Ejecución del proceso de optimización

Una vez definidos todos los parámetros de optimización sobre la geometría de la manija, la ejecución se llevó a cabo bajo los parámetros establecidos por defecto del software priorizando un 30% del uso del material disponible, estas configuraciones se muestran en la Figura 43.

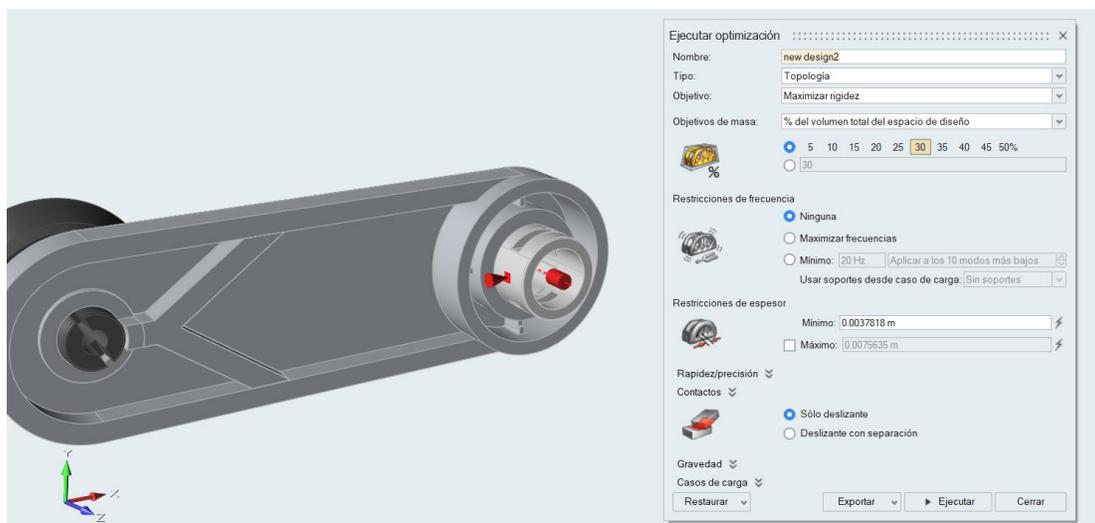


Figura 43 Ejecución del proceso de optimización

Una vez finalizado el proceso de optimización en la Figura 44 se puede observar la cantidad de material idónea que ha calculado el software para que el elemento resista las cargas a las que está expuesto, como siguiente paso en la Figura 45 se muestra el diseño final de la manija optimizada después de haber completado el modelado de la sección optimizada.

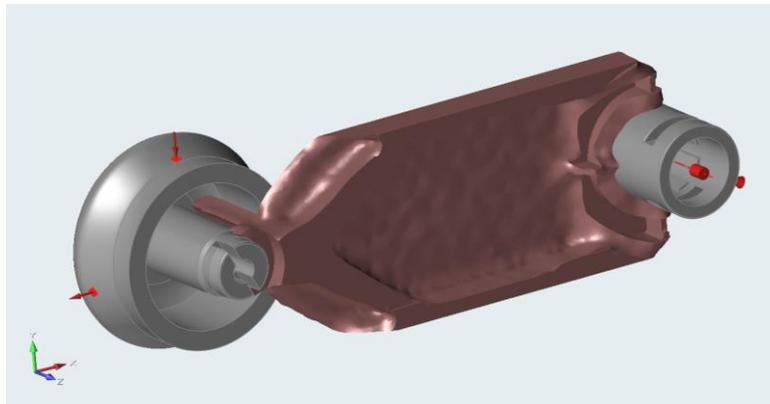


Figura 44 Diseño generativo optimizado de la manija

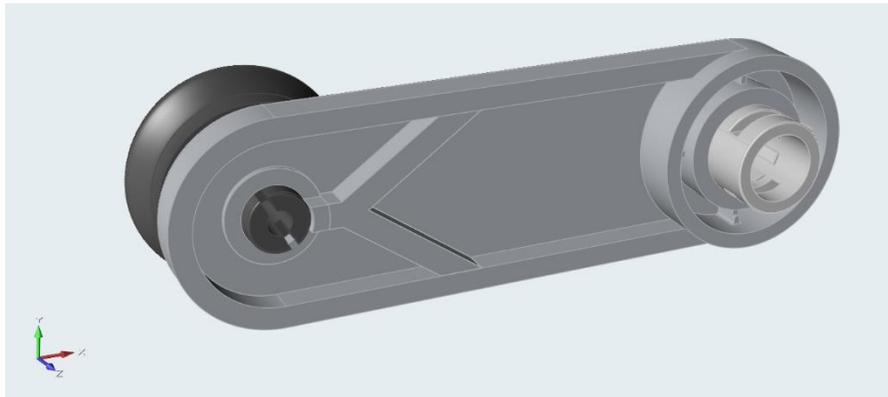


Figura 45 Diseño final de la manija optimizada

Análisis estructural del diseño optimizado de la manija

Una vez obtenida la geometría de la manija optimizada se llevó a cabo el análisis estructural considerando las mismas condiciones respecto a cargas y restricciones de movimiento descritas anteriormente, sin embargo para este análisis es necesario especificar al PLA como material de construcción; el software en su biblioteca no contiene este material por lo que para

definirlo fue necesario ingresar propiedades como el módulo de elasticidad, densidad, coeficiente de Poisson cuyos valores se pueden observar en la Figura 46 (Matweb, 2020).

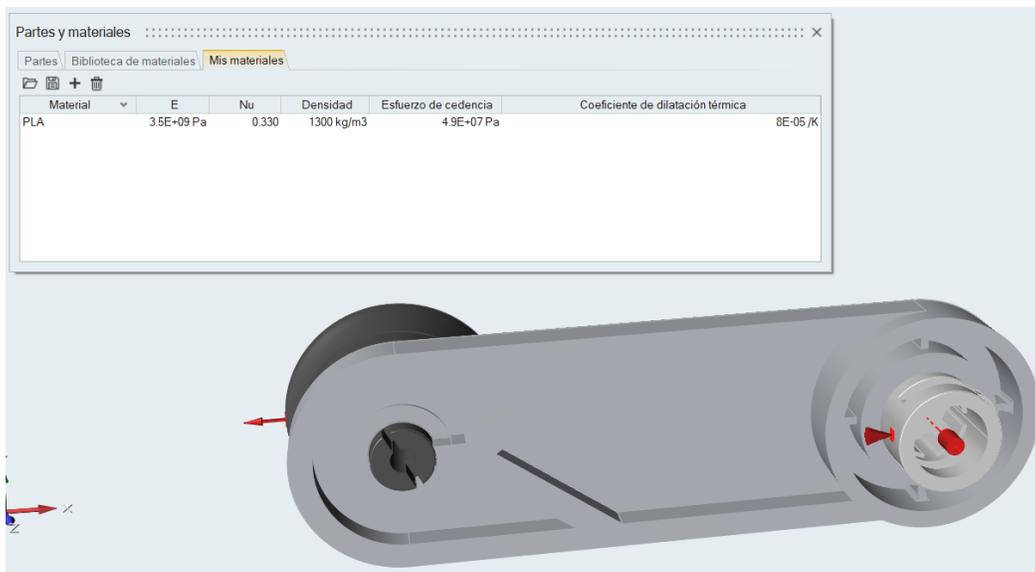


Figura 46 Propiedades mecánicas del PLA

Después de creado el material se añadió a la biblioteca y para el análisis se asignó a toda la manija, finalmente en la Figura 47 se muestra el pre procesamiento de la geometría lista para ejecutar el análisis considerando un mallado con elementos de 1mm de tamaño.

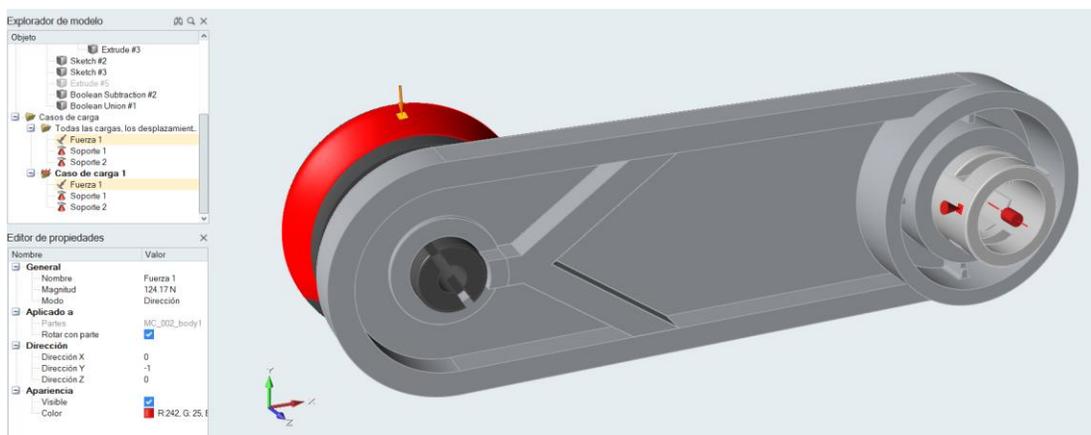


Figura 47 Análisis estructural de la manija optimizada

Análisis térmico de la manija optimizada durante el proceso de impresión 3D.

El software Inspire dispone de un módulo para impresión 3D en el cual fue posible realizar un análisis térmico del comportamiento del elemento durante el proceso de impresión, para este objetivo se emplearon todos los parámetros definidos anteriormente con respecto a la manija optimizada, es decir posición adecuada de la geometría, material empleado, velocidades, porcentajes de relleno, en la Figura 48 se puede observar las configuraciones y entorno de Inspire para impresión 3D.

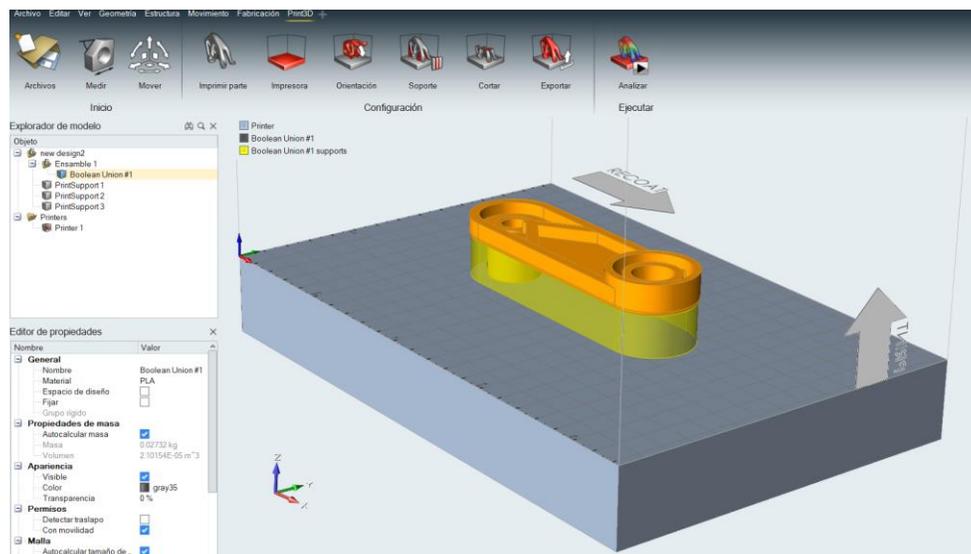


Figura 48 Impresión 3D de la manija optimizada en Inspire

Resultados

Procesos de impresión 3D de la manija original y optimizada

El software Cura permitió establecer las diferencias que existe entre la impresión de la manija de diseño original y la propuesta optimizada, analizadas bajo los mismos parámetros de impresión, la diferencia radica en el cambio de la geometría entre una y otra opción, en la Tabla 32 se resumen las principales diferencias.

