UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D, MODELADO DE FUSIÓN POR DEPOSICIÓN (FDM) Y TECNOLOGÍA POLYJET, APLICADA A LA FABRICACIÓN DE CONDUCTOS DE AIRE DE LA CAMIONETA TOYOTA STOUT 2200

Bryan Jhon Briceño Martínez

Nota del autor

Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Director PhD. Edilberto Llanes Cedeño

Codirector Ing. Gustavo Moreno Mgs.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

bbriceno.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Bryan Jhon Briceño Martínez, con cédula de identidad 1104812902, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente

presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

BRYAN JHON BRICEÑO MARTÍNEZ

C.I.: 110481290-2

Indice

Declaración Juramentada **1**
Indice **3**
Lista de Figuras **5**
Lista de Tablas **7**
Lista de Ecuaciones **8**
Dedicatoria **9**
Glosario **10**
Resumen **12**
Abstract **13**
Introducción **14**
Antecedentes 14
Planteamiento del Problema 17
Justificación 20
Objetivo 22
Estudio del arte 23
Método **39**
Tipo de Estudio 39
Modalidad de investigación 39
Metodología **40**
Materiales y Equipos 42
Diseño e Implementación 49
Resultados **52**
Informe Diseño CAD Ducto de Aire 52
Cálculo del flujo de Aire Proveniente del ventilador 55
Consideraciones en la Simulación 57
Comparaciones mediante Análisis Computacional 60
Comparación mediante Análisis Estructural de 3 Materiales (Polipropileno, ASA, y VeroWhitePlus RGD 835) 62
Polipropileno Material Base del Conducto de Aire 67
Informe de Ensayos de Tracción Materiales Poliméricos ASA 68
Informe de Ensayos de Flexión Materiales Poliméricos ASA 73
Informe de Ensayos de Tracción Materiales Poliméricos **VeroWhitePlus TM**835 80
Informe de Ensayos de Flexión Materiales Poliméricos **VeroWhitePlus TM**835 86

Resultados Estadísticos 93
Comparación de Muestras, Resistencia Máxima a la Tracción 95
Comparación de Muestras, Resistencia de Rotura a la Tracción 97
Comparación de Muestras, Esfuerzo Máximo a la Flexión 98
Comparación Deformación Máxima a la Flexión 100
Análisis de Costos 103
Resultado final de la Fabricación del conducto de aire Automotriz 104
Discusión 106
Conclusiones 108
Recomendaciones 109
Bibliografía 110
ANEXOS 112

Lista de Figuras

Figura 1. Máquina de desgaste tipo Ball-on-Flat fabricado por manufactura aditiva. 15
Figura 2. Propulsor eléctrico para embarcaciones livianas. El propulsor lleva el motor eléctrico en su parte inferior, pegado a la hélice. Izquierda: Imagen de quilla fabricada.....17
Figura 3. Ventas históricas enero – febrero.....18
Figura 4. Mordazas y probeta tipo halterio realizadas para ensayos de tracción. 23
Figura 5. Fuerzas Partícipes en los ensayos de Flexión. 24
Figura 6. Mordazas para ensayo de compresión y probeta tipo disco.....25
Figura 7. Prototipo volante de dirección del monoplaza.....30
Figura 8. Volante de dirección del monoplaza Ford GT. 31
Figura 9. Elemento constituyente de la bomba de agua de la marca BMW. 32
Figura 10. Vehículo Stati manufacturado mediante impresión 3D.. 32
Figura 11. Flujo de aire existen dos regímenes de vuelo: laminar y turbulento 34
Figura 12. Vórtice principal 36
Figura 13. Entrada y salida del flujo de aire. 37
Figura 14. Líneas de corriente de velocidad 39
Figura 15. Acrilonitrilo estireno y acrilato.....45
Figura 16. Acrilonitrilo estireno acrilato.....45
Figura 17. Metrotec Serie MTE50, Máquina de Ensayos Universales. 46
Figura 18. Máquina de impresión 3D, Tecnología PolyJet, Object 30 PRO. 47
Figura 19. Impresora 3D Fortus 900 mc. 48
Figura 20. Siemens Nx 11.0.....49
Figura 21. Representación de la probeta utilizada en el ensayo de tracción (mm).....51
Figura 22. Representación de la probeta utilizada en el ensayo de flexión (mm) 51
Figura 23. Probetas impresas en 3D para ensayos a Tracción 51
Figura 24. Probetas impresas en 3D para ensayos a Flexión. 52
Figura 25. Ducto de Aire, Camioneta Toyota Stout 2200.....52
Figura 26. Conducto de Aire diseñado, Software Siemens Nx11.0.....53
Figura 27. Vista Superior Conducto Ensamblado Fuente: Autor.....53
Figura 28. Toma del conducto de aire Fuente: Autor 54
Figura 29. Vista Inferior Conducto Ensamblado 54
Figura 30. Vista Izquierda Conducto Ensamblado.....54
Figura 31. Vista Atrás conducto Ensamblado.....55
Figura 32. Ingresado Ensamble en archivo STP 57
Figura 33. Malla con un JACOBIANO de 1. 58
Figura 34. Ingreso a ANSYS CFD.....58
Figura 35. Condiciones de borde con velocidades de ingreso de 1.5 m/s 59
Figura 36. Modelo matemático, turbulencia k épsilon Fuente: Autor 59
Figura 37. Procesamiento de Datos. 59
Figura 38. Presión de la toma del ducto. 60
Figura 39. Velocidad del Ducto en el plano X. 60
Figura 40. Velocidad del ducto en el plano Y. 61
Figura 41. Velocidad del ducto en el plano Z. 61
Figura 42. Valor máximo del Esfuerzo de Von Mises 0,19617 MPa. 63
Figura 43. Valor máximo de la deformación total 0,058603 mm. 64

Figura 44. Valor máximo del Esfuerzo de Von Mises 0,19617 MPa. 65
Figura 45. Valor máximo de la deformación Total 0,32444 mm.....65
Figura 46. Valor máximo del Esfuerzo de Von Mises 0,19572 MPa. 66
Figura 47. Valor máximo de la deformación total 0,13266 mm. 66
Figura 48. Proceso de ensayo a tracción material ASA. 69
Figura 49. Resultado del ensayo a tracción, material ASA.....70
Figura 50. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga, material ASA. ...70
Figura 51. Proceso de ensayo a flexión, material ASA.....75
Figura 52. Resultado del ensayo a flexión, material ASA. 75
Figura 53. Resultados Gráficos del ensayo de flexión sometidos a Fuerza, material ASA. ..76
Figura 54. Proceso de ensayo a tracción material VeroWhitePlus TM835.. 82
Figura 55. Resultado del ensayo a tracción material VeroWhitePlus TM835. 82
Figura 56. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga. material VeroWhitePlus TM835. 83
Figura 57. Proceso de ensayo a flexión, material VeroWhitePlus TM835. 88
Figura 58. Resultado del ensayo a flexión, material VeroWhitePlus TM835. 88
Figura 59. Resultados Gráficos del ensayo de flexión sometidos a Fuerza, material VeroWhitePlus TM835. 89
Figura 60. Diagrama de bigote de la Resistencia Máxima de Tracción en Tratamientos. 96
Figura 61. Diagrama de bigote de la Resistencia de Rotura a la Tracción en Tratamientos...98
Figura 62. Diagrama de bigote de Esfuerzo Máximo a la Flexión. Comparación Deformación Máxima a la Flexión 100
Figura 63. Diagrama de bigote de Deformación Máxima a la Flexión. 102
Figura 64. Prototipo final Conducto de Aire 105

Lista de Tablas

Tabla 1 *Técnicas de Prototipos Rápidos existentes en el mercado mundial* 27
Tabla 2 *Comparación de Tecnologías PolyJet, FDM y Estereolitografía* 29
Tabla 3. *Modelos de Turbulencia* 35
Tabla 4 *Comparación de Materiales existentes en el mercado Nacional pertenecientes a la Tecnología FDM.* 42
Tabla 5 *Comparación de materiales existentes en el mercado Nacional pertenecientes a la Tecnología PolyJet* 43
Tabla 6 *Comparación de materiales para la fabricación del conducto final.* 44
Tabla 4 *Dimensiones de la Probeta de tracción según la Norma ASTM D638-14, Tipo I* 50
Tabla 5. *Datos Ingresados en la simulación* 62
Tabla 6. *Propiedades mecánicas y eléctricas del polipropileno* 67
Tabla 7. *Datos Informativos* 68
Tabla 8. *Número de Probetas Cuantificadas.* 68
Tabla 9. *Especificaciones previas a ensayos.* 69
Tabla 10. *Informe de Ensayo a tracción del material ASA* 71
Tabla 11. *Continua, Informe de Ensayo a tracción del material ASA* 72
Tabla 12. *Propiedades Mecánicas, Especificaciones técnicas Stratasys* 73
Tabla 13. *Datos Informativos* 74
Tabla 14. *Número de Probetas Cuantificadas.* 74
Tabla 15. *Especificaciones previas a ensayos* 74
Tabla 16. *Informe de Ensayo a flexión del material ASA.* 76
Tabla 17. *Continua,, Informe de Ensayo a flexión del material ASA.* 78
Tabla 18. *Propiedades Mecánicas, Especificaciones técnicas Stratasys* 78
Tabla 19. *Datos Informativos* 80
Tabla 20. *Número de Probetas Cuantificadas.* 80
Tabla 21. *Especificaciones previas a ensayos.* 81
Tabla 22 Informe de Ensayo a tracción del material ***VeroWhitePlus TM***835. 83
Tabla 23 *Continua, Informe de Ensayo a tracción del material* ***VeroWhitePlus TM****85* 85
Tabla 24. *Propiedades Mecánicas, Especificaciones técnicas Stratasys* 85
Tabla 25. *Datos Informativos* 86
Tabla 26. *Número de Probetas Cuantificadas.* 86
Tabla 27. *Especificaciones previas a ensayos* 87
Tabla 28. *Informe de Ensayo a flexión del material* ***VeroWhitePlus TM****835.* 90
Tabla 29. *Continua, Informe de Ensayo a flexión del material* ***VeroWhitePlus TM****835.* 91
Tabla 30. *Propiedades Mecánicas, Especificaciones técnicas Stratasys* 91
Tabla 31 *Comparación de propiedades Mecánicas, materiales: Polipropileno, VeroWhitePlus RDG835, ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato)* 93
Tabla 32. *ANOVA, Comparación de diferencia entre grupos* 95
Tabla 33. *Resistencia Máxima a la Tracción. Grupo Homogéneo* 95
Tabla 34. *Comparación entre tratamientos* 96
Tabla 35 *ANOVA, Comparación de diferencia entre grupos.* 97
Tabla 36. *Resistencia de Rotura a la Tracción. Grupo Homogéneo* 97
Tabla 37. *Comparación entre tratamientos* 97
Tabla 38. *ANOVA. Comparación de diferencia entre grupos* 99

Tabla 39. *Resistencia de Esfuerzo Máximo a la Flexión. Grupo Homogéneo* 99
Tabla 40. *Comparación entre tratamientos* 99
Tabla 41. *ANOVA. Comparación de diferencia entre grupos* 100
Tabla 42. *Resistencia de Deformación Máxima a la Flexión. Grupo Homogéneo* 101
Tabla 43. *Comparación entre tratamientos* 101
Tabla 44 *Costos Estimados* 103

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 *Número de Reynolds* 33
Ecuación 2. *Número de Reynolds* 33
Ecuación 3. *viscosidad cinemática del fluido* 34
Ecuación 4. *Ecuación relación de Flujo de Masa de un fluido* 55
Ecuación 5**.** *Flujo volumétrico de aire* 56

Dedicatoria

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Bryan Briceño

Glosario

AM - Fabricación de aditivos

FDM - Modelado de deposición por fusión

SLA - Estereolitografía

MJM - Modelado multi-jet

EBM - Fusión de haz de electrones

SLS - Sinterización láser selectiva

DMLS - Direct Metal Sinterización por láser

BI - Binder jetting

LMD - Depósito de metal láser

CFD- Dinámica de Fluidos Computacional

DOE - Diseño de experimentos

ASTM - Asociación Americana de Ensayo de Materiales.

Evaluación de las tecnologías de impresión 3D, Modelado de Fusión por Feposición (FDM) y Tecnología PolyJet, aplicada a lafabricación de conductos de aire de la camioneta Toyota Stout 2200.

Resumen

La presente investigación se basó en la manufactura aditiva de impresión 3D, aplicada a la construcción de ductos de aire automotriz evaluando dos tecnologías de impresión tales como: Modelado de Fusión por Deposición y Tecnología PolyJet, debido que el mercado nacional automotriz, no se encuentran disponibles ductos de aire de la camioneta toyota stout 2200, por consiguiente, se procede a copiar el ducto original a través de ingeniería inversa, con la finalidad de fabricar un ducto de aire, garantizando una adecuada utilización de materiales para impresión en 3D.

Para el proceso de fabricación se considera los objetivos específicos como, el análisis y comparación de materiales como: acrilonitrilo estireno acrilato (ASA) y VeroWhitePlus RGD 835, basados en ensayos mecánicos tracción, flexión, como tambien análisis estructural y CFD.

La metodología se basa en un enfoque cuantitativo, de la fabricación aditiva para llegar a una investigación descriptiva y experimental, se emplearon una serie de técnicas e instrumentos, basados en normas como la ASTM, para la evaluación de los distintos materiales, para su posterior impresión en 3D.

Para la fabricación y validación del ducto de aire se utilizó un analisis estructural comparando los diferentes materiales según los objetivos planteados. De esta manera se pudo concluir que el material VeroWhitePlus RGD835 cumple con las mejores prestaciones tanto mecánicas como estructurales, para la fabricación de ductos de aire.

Palabras Clave: Impresión 3D, CFD, ASTM , RGD

Abstract

The present research was based on the manufacture of 3D printing, developed a construction of automotive air ducts that evaluated printing technologies such as: Fusion Modeling by PolyJet placement and technology, due to, in the domestic automotive market, In the air tubes of the toyota stout 2200 pickup truck, by the current, the process is to copy the original duct through reverse engineering, in order to manufacture an air duct, guaranteeing an adequate use of materials for Printing in 3D.

For the manufacturing process, specific objectives are considered, such as the analysis and comparison of materials such as: acrylonitrile styrene acrylate (ASA) and VeroWhitePlus RGD 835, based on mechanical tensile, flexural and structural analysis and CFD tests.

The methodology was based on a quantitative approach, from the manufacture of the aid to arrive at a descriptive and experimental research, used a number of techniques and instruments, based standards such as ASTM, for the evaluation of various 3D printing materials .

For the manufacture and validation of the air duct an analog analysis is used comparing the different materials according to the stated objectives. In this way it was possible to conclude that the material VeroWhitePlus RGD835 complies with the best mechanical and structural performance for the manufacture of air ducts.

Keywords: 3D Printing, CFD, Simulation, Rapid Prototype

Introducción

Antecedentes

La impresión 3D inicia en el año de 1984, por Charles Hull, quien experimento con resinas liquidas las cuales se solidifican con la exposición a la luz ultravioleta, está luz es un rayo de láser la cual consigue en una solidificación de ciertas partes de la resina, para así desarrollar un sistema que dibujaba un objeto capa por capa en una bandeja de resina líquida. El rayo dibujaba el patrón del corte transversal en el área de la resina y una vez solidificado el patrón, la batea se procedía cortando sesgadamente la superficie de la resina y solidificando el patrón, la batea descendía un poco para sumergir la capa ya dibujada y empezar a delinear el patrón en la siguiente capa. Así, fundando una capa sumada a la otra, la máquina de Hull logró imprimir un objeto en tres dimensiones. En 1986, Hull alcanzó la patente de su nuevo proceso, al que le citó Estereolitografía y fundó la empresa 3D Systems, en la actualidad está entre las líderes mundiales de las actividades comerciales en impresoras 3D. (Vazhnov, A. 2013)

Desde 1986, muchos hechos tecnológicos de impresión 3D fueron inventadas. Existen las que licúan titanio con láser; las que aplican solución adhesiva sobre polvo de plástico o madera; las que usan “tinta biológica” para imprimir órganos como tejidos o también chocolate. El calificativo técnico para la impresión 3D es la Tecnología de Manufactura Aditiva. Las tecnologías aditivas aplican archivos estándares en el formato STL para mandar la impresora y que edifique el objeto, el formato STL representa el objeto digitalmente, y las herramientas de software permiten al usuario agrandar, reducir, duplicar o hacer otro tipo de alteraciones y arreglos directamente en la computadora. La impresión 3D es una técnica de innovación por la cual su aplicación en el uso automotriz es favorable con respecto a tiempos de fabricación comprando con técnicas de inyección. Una vez que el usuario tiene el objeto configurado de la forma codiciada, el software lo divide en una serie de capas evidentemente

una serie de fotos de cada capa y la computadora guía a la impresora para fundar el objeto sumando una capa cubierta a la otra (Vazhnov, A. 2013).

Un trabajo realizado por un grupo de ingenieros propuso "Manufactura aditiva como instrumento de fabricación de una máquina *ball-on-flat*, perteneciente a la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones. Juan Manuel de Rosas 325, (3360) Oberá, Misiones, Argentina. (Vazhnov, A. 2013). En la cual se expone las etapas concernientes al desarrollo y fabricación de una máquina de desgaste tipo *Ball-on-Flat* (figura 1*)*. Gran parte de los componentes estructurales se fabricó mediante el método de manufactura aditiva de impresión 3D. Se procedió a diseñar la máquina tipo *ball-on-flat* que permita realizar ensayos de desgaste, en condiciones de velocidad y fuerza variables.

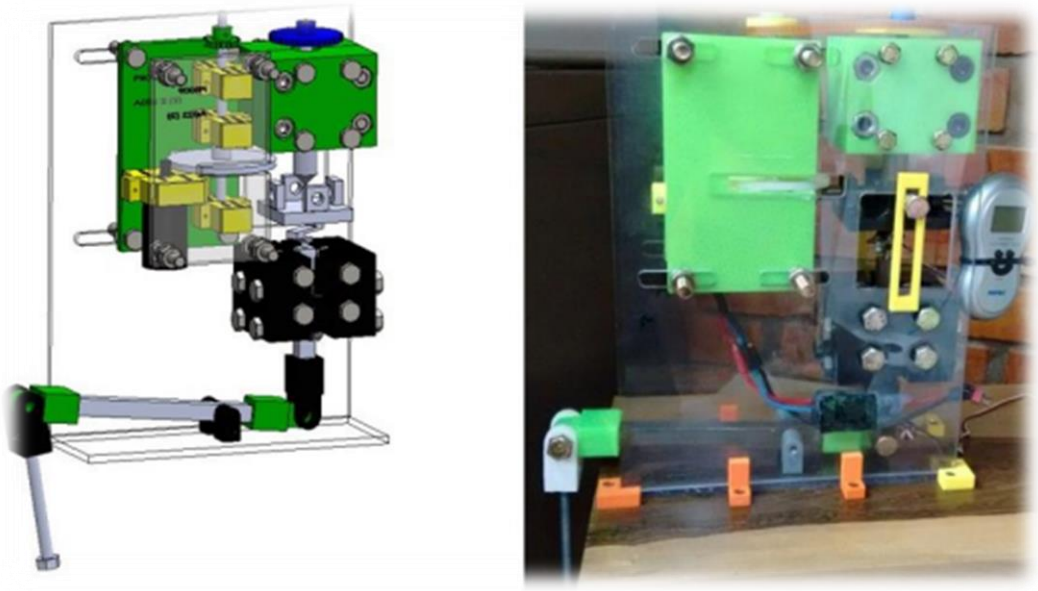


Figura 1. Máquina de desgaste tipo Ball-on-Flat fabricado por manufactura aditiva.
Fuente: (Yasnikowski, M. E., Rebak, E. A., Rodríguez, C. M., & González, 2016)

Mediante software de diseño asistido por computadora (CAD) se diseñaron los elementos de máquina y a través de un análisis de ingeniería se determinaron aquellos que fueran factibles de ser fabricados mediante impresión 3D, la cual permite lograr geometrías complejas, con reducido desperdicio de material y un aceptable grado de control del proceso.

Como resultado se consiguió una máquina de desgaste capaz de trabajar de manera estable en condiciones variables de funcionamiento, evitando incurrir en la dificultad y altos costos de adquirir un equipo similar en el mercado. Las tolerancias lineales de la impresora empleada pudieron definirse según normas ISO UNI EN 20286-I (1995) y norma DIN 16901. (Yasnikowski, M. E., Rebak, E. A., Rodríguez, C. M., & González, 2016)

En el Laboratorio de Nanotecnología Impresión 3D, NEWSLETTER, publicó, Impresión 3D de repuesto de quilla para propulsor eléctrico de embarcaciones. En la Modelización se creó un modelo tridimensional de la quilla, por medio de un escáner 3D, se prosiguió en medir todas las dimensiones de la quilla, con una precisión de 0.1 mm, usando un pie de rey, Los datos de medición fueron integrados en un programa de diseño 3D libre, denominado Freecad.

El uso de software libre para el diseño se evidencia por la necesidad de reducir costos, y evitar a largo plazo cualquier dependencia de proveedores de software comerciales. Fabricación 3D La fabricación de la quilla se realizó mediante el método de deposición de filamento fundido, utilizando ABS como material. El objeto fue fabricado mediante la deposición de 350 capas individuales, con un espesor de 0.05 mm por capa.

Se realizaron dos enfoques diferentes para la fabricación. En un primer intento, se prosiguió a fabricar la quilla de una sola pieza, depositando las capas individuales en dirección perpendicular al eje de la quilla. (Rodríguez, R., Hernández, A., & Rainer, C. 2015).

La producción con este método resultón en una quilla estable, y de peso inferior a la pieza original, ya que se optó por un relleno de 40 % de volumen (figura 2).

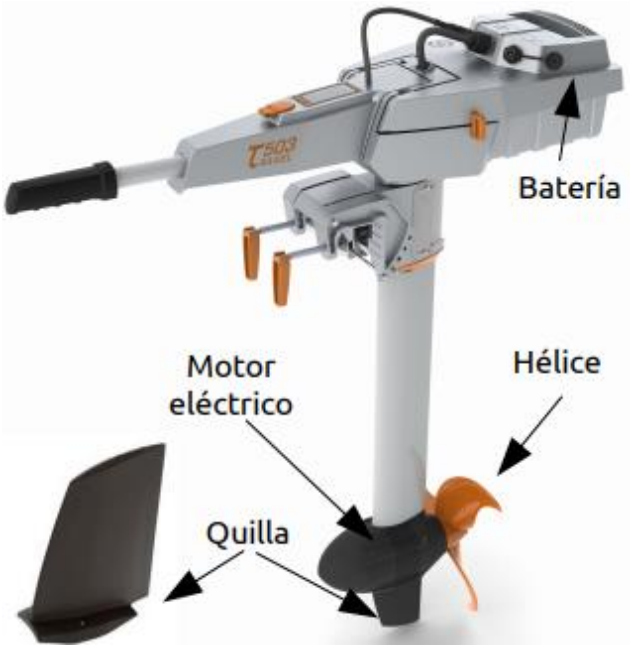


Figura 2. Propulsor eléctrico para embarcaciones livianas. El propulsor lleva el motor eléctrico en su parte inferior, pegado a la hélice. Izquierda: Imagen de quilla fabricada

Planteamiento del Problema

El mercado automotriz se ha convertido en una de las industrias más importantes de la era moderna; su importancia radica en el efecto social y económico que provoca (Jiménez Sánchez, J. E., 2006). A escala nacional, las agilidades relacionadas al sector automotriz generan un importante número de plazas de empleo. Según el compromiso a información del Censo Económico 2010 se tienen 90.012,00 personas ocupadas, de las cuales el 83 % son hombres y el 17 % mujeres. En los corporaciones de Comercio se encuentran ocupadas 84.155,00 personas, en Manufactura 5.194,00 y en Servicios 663,00 (Pro Ecuador, 2017).