Tabla 32 Diferencias entre la impresión 3D de la manija original y optimizada

Diseño	Material de impresión	Tiempo de impresión	Cantidad de material empleado
Original	PLA	7 horas con 26 minutos	17.96m
Optimizado	PLA	6 horas 49 minutos	17.84m

Pesos entre la manija de diseño original y optimizada

Mediante el software SimSolid fue calculado el peso de la manija de diseño original y la optimizada obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 33. El proceso de optimización ha producido que se reduzca el peso del elemento en 0.6 g.

Tabla 33 Pesos de la manija original y optimizada

Análisis	Peso (gramos)
Manija Original	22.2
Manija Optimizada	21.6

Esfuerzo de Von Mises en la manija original

El esfuerzo de Von Mises que se genera al aplicar la carga de 70kg se presenta en la Figura 49 y le corresponde un valor máximo de 320.9 MPa, cuyo punto de ubicación se encuentra en la base de la manija.

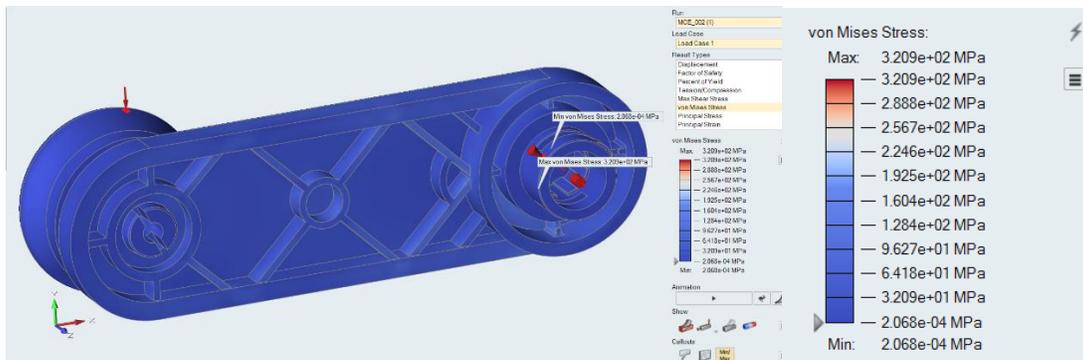


Figura 49 Esfuerzo de Von Mises en la manija original para una carga de 70 kg

En la Fig. 49 mostrada a continuación se muestran los resultados del esfuerzo de Von Mises obtenido en la manija de diseño original donde el valor máximo es de 38.9 MPa ubicado en la parte de los refuerzos de la base como consecuencia de la carga de halar promedio aplicada verticalmente.

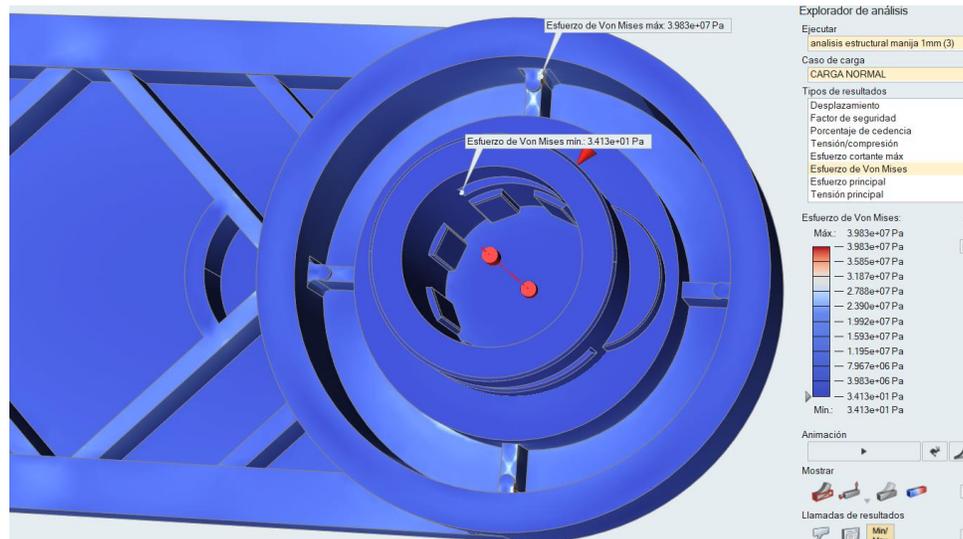


Figura 50 Esfuerzo de Von Mises en manija original para fuerza vertical

En tanto que los resultados del análisis considerando la acción de la fuerza horizontal se pueden ver en la Figura 51, los valores indican un esfuerzo máximo de 39.7 MPa en los refuerzos horizontales de la base de la manija.

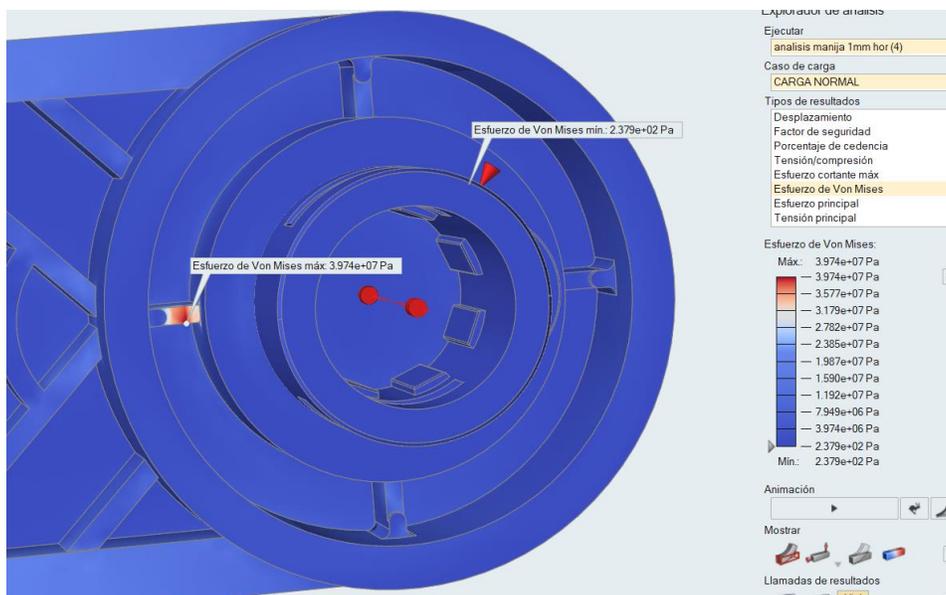


Figura 51 Esfuerzo de Von Mises en manija original para fuerza horizontal

Desplazamientos en la manija original

La carga aplicada de 70 kg genera una deformación máxima en la manija de 21.77 mm en la zona de la empuñadura de la manija, en la Figura 52 se pueden observar estos resultados y la distribución de los valores a lo largo de toda la geometría.

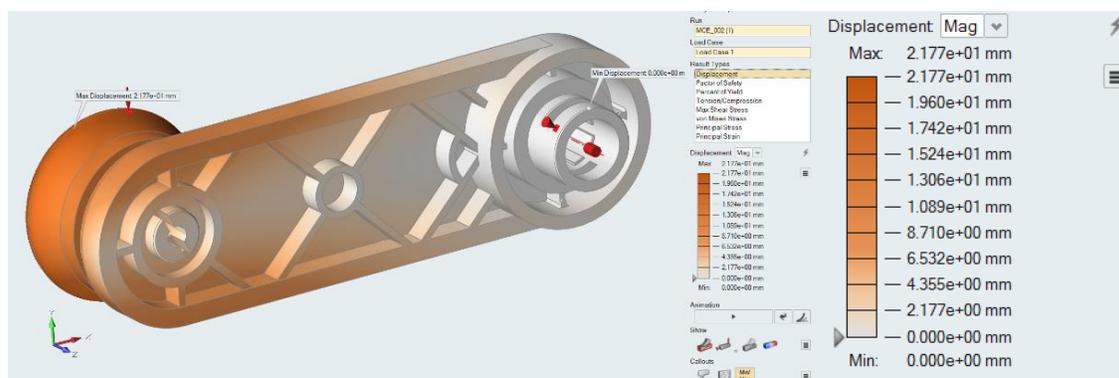
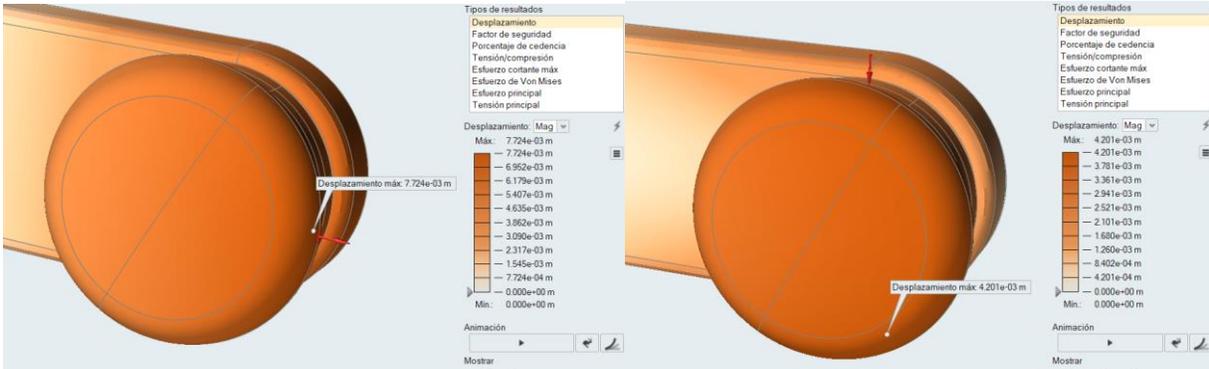


Figura 52 Deformación en la manija original a la carga de 70kg

En la Figura 53 (a) se puede observar el desplazamiento máximo que se produce en la manija al aplicar la fuerza de halar horizontal donde muestra un valor de 7 mm, mientras que en

(b) se registra un valor de 4 mm cuando se aplica la carga en sentido vertical, en ambos casos se presentan en la sección donde se aplica la carga.



(a) (b)
 Figura 53 Desplazamiento en la manija de diseño original

Factor de seguridad en la manija original

Los esfuerzos producidos por la carga de 70kg dan como resultado los coeficientes de seguridad mostrados en la Figura 54 donde el valor más bajo que se obtiene es de 0.14 por lo tanto las zonas que se pintan de color rojo presentan esfuerzos excesivos de resistencia estructural.

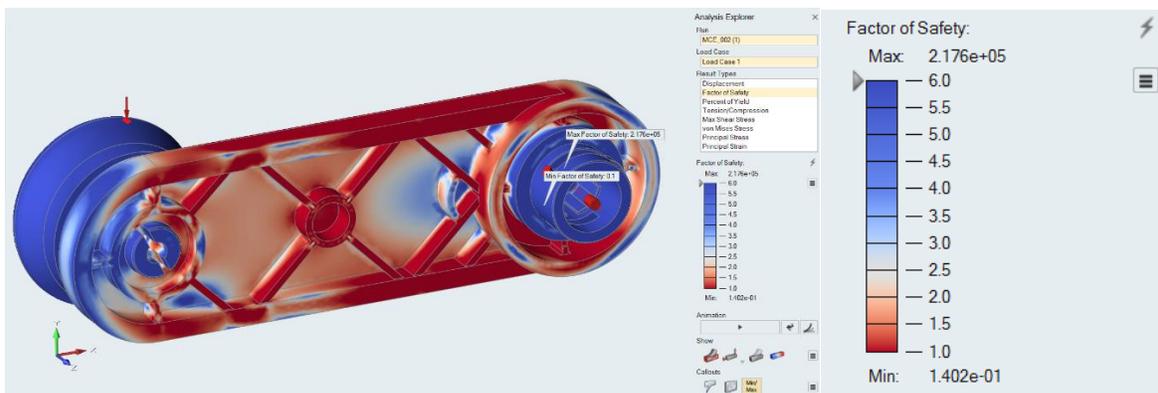


Figura 54 Coeficiente de seguridad para la carga de 70 kg en la manija original

Del análisis estructural se obtiene que el mínimo factor de seguridad para la simulación considerando la carga de halar vertical y horizontal es de 1.1, sin embargo, en la Figura 55 (a) se

puede observar que al actuar la carga en sentido horizontal los extremos de la sección central de la manija son las partes que se encuentran más expuestas, en cambio en (b) al aplicar la carga vertical los refuerzos de la sección central son los elementos que soportan mayor esfuerzo. El mínimo valor del factor de seguridad se produce en los refuerzos de la base de la manija.

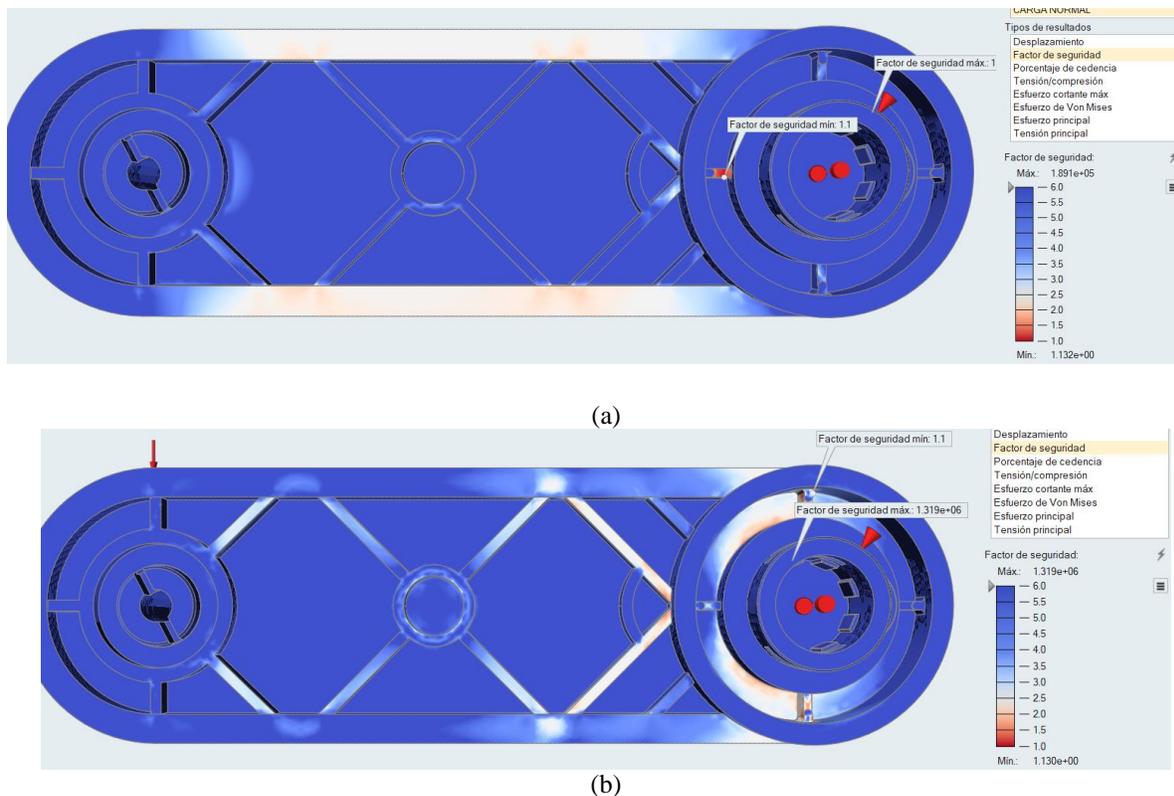


Figura 55 Factor de seguridad en la manija original

Esfuerzo de Von Mises en la manija optimizada

El análisis con 70kg de carga arroja un esfuerzo máximo de 320.9MPa ubicado cerca al eje principal como se observa en la Figura 56.

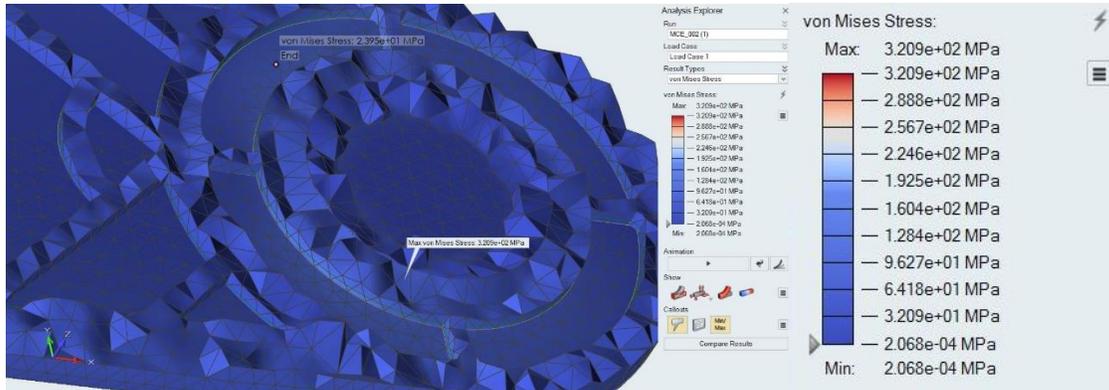
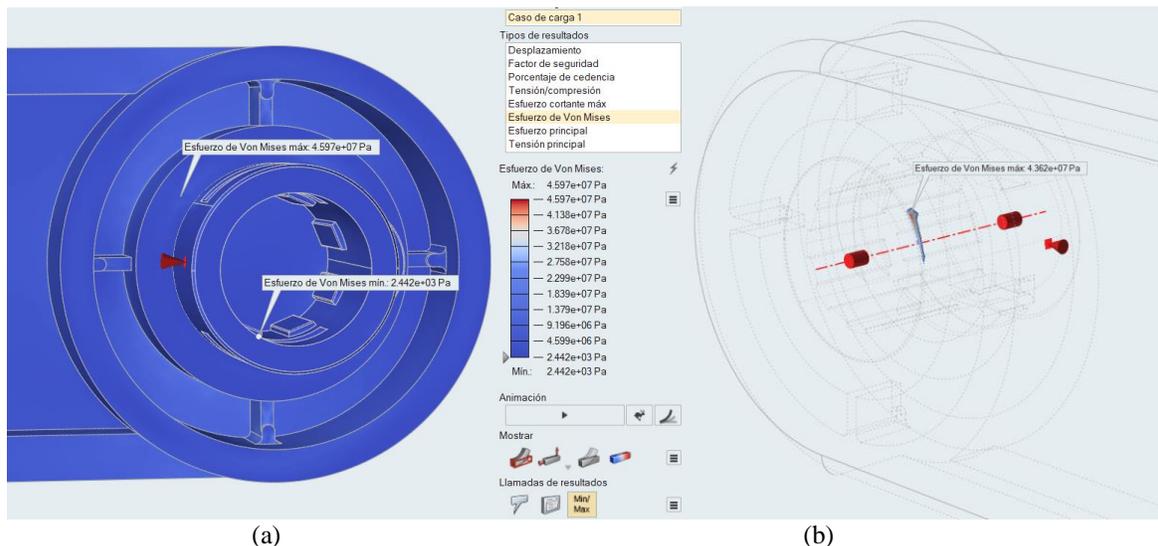


Figura 56 Esfuerzos en la manija optimizada para la carga de 70 kg

El diseño optimizado de la manija al ser expuesto a las mismas condiciones de trabajo que la manija original ha producido un esfuerzo de Von Mises máximo de 45.9 MPa para la carga de halar aplicada verticalmente, sin embargo este esfuerzo ahora está ubicada en la parte interna de la base de la manija, en la Figura 57 (a) se puede observar los resultados de este análisis y en (b) se a realizado un corte de la manija para visualizar dicho valor.



(a) (b)
Figura 57 Esfuerzo de Von Mises en la manija optimizada para fuerza vertical

En tanto, al considerar la acción de la carga horizontalmente se produce un esfuerzo máximo de 38,4 MPa ubicado en la parte delantera de la manija a la altura del área donde se produce su agarre, la Figura 58 muestran los resultados descritos anteriormente.

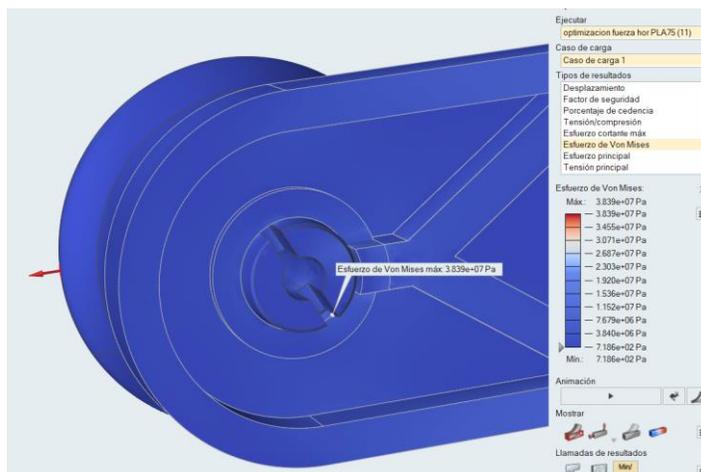


Figura 58 Esfuerzo de Von Mises en la manija optimizada para la carga horizontal

Desplazamientos en la manija optimizada

El primer análisis con 70kg produce una deformación en la manija de 21.43 mm en la empuñadura que es el lugar donde se aplica la fuerza y a medida que se acerca a la base de soporte estos valores disminuyen como se muestra en la Figura 59.

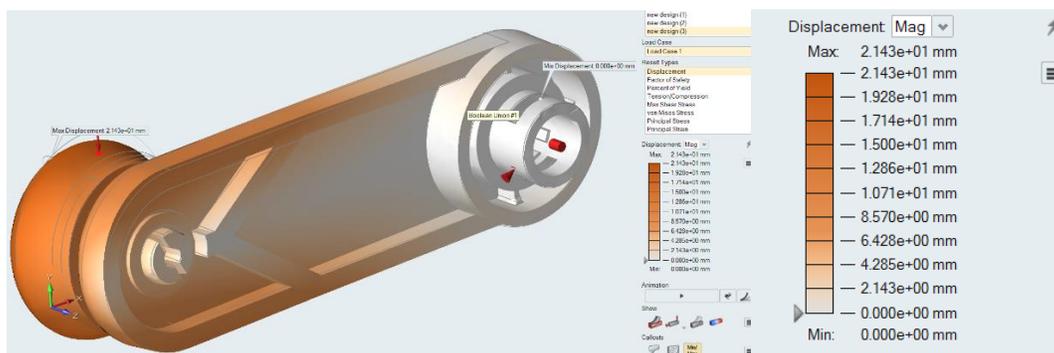


Figura 59 Deformación en la manija optimizada bajo la carga de 70 kg

Al aplicar la carga horizontal la manija optimizada sufre un desplazamiento de 7.63 mm, Figura 60 (a), mientras que en (b) al aplicar la carga vertical se registra una máxima deformación de 4.14 mm.