A pesar que el mercado de vehículos se ha mantenido estable los últimos siete meses, las ventas de vehículos de enero-febrero en 2017 fueron 30% menos que el promedio histórico. (figura 3). Genaro Baldeón, Presidente Ejecutivo de la AEADE, sostiene que:

"comparar las ventas con los primeros meses del 2016, no permite tener una visión certera sobre el estado del sector automotor" (AEADE, 2017)

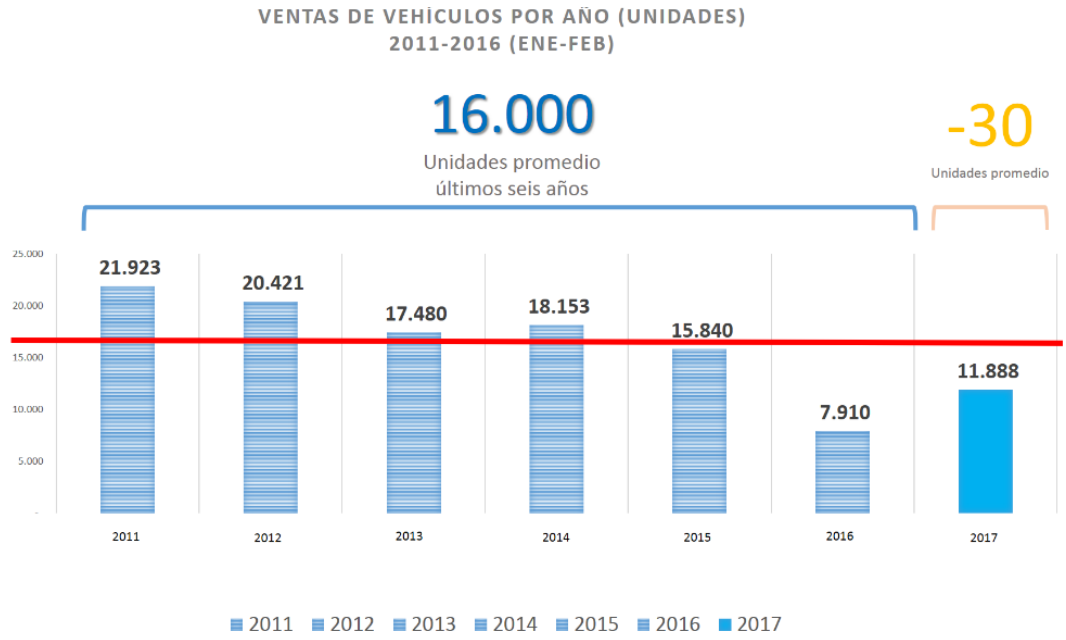


Figura 3. Ventas históricas enero – febrero. *Fuente:* (AEADE, 2017)

Se adquiere un promedio de ventas histórico de los últimos 6 años que es 16.900 unidades para el primer bimestre del año, las ventas de enero-febrero en 2017, son 30 % menos que el promedio histórico.

Debido a la situación económica actual que vive el país, sumado el decrecimiento en general de las ventas del sector automotriz, el Gobierno Nacional ha tomado ciertas medidas económicas para hacer frente a la crisis, una de estas medidas ha sido la limitación a la transacción de vehículos y autopartes. De esta manera a partir del 1 de enero de 2015 entró en vigencia la resolución 049-2014 del Comité de Comercio Exterior (COMEX), con la cual se aprobó un nuevo régimen de cupos tanto para la importación de vehículos como para las partes o CKD (Kit para ensamblaje), lo que significa una reducción aproximada de un 55%.

El cupo de vehículos y CKD no corre solo para montos de importación sino también para el número de unidades.

El Ministerio de Industrias y Productividad, en coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Provinciales y con Universidades estatales ha

efectuado en Centros de Desarrollo Empresarial y Apoyo al Emprendimiento (CDEAE) en todo el región nacional, cuyo objetivo general es promover la cultura emprendedora, en el cuidado del medio ambiente, la mejora económico local, como materiales de apoyo para que la comunidad cree iniciativas de negocios como oportunidades de desarrollo en la industria automotriz nacional y de mano el impulso que intenta dar el Gobierno Central al cambio de matriz productiva (Escobar, C.,2016)., por lo tanto se busca mediante esta investigación promover la fabricacion de conductos de aire automotriz por medio de Impresión 3D debido al tiempo de fabricación, menos material de desecho, réplicas exactas, no se necesita ensamblar, y posee infinitos materiales de impresión, esto con el fin de abastecer al mercado autopartista, crear las mejores tecnologias de prototipos para uso automotriz, hechas en Ecuador y así poder producir autopartes que sean exportadas con altos estándares de calidad.

Ante lo expuesto anteriormente se ve la necesidad de crear técnicas de manufactura aditiva, tales como Tecnología de Modelado de Fusión por Deposición y Tecnología PolyJet, la mejor tecnología aditiva que cumpla con las cualidades técnicas será utilizada para la producción de conductos de aire automotriz, la cual se proporciona al mercando Nacional una nueva técnica de fabricación de Autopartes plásticas, ya que en el mercado autopartista los conductos de aire del vehículo Toyota Stout 2200 tienen una escasa disponibilidad debido a que no se fabrican accesorios interiores de dicho vehículo y por el año que presentan, las unidades existentes en la Provincia de Pichincha son 6000 unidades (informe ANT, 2017), sin tomar en cuenta las provincias de la sierra central y de frontera ya que este vehículo sobre sale por su capacidad de trabajo. Por lo tanto, se describe la formulación del problema.

¿Se podrá fabricar conductos de aire automotriz evaluando tecnologías de impresión 3D tales como: ¿Modelado de Fusión por Deposición y Tecnología PolyJet, para la creación de autopartes tales como conductos de aire y su uso en la industria autopartista nacional?

Justificación

La industria automotriz juega una relación importante en el adelanto económico del país aporta con $400 millones de dólares aproximadamente, según datos de Pro Ecuador en su Análisis del Sector Automotriz realizado en el 2013 (Inversiones, Análisis del sector automotriz, 2013). Al mismo tiempo este sector tiene un gran impacto en la generación generando fuentes de trabajo a lo largo de su serie de producción desde el ensamble hasta la distribución, venta, mantenimiento y reparación.

Según el Censo Nacional Económico de 2010, a escala nacional, existían 29.068,00 establecimientos económicos dedicados a actividades de comercio automotor; 70% corresponde a establecimientos que realizan mantenimiento y reparación de vehículos automotores y el 30% restante se dedica a la venta de partes, piezas y accesorios de vehículos automotores, venta al por menor de combustibles y venta de vehículos. (Pinta, 2012).

La industria Nacional fabricante de autopartes ofrece varios artículos en el mercado de los cuales se pueden citar los siguientes. (Pro Ecuador, 2017).

- Llantas y neumáticos, radiales y convencionales, para auto, camioneta y camión. Moquetas termoformadas y planas, ínsonorizantes para piso, techo, motor y capó.
- Asientos para vehículos: individuales, delanteros y posteriores.
- Forros y tapicería para asientos de vehículos.
- Materiales de fricción para frenos automotrices y productos relacionados con el sistema de frenos y embragues.
- Silenciadores y sistemas de escape automotriz.
- Vidrios y parabrisas para automóviles.
- Hojas y paquetes de resortes o muelles de ballestas.
- Filtros de combustible para línea automotriz.
- Ensamble de auto: radios y fabricación de arneses de cables para sistemas de audio.

- Acumuladores de batería.

En este estudio se va a determinar la oportunidad existente en el mercado nacional (Ecuador) con el fin de sustituir autopartes importadas por autopartes fabricadas localmente, por medio del número de conductos de aire que se encuentre en demanda en el mercado automotriz, para la fabricación del conducto de aire se procederá a evaluar dos materiales de Tecnologías de impresión 3D, tales como Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA), y VeroWhitePlus RGD835, que serán caracterizados por medio de ensayos mecánicos como: tracción y flexión.

De acuerdo a lo antes expuesto, la importancia de esta investigación radica en analizar de manera general las tecnologías en 3D de las industrias autopartistas, las oportunidades de desarrollo, producción y comercialización de autopartes, serán compensadas por manufactura aditiva, aportando a la industria automotriz, con soluciones de impresión 3D.

Para lograr una muestra de análisis se toma en cuenta la demanda de autopartes en la ciudad de Quito, los lugares a analizar serán: casas comerciales Toyota, venta de accesorios multimarca, pedidos vía internet, lo cual se refleja una escasa venta de conductos de aire del vehículo Toyota Stout 2200.

De esta manera se puede evidenciar la situación actual en el mercado antes de la aplicación de las restricciones a las importaciones de vehículos y autopartes; y el efecto que esta medida tiene en el mercado. La investigación y ejecución de este estudio, va a ser efectuado en el Ecuador, en el periodo de mayo a Julio del 2017.

El modelo de la Autoparte será de la camioneta Toyota Stout 2200, mediante las tecnologías de impresión 3D: Modelo de Fusión por Deposición y PolyJet, el cual se caracterizará al material y según resultados se determinará el material idóneo y se establecerá estándares basados en el reglamento actual, para una posible fabricación.

Se proyecta, además, generar el conocimiento sobre la Impresión 3D que permita en el futuro dinamizar el estudio de fabricación aditiva y llegar a comercializar autopartes en serie.

Objetivo

Evaluar las tecnologías de impresión 3D: Modelado de fusión por deposición (FDM) y Fabricación Aditiva (PolyJet), a partir de la modelación y fabricación de probetas, con materiales: Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA) y VeroWhitePlus RGD83, para la aplicación en la fabricación de conductos de aire automotriz.

Para desarrollar este objetivo principal se definen objetivos específicos:

Analizar los materiales Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA) y VeroWhitePlus RGD83, a partir de ensayos mecánicos como: Tracción (ASTM D 638-14), y Flexión (ASTM D 790).

Comparar propiedades mecánicas de los materiales como: Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA) presentes en la tecnología Modelado de fusión por deposición (FDM) y VeroWhitePlus RGD83, Tecnología PolyJet.

Seleccionar el material adecuado presente en la manufactura aditiva, determinando la mejor resistencia a la tracción y flexión, verificando propiedades afines al conducto original.

Realizar un estudio de fluido dinámico computacional (CFD), por medio del software Siemens NX 11.0, y Workbench ANSYS 18.0 detallando puntos críticos en la cavidad del conducto de aire.

Comparar los diferentes materiales de impresión 3D por medio de una simulación Estructural, por medio del software Siemens NX 11.0, y Workbench ANSYS 18.0

Construir a través de la Manufactura Aditiva el conducto de aire automotriz del vehículo Toyota Stout 2200.

Estudio del arte

Las propiedades mecánicas de los polímeros obedecen, principalmente, de su composición, estructura y condiciones de procesado. Existen otros factores que influyen en las mismas como el tiempo y la temperatura. (Beltrán, M. I., 2011).

Los aparatos para realizar los ensayos de tracción constan de un brazo fijo y uno móvil, uno y otro dotados con unas mordazas donde se estancan las probetas. Los brazos se separan a una velocidad constante mientras se establece la carga y la extensión. Las probetas que se emplean en los ensayos de tracción habitualmente se preparan mediante inyección o compresión, o igualmente se pueden obtener recortándolas de zonas planas de las piezas ya transformadas. Las probetas corresponden a tener unas dimensiones normalizadas, que pueden variar según su uso. En la (figura 4) se indican mordazas y una probeta de tipo halterio. (Beltrán, M. I., 2011).

La velocidad a la que se ejecuta el ensayo es muy sustancial. Corrientemente se emplean velocidades de separación de las mordazas contiguas a 50 mm/min. A velocidades de deformación lentas las moléculas pueden aguantar cambios de ordenación u orientarse en la dirección del esfuerzo aplicado, de modo que presentan mayor tenacidad y elongación a la rotura que a velocidades altas. (Beltrán, M. I., 2011).

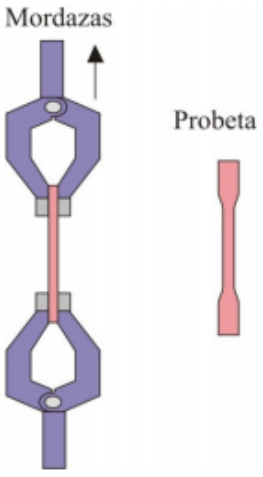


Figura 4. Mordazas y probeta tipo halterio realizadas para ensayos de tracción.
Fuente: Beltrán, M. I., 2011

Los ensayos de flexión son la resistencia a la flexión de un material que se lo describe como la capacidad para soportar fuerzas aplicadas en su eje longitudinal. Los esfuerzos inducidos por una carga de flexión son realmente una combinación de esfuerzos de tracción, compresión y cizalla, como se indica en la (figura 5). Las posesiones de flexión se calculan teniendo en cuenta el esfuerzo y la deformación que se producen en la superficie externa de la probeta empleada. (Beltrán, M. I., 2011).

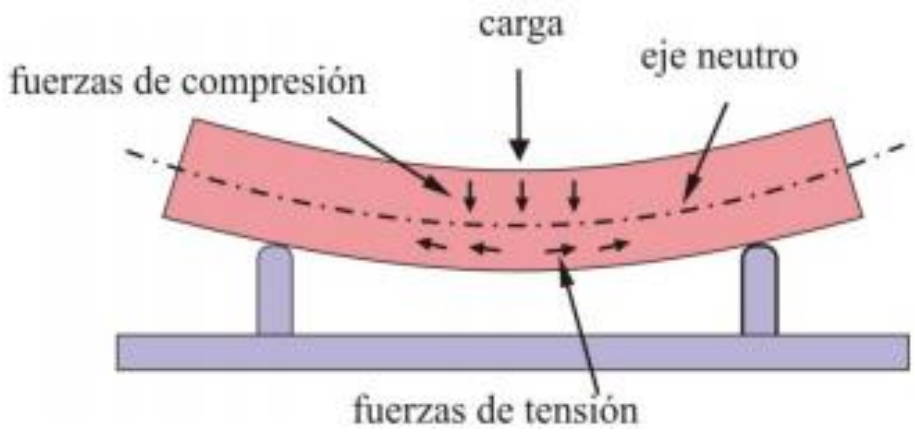


Figura 5. Fuerzas Partícipes en los ensayos de Flexión
Fuente: Beltrán, M. I., 2011.

Las probetas empleadas en los ensayos de flexión son paralelepípedos de material y presentan la ventaja sobre las de tracción de que son más fáciles de preparar dada su forma, además el alineamiento de las probetas en el equipo es mucho más sencillo y no provocan concentración de esfuerzos en ciertos puntos, como puede ocurrir en los ensayos de tracción. (Beltrán, M. I., 2011).

La técnica más empleada para realizar los ensayos de flexión consiste en un sistema de tres puntos de carga. La probeta de sección rectangular se apoya en dos soportes y la carga se realiza con un puntero situado entre los soportes, como se indica en la figura 5. El valor logrado para el módulo en ensayos de flexión puede concordar en ocasiones con el módulo obtenido en ensayos de tracción. (Beltrán, M. I., 2011).

En aquellos polímeros que se cortan en un ensayo de compresión, la resistencia a la compresión tiene un valor definido, no obstante, en algunos casos, los polímeros se siguen deformando hasta que forman una lámina muy delgada sin que se produzca una fractura bien definida. En estos casos la resistencia a la compresión lograda del ensayo no proporciona un valor claro. El aparato empleado en los ensayos de compresión es prácticamente la misma que se emplea en los ensayos de tracción; sólo cambia el carácter de las mordazas y la dirección en la que se emplea el esfuerzo (figura 6). Las probetas empleadas para este tipo de ensayos suelen ser láminas rectangulares o discos. (Beltrán, M. I., 2011).

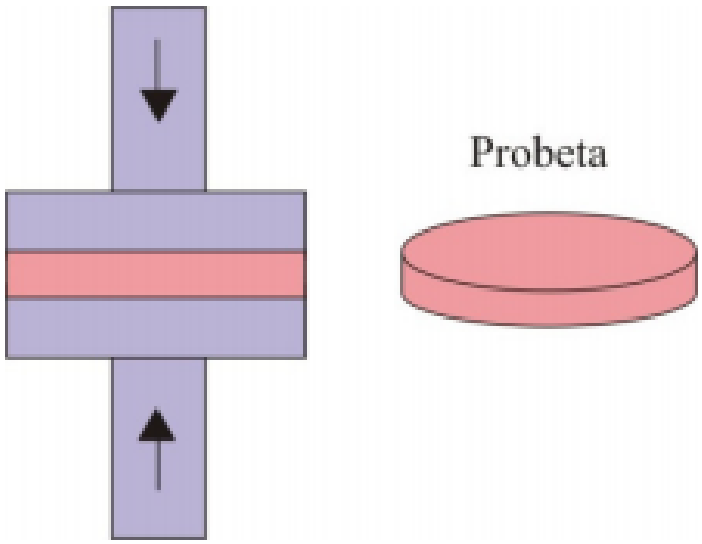


Figura 6. Mordazas para ensayo de compresión y probeta tipo disco.

Fuente: Beltrán, M. I., 2011.

El modelado 3D desarrolla un avance con proceso CAD ya que es un requisito previo general en los procesos de Fabricación Aditiva y suele ser la parte más lenta de toda la cadena de proceso. Es muy importante que los modelos geométricos en 3D puedan ser compartidos por todo un equipo de diseño para diferentes propósitos, tales como: estudios de análisis, tensiones, elementos finitos (FEM), diseño detallado, planificación de fabricación, incluyendo control numérico (NC), programación. (Chee Kai Chua & Ka Fai Leong, 2014).

El prototipado rápido es un proceso de fabricación que se va desarrollando por capa. Esta tecnología también hace una reseña a la fabricación aditiva, y a la fabricación rápida. El prototipado rápido genera automáticamente objetos sólidos extraídos de un modelo CAD 3D, el material es depositando capa por capa, a diferencia de los métodos de tecnologías convencionales, donde el material se retira para obtener el objeto final. Principalmente, el impulso de la tecnología de Prototipado Rápido puede dividirse en cuatro envolturas principales como son: entrada, método, material y aplicaciones (Chua, C.K., K.F. Leong, and C.S., 2010).

Los materiales utilizados en diferentes prototipos rápidos son variados tanto en su forma y características especiales. El estado inicial de estos materiales puede ser un sólido, líquido, o en polvo. Las aplicaciones pueden agruparse en diseño, educación, ingeniería, análisis, fabricación y herramientas (Chua, C.K., K.F. Leong, and C.S., 2010).

Las gamas industriales pueden beneficiarse desde la tecnología de prototipado rápido (Chua, C.K., K.F. Leong, and C.S. 2010). El Prototipado Rápido es el término que se ha recalcado los procesos ya que pueden elaborar un modelo preciso a partir de una base de datos de diseño de herramientas adicionales o mecanizado (Peter D. Hilton, P.F.J. 2000)

El Prototipado Rápido se puede construir un modelo sólido tan rápidamente, que esto ha revolucionado a las industrias que abordan su producto de desarrollo. Con el Prototipado Rápido, un ingeniero puede diseñar y construir modelos de prototipos dentro de una pequeña cantidad de tiempo. Los beneficios proporcionados por el Prototipado Rápido incluyen plazos de entrega reducidos y costos de producción de componentes, mayor capacidad para visualizar la geometría de diseño, detección temprana y reducción de errores de diseño, y rediseño de piezas optimizado a comparación de técnicas de inyección de plástico y soplado. Además, el Prototipado Rápido es ventajoso en la eliminación de residuos y costosos cambios de diseño tardíos (Noorani, R., 2006, Hoboken, N.J.: Wiley. xxi, 377 p.)

Con el fin de crear técnicas de Prototipado Rápido, todos los sistemas de Prototipado Rápido tienen pasos de proceso similares: como son la creación de un modelo CAD para describir el objeto físico, convertimiento del modelo CAD en un formato de archivo Estereolitografía (STL), procesamiento de archivos tales como corrección de los errores de archivo, división del modelo en capas transversales y distribuir la orientación del modelo, construcción del prototipo y el Postprocesamiento que es el encargado de limpiar y eliminar el exceso de material del modelo.

(Según Kruth, J.P.1991). Las tecnologías de acrecentamiento del material pueden dividirse por el estado del material es decir prototipo antes de la formación de la pieza.

Los sistemas de prototipos se pueden categorizar en base líquida, sólida y a base de polvo (Chua, C.K., K.F. Leong, and C.S. 2010).

La tabla 1. muestra una categoría resumida de Prototipos Rápidos, estos sistemas de Prototipado Rápido fueron desarrollados en la Universidad de Missouri, Columbia.

Tabla 1

Técnicas de Prototipos Rápidos existentes en el mercado mundial

Base- Líquidos	**Base-Sólidos**	**Base- Polvo**
Estereolitografía (SLA)	Fabricación de objetos laminados sólidos (LOM)	Sinterización láser selectiva en polvo (SLS)
Objeto PolyJet	Modelado de deposición por fusión (FDM)	Impresión 3D (3DP)
Cubital Solid Ground Curing (SGC)		Láser de ingeniería de red de conformación (LENS)
Fabricación de Partículas Balísticas (BPM)		

Existen en el mercado actual diferentes tecnologías y marcas de impresión 3D, una de las marcas más reconocidas a nivel mundial es Stratasys.

Modelado de Fusión por Deposición (FDM®) y PolyJet®, son tecnologías de fabricación aditiva (AM) o impresión 3D pertenecientes a la familia Stratasys más avanzadas y eficaces disponibles en la actualidad. Estás tecnologías son aplicables desde dispositivos de modelados económicos hasta equipos de gran formato para plantas de fábrica que permitan fabricar una gama de productos que van desde modelos precisos detallados a productos fabricados de gran duración.

Aunque existen características en común en las aplicaciones y los beneficios de cada una de estas tecnologías, sobresalen puntos en las cuales son distintas y cuentan con ventajas y desventajas diferentes a la hora de la fabricación. En la tabla 2 se indica una comparación de las tecnologías FDM, PolyJet y Estereolitografía, en aspectos de operación, características y materiales, según la fabricación del conducto de aire automotriz.

Tabla 2

Comparación de Tecnologías PolyJet, FDM y Estereolitografía

	PolyJet®	Modelo de Fusión por Deposición (FDM)	Estereolitografía SLA
Operaciones			
Tiempo de proceso			
Procesado previo			
Post-procesado			
Entorno de oficina			
Facilidad de uso			
Características			
Acabado Superficial			
Detalles de características			
Precisión			
Tamaño			
Materiales			
Rígidos			
Flexible			
Duradero			
Transparente			
Alto Rendimiento			
Biocompatible			

Fuente: http://www.pixelsistemas.com/descargas/fabricacion-aditiva-impresion-3d-stratasys/comparacion-fdm-polyjet-2016.pdf

Como se indica en la tabla 2, se comparan tres tipos de tecnologías de impresión en 3D, todas pertenecientes a la familia Stratasys, según el uso a tomar en cuenta en la fabricación del prototipo, se necesita un buen acabo superficial debido que el modelo a seguir es un conducto de aire, una precisión adecuada ya que el prototipo ya ir ensamblado en una toma de aire y montado al vehículo. Según las comparaciones en la tabla 2, se puede

determinar que la tecnología PolyJet es la más adecuada para la construcción del prototipo final.

Para concretar con la afirmación ya mencionada se determinará según estudios de análisis computacional y ensayos mecánicos comparaciones de los diferentes materiales para corroborar las afirmaciones de la tabla 2.