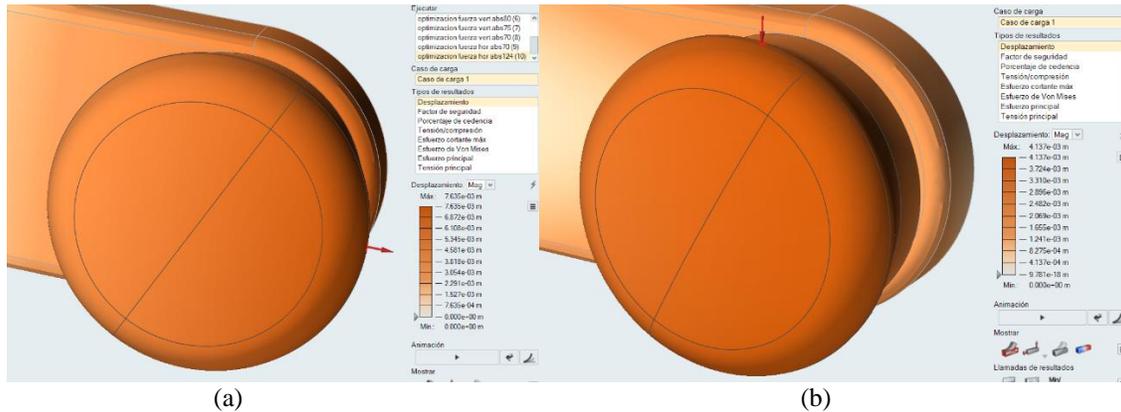


Figura 60 Desplazamiento en la manija optimizada

Factor de seguridad en la manija optimizada

El mínimo valor del factor de seguridad generado por la carga de 70kg en la manija es de 0.14 y estos se presentan en toda la sección optimizada y soporte tal como se observa en la Figura 61.

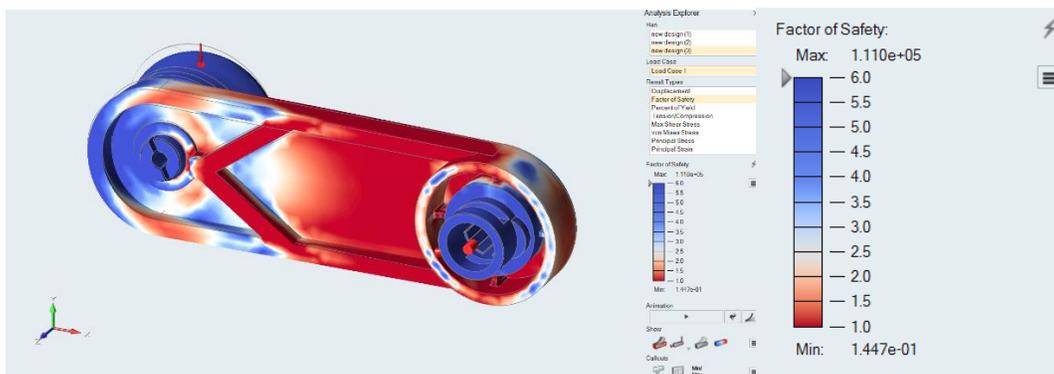
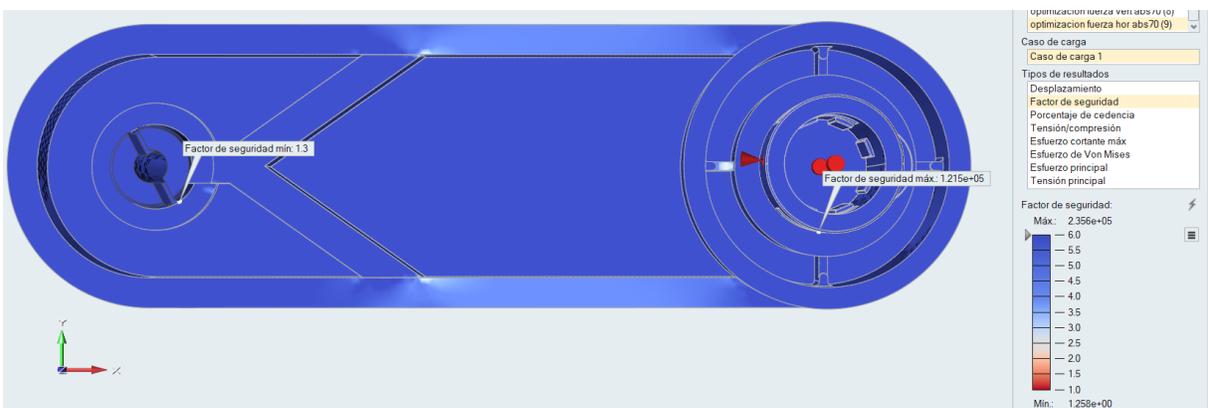


Figura 61 Factor de seguridad en la manija optimizada para la carga de 70kg

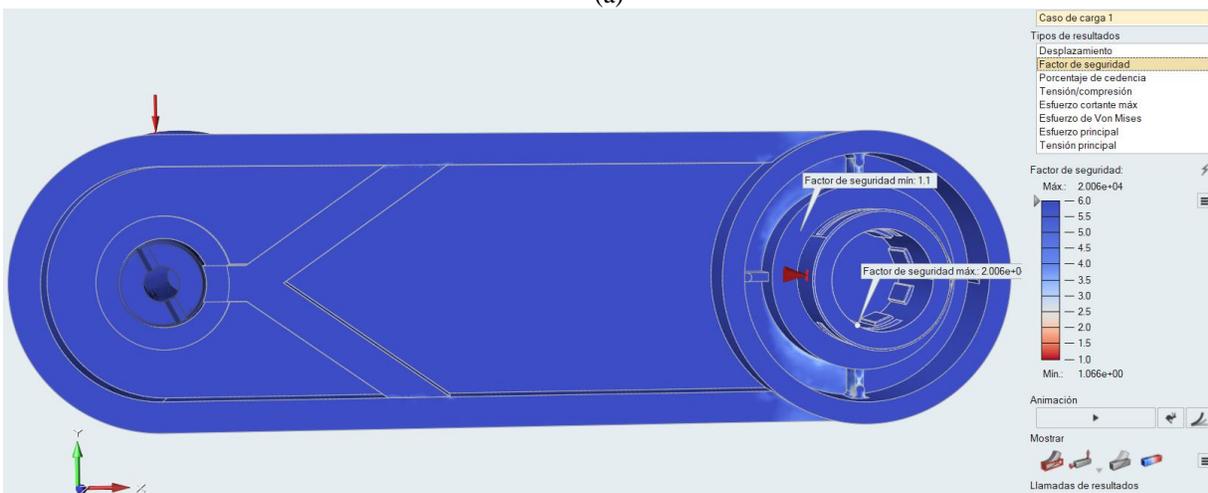
En la Figura 62 (a) se observa la distribución de los valores del factor de seguridad en la manija optimizada al aplicar la carga de halar horizontal, el menor valor es de 1.3 y está ubicado

en su parte superior a la altura del área de agarre, los elementos que se mantienen en tensión son los extremos de la sección media de la manija.

Por otro lado, la Figura 62 (b) indica los resultados del factor de seguridad en la manija al aplicar la carga vertical, se observa que se producen mayores esfuerzos en la base de la manija por ende generan un mínimo factor de seguridad de 1.06 y ligeros esfuerzos en la zona media de la manija que son soportados por los refuerzos internos.



(a)



(b)

Figura 62 Factor de seguridad de la manija optimizada

Resultados del análisis térmico de la manija optimizada

La Figura 63 muestra los resultados del esfuerzo de Von Mises que se producen en la manija optimizada durante el proceso de impresión, se observa en la parte media de la manija, en color rojo, el lugar donde se producen 279.4 MPa siendo este el máximo valor de esfuerzo que se produce como efecto del calentamiento del material hasta los 215°C influenciado por el propio peso del material depositado y del peso de las capas que se van adicionando durante el proceso, sin embargo, al estar toda esta superficie apoyada sobre los soportes no existe peligro que el material ceda y se produzcan errores durante la impresión 3D.

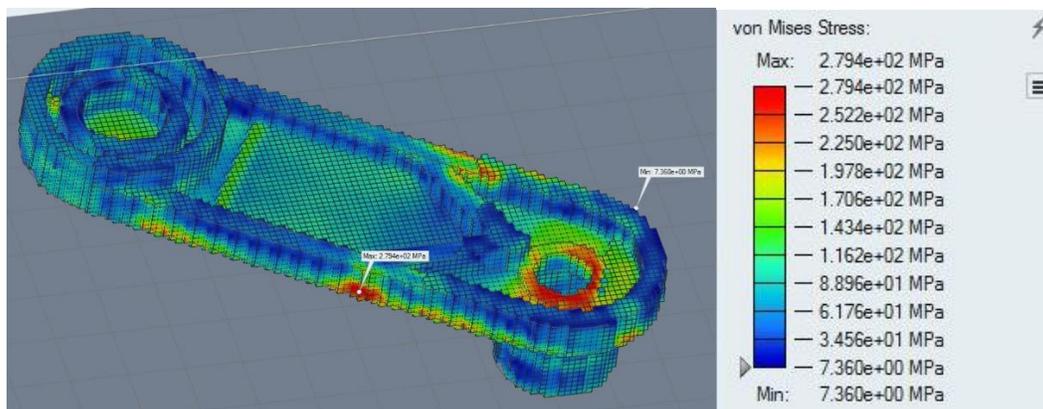


Figura 63 Esfuerzos durante el proceso de impresión 3D

Temperaturas durante el proceso de impresión 3D

Para la impresión con PLA la temperatura del hottend establecida fue de 215°C, el análisis mostrado en la Figura 64 indica la distribución de la temperatura del material a medida que es depositado capa por capa, los resultados arrojan una uniformidad en toda la manija ya que entre la temperatura máxima y mínima no existe diferencia importante, el valor superior es de 368.4K (95.4°C) inmediatamente después de haber sido depositado el material, con esta temperatura se garantiza la adherencia entre capas y que el material no chorree.

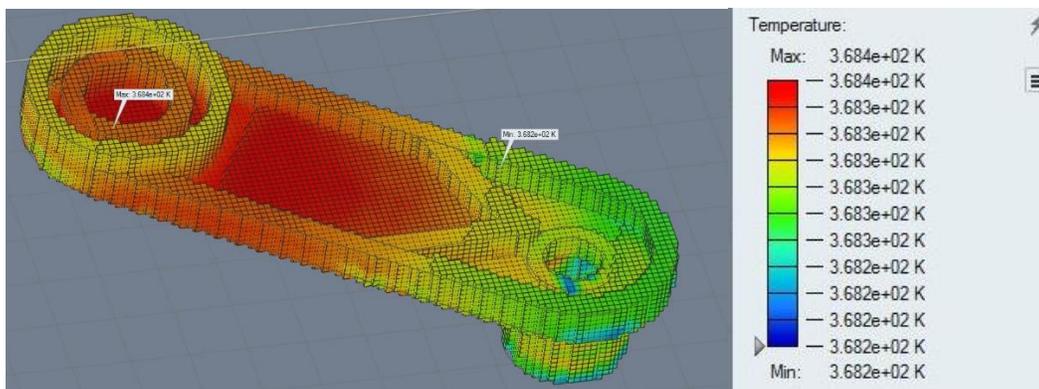


Figura 64 Temperaturas durante el proceso de impresión 3D

Análisis del esfuerzo de Von Mises entre la manija original y optimizada

Los resultados del esfuerzo de Von Mises máximo al aplicar la carga extrema de 70 kg indican que no existe un cambio en el efecto que producen entre la manija original y la propuesta optimizada, incluso se siguen produciendo en la misma zona tal como se resume en la Tabla 34.

Tabla 34 Resultados del esfuerzo de Von Mises para la carga de 70 kg

Análisis	Esfuerzo Máximo MPa	Zona
	Fuerza 70 kg	Crítica
Manija Original	320.9	Base
Manija Optimizada	320.9	Base

Para las otras consideraciones, como se puede observar en la Tabla 35, el análisis de resultados permite identificar que al aplicar la carga de halar horizontal sobre la manija optimizada se genera una disminución de 1.3MPa en comparación a la manija original, lo contrario ocurre al ejercer la fuerza en sentido vertical donde se produce un incremento de 7 MPa. Es importante notar que la nueva geometría desarrollada por la manija optimizada cambia

el lugar de aplicación del esfuerzo máximo, pasando de estar en la base a la altura de la empuñadura de la manija.

Tabla 35 Esfuerzo de Von Mises entre manija original y optimizada

Análisis	Esfuerzo Máximo MPa		Zona Crítica
	Fuerza halar	Fuerza halar	
	Horizontal	Vertical	
Manija Original	39.7	38.9	Base
Manija Optimizada	38.4	45.9	Empuñadura

Análisis del factor de seguridad entre la manija original y optimizada

Considerando los valores tan elevados del esfuerzo máximo producido, el factor de seguridad que se genera al aplicar la carga de 70 kg es menor a 1 lo que indica que el elemento falla bajo esta consideración de un caso extremo de uso, Tabla 36.

Tabla 36 Factor de seguridad para la carga de 70 kg

Análisis	Factor de Seguridad mínimo	Zona Crítica
	Fuerza 70 kg	
Manija Original	0.14	Base
Manija Optimizada	0.14	Base

Como consecuencia de los esfuerzos analizados para la carga de halar, los factores de seguridad mínimos que se producen en las manijas se muestran en la Tabla 37, existe una mejora en la propuesta optimizada de 0.2 en el valor de factor de seguridad y además como se

visualiza en los resultados mostrados en la Figura 55, Figura 62 existe una mejor distribución de los esfuerzos en todo el cuerpo de la manija optimizada.

Tabla 37 Factor de seguridad entre manija original y optimizada

Análisis	Factor de seguridad mínimo		Zona crítica
	Fuerza	Fuerza	
	Horizontal	Vertical	
Manija Original	1.1	1.1	Base
Manija Optimizada	1.3	1.06	Empuñadura

Análisis de la deformación entre la manija original y optimizada

Como consecuencia de la excesiva aplicación de la carga de 70 kg se produce una deformación plástica del elementos lo cual se ve reflejado en los valores mostrados en la Tabla 38.

Tabla 38 Deformación bajo la carga de 70 kg

Análisis	Deformación max (mm)	Zona
	Fuerza 70 kg	Crítica
Manija Original	21.77	Base
Manija Optimizada	21.43	Base

La deformación que se produce en los modelos producto de las cargas de halar promedio aplicadas se muestra en la Tabla 39, como se puede observar los valores, no existe un cambio significativo en los resultados analizados.

Tabla 39 Deformación en la manija original y optimizada

Análisis	Deformación máxima mm	
	Fuerza	Fuerza
	Horizontal	Vertical
Manija Original	7.7	4.2
Manija Optimizada	7.6	4.1

Discusión de Resultados

Tabla 40 Comparación de las propiedades de los materiales

PROPIEDADES	CARACTERISTICA	PC ABS	PC	PLA	PVC
Costo	\$/ Kg	10	7.51	8.00	6.90
Físicas	Densidad (g/cc)	1.15	1.06	1.3	1.315
	MFI (gr/10min)	10	11	23	20
Mecánicas	Resistencia a la tracción (MPa)	45	20	20	30
	Elongación a la rotura (%)	100	110	6	210
	Módulo elástico en tracción (GPa)	2.3	2.1	3.5	2.87
	Resistencia a la flexión (MPa)	80	34	80	84
	Resistencia al impacto (J/M)	587	600	600	800
Térmicas	Temperatura Vicat (°C)	129	103	60	92

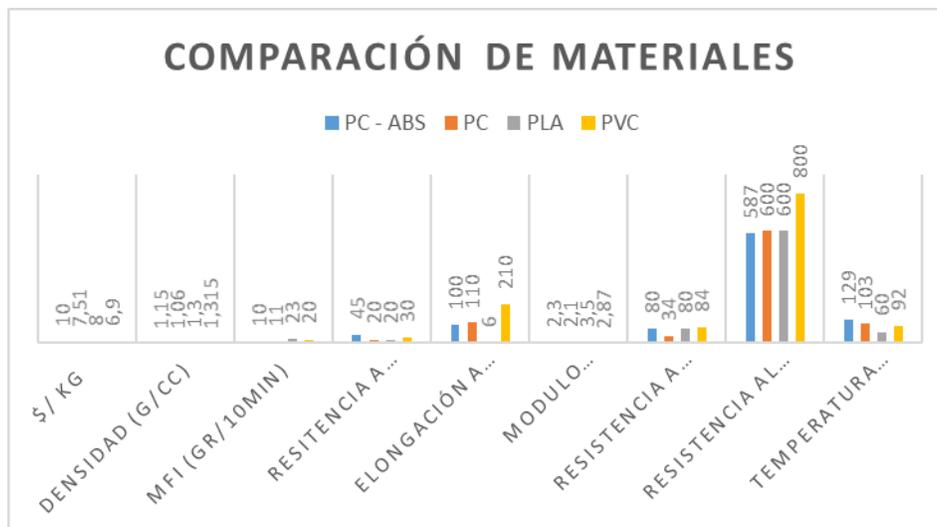


Figura 65 Comparación de materiales PC-ABS, PC, PLA, PVC

En la Fig. 65 comparamos las propiedades y características de los materiales Acrilonitrilo - Butadieno – Estireno y Policarbonato (PC-ABS), Policarbonato (PC), Ácido Poliláctico (PLA), Cloruro de Polivinilo (PVC) existe una comparación en lo que tiene que ver a costos, propiedades físicas, mecánicas y térmicas. Dentro de las características analizamos \$/ Kg, Densidad (g/cc) , MFI (gr/10min), Resistencia a la tracción (MPa), Elongación a la rotura (%),Módulo elástico en tracción (GPa), Resistencia a la flexión (MPa), Resistencia al impacto (J/M) y Temperatura Vicat (°C)

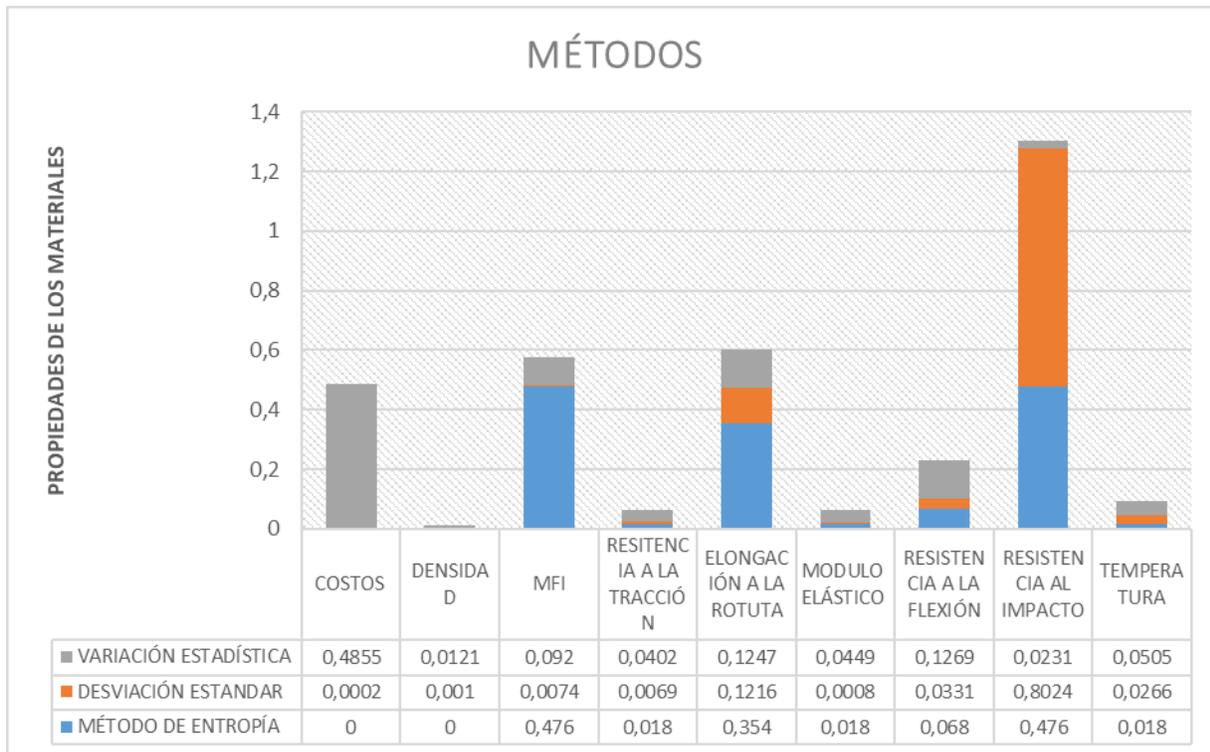


Figura 66 Comparación de valores de los tres métodos (método de entropía, método de desviación estándar, método de variación estadística)

En la Fig. 66 se realiza la comparación de los valores de los tres materiales M1, M2 Y M3 a través de la variación estadística, desviación estándar y el método de entropía donde se evalúa 9 parámetros como consta en el gráfico.