Existen algunos estudios y fabricaciones realizados por medio de impresión 3D tales como: el monoplaza Fórmula Student Cantabria, de la Universidad de Cantabria de España que implemento la impresión en 3D, con la manufactura aditiva en la creación del volante de dirección (figura 7) del vehículo. (Fórmula Student Cantabria, 2015)

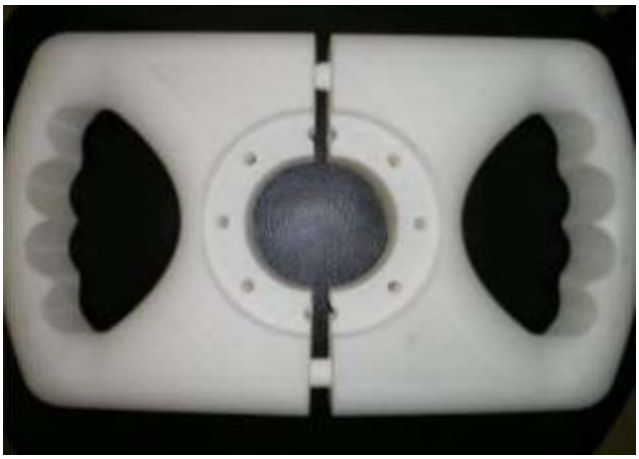


Figura 7. Prototipo volante de dirección del monoplaza.
Fuente: http://fscantabria.es/

Otro estudio destacado proveniente de la escuela de automóviles e Ingeniería Mecánica de la Universidad de Changsha Ciencia y Tecnología (CSUST) de China, presentaron un monoplaza en Fórmula Student of China (FSC) con elementos impresos en 3D, lo cual trataron de reducir masa en elementos como el volante de dirección y el sistema de admisión de aire utilizando tecnología de impresión en 3D, para el monoplaza Ford GT, utilizaron técnicas de impresión 3D para la fabricación del volante de dirección (figura 8) teniendo en cuenta especificaciones estándar, además de acoplar controles de conducción y mandos para las marchas de velocidad, similar a un vehículo de fórmula 1. (okdiario, 2015)

Figura 8. Volante de dirección del monoplaza Ford GT.
Fuente: http://blogs.okdiario.com/motor/11407/construye-propio-coche-impresora-3d

En cuestión de marcas de vehículos el grupo BMW, durante algunos años ha incorporado en sus vehículos de carretera autopartes como bombas de agua (figura 9) fabricadas mediante técnicas de impresión 3D. Este elemento es de alta presión y está sometido a elevadas condiciones de funcionamiento, de tal manera que consta de una aleación de aluminio, producida mediante fabricación aditiva de partes metálicas (tecnología Binder Jetting).

(www.arpem.com, 2015)

Figura 9. Elemento constituyente de la bomba de agua de la marca BMW.
Fuente: http://www.arpem.com/noticias/2015/coches/bmw/informacion/impresion-3d-1154866-n.html

Otro proyecto a nivel mundial de gran impacto en la industria Aditiva es el proyecto "Stati", que logró conseguir el primer premio en el concurso 3D Printed Car Desing (figura 10). Este fue el primer vehículo construido mediante impresión 3, funcional.

El vehículo fue creado utilizando la técnica Manufactura digital directa (DDM), utilizando un plástico de carbono reforzado. Los únicos elementos que no fueron impresos son la batería, el motor, el cableado y la suspensión, llegando una velocidad máxima de 80km/h y su autonomía de 200 kilómetros. (Valero, 2015)

Figura 10. Vehículo Stati manufacturado mediante impresión 3D.

Fuente: http://www.infotechnology.com/negocios/Como-es-Strati-el-primer-auto-impreso-en-3D-20141009-

El número de Reynolds se puede concretar como la relación entre las fuerzas inerciales (o convectivas, dependiendo del autor) y las fuerzas viscosas afluentes un fluido. Éste coteja densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande) en la (figura 11), se indica dos flujos como son laminar y turbulento. Para un fluido que transite por el interior de una tubería circular recta, el número de Reynolds viene dado por: (Silva Dávila, M. R. (2012)).

Ecuación 1

Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} \quad (1)$$

Ecuación 2.

Número de Reynolds

$$Re = \frac{v_s D}{v} \quad (2)$$

Donde:

ρ: es la densidad del fluido

v_s: velocidad característica del fluido

D: diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

μ: viscosidad dinámica del fluido

v: viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)

Ecuación 3.
viscosidad cinemática del fluido

$$v = \frac{u}{\rho} \qquad (3)$$

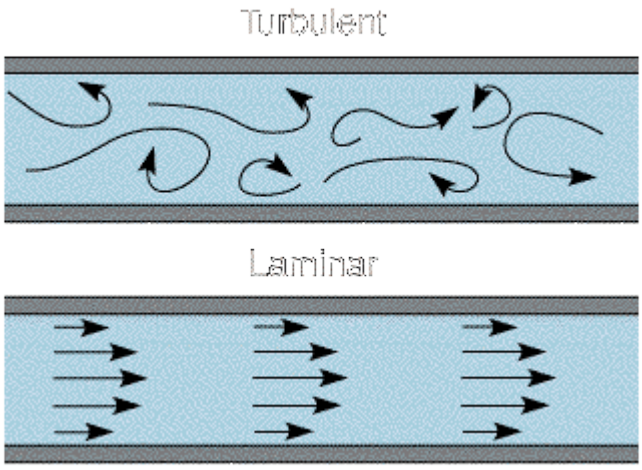


Figura 11. Flujo de aire existen dos regímenes de vuelo: laminar y turbulento
Fuente: http://juandelacuerva.blogspot.com/2007/03/turbulencias.html

Los modelos de turbulencia aplicados en la simulación CFD se muestra en variables que se presentan a la realidad,por lo cual la valor adecuado de un problema o fenómeno real a más de las ecuaciones primordiales, se debe considerar la turbulencia, que casi siempre está vigente en todas las condiciones de flujo de fluidos y transferencia de calor. (Castillo Orozco, E. A. 2015)

Es significativo mencionar que la turbulencia es un evento dinámico y caótico que no puede ser anunciado fácilmente, por lo cual todos estos modelos existentes, son de tipo estadístico y semi-empíricos. La tabla 2 muestra algunos tipos de modelos de turbulencia existentes. (Castillo Orozco, E. A. 2015)

Tabla 3.
Modelos de Turbulencia

Modelos de turbulencia	
Tipos de Modelo	**Modelo**
Algebraicos	Cebeci-Smith
Modelos de una ecuación	Baldwin-Lomax
	Prandtl
	Spalart-Almaras
Modelos de dos ecuación	K-Epsilon
	K-w
Esfuerzos de Reynolds	RMS
Simulaciones numéricas directas	DNS
Large Eddy Simulations	LES
Detached Eddy Simulations	DES

Fuente: Castillo Orozco, E. A. (2015)

Se puede afinar que la simulación de flujos turbulentos de CFD se relaciona con fluctuaciones establecidas en la naturaleza estadística de la turbulencia, es decir ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento, se discurren concluyentes en su naturaleza, por lo que la extremada sensibilidad de los fenómenos a reducida escala hace inadmisible organizar trabas de simulación específicos, a menos que los datos estadísticos sean utilizados. (Castillo Orozco, E. A. 2015)

Un estudio realizado por el Instituto Politécnico Nacional, con tema estudio experimental y numérico del flujo de aire en ducto rectangular con un escalón, realizaron un estudio experimental de la caída de presión en un ducto rectangular con cambio de sección asimétrica al fluir aire en el ducto visualizaron el flujo en la zona de expansión y un análisis de simulación con el programa FLUENT 6.0.2.

Los resultados del comportamiento del flujo tuvieron un acercamiento al vórtice principal generado por el cambio de sección en el ducto y cuyas coordenadas son 0,17m en el eje x y 0,024m en el eje y tomando como origen la parte inferior del escalón, el vórtice gira hacia la derecha, localizando coordenadas de 0,048m en el eje x y 0,047 en el eje y. (Morales Contreras, 2009)

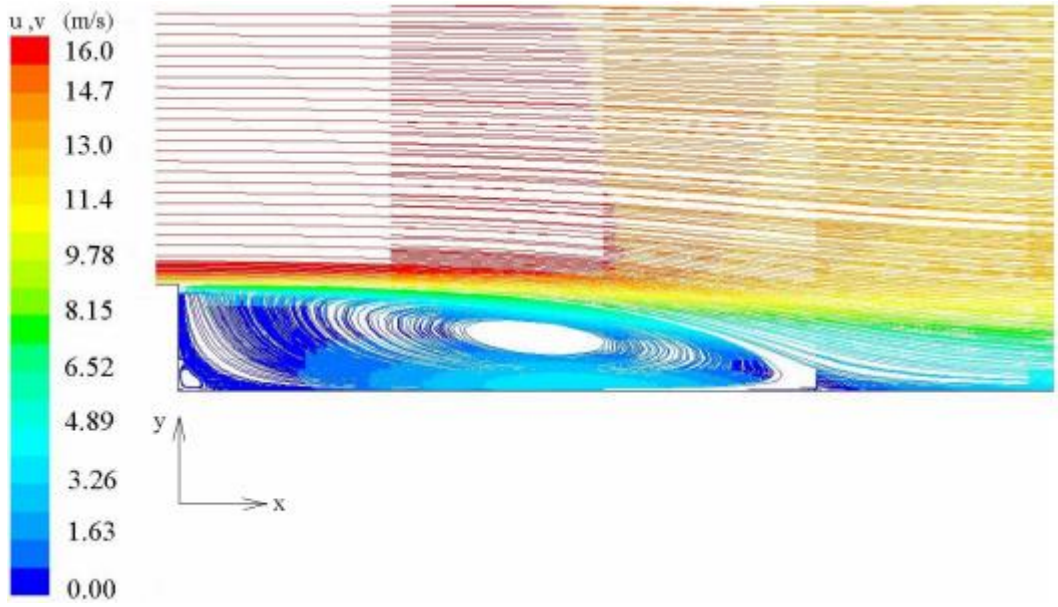


Figura 12. Vórtice principal

Un proyecto realizado en la Escuela Politécnica de Chimborazo, fue en realizar un flujo del aire en el conducto de admisión y la válvula de admisión en un motor ciclo Otto de una motocicleta Suzuki 125cc, mediante el método de elementos finitos, utilizando la plataforma computacional Ansys Workbench. El análisis se efectuó tomando las medidas físicas del modelo actual correspondiente a la culata y válvula de admisión para el posterior

modelado 3D en la plataforma SolidWorks definiendo las geometrías internas para extraer las geometrías de flujo, es decir, por donde la mezcla aire combustible hace su recorrido hasta llegar a la cámara de combustión para convertirse en energía.

También se analizaron las condiciones de borde, es decir, definiendo caras de entrada y salida del aire presurizadas o atmosféricas; secciones que representan el interior del fluido y superficies que son el límite del fluido o pared, explicando paso a paso el desarrollo realizado para la simulación.

Para el análisis de flujo se tomaron ciertas condiciones iniciales del aire como: presión de referencia (atmosférica), temperatura de referencia absoluta (K), premezclado de gasolina en el aire.

En los resultados se obtuvo una interfaz que muestra el post-procesado de la simulación (figura 13) e indica los monitores y parámetros generados.

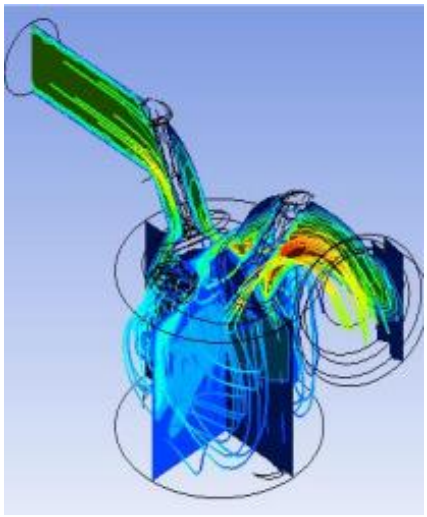


Figura 13. Entrada y salida del flujo de aire.

El estudio mediante CFD proporciona un acercamiento de la velocidad del gas según las alzadas de válvulas observando que la velocidad máxima se da cuando el motor está en cruce obteniendo un valor de 76,04 m/s. (Espinoza Cabrera, 2016)

Un estudio realizado por un grupo de ingenieros llamado análisis de la entrada de aire de un motor de reacción, la cual utilizan técnicas de dinámica de fluidos computacional, con el paquete de herramientas ANSYS 13 y el solver que incluye, Fluent. Posteriormente en el segundo bloque se detallará la creación de la geometría a estudiar, así como el mallado utilizado, se procede a realizar análisis de cómo afecta la variación de distintos parámetros del vuelo a la actuación de la entrada de aire, por una banda con un modelo axisimétrico en dos dimensiones y después con un modelo tridimensional.

Con el modelo tridimensional se ha podido ver la importancia que tiene el ángulo con el que entra el flujo de aire al difusor para su rendimiento ya que este se ve mermado a medida que dicho ángulo aumenta. Efectivamente esta aumenta notablemente también con el ángulo de entrada y se ve acentuada con un aumento en la succión del motor.

El Análisis cualitativo desarrollado en los efectos de la velocidad (figura 14), se observa que el efecto que tiene la reducción de la velocidad en las líneas de corrientes del aire y como se adaptan a la entrada de aire afecta también a las presiones dinámicas y estáticas. En los dos casos que se examinarán no se verá un flujo tan ajustado a la entrada de aire. Serán de hecho casos donde el área del flujo en corriente libre es mayor que el de la entrada del difusor, de manera que se perderá mucho más fluido por el exterior de este, aumentando la fuerza de fricción. El primero de estos casos corresponde al de un vuelo a una velocidad baja, en concreto de Mach 0.35. (Vega Molero, 2011)

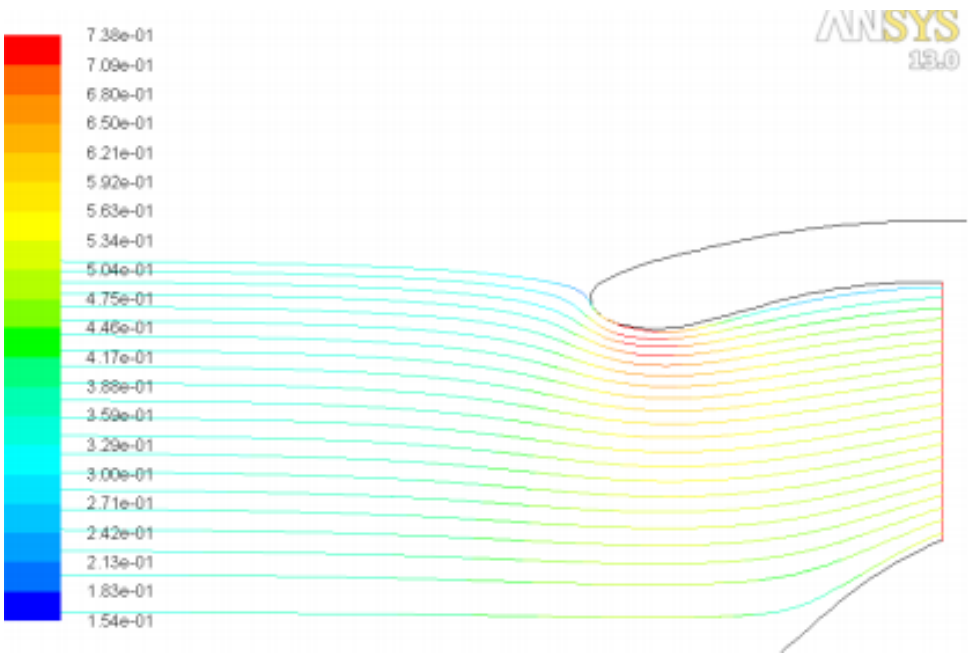


Figura 14. Líneas de corriente de velocidad

Método

Tipo de Estudio

El presente proyecto de investigación se basa en un enfoque cuantitativo, el mismo que inicia con una investigación de Manufacturas Aditivas que es utilizada para la creación de conductos de aire automotriz basados en impresión 3D, para luego aplicar una investigación descriptiva – explicativa, la cual se busca evaluar las propiedades mecánicas de los materiales tales como: filamento ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato) y VeroWhitePlus RGD835.

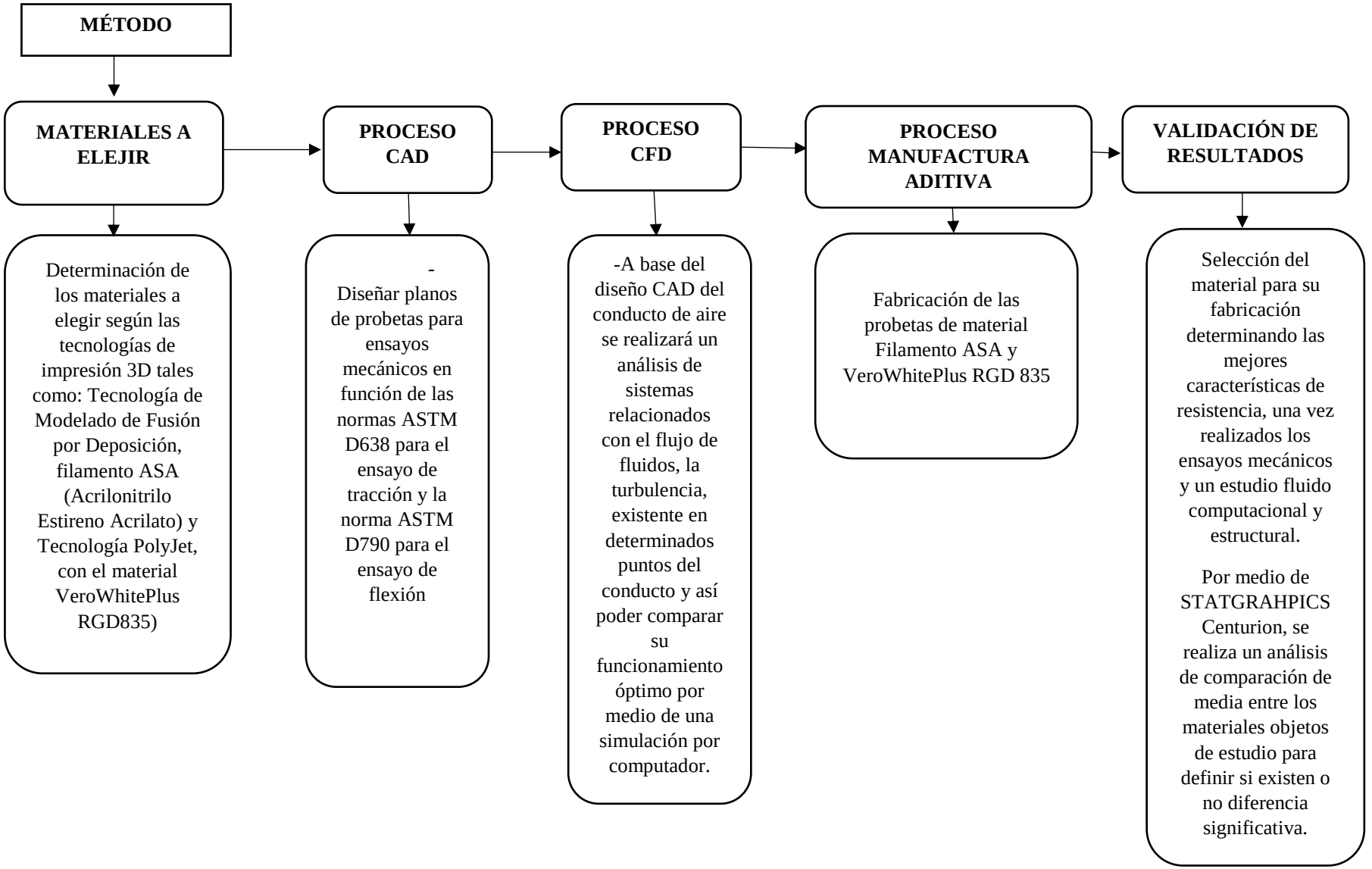
Modalidad de investigación

Para el desarrollo del presente estudio se aplica un diseño de investigación tipo experimental el cual se fundamenta la comparación de tecnologías de impresión 3D, tales como: Modelo de Fusión por Deposición e Impresión 3D PolyJet, estás tecnologías están presentes en la manufactura aditiva, la finalidad de este estudio es evaluar las propiedades mecánicas de los materiales a fabricar, sometiéndose a ensayos de tracción y flexión; además

de un análisis de fluido dinámica computacional(CFD) y estudio estructural de las mismas, de esta manera se evalúa su aplicación en la manufactura de conductos de aire en los interiores de vehículos.

Metodología

El proceso de obtención de un material acorde al conducto de aire será mediante tecnologías de fabricación aditiva que presente las mejores propiedades tanto mecánicas como del material, tanto en función de la Resistencia a la tracción, flexión y deformación total en cada uno de los materiales. Además de estudios relacionados con el flujo de fluidos y la manufactura aditiva para la fabricación de conductos de aire por medio de Impresión 3D, que se indicará a continuación:


MÉTODO
MATERIALES A ELEJIR
PROCESO CAD
PROCESO CFD
PROCESO MANUFACTURA ADITIVA
VALIDACIÓN DE RESULTADOS
Determinación de los materiales a elegir según las tecnologías de impresión 3D tales como: Tecnología de Modelado de Fusión por Deposición, filamento ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato) y Tecnología PolyJet, con el material VeroWhitePlus RGD835)
- Diseñar planos de probetas para ensayos mecánicos en función de las normas ASTM D638 para el ensayo de tracción y la norma ASTM D790 para el ensayo de flexión
-A base del diseño CAD del conducto de aire se realizará un análisis de sistemas relacionados con el flujo de fluidos, la turbulencia, existente en determinados puntos del conducto y así poder comparar su funcionamiento óptimo por medio de una simulación por computador.
Fabricación de las probetas de material Filamento ASA y VeroWhitePlus RGD 835
Selección del material para su fabricación determinando las mejores características de resistencia, una vez realizados los ensayos mecánicos y un estudio fluido computacional y estructural.
Por medio de STATGRAHPICS Centurion, se realiza un análisis de comparación de media entre los materiales objetos de estudio para definir si existen o no diferencia significativa.

Materiales y Equipos

A continuación, se describe algunos materiales que se encuentran disponible en el mercado Nacional como son: Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA), Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABSi) y FDM Nylon 6, por medio de la tabla 4, se logrará comparar características, rendimiento, colores y otros factores más que posean los materiales a elegir.

Tabla 4

Comparación de Materiales existentes en el mercado Nacional pertenecientes a la Tecnología FDM.

	Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA)	Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABSi)	FDM Nylon 6
Operaciones			
Post-procesado	●●●	●●●	●●
Facilidad de uso	●●●	●●●	●●●
Características			
Colores	●●●	●	●
Resistente Rayos UV	●●●	●●	●●
Materiales			
Rígidos	●●●	●●	●●●
Duradero	●●●	●●●	●●●
Transparente	●	●●●	●
Alto Rendimiento	●●●	●●	●●●

Fuente: http://www.stratasys.com/es/materiales/fdm

Según los resultados obtenidos en la tabla 4, en comparación de diferentes materiales, se requiere en la fabricación del conducto de aire automotriz, como son resistencia a los rayos UV debido que la parte superior va a estar sometido a la luz solar, que sea duradero y posea un alto rendimiento, es por ello que la elección de los materiales pertenecientes a la tecnología FDM, se eligió el material Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA).

Continuando con las comparaciones de materiales, se presenta la tecnología PolyJet, con materiales existentes en el mercado Nacional como son: Fotopolímero VeroWhitePlus (RGD835), Fotopolímero VeroGlaze MED620 y Fotopolímero TangoBlack FLX973, por medio de la tabla 5, se compara características, rendimiento, colores y más factores que posean los materiales a elegir.