Tabla 41 Proximidad relativa a solución ideal y ranking

Código	Nivel de rendimiento	Ranking
M1	83.29%	1
M2	100%	2
M3	63.14%	3

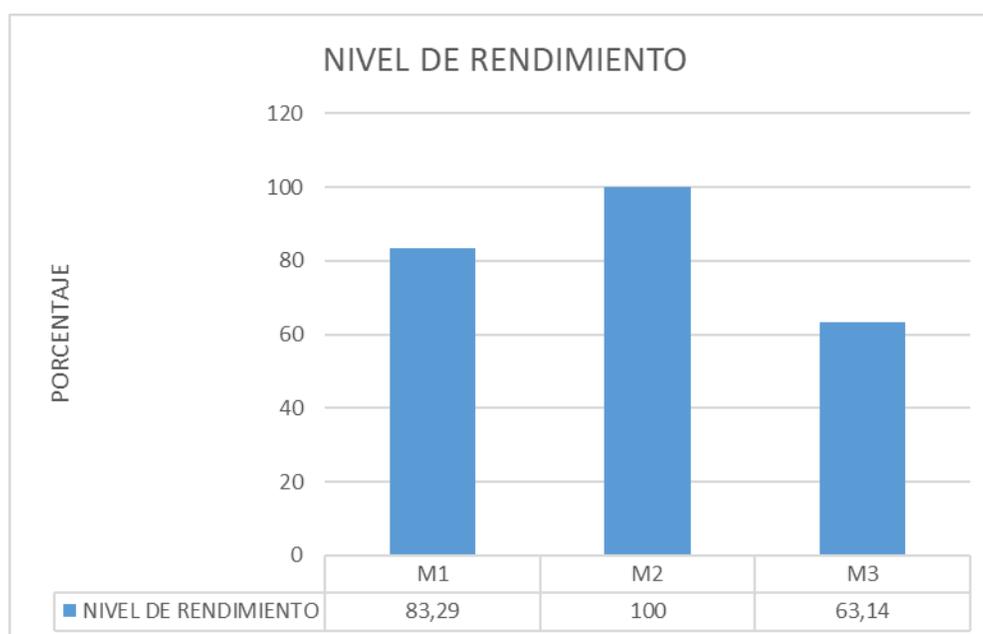


Figura 67 Nivel de rendimiento (máx. 100 – min. 63,14)

En la Fig. 67 podemos observar que el nivel de rendimiento de los materiales que se encuentran en nuestro estudio presentan los siguientes valores, el Policarbonato PC denominado como M1 tiene el valor intermedio de 83,29 % lo cual presenta buenas propiedades mecánicas y térmicas para poder hacer un análisis a futuro, debido a que si se realiza un rediseño con mayores esfuerzos podría alcanzar las propiedades del diseño original, el material Ácido Poliláctico PLA denominado M2 es considerado como el rey, el M2 es un material resistente a la humedad y a las grasas, en este análisis presenta un valor Máx. de 100% en lo que tiene que ver al rendimiento ,

con lo cual luego de su evaluación se puede mencionar que es el más apto para remplazar al material original por sus altas propiedades mecánicas y térmicas, el material Polivinilo de Cloruro PVC denominado M3 presenta un nivel bajo de rendimiento frente a los materiales M1 y M2 por lo tanto recomiendo que este material no se utilice para realizar la manufactura de la manija del elevador de vidrios del vehículo chevrolet aveo family.

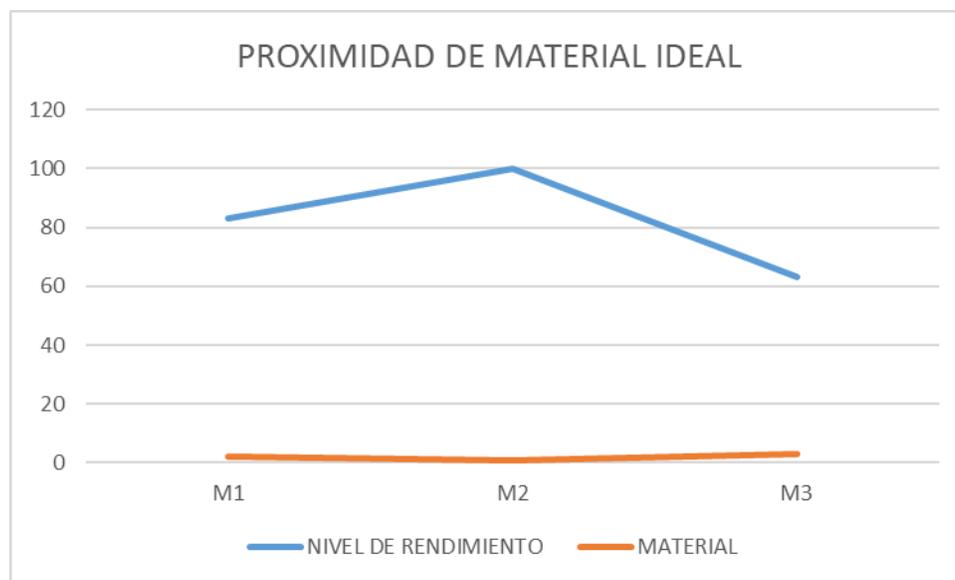


Figura 68 Proximidad de material ideal (máx. M2 PLA – min. M3 PVC)

Esfuerzos

En el trabajo titulado Influencia de los parámetros de relleno en el comportamiento mecánico a la flexión de piezas fabricadas en impresoras 3D de bajo coste desarrollado por (Calle, 2016), los ensayos realizados en probetas impresas en PLA con 100% de relleno y con un patrón de relleno tipo panal de abeja, obtiene como resultado una resistencia máxima a la flexión de 62.34 MPa

Por otro lado en el estudio realizado por (Álvarez , Lagos, & Aizpun, 2016) donde analiza la influencia de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D por medio del método FDM, se contaron con 5 probetas impresas en PLA con 100% de relleno, las mismas que fueron sometidas al ensayo de tracción alcanzaron un promedio de 34.57MPa de resistencia. En los análisis desarrollados en el presente trabajo el sentido de acción de la una fuerza genera esfuerzos de flexión, en este caso el máximo esfuerzo de Von Mises calculado fue de 45.9MPa mientras que la acción de la fuerza en sentido horizontal produce esfuerzos de tracción donde se halló un esfuerzo máximo de 38.4MPa en la manija optimizada.

Conclusiones

La aplicación del método multicriterio Copras facilita seleccionar el material alternativo ganador que permite remplazar el material original, teniendo resultados en un valor máximo del 100% al PLA para la manufactura de la manija del elevador de vidrios para el vehículo Chevrolet aveo family.

El PLA es un material biodegradable que presenta excelentes propiedades mecánicas, físicas y térmicas para poder desarrollar la manufactura de accesorios automotrices, permitiendo tener alternativas rápidas e inmediatas en los mercados nacionales.

Los usos apropiados de los softwares de ingeniería permiten tener simulaciones apegadas a la realidad, reduciendo costos de manufactura que se utilizaban para los análisis, a través de Autodesk Inventor se construyó el diseño de la manija del elevador de vidrios del vehículo Chevrolet aveo family, a través del software Inspire se optimiza y se realiza las simulaciones para su respectivo análisis.

El proceso de optimización dio como resultado el cambio en el diseño geométrico de la manija original distribuyendo de mejor manera la cantidad de material y los refuerzos en la parte media de la manija permitiendo así soportar de una manera más eficiente las cargas que actúan sobre el elemento.

Se demostró que la propuesta optimizada de la manija permitió reducir en 37 minutos el tiempo de impresión, valor que representa un 8.3% del total en comparación con el proceso de impresión de la manija original y el ahorro de un 0.7% de material, es decir la reducción del tiempo está dado por la disminución de los desplazamientos que debe desarrollar la impresora para la deposición del material.

Se comprobó que el peso de la manija optimizada es 2.3% menor en comparación al diseño original, este valor representa un avance significativo considerando que este tipo de elementos empleados en el área automotriz constituyen un amplio campo de estudio con la finalidad de aligerar pesos de los vehículos y mejorar su eficiencia.

Se determinó que el comportamiento mecánico de la manija optimizada ante la carga horizontal, la cual genera tracción produce una reducción del 3.3% en los esfuerzos generados en comparación con la manija original, en tanto que en la carga vertical sucede lo contrario pues el esfuerzo aumenta un 17.9%, sin embargo, su ubicación cambia hacia la base de la manija donde el esfuerzo se distribuye de mejor manera ya que esta área posee más refuerzos.

Se determinó que la deformación disminuye 1.2% en la manija optimizada, valor que representa una variación imperceptible.

Se comprobó que los esfuerzos máximos generados se encuentran ubicados en la base de la manija optimizada por lo tanto no se puede cambiar el diseño de esta parte de la manija ya que esta se ensambla con otra propia del vehículo.

En términos generales el análisis del comportamiento mecánico de ambas manijas es similar, sin embargo, el valor agregado de la propuesta generada en el presente trabajo es el proceso de obtención mediante impresión 3D ya que este método de manufactura permite personalizar el elemento de acuerdo al gusto del usuario siempre y cuando se respete la geometría aquí desarrollada.

Luego de la manufactura de la manija se verifica que el costo es elevado al imprimir en 3D, debido a que los tiempos de fabricación son de aproximadamente (6 horas 49 min manija optimizada y de 7 horas con 26 minutos manija original) siendo esta una alternativa eficiente que reemplaza al producto original en caso de existir ausencia de importación o falta de repuestos en el mercado nacional.

Recomendaciones

Luego de realizar los respectivos análisis de evaluación con los diferentes métodos antes mencionados en esta investigación, se puede indicar que todos tienen propiedades potenciales que permitirían ser utilizados en la manufactura industrial, por esta razón es importante que se realice indagaciones futuras con los materiales PC y PVC.

Luego de la manufactura por impresión 3D se pueda mejorar el acabado superficial del autoparte a través del lijado, masillado y pintado, con esto obtendremos un producto de excelente calidad.

Se recomienda también en base a la investigación realizar una comparación entre los procesos de manufactura de inyección por plástico y el proceso de manufactura aditiva para la fabricación de autopartes que no necesiten producción en masa.

Referencias

- A. Scheer. "CIM : computer integrated manufacturing : towards the factory of the future". Ed. Springer Verlag. Wiesbaden (Germany). 1995. pp. 292. - Buscar con Google. (n.d.). Retrieved April 29, 2020, from [https://www.google.com/search?q=A.+Scheer.+\"CIM+%3A+computer+integrated+manufacturing+%3A+towards+the+factory+of+the+future\".+Ed.+Springer+Verlag.+Wiesbaden+\(Germany\).+1995.+pp.+292.&rlz=1C1CHBD_esEC802EC802&oq=A.+Scheer.+\"CIM+%3A+computer+integrated+manu](https://www.google.com/search?q=A.+Scheer.+\)
- Acevedo Peña, Á. (2015). La importancia de la optimización en la industria. *Revista Virtual Pro*, 159, 1. <https://www.revistavirtualpro.com/editoriales/20150401-ed.pdf>
- Albarrán Ligerero, J. (2013). Capítulo 2. Sistemas de Cad/Cam. *Capítulo 2. Sistemas de Cad/Cam*, 36. <https://bit.ly/2UcO9D1>
- All3DP. (n.d.). *Los 25 mejores filamentos para impresoras 3D de 2020 | All3DP*. Retrieved May 29, 2020, from <https://all3dp.com/es/1/filamento-3d-filamento-impresora-3d/>
- All3DP. (n.d.). *Los 11 tipos de impresoras – Guía 2020 | All3DP*. Retrieved May 27, 2020, from <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>
- Alvarez, F., & Ruiz-Tagle, E. (2017). *Tresdp 3d Printing-IMPRESIÓN 3D PARA TODOS INTRODUCCIÓN A LA IMPRESIÓN 3D Y MATERIALES COMPUESTOS DE INGENIERÍA PARA IMPRESIÓN 3D*. www.tresdp.com
- Autocasión. (n.d.). *Los plásticos en el automóvil | Autocasión*. Retrieved May 15, 2020, from <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/los-plasticos-en-el-automovil>
- Becker, D., & Partner, G. (2020). *Impacto de COVID-19 en el sector automotriz*. 1–3.
- Cabello, A. (2017). Métodos de decisión multicriterio y sus aplicaciones. *Universidad de La Rioja*, 45. https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE002504.pdf
- Chérrez-troya, M., Martínez-gómez, J., Peralta-zurita, D., & Llanes-cedeño, E. A. (2018). *Métodos multicriterio aplicados en la selección de un material para discos de freno Multicriteria Methods Applied in the Selection of a Brake Disc Material*. 83–95.
- Ciencia Mx Noticia. (n.d.). *La optimización para mejorar procesos industriales y experimentales*. Retrieved May 26, 2020, from <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/quimica/18945-optimizacion-procesos-industriales-experimentales>
- Cornish Alvarez, M. L. (1997). *El ABC de los plásticos - María Laura Cornish Alvarez - Google Libros*. https://books.google.com.ec/books?id=QW8UyW9YO9QC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Cura, S. (n.d.). *Ultimaker Cura: software de impresión 3D potente y fácil de usar* | Ultimaker. Retrieved July 11, 2020, from <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>
- Durazo, E., Salcido, G., & González, J. (n.d.). *Impresión 3d – impacto en la industria automotriz*. 1–15.
- Ec, F. Ecuador. (n.d.). *Chevrolet Aveo Family / Emotion 2020 Ecuador (Opiniones) - Foros Ecuador*. Retrieved May 26, 2020, from <http://www.forosecuador.ec/forum/aficiones/autos-y-motos/7612-chevrolet-aveo-family-emotion-2020-ecuador-opiniones>
- Ecuador, M. L. (n.d.). *Filamento Flex / Wooden Tpu Impresora 3d 1.75mm 1kg Anet - U\$S 29,99 en Mercado Libre*. Retrieved July 8, 2020, from https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-426357962-filamento-flex-wooden-tpu-impresora-3d-175mm-1kg-anet-_JM?searchVariation=59611495393&quantity=1&variation=59611495393#searchVariation=59611495393&position=5&type=item&tracking_id=8d5ec087-8023-40e1-aa19-
- El Comercio. (n.d.). *Aveo Family no se producirá en Ecuador desde el 2020; repuestos están garantizados, dijo General Motors* | El Comercio. Retrieved May 26, 2020, from <https://www.elcomercio.com/actualidad/aveo-family-produccion-ecuador-repuestos.html>
- El Economista. (n.d.). *Contracción del sector automotriz en 2020 será de 20%* | El Economista. Retrieved May 13, 2020, from <https://www.eleconomista.com.mx/revistaimef/Contraccion-del-sector-automotriz-en-2020-sera-de-20-20200424-0051.html>
- Elchapista. (2018). *Los tipos de plásticos usados en el automóvil - Temperatura de soldadura, etc...*
http://www.elchapista.com/nomenclaturas_e_informacion_de_tipos_de_plasticos.html
- Electrocome. (2019). *POLIPROPILENO - PP - ELECTROCOME*. <https://www.electrocome.com/p-1-84/POLIPROPILENO---PP.htm>
- ELEMENTOS: COMPRESIÓN; TRACCIÓN; FLEXIÓN; TORSIÓN; CIZALLA*. (n.d.). Retrieved July 1, 2020, from <http://amoviblesio.blogspot.com/2015/11/compresion-traccion-flexion-torsion.html>
- Elías, J., & Sánchez, J. (n.d.). *(No Title)*.
- Engineering, A., & Engineering, A. (2010). *MANUAL DE HYPERWORKS*. March, 1–23.
- Estrada García, J. M., & Meza Puesto, J. H. (2002). *Asignación De Pesos No Subjetivos, Para La Valuación*. 2024306, 35–45.
- Expandido, D. E. L. P. (2015). *Densidad*.
https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d4/Clase_3_construcción_1_náutica_2015_HDPE.pdf
- Factoria del Futuro. (n.d.). *¿Cuales son las tendencias tecnológico industriales para este 2020?*
Retrieved May 26, 2020, from <https://www.factoriadelfuturo.com/cuales-son-las->

tendencias-tecnologico-industriales-para-este-2020/

Fecyt. (n.d.). *SECTOR*. http://comecyt.edomex.gob.mx/media/filer_public/9b/b1/9bb11d63-7bb9-47ea-a7ff-598baae9cf4b/competitividad_sector_automotriz.pdf

Federación de Enseñanza de Andalucía. (2011). Tipos de Esfuerzos Físicos. *Revista Digital Para Profesionales de La Enseñanza*, 1–18.

Ferrás, M. L. P., & Rodríguez, Á. T. P. (2010). Poliamidas y poliesteramidas que presentan potencial aplicación en biomedicina. *Ciencias Holguín*, 16(3), 1–8.
http://uves.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwtV1LT9tAEF5BuVSqqqaAgD60pwq0CsLrxM4eeihJoEhURReBWcloc72wUKTgoj0P4W_OJ_WOd2fWL0EOBcrHijWPHO59mZufxLWO-3D-oL-kElRgZKrTuvuqDhARU6OPsqM3DUbF1Jx8-VOdXgZt2nJpJad-LseeVfA4hqKnRtoHCL-4KQ7gZ4QAhhEEePwnGF

Futuro, E. N. E. L., & Oliva, S. V. (2013). *LA IMPRESIÓN 3D COMO TECNOLOGÍA DE USO GENERAL*.

Gil Gil, I. (2015). *Y Sus Alcances En La Arquitectura*. 0–81.
http://oa.upm.es/38442/7/PFC_IRENE_GIL_GIL.pdf

GmbH, R. B. (2005). *Manual de la técnica del automóvil - Google Libros*.
<https://books.google.com.ec/books?id=lvDitKKl1SAC&pg=PA893&lpg=PA893&dq=aleacion+es+como+el+PP/EPDM+o+el+PP/PE.&source=bl&ots=FgVaRUq-1P&sig=ACfU3U2RuZrY8twwUVmEhMq7eqnS-nNGsQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiZz-zXrOjpAhWBTt8KHX5bAecQ6AEwAHoECAoQAQ#v=onepage&q=aleac>

Gómez González, S. (n.d.). *Mallado y simulación CFD de automóvil*.

Grajales-quintero, A., Serrano-moya, E. D., & Hahn Von-h, C. M. (n.d.). *LOS MÉTODOS Y PROCESOS MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN*.

Guamán Lozano, Á. G., Miño Cascante, G. E., & Santillán Mariño, C. J. (2018). Optimización del sistema de producción de una planta ensambladora de autos aplicando balance de líneas. *Revista Digital de Medio Ambiente "Ojeando La Agenda,"* 54.
<file:///C:/Users/UISEK/Downloads/Dialnet-OptimizacionDelSistemaDeProduccionDeUnaPlantaEnsam-6639416.pdf>

HXX, B. de. (n.d.). *Materiales de impresión 3D (I): PLA (ácido poliláctico) | HXX*. Retrieved July 7, 2020, from <http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/>

hyperworks - Búsqueda de Google. (n.d.). Retrieved May 6, 2020, from https://www.google.com/search?q=hyperworks&rlz=1C1CHBD_esEC802EC802&sxsrf=ALeKk02nSE4NGKMEECfelbPmKKHajZq1kg:1588814117891&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi5ofHoyaDpAhXBhOAKHTU3BFUQ_AUoAXoECA0QAw&biw=1366&bih=576#imgrc=GgEIF8s1D6_XjM

Índice de fluidez, su importancia real - Plástico. (n.d.). Retrieved July 7, 2020, from <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/193925-Indice-de-fluidez-su->

importancia-real.html

- Infobae. (n.d.). *Cómo el coronavirus puso de rodillas a la industria automotriz mundial - Infobae*. Retrieved May 13, 2020, from <https://www.infobae.com/autos/2020/03/15/como-el-coronavirus-puso-de-rodillas-a-la-industria-automotriz-mundial/>
- Intelligy. (n.d.). *La impresión 3D y la industria automotriz: Lo que necesita saber. - Blog - Intelligy*. Retrieved June 5, 2020, from <https://intelligy.com/blog/2019/08/02/la-impresion-3d-y-la-industria-automotriz-lo-que-necesita-saber./>
- Ipm, T. C. L., Guajardo, R., Politécnico, I., & Armas, S. De. (2016). *Mecánica Computacional como Herramienta al Diseño de Ingeniería de Defensa*. https://www.researchgate.net/publication/329912804_Mecanica_Computacional_como_Herramienta_al_Diseño_de_Ingeniería_de_Defensa
- Jahan, A., Ismail, M. Y., Shuib, S., Norfazidah, D., & Edwards, K. L. (2011). An aggregation technique for optimal decision-making in materials selection. *Materials and Design*, 32(10), 4918–4924. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.05.050>
- JCR3D. (2019). *Materiales para imprimir en 3D: qué material elegir para cada aplicación - JCR3D Impresoras inteligentes 3D*. <https://jcr3d.com/materiales-para-imprimir-en-3d-que-material-elegir-para-cada-aplicacion/>
- Jorquera, O. A. (2017). *Fabricación Digital: introducción al modelado e impresión 3D. Serie Diseño y Autoedición*, 92. <https://doi.org/10.4324/9780203643273>
- Jq, I. (n.d.). *PTFE Virgen Marca Teflon*. Retrieved July 8, 2020, from <http://www.jq.com.ar/info-PVC.html>
- Köksal, Y., & Penez, S. (2015). IMPRESIÓN 3D EN UNA CADENA DE VALOR DEL SECTOR POST VENTA AUTOMOTRIZ PROYECTO. *Metrologia*, 53(5), 1–116. <https://doi.org/10.1590/s1809-98232013000400007>
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 69, pp. 596–609). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191>
- Libre, M. (n.d.). *Filamento Rollo Pla 3d Abs 1.75mm 1kg Impresora 3d Kit Prusa - U\$S 20,00 en Mercado Libre*. Retrieved July 8, 2020, from https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-425836371-filamento-rollo-pla-3d-abs-175mm-1kg-impresora-3d-kit-prusa-_JM?quantity=1#position=3&type=item&tracking_id=048fd0f1-abfa-43b7-b31c-9e09c9761eb7
- Lucas, V., & Rivero, R. (2018). *Evolución del uso de los materiales plásticos en la industria automotriz Evolution of the use of plastic materials in the automotive industry*. 3(12), 17–27. file:///C:/Users/UISEK/Downloads/928-Texto del artículo-2623-3-10-20190529 (1).pdf
- manija del elevador de vidrios - Búsqueda de Google*. (n.d.). Retrieved October 16, 2020, from

https://www.google.com/search?q=manija+del+elevador+de+vidrios&rlz=1C1CHBD_esEC814EC814&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiWzva0srnsAhURw1kKHe1VCZIQ_AUoAXoECAMQAw&biw=1097&bih=503#imgsrc=OnHjVSE6S5uyhM

Manija Elevavidrios Chevrolet Aveo en venta en por sólo U\$S 8.00 - Ocompra.com Ecuador.

(n.d.). Retrieved May 15, 2020, from <https://www.ocompra.com/ecuador/item/manija-elevavidrios-chevrolet-aveo-425404563/>

Manufacture, 3D. (n.d.). *Filament Pla-Filament Pla Manufacturers, Suppliers and Exporters on Alibaba.com Plastic Rods.* Retrieved July 8, 2020, from

https://www.alibaba.com/premium/filament_pla.html?src=sem_ggl&cmpgn=9774694030&adgrp=98984919839&fditm=&tgt=kwd-31974452311&locintrst=&locphyscl=9069516&mtchtyp=b&ntwrk=g&device=c&dvcmdl=&creative=429215687885&plcmnt=&plcmntcat=&p1=&p2=&acid=&position=&g

Margarita, N., Torres Barba, P., Iliana, M., & Castro, V. (2016). Cesión De Derechos De Autor. In *Socdecoaching.Com*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12672/1/UPS-GT001700.pdf%0A%0A>

Mariano. (2011). Polietileno de alta densidad. *T. Plásticos*, 5.