Tabla 5

Comparación de materiales existentes en el mercado Nacional pertenecientes a la Tecnología PolyJet

	Fotopolímero VeroWhitePlus (RGD835)	Fotopolímero VeroGlaze (MED620)	Fotopolímero TangoBlack FLX973
Operaciones			
Post-procesado	●●●	●●	●●
Acabado	●●●	●●	●●
Características			
Colores	●●	●	●
Resistente Rayos UV	●●	●	●
Materiales			
Rígidos	●●●	●●	●●
Duradero	●●●	●●	●●
Transparente	●	●	●
Alto Rendimiento	●●●	●●	●●

Fuente: http://www.stratasys.com/es/materiales/polyjet

Según los resultados obtenidos en la tabla 5, en comparación de diferentes materiales, se requiere en la fabricación del conducto de aire automotriz, como son resistencia a los rayos UV debido que la parte superior va a estar sometido a la luz solar, que posea un buen acabado, que sea duradero y mantenga un alto rendimiento, es por ello que la elección de los materiales pertenecientes a la tecnología PolyJet, se eligió el material VeroWhitePlus (RGD835)

En la tabla 6. Se determina una comparación final entre las tablas 4 y 5, el material presente en la tecnología PolyJet es el Fotopolímero VeroWhitePlus (RGD835), y en la Tecnología FDM es el material Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA), la cual se determinarán características, rendimiento, post-procesado etc.

Tabla 6

Comparación de materiales para la fabricación del conducto final.

	Fotopolímero VeroWhitePlus (RGD835)	**Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA)**
Operaciones		
Tiempo de proceso		
Facilidad de uso		
Post-procesado		
Características		
Colores		
Acabado		
Precisión		
Resistente Rayos UV		
Tamaño		
Materiales		
Rígidos		
Duradero		
Transparente		
Flexible		
Biocompatible		
Alto Rendimiento		
Costos		
Precio Total		

Fuente: http://www.stratasys.com/es/materiales

Según la comparación de los materiales se determina qué el fotopolímero VeroWhitePlus (RGD835) será el material a utilizar en la fabricación del conducto de aire automotriz

Los materiales a utilizar en este estudio son: filamento Acrilonitrilo Estireno Acrilato (figura 15), perteneciente a la Tecnología de Modelado de Fusión por Deposición(FDM), y VeroWhitePlus RGD835 (figura 16) presentes en la y Tecnología PolyJet.

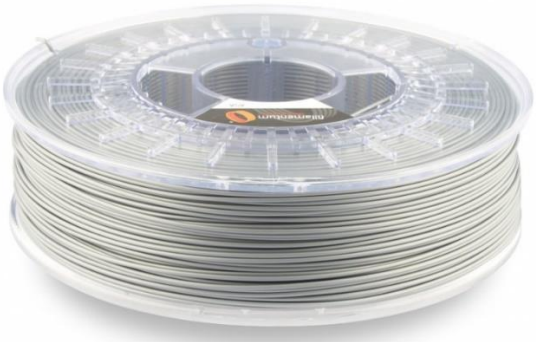


Figura 15. Acrilonitrilo estireno y acrilato
Fuente: https://www.3dlimitless.com/es/noticia/nuevos-materiales-para-impresion-3d-asa

Figura 16. Acrilonitrilo estireno acrilato
Fuente: http://store.javelin-tech.com/Store-Catalog/Objet-Desktop/VeroWhitePlus-Objet-Desktop-Material

Los equipos que se los detalla a continuación serán: máquinas de ensayos mecánicos, impresoras 3D, Software Siemens Nx 11.0 etc.

La Máquina de ensayo se llama Metrotec Serie MTE50 (figura 17), es una máquina de Ensayos Universales de hasta 50 KN para materiales poliméricos, cerámicos, compuestos y metales ligeros.

Figura 17. Metrotec Serie MTE50, Máquina de Ensayos Universales.
Fuente: Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico carrocero, Gobierno de Tungurahua.

En los equipos pertenecientes a la Impresión 3D, se aplicará la Impresora Object 30 PRO (figura 18), esta impresora pertenece a la tecnología PolyJet, la misma posee resinas acrílicas foto curadas con proceso de luz ultravioleta, destacando versatilidad en la impresión de materiales que simulan al polipropileno, el espacio de impresión es de: Largo 29.4cm x Ancho 19.2cm x Alto 14.8cm.

Los materiales de moldeo que presenta la Object 30 PRO son: VeroWhitePlus se define por ser de color Blanco Opaco, VeroBlack que es de color negro Opaco, VeroBlue color azul opaco, ENDURE que se presenta como blanco opaco que simula a propiedades del polipropileno y VeroClear que es un material con características translúcidas.

El material de soporte se llama Full Care 705, que es un material tipo gel desprendible con características de impresión en el espesor de la capa con 26 micrómetros y 16 micrómetros. Su resolución se distingue por ser alta tanto en las superficies lisas y en los detalles finos, con una precisión de 0.01mm

Figura 18. Máquina de impresión 3D, Tecnología PolyJet, Object 30 PRO.
Fuente: http://www.cimetrixsolutions.com/products/3d-printers/design-series/objet30-pro

Continuando con los equipos de impresión 3D, se presenta la impresora industrial profesional con tecnología de modelado de fusión por deposición (FDM), es una tecnología

de impresión en termoplásticos, los materiales son de alta resistencia mecánica, como ABS M30, ASA, ABSi. la impresora es la Fortus 900 mc (figura 19).

Figura 19. Impresora 3D Fortus 900 mc.
Fuente: https://trimech.com/products/3d-printers/fdm-technology/fortus-900mc

El espacio de impresión es de: Largo 91.44 cm x Ancho 60.96 cm x Alto 91.44 cm los materiales de modelado y sus características son: ABS M30 posee fuerza al impacto y a la flexión con propiedades mecánicas elevadas en un 30 %, ASA posee estabilidad UV y una mejor estética., El ABSi posee fuerza al impacto y a la flexión con propiedades mecánicas elevadas en un 30 % posee habilidades en las cuales sus colores son translúcidos.

El material de soporte es un material desprendible en modelos de geometría compleja, sus características de impresión en el espesor de capa son: 0.508 mm, 0.330 mm, 0.254 mm, 0.178 mm. las piezas se producen con una precisión de ± 0.035 pulgadas o $\pm$ 0.015 pulgadas.

En esta impresora la precisión depende de la geometría es decir la especificación de exactitud derivada de datos estadísticos con un rendimiento dimensional del 95%.

Para la simulación se utiliza es el software NX, acreditado como Siemens NX o sencillamente Unigraphics o U-G (figura 20), es un paquete de software CAD/CAM/CAE perfeccionado por la compañía Siemens PLM Software, se maniobra este software para el diseño y análisis para ingeniería.

Figura 20. Siemens Nx 11.0
Fuente: https://www.plm.automation.siemens.com/en/docs/nx/11.shtml

Diseño e Implementación

En cuanto a la muestra se realiza ensayos de tracción para plásticos rígidos y semi-rígidos basados en la norma ASTM D638-14, la muestra a elegir es el Tipo I ya que son los modelos preferidos y se utilizan cuando se dispone de material suficiente con un espesor de 7 mm o menos. El espesor del modelo Tipo I será 3,2$\pm$4 mm.

La dimensión de la probeta de tracción tipo I se la indica en la tabla 3. El número de probetas recomendado por la norma ASTM D638-14 son mínimo de cinco.

La velocidad de prueba de la muestra Tipo I es de 5 ± 25% mm/min, la velocidad de deformación nominal al comienzo de la prueba es de 0.1 mm/mm.min, el valor que alcanza la ruptura es en un tiempo de prueba de 0.5 a 5 minutos.

Tabla 7

Dimensiones de la Probeta de tracción según la Norma ASTM D638-14, Tipo I

ASTM D638-14 Tipo I	Dimensiones
W - Ancho de la sección estrecha	13
L - Longitud de la sección estrecha	57
WO - Ancho total, min.	19
LO - Longitud total, min.	165
G - Longitud del indicador	…
D - Distancia entre los puños	115
R - Radio del filete	76
RO - Radio exterior	…
T - Espesor	3.2

Fuente: ASTM D638-14

Los materiales utilizados para ensayos de tracción y de flexión son: filamento de ASA, 5 probetas aplicadas a la tecnología de Modelado de Fusión por Deposición (FDM) y VeroWhitePlus, 5 probetas aplicadas a la tecnología PolyJet, con orientaciones de XZ, ZX y XY la preparación de estas muestras se basan a la norma ASTM D638-14 Tipo I con una orientación de construcción vertical. Los ensayos de tracción y flexión se realizaron en una máquina llamada Metrotec Serie MTE50, es una máquina de ensayos Universales de hasta 50 KN para materiales poliméricos, cerámicos, compuestos y metales ligeros.

En los ensayos de flexión, la norma a utilizar es la ASTM 790, la prueba a someterse es de tres puntos, se aplicó a un total de 10 muestras tales como: filamento ASA (5 probetas). con una densidad de 1.07 g/cm^3, y VeroWhitePlus (5 probetas) con una densidad de 1.18 g/cm^3 y un punto de inflamación de 100°C, a continuación, se describe las dimensiones de las probetas de tracción (figura 21) y flexión (figura 22).

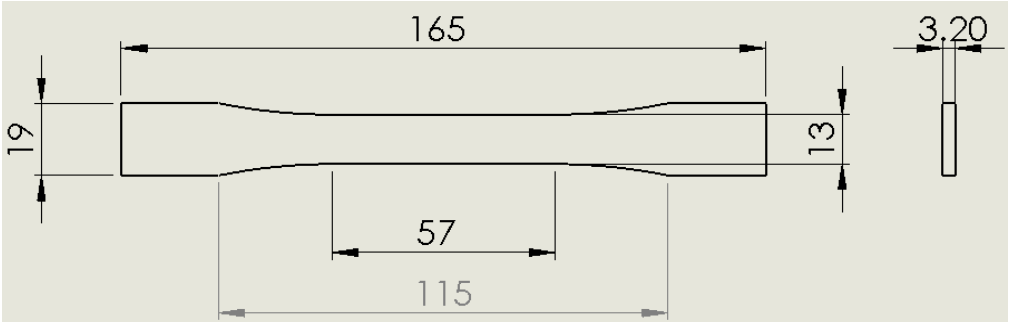


Figura 21. Representación de la probeta utilizada en el ensayo de tracción (mm)
Fuente: Autor

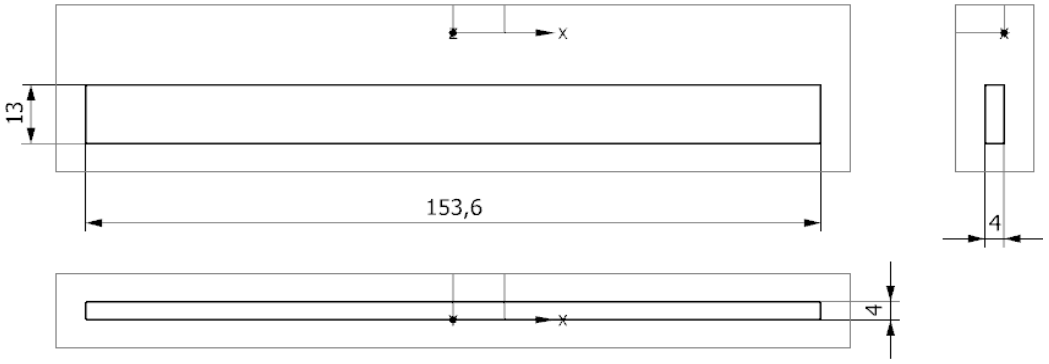


Figura 22. Representación de la probeta utilizada en el ensayo de flexión (mm)
Fuente: Autor

Las muestras de cada probeta son impresas en 3D, tanto para los materiales: filamento ASA, y VeroWhitePlus RGD835, las probetas para los ensayos de tracción (figura 23) y ensayos de flexión (figura 24), son iguales en los dos materiales a ensayar, continuación, se presenta los modelos físicos ya impresos.

Figura 23. Probetas impresas en 3D para ensayos a Tracción
Fuente: Autor

Figura 24. Probetas impresas en 3D para ensayos a Flexión.
Fuente: Autor

Resultados

Informe Diseño CAD Ducto de Aire

El modelo CAD se basó al prototipo físico del conducto de aire de la camioneta Toyota Stout 2200 la cual se procedió a extraer de su ubicación y posteriormente adquirir medidas para su construcción computacional, cabe destacar que las superficies fueron tomadas cuidadosamente debido al análisis de flujo que va atravesar el conducto de aire, (figura 25). En el siguiente gráfico se muestra el conducto de aire real (figura 26) y en la figura 27 se indica el conducto de aire realizado por el software Siemens Nx 11.0

Figura 25. Ducto de Aire, Camioneta Toyota Stout 2200
Fuente: Autor

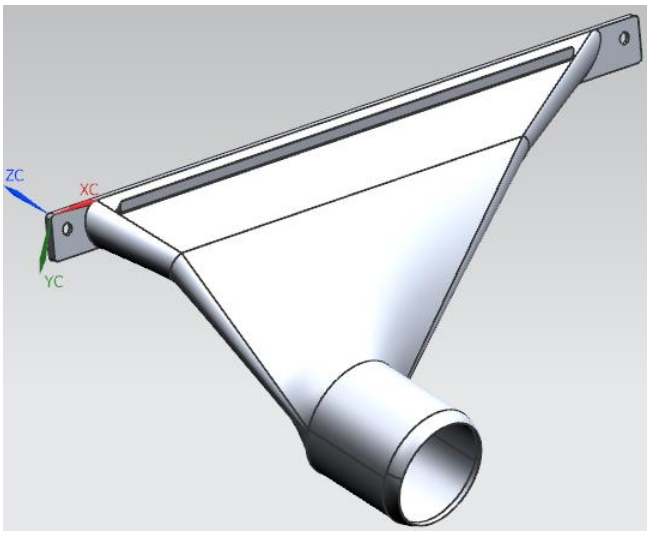


Figura 26. Conducto de Aire diseñado, Software Siemens Nx11.0
Fuente: Autor

El conducto flexible que va desde el ventilador hasta el conducto final está diseñado por el software Siemens Nx 11.0, el objetivo del diseño del conducto flexible es ensamblarlo al conducto final para posteriormente realizar un análisis Estructural y CFD. El ensamble se lo indica en diferentes vistas como: Superior (figura 28), Inferior (figura 29), Frente (figura 30), Izquierdo (figura 31) y Atrás (figura 32).

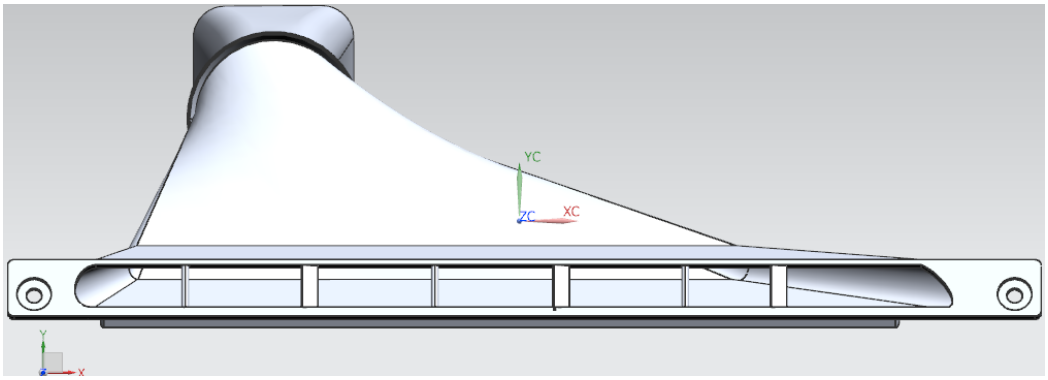


Figura 27. Vista Superior Conducto Ensamblado
Fuente: Autor

En la siguiente imagen se visualiza el conducto flexible (figura 33) que va acoplado al Ducto principal el diseño fue realizado por la herramienta Siemens NX 11.0

Figura 28. Toma del conducto de aire
Fuente: Autor

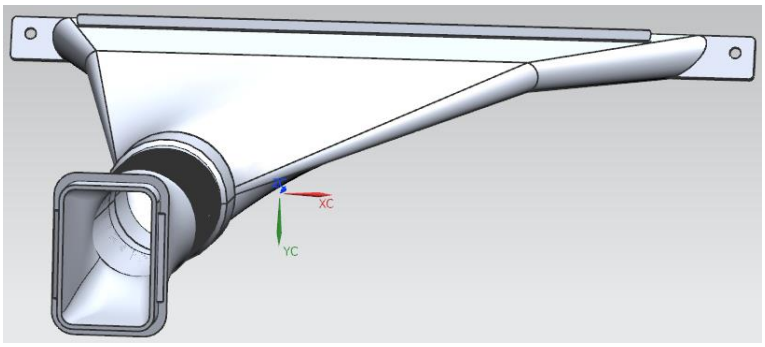


Figura 29. Vista Inferior Conducto Ensamblado
Fuente: Autor

Figura 30. Vista Izquierda Conducto Ensamblado
Fuente: Autor

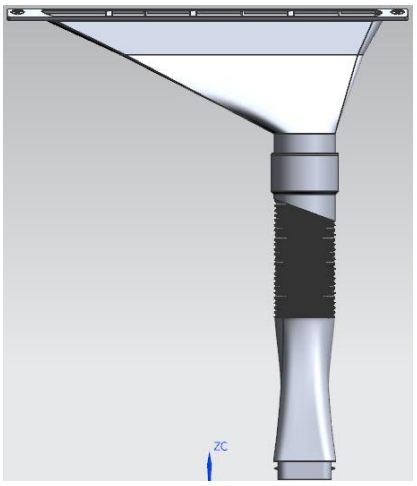


Figura 31. Vista Atrás conducto Ensamblado
Fuente: Autor

Cálculo del flujo de Aire Proveniente del ventilador

En el cálculo de la relación de flujo de masa de un fluido que circula por el ducto es proporcional al área de la sección transversal (A) del ducto, donde densidad (ρ) y la velocidad del fluido (V).

Ecuación 4.
Ecuación relación de Flujo de Masa de un fluido

$$\dot{m} = \rho * V_m * A \qquad (4)$$

Donde:

$\rho = Densidad\ del\ Fluido$ (aire a presión atmosférica normal, 15°C) = $1.225\,\frac{Kg}{m^3}$

$V_m = Velocidad\ media\ del\ fluido$: $1.5\,\frac{m}{s}$

$A = Área\ transversal\ normal\ a\ la\ dirección\ del\ flujo$: $\frac{0.0547}{2} m$

$\dot{m} = \rho * V_m * A$

$$\dot{m} = 1.225 \frac{Kg}{m^3} * 1.5 \ \frac{m}{s} * \left(\pi * \left(\frac{0.0547}{2} m\right)^2\right)$$

$$\dot{m} = 0.00431 \ \frac{Kg}{s}$$

El flujo volumétrico de aire está definido por el volumen o el total de aire que pasa por unidad de tiempo. El caudal está directamente relacionado con el promedio de velocidad y el área de la sección transversal al flujo, por medio de la siguiente ecuación: flujo volumétrico de aire. (Moreno, E. I., Domínguez Lara, G. G., Cob Sarabia, E. J., & Duarte Gómez, F. 2004)

Ecuación 5.

Flujo volumétrico de aire

$$Q = V_m * A \qquad (5)$$

Donde:

$Q = Flujo\ volumétrico\ de\ aire\ (caudal)$

$V_m = Velocidad\ media\ del\ fluido$: $1.5\ m/s$

$A = \ área\ de\ la\ sección\ transversal$: $0.0547\ m$

$V = \ velocidad\ media\ = 1.5 m/s$

$$Q = (1.5 m/s) * [(\pi) * (0.0547/2)\text{^}2]$$

$$Q = (1.5\ m/s) * [0.01038 m\text{^}2]$$

$$Q = 0.0035\ m^3/s$$

Consideraciones en la Simulación

Proceso de análisis CFD de los conductos de aire

Tomando el modelado original se inicia el análisis CFD, determinando las condiciones elementales del mismo, por medio de los resultados de simulación se observa comportamientos tanto de presión, velocidad, puntos críticos en la geometría del conducto. Se toma en cuenta el área de la geometría a ser analizado, se genera la malla del volumen de control y las condiciones de frontera. En el presente estudio se basa en un análisis de turbulencia K-Épsilon, que se resuelve por medio de las diferencias finitas por tratarse de un volumen finito, y por último se simula en el software CFD.

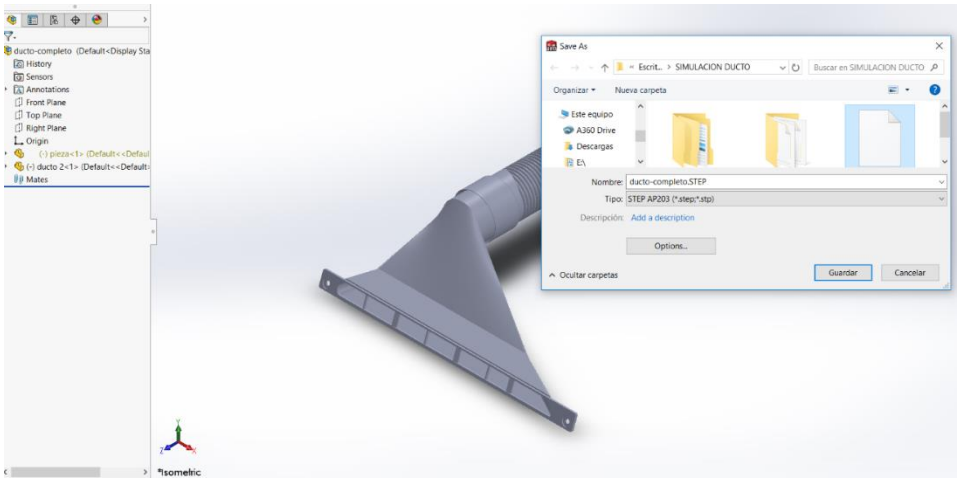


Figura 32. Ingresado Ensamble en archivo STP
Fuente: Autor

El análisis de simulación se realizará en el software Workbench 18.0, ya generado el Ducto de aire y su toma se procede a exportar el ducto en formato STP (figura32) para posteriormente ingresarlo a SPACECLAIM.

Ya ingresado el Ducto y su toma se procede a la extracción del volumen para el análisis mediante el método del volumen finito, seguidamente se ingresa la geometría a ANSYS WORKBENCH y se malla con un JACOBIANO de 1 (figura 33), después se

exporta la malla y se ingresa a ANSYS CFD (figura 34), se coloca las condiciones de borde con velocidades de ingreso de 1.5 m/s (figura 35), Se ubica el modelo matemático a utilizar en este caso turbulencia k épsilon (figura 36), y por último se procesan datos (figura 37).

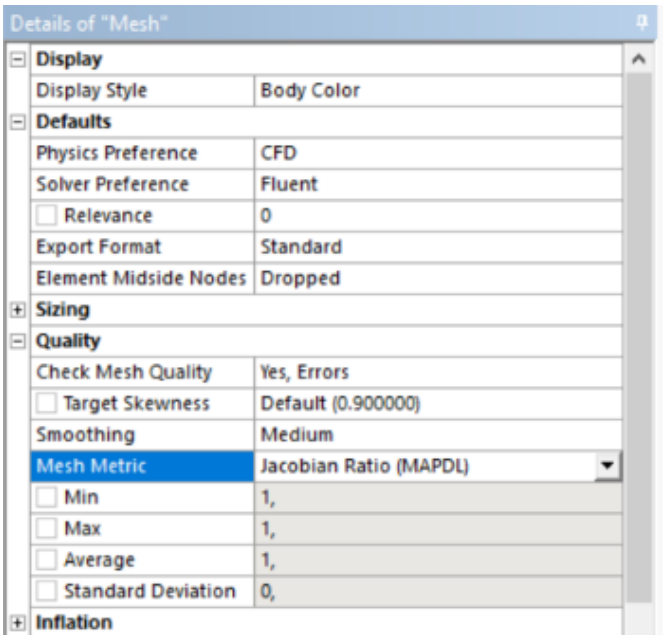


Figura 33. Malla con un JACOBIANO de 1.
Fuente: Autor

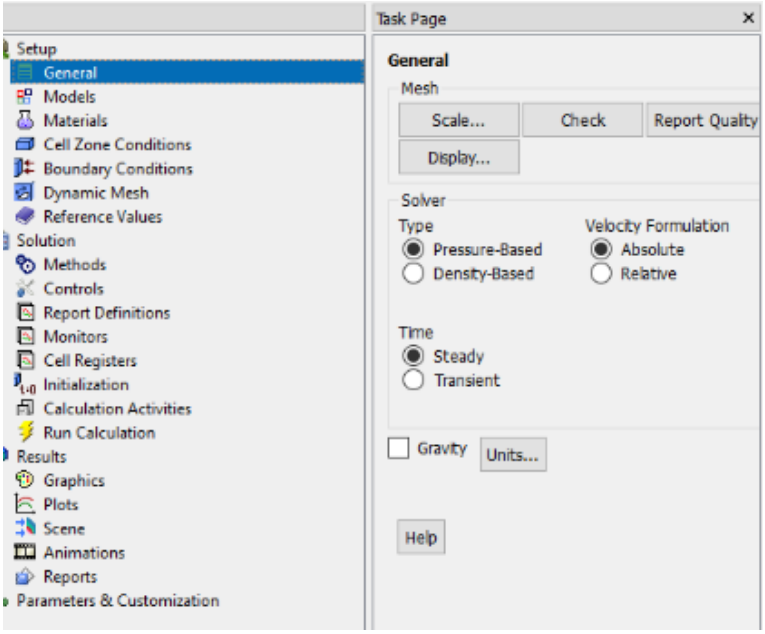


Figura 34. Ingreso a ANSYS CFD
Fuente: Autor

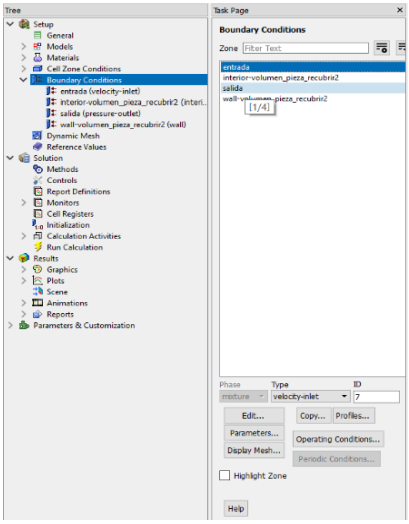


Figura 35. Condiciones de borde con velocidades de ingreso de 1.5 m/s
Fuente: Autor

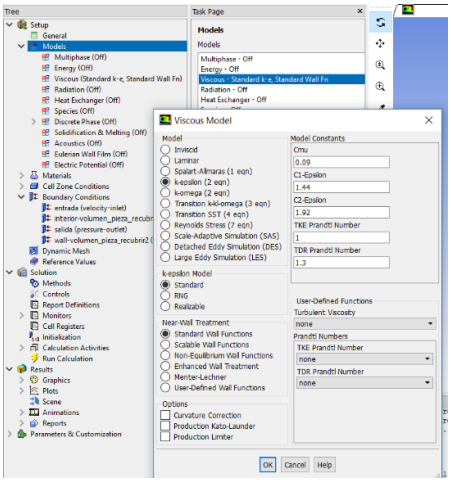


Figura 36. Modelo matemático, turbulencia k épsilon
Fuente: Autor

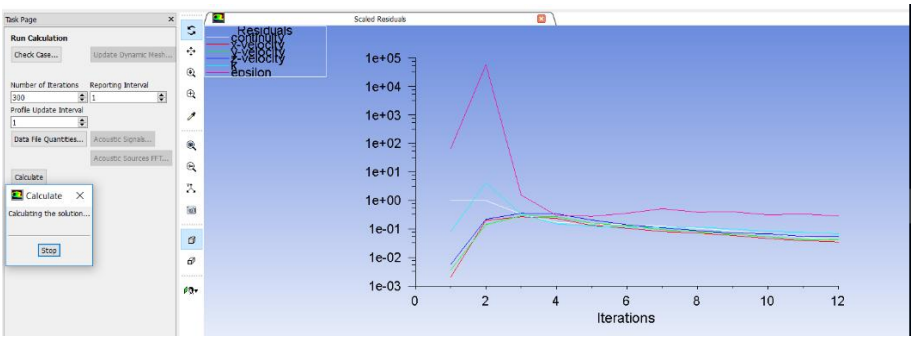


Figura 37. Procesamiento de Datos.
Fuente: Autor

Comparaciones mediante Análisis Computacional

En el estudio CFD se procedió a calcular la presión total del ducto de aire dando como un resultado de 3.18 Pa al ingreso de la toma del conducto (figura 38).

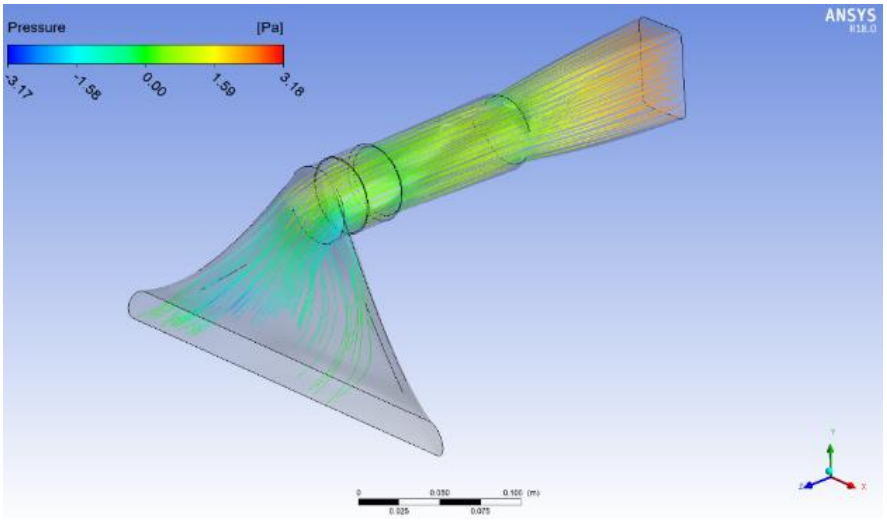


Figura 38. Presión de la toma del ducto.
Fuente: Autor

La velocidad en el ducto en el plano X, es de 2.30 m/s, la cual registra en zona cerrada (figura 39) de fluencia con mayor velocidad en el ducto desempañador.

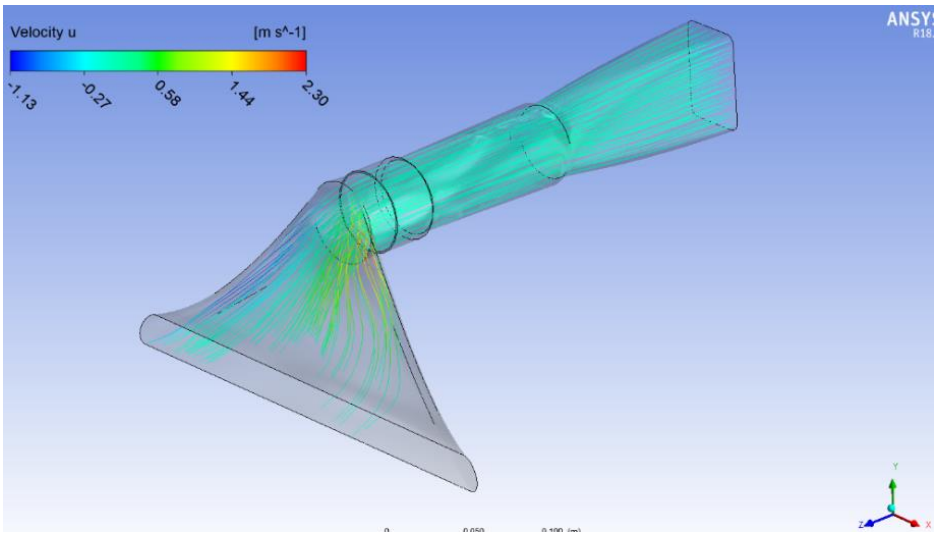


Figura 39. Velocidad del Ducto en el plano X.
Fuente: Autor

La velocidad en el plano Y, es de 0,38 m/s en la toma del ducto (figura 40), en el ducto la velocidad de entrada es de -0.67 m/s.

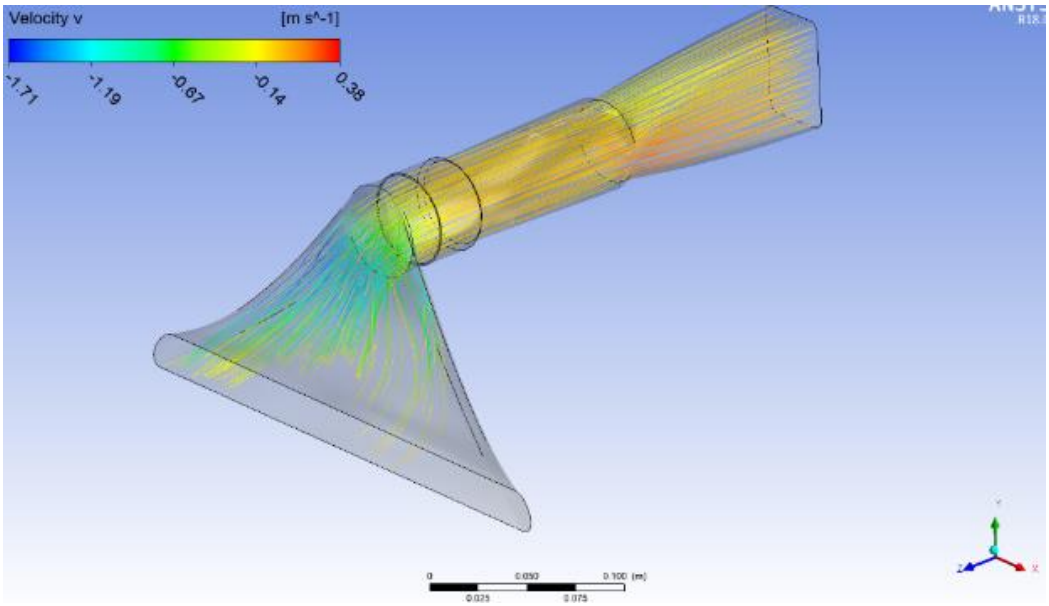


Figura 40. Velocidad del ducto en el plano Y.
Fuente: Autor

La velocidad en el plano Z del ducto es de 2.80 m/s (figura 41)esto decifra que la salida del ducto posee una buen fluido para desempañar, por lo que se termina una eficiencia de flujo de aire.

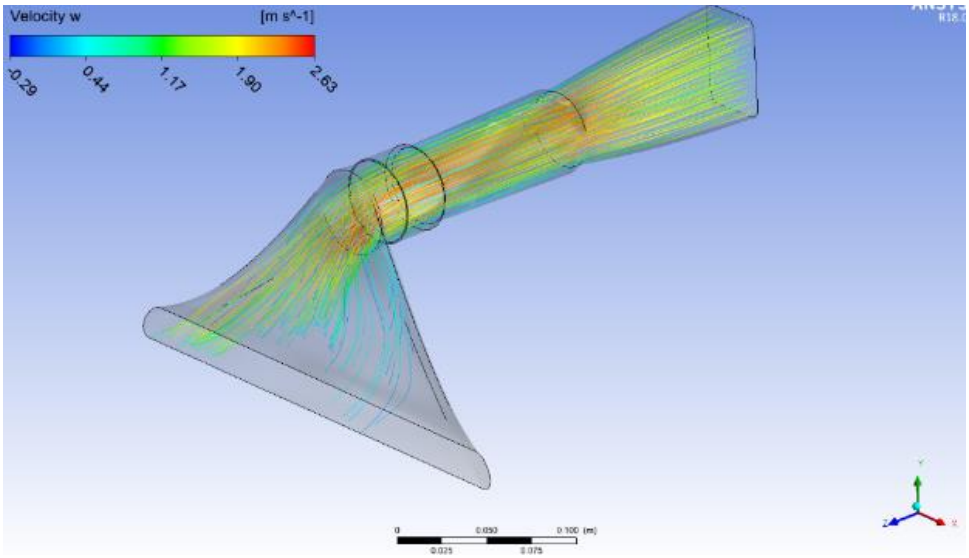


Figura 41. Velocidad del ducto en el plano Z.
Fuente: Auto

En las figuras 35 a la 38, se determina que la velocidad en el plano x, y en el plano z poseen una mayor velocidad del flujo de aire lo que permite una mayor circulación de aire a la salida del ducto, debido a la presión normal en la toma del ducto, por lo tanto, se determina que a mayor velocidad de ingreso del aire mayor eficiencia de desempañado y menor tiempo de opacidad. El flujo presente es laminar debido a su suavidad y a sus líneas paralelas según su geometría.

Comparación mediante Análisis Estructural de 3 Materiales (Polipropileno, ASA, y VeroWhitePlus RGD 835)

Datos:

Los valores en la tabla 4. fueron ingresados en el análisis estructural para determinar el Esfuerzo de Von Mises.

Tabla 8.
Datos Ingresados en la simulación

Material	Módulo de Young (MPa)	Densidad (g/cm³)	Ratio de Poisson	Fuerza de Diseño
VeroWhitePlus RGD 835	3000	1,18	0,33	4,52 N
ASA	541,89	1,07	0,33	4,52 N
Polipropileno	1300	0,91	0,4	4,52 N

Cálculo de carga

El cálculo de carga se realiza en base a la fuerza aerodinámica producida en el componente de aire acondicionado.

$$F = \frac{1}{2}.Cx.d.V^2.A \quad (6)$$

$$F = 4{,}52\ N$$

Siendo:

$F =$ fuerza generada en el interior del componente de aire acondicionado (N).

$Cx =$ coeficiente aerodinámico 0.7.

$d =$ densidad del aire 1,28 kg/ cm³.

$V^2 =$ velocidad del aire de ingreso m/s.

$A =$ área de contacto interno, m².

Los valores obtenidos del Esfuerzo de Von Mises y la Deformación total generada se muestran en las siguientes gráficas.

Material 1.

VeroWhitePlus RGD 835.

En los Resultados de obtenidos tanto el Esfuerzo de Von Mises es de 0,19617 MPa (figura 42) y una deformación total de 0,058603 mm. (figura 43)

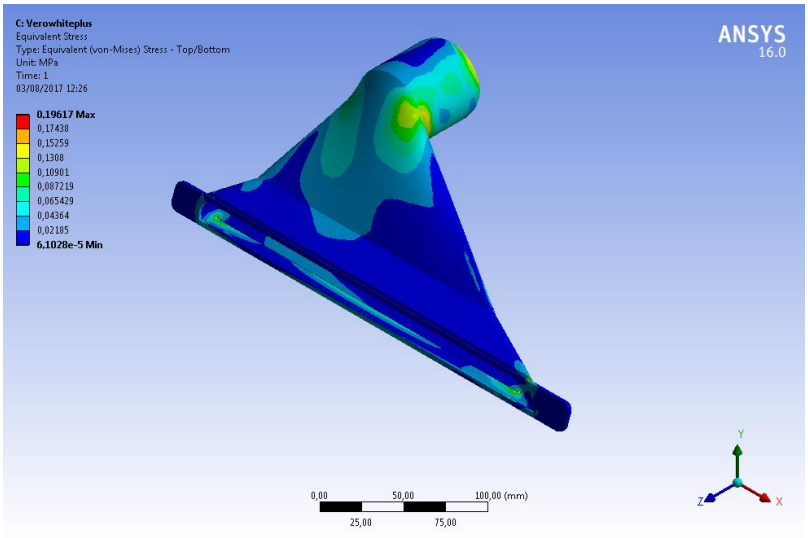


Figura 42. Valor máximo del Esfuerzo de Von Mises 0,19617 MPa.
Fuente: Autor

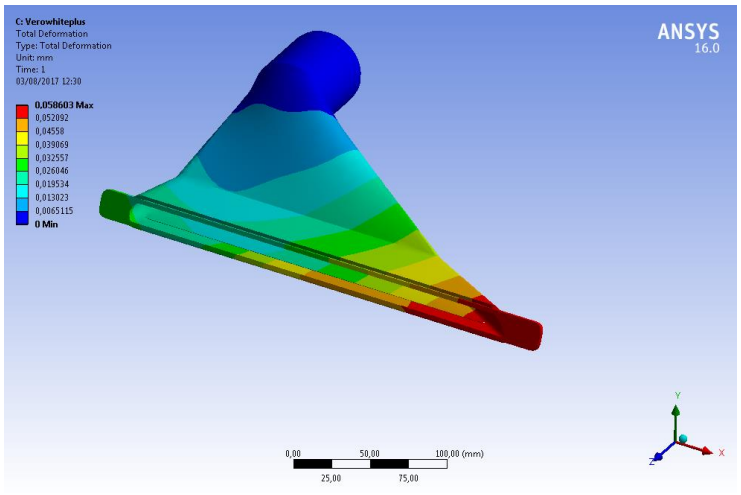


Figura 43. Valor máximo de la deformación total 0,058603 mm.
Fuente: Autor

Material 2.

ASA

Los Resultados obtenidos tanto el Esfuerzo de Von Mises es de 0,19617 MPa (figura 44) y una deformación total de 0,32444 mm. (figura 45)

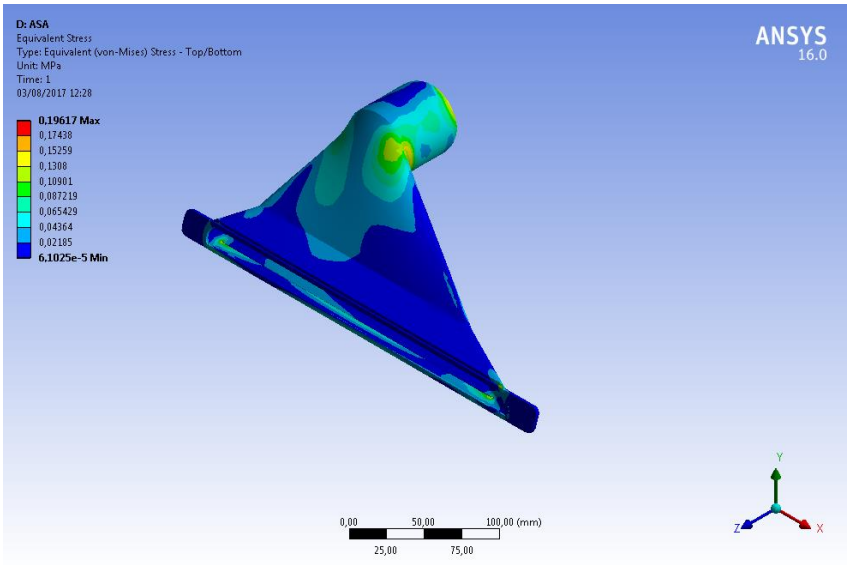


Figura 44. Valor máximo del Esfuerzo de Von Mises 0,19617 MPa.
Fuente: Autor

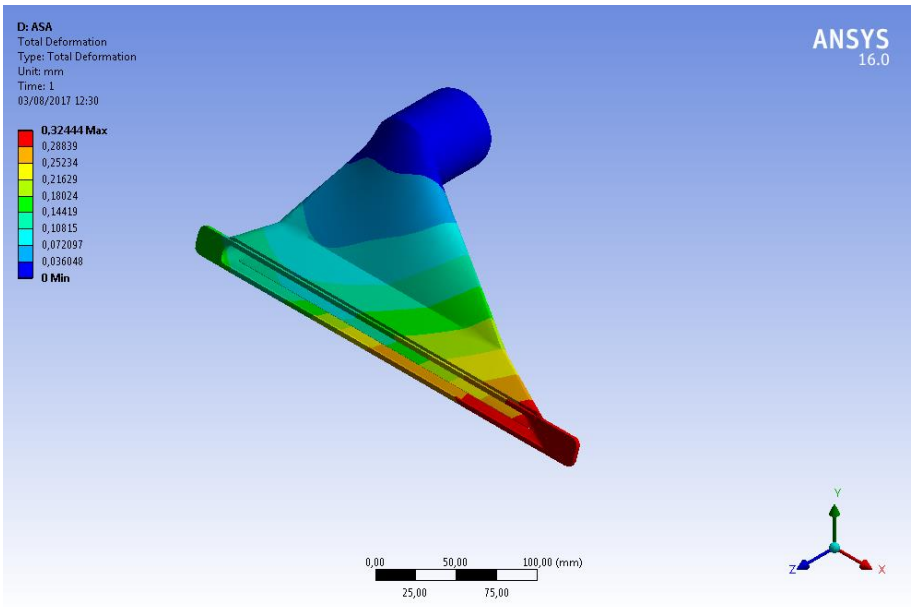


Figura 45. Valor máximo de la deformación Total 0,32444 mm.
Fuente: Autor

Material 3.

Polipropileno

En los Resultados de obtenidos tanto el Esfuerzo de Von Mises es de 0,19572 MPa. (figura 46) y una deformación total de 0,13266 mm. (figura 47).

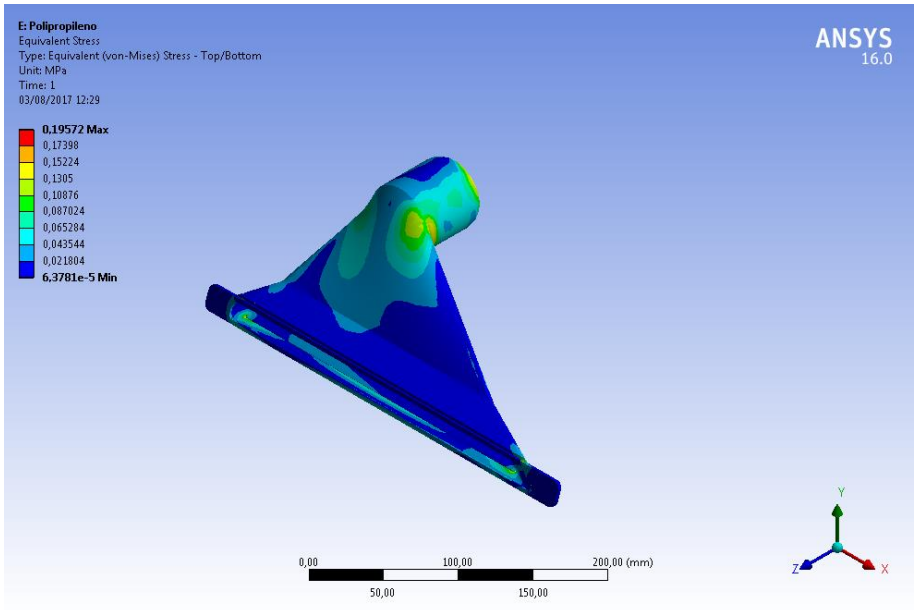


Figura 46. Valor máximo del Esfuerzo de Von Mises 0,19572 MPa.
Fuente: Autor

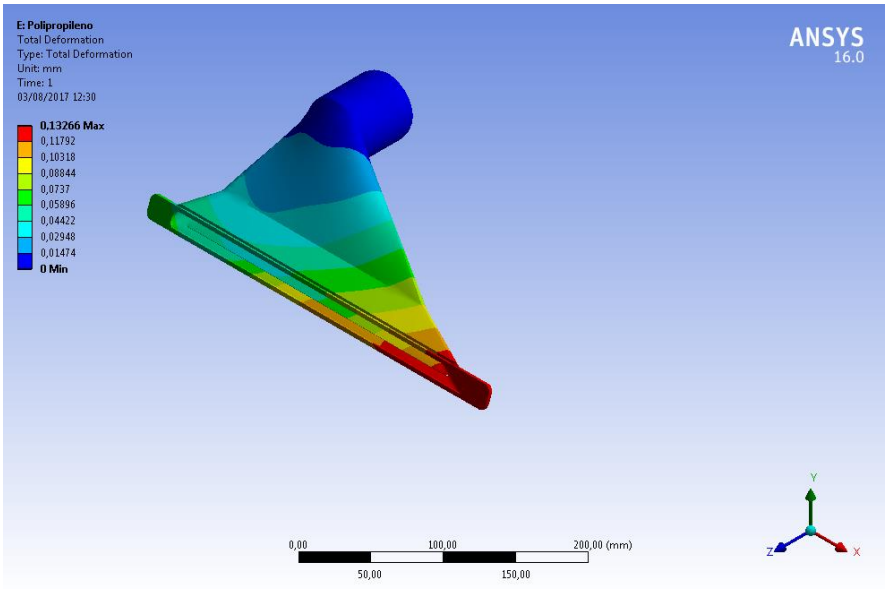


Figura 47. Valor máximo de la deformación total 0,13266 mm.
Fuente: Autor

Polipropileno Material Base del Conducto de Aire

El conducto de aire original está constituido de un Termoplástico llamado Polipropileno se caracteriza por ser incoloro y traslúcido en estado natural, la particularidad principal de este plástico es su excelente resistencia a la temperatura ya que logra conservar sus propiedades sin carga excesiva, hasta 140 ºC. Se podría decir que el polipropileno es un material liviano, y económico, debido a su resistencia a la fricción y agentes químicos, por lo tanto, posee una buena dureza superficial y no absorbe humedad, en la tabla 6. Se indica las propiedades mecánicas y eléctricas del Polipropileno.