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polietileno-de-alta-densidad.html>

Mayor, J., & Botero, S. (2016). *Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas*. 56–74. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n20/art05.pdf>

Mercado Libre. (2020). *Juego De Elevadores De Vidrio Manual Del Chevrolet Aveo - U\$S 12,00 en Mercado Libre*. https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-425293202-juego-de-elevadores-de-vidrio-manual-del-chevrolet-aveo-_JM#position=6&type=item&tracking_id=ded0e78b-7b6a-4913-8f88-dd7d150f1e9c

Miguel Ángel Gómez González. (2010). Ensayos De Validación Mecánica. *Scientia et Technica*, 1, 51–65.

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10682/Validaci%C3%B3n_mec%C3%A0nica.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Moreira, M. A. (2005). ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES Y APLICACIONES INDUSTRIALES DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 12 Suppl 1(9), 1–29. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7990-1>

NOTICIAS TOYOTA. (n.d.). *Materiales usados para fabricar un auto | Toyocosta*. Retrieved May 26, 2020, from <http://www.toyocosta.com/blog/materiales-usados-para-fabricar-un-auto/>

OILM. (2011). Medición De Densidad. *Organisation Internationale De Métrologie Légale*, 201083–15, 92. <https://www.oiml.org/en/publications/other-language-translations/spanish/g014-es11.pdf>

OPS. (2020). *OPS/OMS | La OMS caracteriza a COVID-19 como una pandemia*.

https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=15756:who-

characterizes-covid-19-as-a-pandemic&Itemid=1926&lang=es

- Oswaldo, L., & Castillo, J. (2016). Estadísticas. *Cultura, Lenguaje y Representación*, 16(2), 156–157. <https://doi.org/10.6035/clr.2016.16.10>
- Palacios, J. (2002). Estrategias de ponderación de la respuesta en encuestas de satisfacción de usuarios de servicios. *Metodología de Encuestas*, 4(2), 175–194.
- Pesantez, A. E. A. (2019). *UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK*. [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3288/1/Tesis Andres Andrade.pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3288/1/Tesis%20Andres%20Andrade.pdf)
- PLA. (n.d.). *propiedades del pla mecanicas termicas fisicas - Búsqueda de Google*. Retrieved July 7, 2020, from https://www.google.com/search?q=propiedades+del+pla+mecanicas+termicas+fisicas&safe=strict&rlz=1C1CHBD_esEC814EC814&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiboszJ5LzqAhUEc98KHYBqDpAQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1097&bih=507#imgsrc=DTwqCaHUAS6GzM
- Plasticbages. (n.d.). *Tablas con las características técnicas y propiedades del pvc policloruro de vinilo en formato de barras y placas de plasticbages*. Retrieved July 8, 2020, from <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>
- Plásticos, C. E. de. (2020). *Temperatura de reblandecimiento Vicat - Vicat softening point - Température de remollissement Vicat - Formbeständigkeit in der warme nach Vicat | Centro Español de Plásticos*. <https://cep-plasticos.com/es/contenido/temperatura-de-reblandecimiento-vicat-vicat-softening-point-temperature-de-remollissement>
- PLASTICS, B. L. (n.d.). *Cut to size plastic such as Acrylic, Polycarbonate, Perspex & Plastic Fabrication | Bay Plastics Ltd*. Retrieved July 8, 2020, from <http://www.bayplastics.co.uk/>
- Polanco, Á. M. A. (2017). Optimización del Proceso Industrial del Lavado de Vehículos en Ayasa S:A. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Polimeros. (n.d.). *elongación a la ruptura del PC - Búsqueda de Google*. Retrieved July 7, 2020, from https://www.google.com/search?q=elongación+a+la+ruptura+del+PC&safe=strict&rlz=1C1CHBD_esEC814EC814&hl=es&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwimsa-Y37zqAhVnhOAKHSP-DD4Q_AUoAXoECAwQAw&biw=1097&bih=507#imgsrc=3HsX1UAmwUBLyM
- Polit, U., & Catalunya, C. D. E. (1998). *Estudio Estructural De Nylons*. https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6459/02_bermudezHermida_capitol_1.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Ponce, S., & Guerrero, V. (2014). Propiedades Mecánicas De Compuestos Biodegradables Elaborados a Base De Ácido Poliláctico Reforzados Con Fibras De Abacá. *Revista Epn*, 33(2).
- Problema, E. L. (n.d.). *No Title*.

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/10714/2/>“PROPUESTA PARA EL SECTOR AUTOMOTRIZ EN EL FOMENTO 2.pdf

- Propiedades de Flexión*. (n.d.). Retrieved July 1, 2020, from <https://todoenpolimeros.com/2018/08/29/propiedades-de-flexion/>
- Prospector. (n.d.). *Ácido poliláctico (PLA) Propiedades típicas | UL Prospector*. Retrieved July 7, 2020, from <https://plastics.ulprospector.com/es/generics/34/c/t/acido-polilactico-pla-properties-processing>
- Provaggi, E., Capelli, C., Rahmani, B., Burriesci, G., & Kalaskar, D. M. (2019). 3D printing assisted finite element analysis for optimising the manufacturing parameters of a lumbar fusion cage. *Materials & Design, 163*, 107540. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.107540>
- PVC, E. (n.d.). *El PVC (Policloruro de Vinilo)*. Retrieved July 8, 2020, from <https://estudiyensayo.files.wordpress.com/2008/11/pvc.pdf>
- PVC, G. (n.d.). *resistencia al impacto del pvc - Búsqueda de Google*. Retrieved July 8, 2020, from https://www.google.com/search?q=resistencia+al+impacto+del+pvc&safe=strict&rlz=1C1CHBD_esEC814EC814&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjs8r751L7qAhVjkuAKHXhIDHwQ_AUoAXoECAsQAw&biw=1097&bih=507#imgrc=B9aLloaLEXwatM
- QuimiNet.com - Información y negocios segundo a segundo*. (n.d.). Retrieved June 17, 2020, from <https://www.quiminet.com/>
- Ramos, F. (n.d.). *Algunas consideraciones sobre el método de los elementos finitos en la ingeniería mecánica*. Retrieved October 16, 2020, from https://www.academia.edu/21848798/Algunas_consideraciones_sobre_el_método_de_los_elementos_finitos_en_la_ingeniería_mecánica
- Ramos Rivero, V. L. (2018). Evolución del Uso de los Materiales Plásticos en la Industria Automotriz. *INNOVA Research Journal, 3*(12), 17–27. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n12.2018.928>
- Resolucion, L. (n.d.). *El sector automotor*,. https://revistagestion.ec/sites/default/files/import/legacy_pdfs/219_005.pdf
- Romero, C. (1996). *Decisiones Multicriterio*. <https://es.slideshare.net/JacquelineSalvatierra1/analisis-de-las-decisiones-multicriterio-carlos-romero>
- Ruta 401 Teroson, L. (2019). *Artículo técnico: 'Plásticos utilizados en el automóvil'*. <https://blog.reparacion-vehiculos.es/articulo-tecnico-plasticos-utilizados-en-el-automovil>
- STEPHEN WOLFE. (n.d.). *9 criterios para elegir un sistema de CAD en 3D*. 1–8. <file:///C:/Users/UISEK/Downloads/9-criterios-sistema-cad.pdf>
- SE Secretaría de Economía. (2012). *Programa Estratégico De La Industria Automotriz 2012-2020*. 33.

https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/peia_ok.pdf

Seguridad, F. D. E., Diseño, P., Mecánicos, D. E. E., Q, L. C. R., Mecánico, I., & Sc, M. (2007). *Análisis Y Desarrollo De Un Programa De Selección Rápida De*. 35, 255–260.

file:///C:/Users/UISEK/Downloads/Dialnet-AnalisisYDesarrolloDeUnProgramaDeSeleccionRapidaDe-4804105.pdf

SENAE-SENAE-2018-0082-RE – Servicio Nacional de Aduana del Ecuador. (n.d.). Retrieved June 18, 2020, from <https://www.aduana.gob.ec/resolucion/senae-senae-2018-0082-re/>

Serini, V. (2000). Polycarbonates. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. https://doi.org/10.1002/14356007.a21_207

Sicnova. (n.d.). *Materiales para impresión 3D: guía de propiedades y aplicaciones | Sicnova 3D*. Retrieved May 15, 2020, from <https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/materiales-para-impresion-3d-guia-de-propiedades-y-aplicaciones/>

Siemens. (2020). Hoja de Datos. *Siemens Jose Roman Lerma, 800*, 10. <https://doi.org/10.1002/macp.201800087>

Sostenibilidad, S., Rodríguez, J., Espae, P. De, & Zambrano, J. (2017). *ANÁLISIS Y REDACCIÓN Mauro Acebo Plaza, investigador de ESPAE Alexis Nuñez, asistente de investigación de ESPAE SECCIÓN VISIÓN Francisco Rumbear Pavisic, profesor de la Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas de ESPOL*. <http://www.espae.espol.edu.ec/publicaciones/>

Spark, C., Io, G., & Lhd-, G. (2018). *Repuestos chevrolet*. <https://www.chevrolet.com.ec/content/dam/chevrolet/south-america/ecuador/espanol/index/cars/spark-gt/02-pdfs/manual-spark-gt-ecuador.pdf>

Susana Sanchez Restrepo. (n.d.). *Guía completa: plásticos en la impresión 3D - 3DNatives*. 3dNatives. Retrieved May 29, 2020, from <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

Technology, P. (2020). *Autopartes: nuevos materiales redefinen el "rendimiento" : Plastics Technology México*. <https://www.pt-mexico.com/articulos/autopartes-nuevos-materiales-redefinen-el-rendimiento->

Tresdpro. (n.d.). *Materiales para impresoras 3d ▷ la guía mas completa ? [2019]*. Retrieved May 29, 2020, from <https://tresdpro.com/que-material-utilizan-las-impresoras-3d/>

Ultimaker. (2011). *Materiales de impresión 3D para aplicaciones profesionales | Ultimaker*. <https://ultimaker.com/es/materials>

UNIVERSO, E. (n.d.). *Emergencia por COVID-19 mantiene a ensambladoras de vehículos paralizadas | Política | Noticias | El Universo*. Retrieved May 13, 2020, from <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/04/07/nota/7806726/industria-vehiculos-ensambladoras-coronavirus-emergencia-cinae>

Value, I. I. for B. (n.d.). *Industria automotriz 2030*.

<https://www.ibm.com/downloads/cas/RJPV6PGA>

Verónica Paulina García Lozano. (2016). *UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA CORPORATIVA PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ ECUATORIANA , CASO AYMESA S . A . AUTORES : Verónica P.*

<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1412/1/T-UIDE-1103.pdf>

Vlado Vukasovic Herrero, T. (2018). *TERMOPLÁSTICO FABRICADAS MEDIANTE IMPRESIÓN 3D*. 125.

https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/22395/Vukasovic_Tomás.pdf?sequence=1

www.of3lia.com. (2019). *Pasos para Selección de mallado impresión 3D - Búsqueda de Google*.

https://www.google.com/search?q=pasos+para+Selección+de+mallado+impresión+3D&safe=strict&rlz=1C1CHBD_esEC814EC814&hl=es&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiOz92KylvqAhViUd8KHU2PAMYQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1097&bih=535#imgrc=CSKT hJ8hyXjN_M

Anexos

Link de video de simulaciones

<https://www.youtube.com/watch?v=Qp8P8kdmoHI>