Una de las Aplicaciones que destaca esté termoplásticos en la Industria Automotriz son: parachoques, conductos de aire internos, cajas de baterías, y tapas en general.

Tabla 9.
Propiedades mecánicas y eléctricas del polipropileno

Propiedad	**Unidad**	**Norma**	**Polipropileno**
Densidad	g/cm^3	ASTM D638	0.901
Resistencia a la tracción	MPa	ASTM D638	35
Elongación	%	ASTM D638	5-8%
Resistencia dieléctrica	kvolt/mm		24
Absorción de humedad 23ºC a 60%	%		0.02
Temperatura de trabajo	ºC		120

Fuente: http://www.inoxidable.com/propiedades1.htm

Informe de Ensayos de Tracción Materiales Poliméricos ASA

Los resultados previos de ensayos de tracción fueron realizados en el del Centro de Fomento Producttivo Metalmecánico Carrocero Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, en la tabla 7. indica las especificaciones del laboratorio y el material utilizado con su respectiva norma a realizar.

Tabla 10.
Datos Informativos

Laboratorio	Resistencia de Materiales
Designación del Material	Polímero ASA
Método de Ensayo	ASTM D638-2015

Los resultados obtenidos en el presente informe tabla 8, corresponde a ensayos realizados en muestras de materiales poliméricos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Producttivo Metalmecánico Carrocero Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua (H.G.P Tungurahua).

Tabla 11.
Número de Probetas Cuantificadas.

Grupo N°	Descripción	Orientación	Cantidad
1	Polimero ASA	Plano (XY)	5

Nota: Las probetas para la realización de los ensayos de tracción fueron fabricados mediante impresión con la tecnología FDM.

Configuración del Ensayo:

Tipo de muestra y dimensiones: Las dimensiones del espécimen aquí descrito corresponden al Tipo I de la Normas ASTM 638-2015, 100% de relleno de material ASA.

Tabla 12.
Especificaciones previas a ensayos.

Procedimeinto de acondicionamiento utilizado	No se aplica ningún acondicionamiento a las probetas.
Número de muestras probadas:	5
Velocidad de las pruebas:	5 mm/min
Precarga:	0 N.

El Proceso de tracción hecho por la Máquina. Metrotec Serie MTE50 se visualiza en la (figura 48), y el resultado después del ensayo de tracción se indica en la, (figura 49), el resultado de la misma se resaltará el valor de la resistencia máxima, ya que con este valor se podrá elegir un material de impresión 3D apto para la construcción del prototipo final.

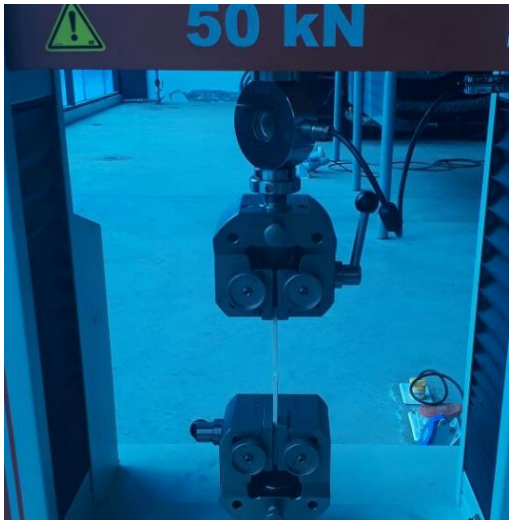


Figura 48. Proceso de ensayo a tracción material ASA.
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

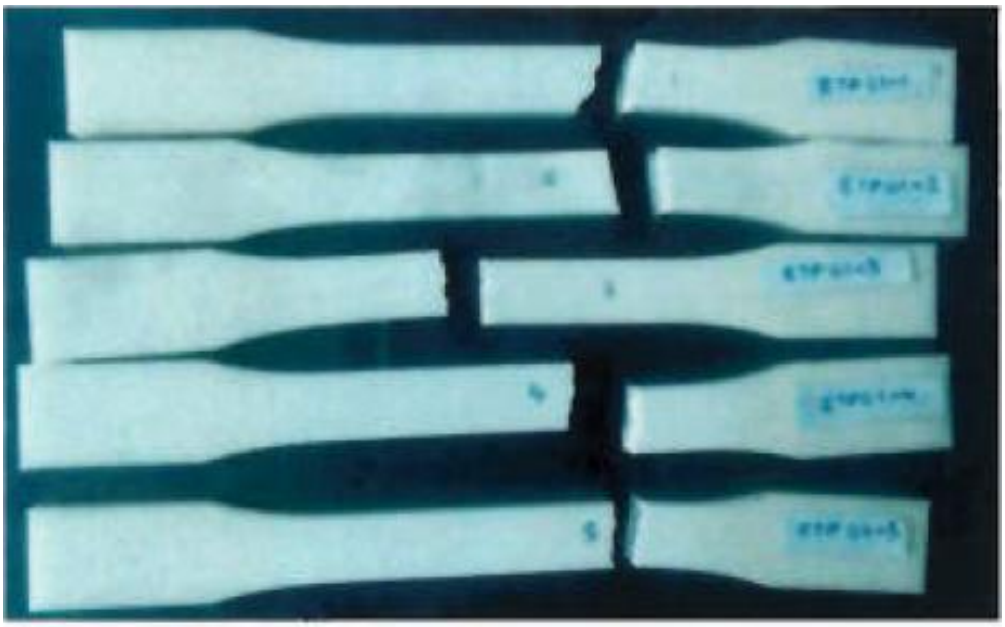


Figura 49. Resultado del ensayo a tracción, material ASA.
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

En las siguientes imágenes se detallan los informes de ensayo de tracción del material Polímero ASA, en coordenas fuerza, desplazamiento (figura 50).

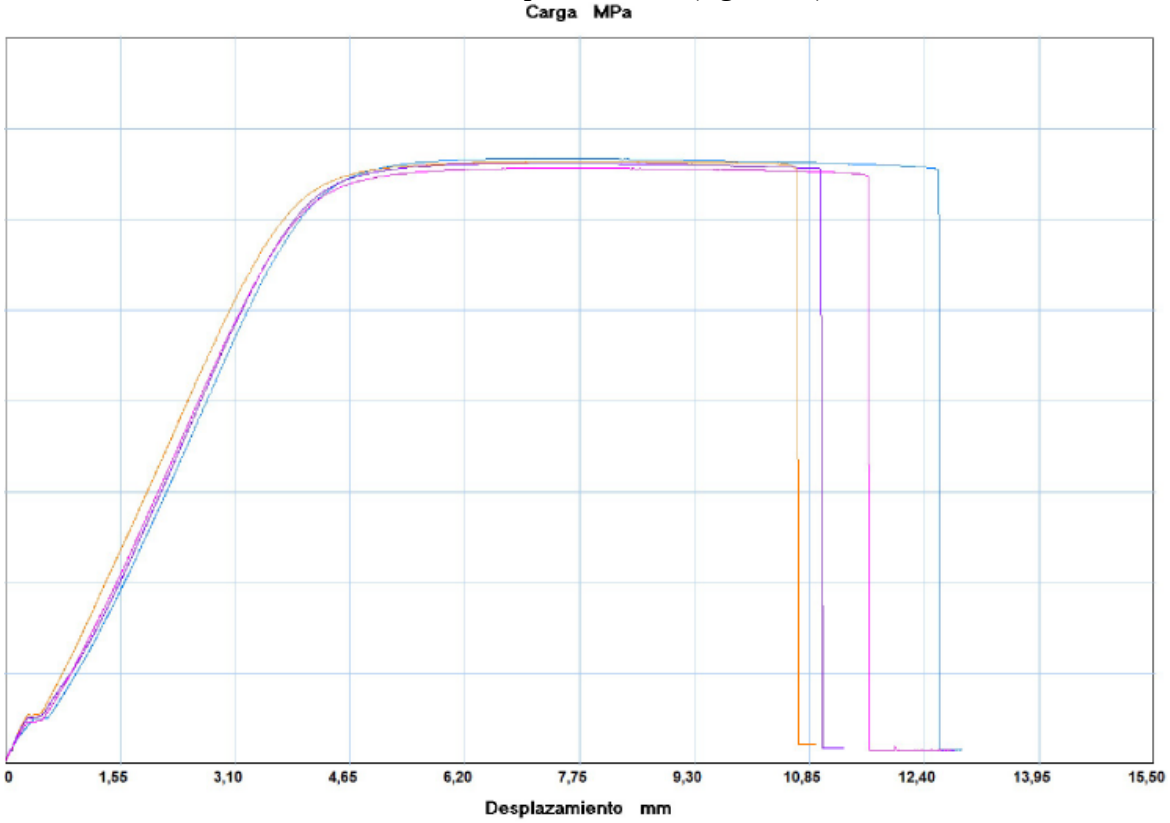


Figura 50. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga, material ASA.
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

Tabla 13.

N° de Probetas	Identificación de las Muestras	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones (mm)	
				Ancho	Espesor
1	110425517720170719-ETP 01-1	18	78	13.16	4.36
2	110425517720170719-ETP 01-2	18	78	12.99	4.34
3	110425517720170719-ETP 01-3	18	78	13.00	4.33
4	110425517720170719-ETP 01-4	18	78	13.03	4.32
5	110425517720170719-ETP 01-5	18	78	12.98	4.34
				Promedio	
				Desviación Estándar	
				Coeficiente de variación CV	

Informe de Ensayo a tracción del material ASA

Tabla 14.
Continua, Informe de Ensayo a tracción del material ASA

Fuerza Máxima (N)	**Fuerza de Fluencia (N)**	**Fuerza de Rotura (N)**	**Resistencia Máxima (MPa)**	**Resistencia de Fluencia (MPa)**	**Resistencia de Rotura (MPa)**
No registra valores durante el ensayo.					
1916.70	150.90	18880.28	34.24	2.70	33.58
1917.20	182.45	1883.80	34.06	3.24	33.47
1912.17	170.71	1894.04	33.97	3.03	33.65
1898.57	172.05	1866.34	33.70	3.05	33.13
1911.16	**169.03**	**1881.12**	**33.99**	**3.01**	**33.46**
8.69	**13.17**	**11.45**	**0.22**	**0.23**	**0.23**
0.5	**7.8**	**0.60**	**0.70**	**7.60**	**0.70**

Las propiedades mecánicas según la norma ASTM D638 en orientaciones XZ y ZX se las describe en la tabla 12. Extraídas de las especificaciones técnicas de Stratasys.

Tabla 15.
Propiedades Mecánicas, Especificaciones técnicas Stratasys

Método de Prueba	**Norma**	**Sistema Internacional**	
		Orientación XZ	**Orientación ZX**
Resistencia a la tracción, rendimiento	ASTM D638	29 MPa	27 MPa
Resistencia a la tracción, final	ASTM D638	33 MPa	30 MPa
Módulo de tracción	ASTM D638	2.010 MPa	1.95MPa
Elongación a la rotura	ASTM D638	9%	3%
Elongación en el rendimiento	ASTM D638	2%	2%

Fuente:http://global72.stratasys.com/~/media/Main/Files/Material_Spec_Sheets/MSS_FDM_ASA_0617a_Web.ashx#_ga=2.107292034.1420112748.1501028887-71985089.1499294151

Informe de Ensayos de Flexión Materiales Poliméricos ASA

Los resultados previos de ensayos de flexión fueron realizados en el del Centro de Fomento Producttivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, en la tabla 13. indica las especificaciones del laboratorio y el material utilizado con su respectivas norma a realizar.

Tabla 16.
Datos Informativos

Laboratorio	Resistencia de Materiales
Designación del Material	Polímero ASA
Método de Ensayo	ASTM D790-2015

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponde a ensayos realizados en muestras de materiales poliméricos tabla 14. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Producttivo Metalmecánico Carrocero, Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua (H.G.P Tungurahua).

Tabla 17.
Número de Probetas Cuantificadas.

Grupo N°	Descripción	Orientación	Cantidad
1	Polimero ASA	Plano (XY)	5

Nota: Las probetas para la realización de los ensayos de flexión fueron fabricados mediante impresión con la tecnología FDM.

Configuración del Ensayo:

Tipo de muestra y dimensiones: Las dimensiones del espécimen aquí descrito corresponden a la Normas ASTM 790-2015, 100% de relleno de material ASA, tabla 15.

Tabla 18.
Especificaciones previas a ensayos

Procedimeinto de acondicionamiento utilizado	No se aplica ningún acondicionamiento a las probetas.
Número de muestras probadas:	5
Velocidad de las pruebas:	1.3 mm/min
Distancia entre Apoyos	69 mm

Precarga:	0 N.

El Proceso de flexión hecho por la Máquina. Metrotec Serie MTE50 se visualiza en la (figura 51), y el resultado después del ensayo de flexión se las indica en la, (figura 52), el valor de la resistencia máxima será de suma importancia ya que con este valor se podrá elegir un material de impresión 3D apto para la construcción del prototipo final.

Figura 51. Proceso de ensayo a flexión, material ASA.
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

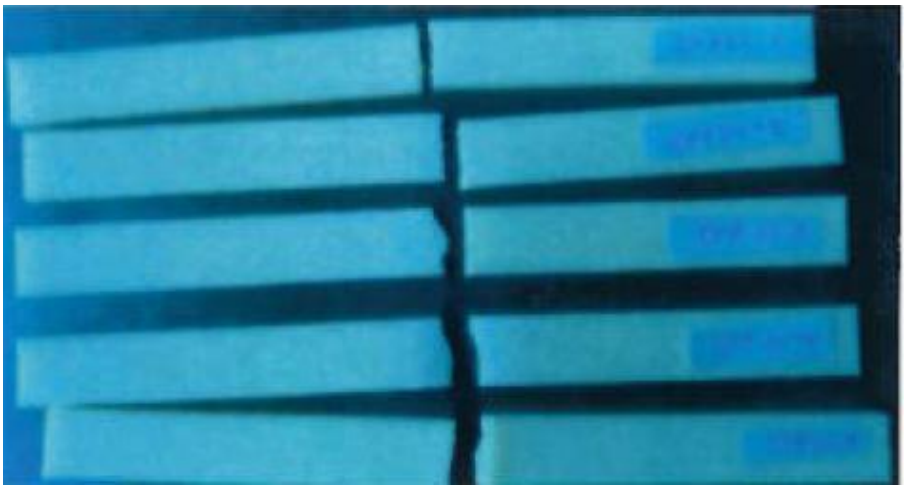


Figura 52. Resultado del ensayo a flexión, material ASA.
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero,

En las siguientes gráficas se detallan los informes de ensayo de flexión del material Polímero ASA, en coordenas fuerza, desplazamiento (figura 53).

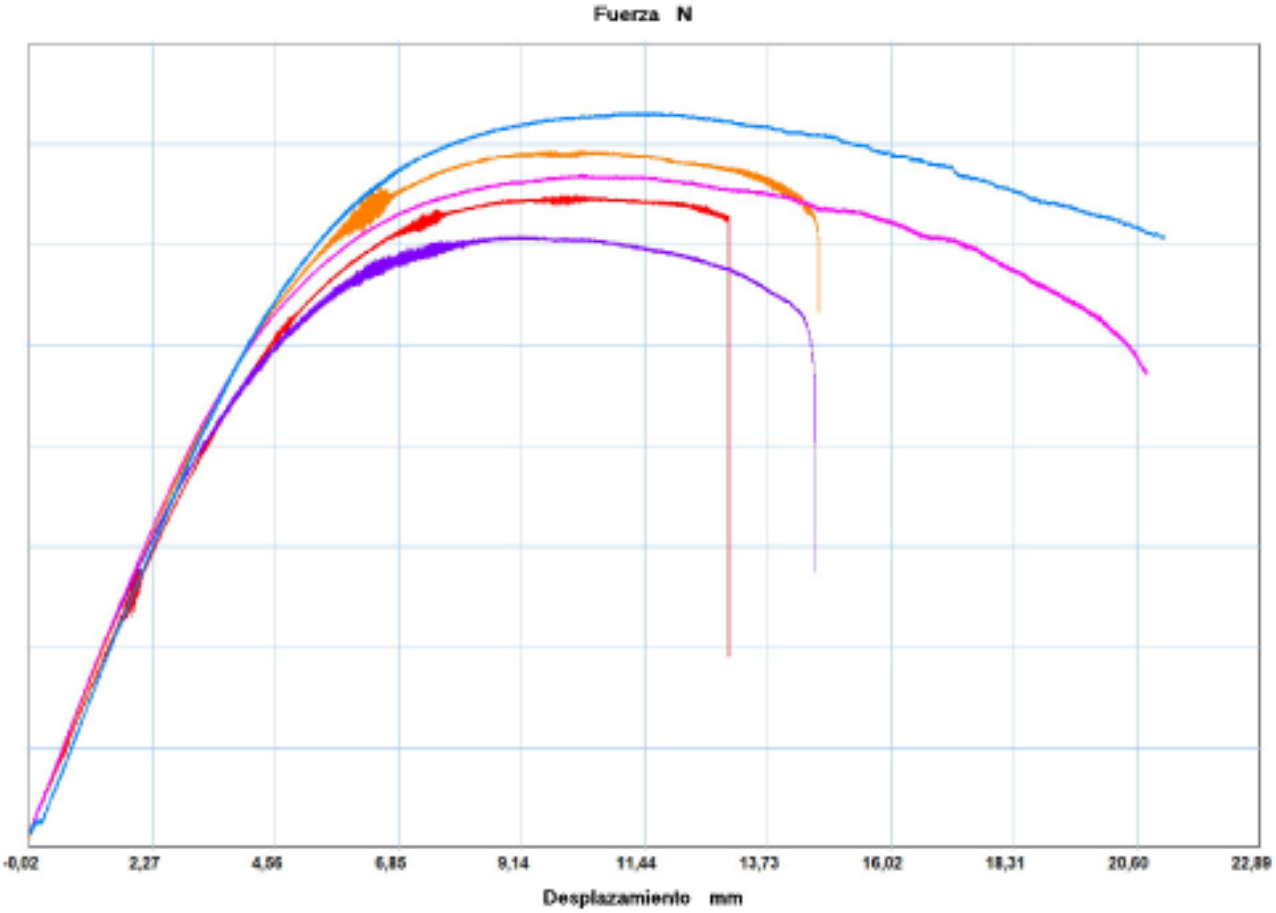


Figura 53. Resultados Gráficos del ensayo de flexión sometidos a Fuerza, material ASA.
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

Tabla 19.
Informe de Ensayo a flexión del material ASA.

N° de Probetas	Identificación de las Muestras	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones (mm)	
				Ancho	Espesor
1	110425517720170719-EFP 01-1	15	71	13	4.3
2	110425517720170719-EFP 01-2	15	71	13	4.3
3	110425517720170719-EFP 01-3	15	71	13	4.3
4	110425517720170719-EFP 01-4	15	71	13	4.3
5	110425517720170719-EFP 01-5	15	71	12	4.3
				Promedio	
				Desviación Estándar S_{n-1}	
				Coeficiente de variación CV	

Tabla 20.
Continua,, Informe de Ensayo a flexión del material ASA.

Fuerza Rotura (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo Máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad secante de flexión (MPa)	Deformación Máxima (%)
99.37	12.897	42.79	612.22	6.99
104.24	14.024	44.88	590.61	7.60
87.45	13.904	37.65	499.76	7.53
99.87	15.873	43.00	499.94	8.60
108.60	17.022	46.76	506.94	9.22
99.91	**14.74**	**43.02**	**541.89**	**7.99**
7.90	**1.67**	**3.40**	**54.95**	**0.90**
7.91	**11.30**	**7.91**	**10.14**	**11.30**

Las propiedades mecánicas según la norma ASTM 790 en orientaciones XZ y ZX se las describe en la tabla 18.

Extraídas de las especificaciones técnicas de Stratasys.

Tabla 21.
Propiedades Mecánicas, Especificaciones técnicas Stratasys

Método de Prueba	Norma	Sistema Internacional	
		Orientación XZ	Orientación ZX
La Fuerza de Flexión	ASTM D790	60 MPa	48 MPa
Módulo de Flexión	ASTM D790	1.87 MPa	1.63 MPa
Flexural Strain at Break	ASTM D790	No rotura	4%

Fuente:http://global72.stratasys.com/~/media/Main/Files/Material_Spec_Sheets/MSS_FDM_ASA_0617a_Web.ashx#_ga=2.107292034.1420112748.1501028887-71985089.1499294151

Informe de Ensayos de Tracción Materiales Poliméricos VeroWhitePlus ™835

Los resultados previos de los ensayos de tracción fueron realizados en el del Centro de Fomento Producttivo Metalmecánico Carrocero Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, en la tabla 19. indica las especificaciones del laboratorio y el material utilizado con su respectiva norma a realizar.

Tabla 22.
Datos Informativos

Laboratorio	Resistencia de Materiales
Designación del Material	VeroWhitePlus ™835
Método de Ensayo	ASTM D638-2015

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponde a ensayos realizados en muestras de materiales poliméricos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Producttivo Metalmecánico Carrocero Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua (H.G.P Tungurahua).

Tabla 23.
Número de Probetas Cuantificadas.

Grupo N°	**Descripción**	**Cantidad**
1	VeroWhitePlus RDG 835	5

Nota: Las probetas para la realización de los ensayos de tracción fueron fabricados mediante impresión con la tecnología PolyJet

Configuración del Ensayo:

Tipo de muestra y dimensiones: Las dimensiones del espécimen aquí descrito corresponden al Tipo I de la Normas ASTM 638-2015, 100% de relleno de material VeroWhitePlus ^{TM}835. En la tabla 21. Se indica las especificaciones que se considera antes del enasayo.

Tabla 24.
Especificaciones previas a ensayos.

Procedimeinto de acondicionamiento utilizado	No se aplica ningún acondicionamiento a las probetas.
Número de muestras probadas:	5
Velocidad de las pruebas:	5 mm/min
Precarga:	0 N.

El Proceso de tracción hecho por la Máquina. Metrotec Serie MTE50 con material VeroWhitePlus ^{TM}835 se visualiza en la (figura 54), y el resultado después del ensayo de tracción se indica en la, (figura 55), los resultados de valores de ensayos se resaltará el de resistencia máxima, ya que con este dato se podrá elegir un material de impresión 3D apto para la construcción del prototipado final.

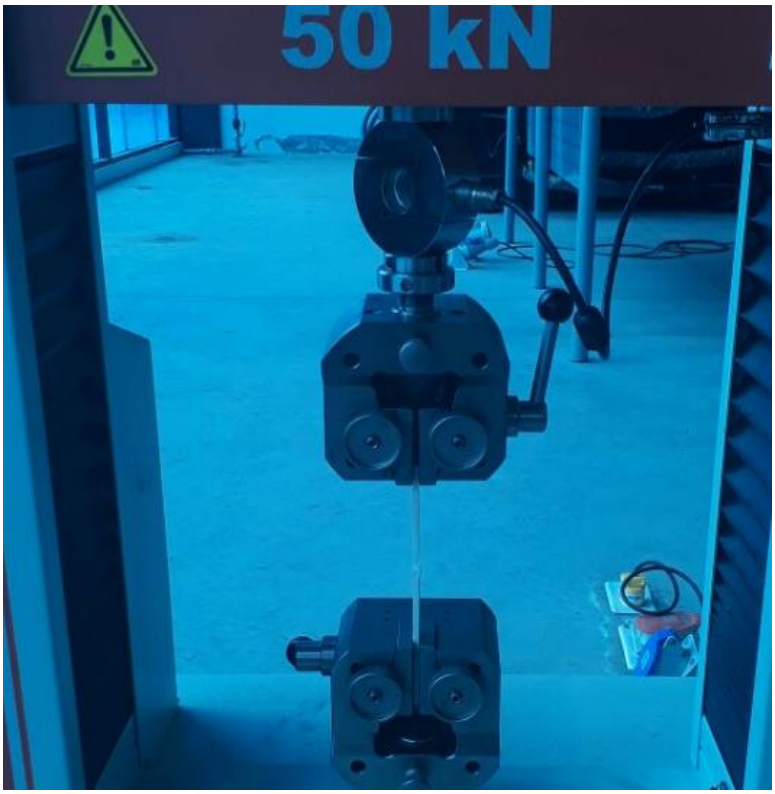


Figura 54. Proceso de ensayo a tracción material VeroWhitePlus ™835..
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

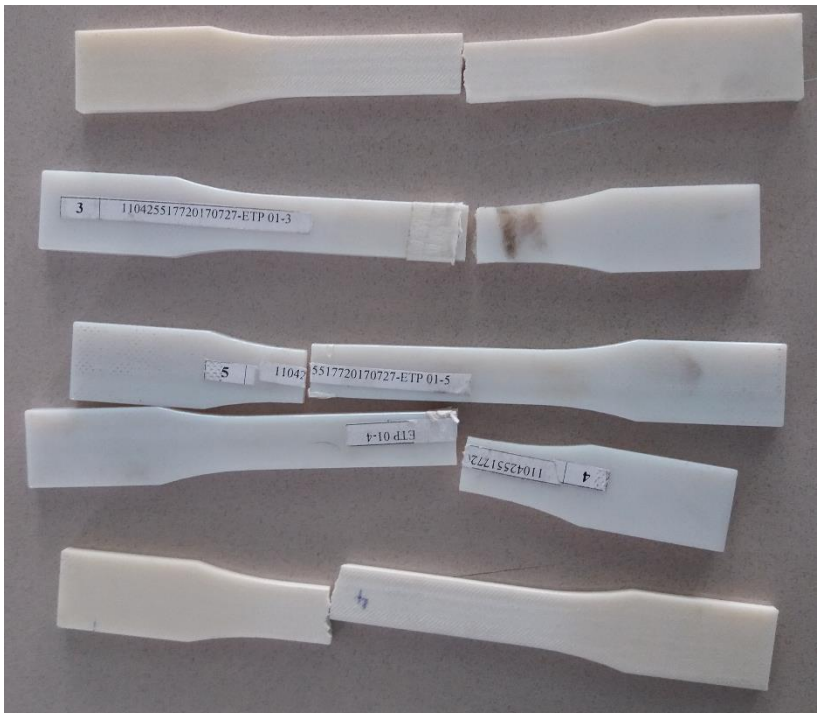


Figura 55. Resultado del ensayo a tracción material VeroWhitePlus ™835.
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

En las siguientes imágenes se detallan los informes de ensayo de tracción del material VeroWhitePlus ™835, en coordenas carga, desplazamiento figura 56.

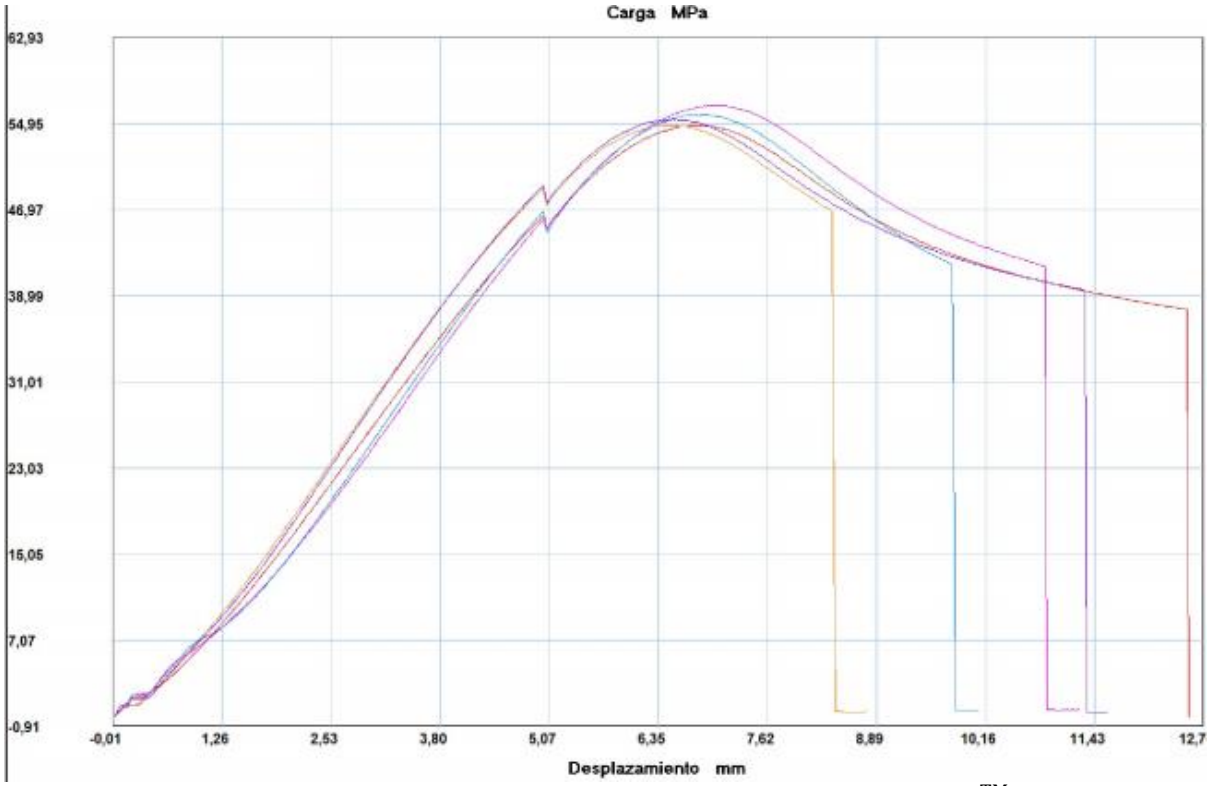


Figura 56. Resultados Gráficos del ensayo de tracción sometidos a Carga. material VeroWhitePlus ™835. Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

Tabla 25

Informe de Ensayo a tracción del material ***VeroWhitePlus ™***835.

N° de Probetas	Identificación de las Muestras	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones (mm)	
				Ancho	Espesor
1	110425517720170727 -ETP 01-1	16	81	13	5
2	110425517720170727 -ETP 01-2	16	81	13	5
3	110425517720170727 -ETP 01-3	16	81	13	5
4	110425517720170727 -ETP 01-4	16	81	13	5
5	110425517720170727 -ETP 01-5	16	81	13	5
			Promedio		
			Desviación Estándar		
			Coeficiente de variación CV		

Tabla 26

Continua, Informe de Ensayo a tracción del material ***VeroWhitePlus™*** *85*

Fuerza Máxima (N)	Fuerza de Fluencia (N)	Fuerza de Rotura (N)	Resistencia Máxima (MPa)	Resistencia de Fluencia (MPa)	Resistencia de Rotura (MPa)
3561.11	299.78	2541.03	54.79	4.61	37.72
3561.11	254.03	3043.59	54.79	3.91	46.82
3597.40	318.72	2567.09	55.34	4.90	39.49
	342.40	2710.67	56.61	5.27	41.70
3679.44	312.40	2720.14	55.78	4.81	41.85
3604.972	**305.462**	**2698.680**	**55.46**	**4.70**	**41.52**
49.710	**32.651**	**222.362**	**0.765**	**0.502**	**3.42**
1.4	**10.7**	**8.2**	**1.4**	**10.7**	**8.2**

Las propiedades mecánicas según la norma ASTM 638-2015 se describe en la tabla 24. Extraídas de las especificaciones técnicas de Stratasys.

Tabla 27.

Propiedades Mecánicas, Especificaciones técnicas Stratasys

Método de Prueba	Norma	Sistema Internacional MPa
Resistencia a la Tracción	ASTM D638-03	50-65
Elongación de Rotura	ASTM D638-05	10-25
Módulo de Elasticidad	ASTM D638-04	2000-3000

Fuente: http://www.stratasys.com/materials/material-safety-data-sheets/polyjet

Informe de Ensayos de Flexión Materiales Poliméricos VeroWhitePlus ™835

Los resultados previos de ensayos de flexión fueron realizados en el del Centro de Fomento Producttivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, las especificaciones del laboratorio y el material utilizado se las indica en la tabla 25.

Tabla 28.
Datos Informativos

Laboratorio	Resistencia de Materiales
Designación del Material	Polímero ASA
Método de Ensayo	ASTM D790-2015

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponde a ensayos realizados en muestras de materiales poliméricos como se indica en la tabla 26. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Producttivo Metalmecánico Carrocero, Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua (H.G.P Tungurahua).

Tabla 29.
Número de Probetas Cuantificadas.

Grupo N°	**Descripción**	**Cantidad**
1	VeroWhitePlus ™ 835	5

Nota: Las probetas para la realización de los ensayos de flexión fueron fabricados mediante impresión con la tecnología PolyJet

Configuración del Ensayo:

Tipo de muestra y dimensiones: Las dimensiones del espécimen aquí descrito corresponden a la Normas ASTM 790-2015, 100% de relleno de material VeroWhitePlus ™835.

Tabla 30.
Especificaciones previas a ensayos

Procedimeinto de acondicionamiento utilizado	No se aplica ningún acondicionamiento a las probetas.
Número de muestras probadas:	5
Velocidad de las pruebas:	1.3 mm/min
Distancia entre Apoyos	64 mm
Precarga:	0 N.

El Proceso de flexión hecho por la Máquina. Metrotec Serie MTE50 se visualiza en la (figura 57), y el resultado después del ensayo de flexión se las indica en la, (figura 58), el valor de la resistencia máxima será de suma importancia ya que este valor se podrá elegir un material de impresión 3D apto para la construcción del prototipo final.

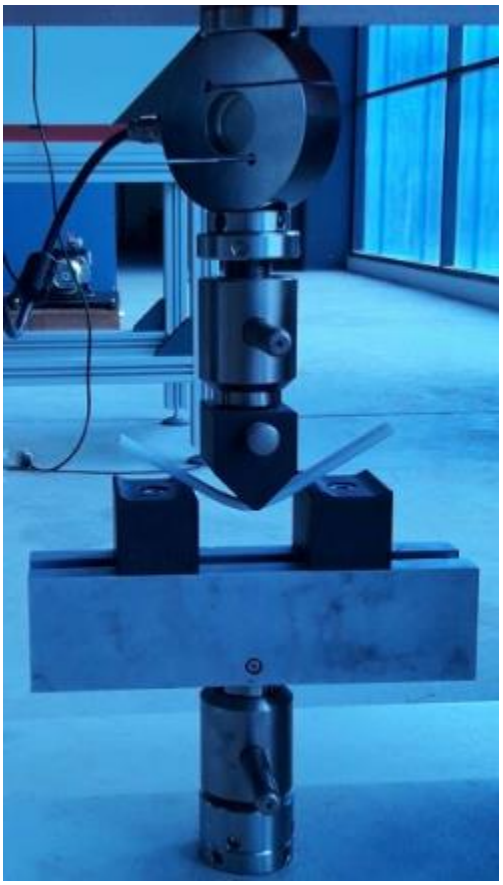


Figura 57. Proceso de ensayo a flexión, material VeroWhitePlus ™835.
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

Figura 58. Resultado del ensayo a flexión, material VeroWhitePlus ™835.
Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

En las siguientes gráficas se detallan los informes de ensayo flexión del Polímero VeroWhitePlus ™835, en coordenas fuerza, desplazamiento figura 59.

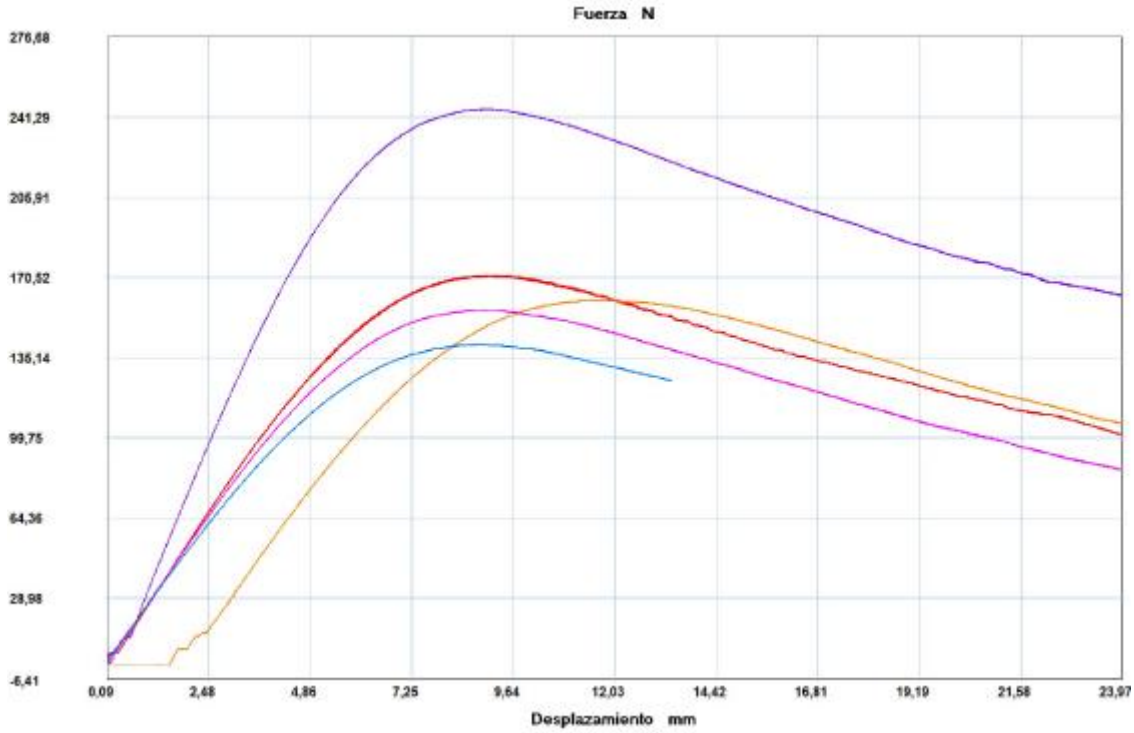


Figura 59. Resultados Gráficos del ensayo de flexión sometidos a Fuerza, material VeroWhitePlus ™835. Fuente: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero, Gobierno de Tungurahua

Tabla 31.

N° de Probetas	Identificación de las Muestras	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones (mm)	
				Ancho	Espesor
1	110425517720170727-EFP	18	71	13	5
2	110425517720170719-EFP 01-2	18	71	13	5
3	110425517720170719-EFP 01-3	18	71	13	5
4	110425517720170719-EFP 01-4	18	71	13	5
			Promedio		
			Desviación Estándar S_{n-1}		
			Coeficiente de variación CV		

Informe de Ensayo a flexión del material $\boldsymbol{VeroWhitePlus}^{\boldsymbol{TM}}$ *835.*

Tabla 32.

Fuerza Rotura (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo Máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad secante de flexión (MPa)	Deformación Máxima (%)
98.86	23.97	29.20	166.33	17.56
80.74	25.85	23.85	125.97	18.93
74.36	24.01	21.96	124.90	17.59
124.88	13.52	36.89	372.51	9.90
94.71	**21.84**	**27.98**	**197.43**	**16.00**
30.99	**5.04**	**9.15**	**104.30**	**3.69**
29.39	**22.47**	**29.39**	**50.59**	**22.47**

Continua, Informe de Ensayo a flexión del material $\boldsymbol{VeroWhitePlus}^{\boldsymbol{TM}}$ *835.*

Las propiedades mecánicas según la norma ASTM 790-2015 se describe en la tabla 30. Extraídas de las especificaciones técnicas de Stratasys.

Tabla 33.

Propiedades Mecánicas, Especificaciones técnicas Stratasys

Método de Prueba	Norma	Sistema Internacional MPa
Fuerza de Flexión	ASTM D790	75-110
Módulo de Flexión	ASTM D790	2200-3000

Fuente: http://www.stratasys.com/materials/material-safety-data-sheets/polyjet

Resultados Estadísticos

Tabla 34

Comparación de propiedades Mecánicas, materiales: Polipropileno, VeroWhitePlus RDG835, ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato)

Análisis de Tracción							
Fabricación	**Material**	**Orientación**	**Resistencia Máxima (MPa)**	**Resistencia a la Rotura (MPa)**	**Deformación Máxima (%)**	**Esfuerzo Máximo de flexión (MPa)**	**Deflexión (mm)**
Inyección de Plástico	Polipropileno	-----	35	31	5	42	14
PolyJet	VeroWhitePlus RDG835	X	55	41.52	16.00	27.98	21.84
FDM	ASA (Acrilonitrilo	**XY** XZ	33.99 33	33.46 31	7.99 9	43.02 60	14.74

Estireno Acrilato)	ZX	30	32	3	48

Comparación de Muestras, Resistencia Máxima a la Tracción

Tabla 35.
ANOVA, Comparación de diferencia entre grupos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1193,06	2	596,529	2789,73	0,0000
Intra grupos	1,92447	9	0,213831		
Total (Corr.)	1194,98	11			

La tabla 32, descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Tabla 36.
Resistencia Máxima a la Tracción. Grupo Homogéneo

	Casos	Media	Grupos Homogéneos		
RM TRAC MAT 2	4	33,995	X		
RM TRAC MAT 1	4	35,0		X	
RM TRAC MAT 3	4	55,63			X

Nota: RM TRAC: Resistencia Máxima a la Tracción.
Los Niveles que compartan una misma columna de X, no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 37.
Comparación entre tratamientos

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
RM TRAC MAT 1 - RM TRAC MAT 2	*	1,0075	0,73968
RM TRAC MAT 1 - RM TRAC MAT 3	*	-20,63	0,73968
RM TRAC MAT 2 - RM TRAC MAT 3	*	-21,6375	0,73968

Nota: * Indica una diferencia significativa.
MAT 1: Polipropileno, MAT 2: ASA, MAT 3: VeroWhitePlusRDG 835.

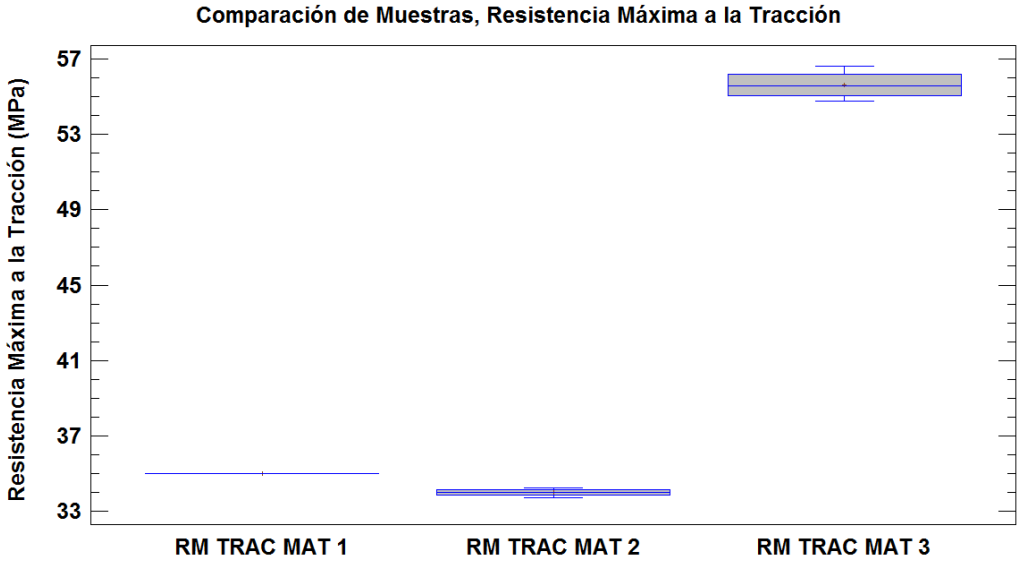


Figura 60. Diagrama de bigote de la Resistencia Máxima de Tracción en Tratamientos.

Según la figura 60 y las tablas 33 y 34, existen diferencias significativas entre los tratamientos, que corresponde al material MAT 3 (VeroWhitePlus RGD 835) con relación a los materiales MAT 1 y MAT 2. Ya que es superior en cuanto a la Resistencia máxima a la tracción.

Comparación de Muestras, Resistencia de Rotura a la Tracción

Tabla 38
ANOVA, Comparación de diferencia entre grupos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	181,096	2	90,548	69,14	0,0000
Intra grupos	11,7861	9	1,30956		
Total (Corr.)	192,882	11			

La tabla 35, descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Tabla 39.
Resistencia de Rotura a la Tracción. Grupo Homogéneo

	Casos	Media	Grupos Homogéneos		
RR TRAC MAT 1	4	31,0	X		
RR TRAC MAT 2	4	33,4575		X	
RR TRAC MAT 3	4	40,19			X

Nota: RR TRAC: Resistencia de Rotura a la Tracción.
Los Niveles que compartan una misma columna de X, no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 40.
Comparación entre tratamientos

Contraste	Sig.	Difere	+/- Límites

			ncia
RR TRAC MAT 1 - RR TRAC MAT 2	*	-2,4575	1,83051
RR TRAC MAT 1 - RR TRAC MAT 3	*	-9,19	1,83051
RR TRAC MAT 2 - RR TRAC MAT 3	*	-6,7325	1,83051

Nota: * Indica una diferencia significativa.
MAT 1: Polipropileno, MAT 2: ASA, MAT 3: VeroWhitePlusRDG 835.

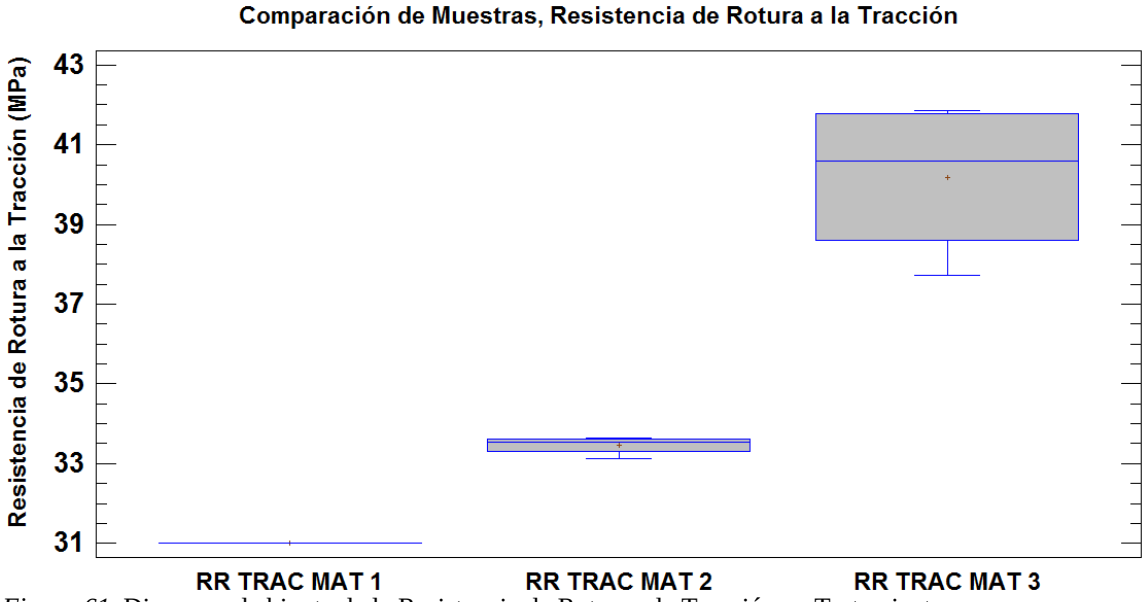


Figura 61. Diagrama de bigote de la Resistencia de Rotura a la Tracción en Tratamientos.

Según la figura 61 y las tablas 36 y 37, existen diferencias significativas entre los tratamientos, que corresponde al material MAT 3 (VeroWhitePlus RGD 835) con relación a los materiales MAT 1 y MAT 2. Ya que es superior en cuanto a la Resistencia a la Rotura de tracción.

Comparación de Muestras, Esfuerzo Máximo a la Flexión

Tabla 41.
ANOVA. Comparación de diferencia entre grupos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	570,913	2	285,456	22,10	0,0003
Intra grupos	116,247	9	12,9164		
Total (Corr.)	687,16	11			

La tabla 38, descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Tabla 42.
Resistencia de Esfuerzo Máximo a la Flexión. Grupo Homogéneo

	Casos	Media	Grupos Homogéneos		
EMF MAT 3	4	28,69	X		
EMF MAT 1	4	42,0		X	
EMF MAT 2	4	44,3575			X

Nota: RR TRAC: Esfuerzo Máximo a la Flexión.
Los Niveles que compartan una misma columna de X, no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 43.
Comparación entre tratamientos

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
EMF MAT 1 - EMF MAT 2	*	-2,3575	5,74883
EMF MAT 1 - EMF MAT 3	*	13,31	5,74883
EMF MAT 2 - EMF MAT 3	*	15,6675	5,74883

Nota: * Indica una diferencia significativa.
MAT 1: Polipropileno, MAT 2: ASA, MAT 3: VeroWhitePlusRDG 835.

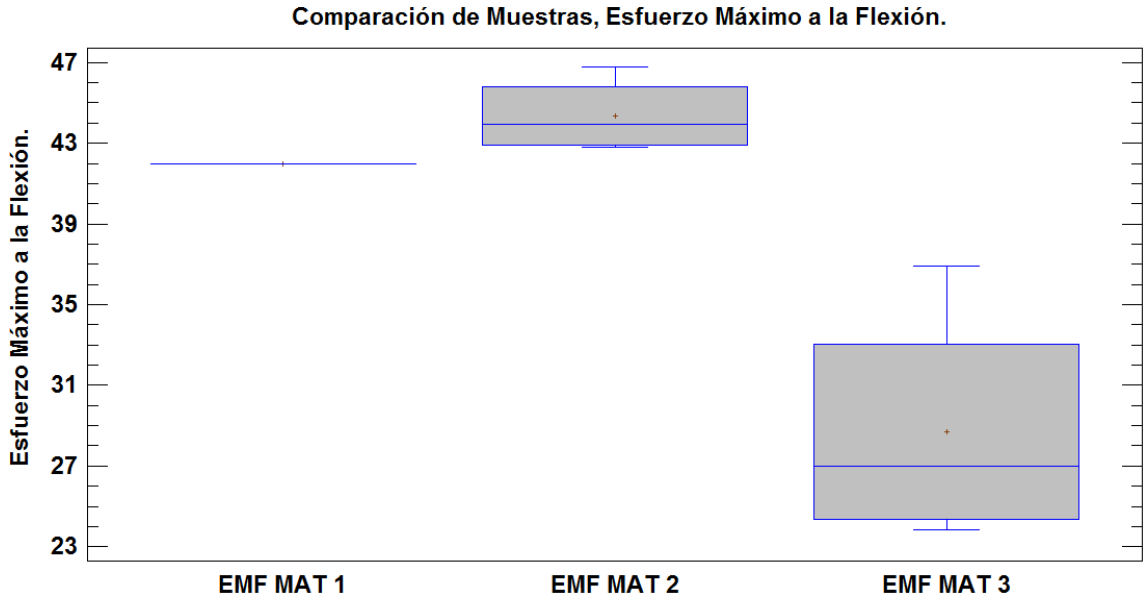


Figura 62. Diagrama de bigote de Esfuerzo Máximo a la Flexión.

Comparación Deformación Máxima a la Flexión

Según la figura 62 y las tablas 39 y 40, existen diferencias significativas entre los tratamientos, que corresponde al material MAT 2 (ASA) con relación a los materiales MAT 1 y MAT 3. Ya que es superior en cuanto al Esfuerzo Máximo a la Flexión.

Comparación Deformación Máxima a la Flexión

Tabla 44.
ANOVA. Comparación de diferencia entre grupos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	774,394	2	387,197	500,39	0,0000
Intra grupos	6,96407	9	0,773786		
Total (Corr.)	781,358	11			

La tabla 41, descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es

menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos

Tabla 45.
Resistencia de Deformación Máxima a la Flexión. Grupo Homogéneo

	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
D.M. MAT 1	4	5,0	X	
D.M MAT 2	4	14,17		X
DM. MAT 3	4	24,6625		X

Nota: DM.: Deformación Máxima a la Flexión.
Los Niveles que compartan una misma columna de X, no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 46.
Comparación entre tratamientos

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
DM. MAT 1 - D.M MAT 2	*	-9,17	1,40708
DM. MAT 1 - DM. MAT 3	*	-19,6625	1,40708
D.M MAT 2 - DM. MAT 3	*	-10,4925	1,40708

Nota*:* * Indica una diferencia significativa.
MAT 1: Polipropileno, MAT 2: ASA, MAT 3: VeroWhitePlusRDG 835.

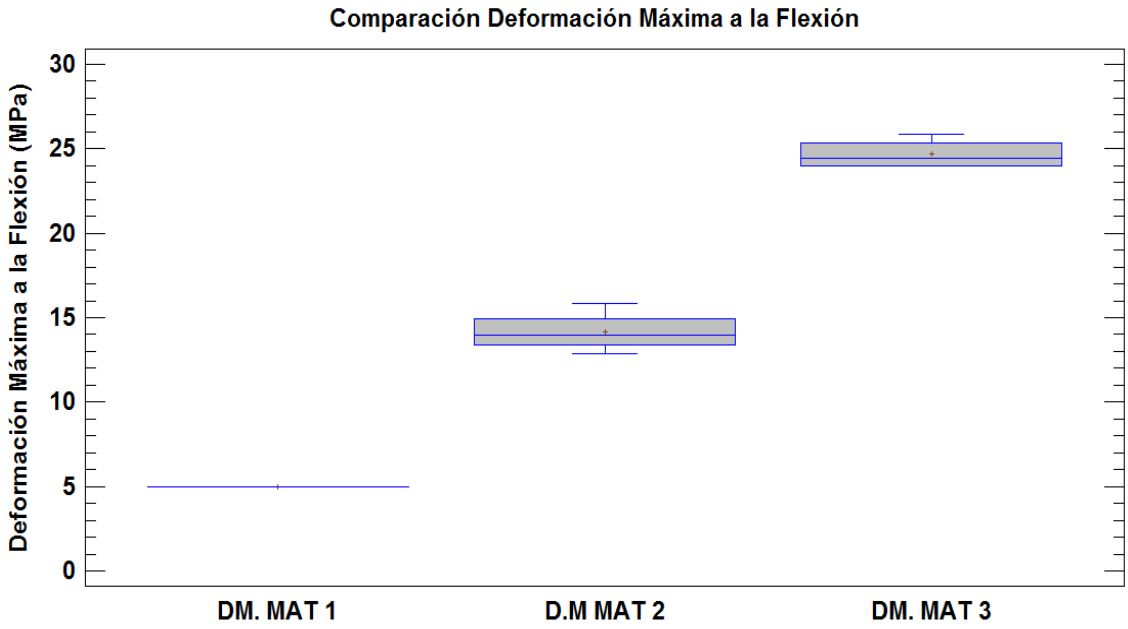


Figura 63. Diagrama de bigote de Deformación Máxima a la Flexión.

Según la figura 63 y las tablas 42 y 43, existen diferencias significativas entre los tratamientos, que corresponde al material MAT 3 (VeroWhitePlus RGD 835) con relación a los materiales MAT 1 y MAT 2. Ya que es superior en cuanto a la de Deformación Máxima a Flexión.

Análisis de Costos

En la tabla 44. se indica los costos estimados del estudio, procesos, movilizaciones y fabricación impreso en 3D del conducto fabricado con material VeroWhitePlus RGD 835, Tecnología PolyJet.

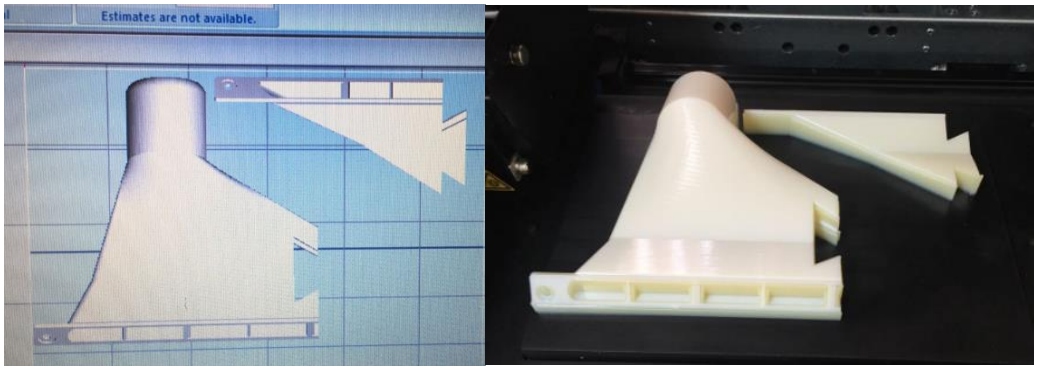
Tabla 47

	CONCEPTOS	VALORES
1	Rollo de Filamento ASA	$ 120.00
3	Rollo de Filamento VeroWhitePlus RGD835	$ 300.00
1	Alquiler de Impresora Objet 30 Pro	$ 46.00
1	Alquiler de Impresora Fortus 900	$ 90.00
1	Ensayos Mecánicos Tracción ASA	$ 93.00
1	Ensayos Mecánicos Flexión ASA	$ 93.00
1	Ensayos Mecánicos Tracción VeroWhitePlus RGD 835	$ 88.00
1	Ensayos Mecánicos Flexión VeroWhitePlus RGD 835	$ 88.00

Costos Estimados

1	Norma AST 638-14 Tracción	$ 53.00
1	Norma AST 790-14 Tracción	$ 51.00
1	Impresión Final Prototipo con Material VeroWhitePlus RGD835	$ 138.00
10	Transportes viajes Loja, Ambato, Quito	$700.00
2	Impresiones	$25.00
13	**TOTAL:**	**$1885.00**

Resultado final Fabricación del conducto de aire Automotriz



Prototipo previo software e impresión

Figura 64. Prototipo final Conducto de Aire

En la figura 64. se puede observar tres etapas de fabricación del conducto de aire la primera es el modelo del software para la impresión, él segundo es el conducto de aire ya impreso por partes, las partes se debe que por las dimensiones de la geometría no se acoplaron en la bandeja de la impresora Objet 30Pro, por lo que se decidió hacer por partes y después unirla por medio de pegamento ultra fuerte y material de relleno VeroWhitePlus RGD835, atravesando luz ultravioleta la que se encargara de solidificar la pieza para su uso final.

Discusión

Según los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones estructurales, se determina que el material VeroWhitePlus RGD 835, presente en la Tecnología PolyJet, posee un Esfuerzo de Von Mises de 0,196 MPa y una deformación total de 0,058 mm, al comparar este polímero con el filamento ASA se prueba que no varía en cuanto al Esfuerzo de Von Mises, ya registran valores similares, pero a diferencia a la deformación total el material VeroWhitePlus RGD 835, es superior con 0.262 mm con respecto al filamento ASA. Al comparar el VeroWhitePlus RGD 835 con el material original Polipropileno, es superior con un valor mínimo de 0.00045 MPa en el Esfuerzo de Von Mises y en la deformación total de 0.072 mm a diferencia del material original, en cuanto al del filamento ASA tiene valores superiores comparado con el Polipropileno con diferencias de 0.1918 MPa y 0.00410 mm con una deformación total, en relación con lo que sostiene (Morales Contreras, 2009), existen deformaciones mínimas que sufren los materiales debido a esfuerzos constantes, es por ello que el análisis CFD determina puntos críticos dentro del ducto para su posterior fabricación.

La presión total del ducto de aire tiene como resultado una presión de 3.18 Pa al ingreso de la toma del ducto, lo que es una presión adecuada y resistente para flujos moderados, este análisis se efectuó mediante un análisis CFD. Los resultados de velocidad se realizaron en diferentes planos tanto X, Y y Z.

La velocidad del ducto en el plano X, es de 2.30 m/s, plano Y, de 0,38 m/s y en el plano Z de 2,80 m/s. Se puede determinar que en plano Z es adecuada para desempañar el parabrisas con velocidades de 10,08 Km/h, lo que es un flujo aire considerable en la entrada del ducto, en relación con lo que sostiene (Espinoza Cabrera, 2016), las velocidades en los planos X y Z poseen un mejor desempeño en flujo de aire debido a su comportamiento geométrico y la presión inicial del sistema.

Según la tabla 26, Comparando las propiedades Mecánicas de materiales como: El Polipropileno, VeroWhitePlus RDG835, ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato), en cuanto a pruebas mecánicas se caracteriza el material según ensayos de tracción y flexión dando como resultado el material VeroWhitePlus RDG835 con una elevada Resistencia Máxima de tracción de 55 MPa, a comparación del material ASA con 32 MPa y Polipropileno con 35 MPa. Otra característica mecánica es la Resistencia a la Rotura, el material VeroWhitePlus posee un valor de 42 MPa, en comparación con el ASA su diferencia es superior en 8 MPa y 11MPa con relación al Polipropileno. En cuanto a la deflexión es superior el VeroWhitePlus con 22,52 mm a diferencia de ASA 14mm y polipropileno 14,76mm. Por lo tanto, al analizar las pruebas mecánicas, simulaciones estructurales, ingresos de velocidad y presión, se determina que el material VeroWhitePlus RGD 835 posee una superior y adecuada caracterización para ser fabricada por manufactura Aditiva en ductos de aire automotriz, en relación con lo que sostiene (www.arpem.com, 2015), existen materiales de impresión en 3D con diferentes propiedades mecánicas para la fabricación de diferentes prototipos según cual se el uso a encomendarse.

Cabe destacar que según la figura 66 en los Resultados Gráficos del ensayo de flexión sometidos a Fuerza, material VeroWhitePlus ™835, en la curva de la probeta 3 resulta con un desfase superior a las demás, esto esta originado a que al inicio del ensayo la probeta 3 fue sensada para que la máquina tenga una configuración aproximada de las demás, por otra parte la estructura interna de impresión de la probeta tuvo una estructura interna deficiente del material, por lo tanto en el análisis la probeta 3 fue descartada para el proceso de compración.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de ensayos mecánicos realizados a materiales poliméricos, se puede concluir que el VeroWhitePlus ™835 posee una elevada Resistencia a la tracción y un Módulo de Elasticidad. Si bien el material ASA es utilizado en diferentes estudios y aplicaciones, éste se comercializa como un "terpolímero amorfo termoplástico", con una excepcional resistencia a la intemperie, pero sin duda el material VeroWhitePlus ™ garantiza acabados debido que son homogéneos y tienen un alto desempeño en forma y funcionamiento tanto de piezas móviles como estáticas.

Una caracterización mecánica íntegra demostró que, comparado el VeroWhitePlus ™835 ,con el ASA, sí posee una mayor capacidad de deformación plástica y de absorción de energía frente a diversas solicitaciones mecánicas al impacto por lo que puede ser considerado un "Polímero de alta resistencia ", pero por el contrario responde con una menor deformabilidad que el ASA.

Según Resultados Estadísticos de comparaciones entre diferentes propiedades mecánicas, se puede observar que, existe una diferencia significativa entre las diferentes características mecánicas sobresaltando el material VeroWhitePlus ™835, con altas prestaciones de resistencia.

El coeficiente de seguridad del ducto de aire del material VeroWhitePlus fue del 172%, comparado con el ducto patrón mediante la aplicación del software Siemens NX como herramienta de diseño, y el Ansys como herramienta de análisis estructural.

Se determina que el material VeroWhitePlus RGD 835, posee mejor comportamiento desde el punto de vista del Esfuerzo de Von Mises y deformación total en comparación con el resto de los materiales.

El material VeroWhitePlus presentó adecuadas características en el proceso de impresión por el método PolyJet, con acabado de calidad.

Recomendaciones

Se debe diseñar una geometría especial apto para el transporte de aire según su flujo volumétrico de aire ya que las geometrías establecidas por los fabricantes de vehículos tienen características generales provocando una deficiencia energética del fluido.

Al momento de la Impresión en 3D del prototipo final se debe tener mucho cuidado con el material de soporte ya que al optimizar éste material se ahorraría un 20% de material.

El método de impresión del Ducto en la Objet 30Pro se debe realizarse con el método LOSE ya que permite un ahorro del 35% del material base.

En las pruebas de ensayos mecánicos, se debe garantizar que los materiales impresos referente a las probetas deban estar estructuradas internamente con el material 100% base, debido que al momento de ensayarse los resultados pueden dispararse a comparación con las demás probetas demarcando los resultados logrados.

Se recomienda que este proyecto de investigación continúe con un estudio de campo aplicado al ducto de aire automotriz, para lograr extraer experimentalmente valores de duración a diferentes intervalos de velocidad y presión.

Bibliografía

3D Systems . (2012). Obtenido de http://www.zcorp.com/en/Press-Room/3D-Systems-Completes-Acquisition-o f-Z-Corporation/news.aspx.

3DLimitLess. (27 de 09 de 2016). Obtenido de https://www.3dlimitless.com/es/noticia/nuevos-materiales-para-impresion-3d-asa

AEADE. (2017). *Ventas del sector automotor aún siguen por debajo de promedio histórico.* Quito.

Beltrán, M. I. (2011). *Estructura y propiedades de los polímeros.* España.

Broge, J. L. (09-Nov-2015). Aurora Flight Sciences, Stratasys debut en Dubai de propulsión a chorro, 3D impreso UAV . *SAE INTERNATIONAL*, 1.

Castillo Orozco, E. A. (2012). *Validación de un modelo CFD para análisis de golpe de Ariete en conductos cerrados (Bachelor's thesis, Espol).* Guayaqui.

Chee , K., & Ka Fai, L. (2014). *worldscientific*. Obtenido de 3D Printing and Additive Manufacturing 4ta Edition. Recuperado de http:: http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/9008

Chua, C., K. F., L., & C.S., L. (2010). *Rapid prototyping : principles and applications.* . Singapore; : Hackensack, NJ: World Scientific.

Escobar, C. (2016). *Estudio Analítico de la oferta local de autopartes requeridas en procesos de mantenimiento prefentivo para vehículos livianos que se ecuentran ubicados en el Ecuador.* Quito.

Espinoza Cabrera, D. (2016). *Análisis de flujo de aire en el conducto de admisión y válvula de admisión de una motocicleta suzuki de 125cc mediante dinámica de fluidos computacional.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Fórmula Student Cantabria. (2015). Obtenido de Fórmula Student Cantabria: http://fscantabria.es/

Ibrahim, D. (2009). *Dimensional error of selective laser sintering,.* European Association for Craniu .

Jiménez Sánchez, J. (2006). *Un análisis del sector automotriz y su modelo de gestión en el suministro de las autopartes* . México D.F: Publicación Técnica.

Klocke, F., T. Celiker, , F., & and Y.A. Song,. (1995. 1(3): p. 32-42.). *Rapid metal tooling. Rapid Prototyping Journal,.*

Kruth, J. (1991. 40(2): p. 603-614.). *Material incress manufacturing by rapid prototyping techniques. CIRP Annals-Manufacturing Technology.*

Kruth, J. M.-M.-6. (s.f.).

Morales Contreras, O. (2009). *Estudio Experimental y numérico del flujo de aire en ducto rectangular con un escalon.* México.

Noorani, R. (2006 Hoboken). *Rapid prototyping: principles and applications2006.* N.J.: Wiley. xxi, 377 p.

okdiario. (2015). Obtenido de okdiario: http://blogs.okdiario.com/motor/11407/construye-propio-coche-impresora-3d

Peña, A., & Pinta, F. (01 de 11 de 2012). *ecuadorencifras*. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Infoconomia/info7.pdf

Peter D. Hilton, P. (2000). *Rapid tooling: technologies and industrial applications.* New York: Marcel Dekker.

Pham, D. a., Pham, D., & Gault, R. (1998). *A comparison of rapid prototyping technologies.* International Journal of Machine Tools and Manufacture.

Pro Ecuador. (2017). *Análisis Sectorial Automotriz.* Quito.

PROTO3000. (s.f.). *3D Printing Advantages. Available from: .* Obtenido de http://www.proto3000.com/rapid-prototyping.aspx?topidcol=11

Rodríguez, R., Hernandez, A., & Rainer, C. (2015). *Impresión 3D de repuestos de quilla para propulsor eléctrico de embarcaciones.* Instituto de Ciencias y Tecnologías e Inovación.

Steve, U., & Fletcher, R. (2003). *The rapid prototyping technologies. Assembly Automation,.* Canada: University Boulevard.

Valero, J. (2015). *www.hipertextual.com.* Obtenido de http://blogs.okdiario.com/motor/11407/construye-propio-coche-impresora-3d

Vazhnov, A. (2013). *Impresion 3D. Como va a cambiar el mundo.* E.E.U.U: E. Baikal.

Vega Molero, V. (. (2011). *Simulación CFD de la entrada de aire de un motor a reacción* . Universitat Politècnica de Catalunya.

www.arpem.com. (2015). Obtenido de arpem: http://www.arpem.com/noticias/2015/coches/bmw/informacion/impresion-3d-1154866-n.html

Yasnikowski, M., Rebak, E., Rodriguez, C., & González, F. (2016). *Manufactura aditiva como instrumento de fabricación de una máquina ball-on-flat.* Argentina: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones. .

ANEXOS