

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

**Caracterización y Aplicación de material compuesto de resina de poliéster y
refuerzo de totora para la fabricación de parachoques delantero de autobús
urbano**

Javier Renato Moyano Arévalo

Nota del autor

**Javier Renato Moyano Arévalo, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería,
Universidad Internacional SEK.**

Director Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos, M.Sc.

Codirector Ing. Diana Belén Peralta Zurita, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

jmoyano.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Javier Renato Moyano Arévalo, con cédula de identidad 0603796442, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o 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.

**JAVIER RENATO MOYANO ARÉVALO
C.I.: 0603796442**

DEICATORIA.

Este trabajo se lo dedico a Dios, por permitirme vivir y gracias a su bendición y cuidado he logrado obtener una vida feliz , también por darme unos padres que con su apoyo, consejos, y educación me han guiado para poder cumplir las metas propuestas en mi vida.

A mi hermano Adrián, familiares y amigos que con su confianza, compañía, apoyo que me ha servido para aprender de la vida, cosas como el no dejarse derrotar por los problemas, lo gratificante que se siente realizar buenas acciones, ayudar a las personas necesitadas, y sobre todo el darse cuenta que solo depende de uno para ser feliz.

Javier Renato Moyano Arévalo

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVOS	7
<i>Objetivo principal.</i>	7
<i>Objetivos específicos.</i>	7
MARCO TEÓRICO	8
<i>Autobús.</i>	8
<i>Autopartes de autobuses</i>	8
Chasis.	8
Motor.	9
Sistema de transmisión.	9
Sistema de dirección.	10
Sistema de freno.	10
Frenos de servicio.	10
Freno de Parqueo.	10
Sistema de suspensión.	10
Sistema eléctrico.	10
Carrocería.	11
Parachoques.	13
<i>Materiales compuestos.</i>	13
Calcificación de los materiales compuestos.	14
Compuestos reforzados con fibras.	14
Composición del material compuesto.	15
<i>Matriz.</i>	15
Propiedades de las matrices.	16
<i>Tipos de matrices.</i>	17
Matriz polimérica.	17
Matriz Termoestable.	18
<i>Refuerzo.</i>	19
Tipos de refuerzos.	19
Refuerzos por fibras.	20
Las fibras.	21
Fibras naturales y sus propiedades.	22
<i>Totora y sus propiedades.</i>	23
Características de la totora.	25
Interfaz.	27
<i>Resinas</i>	27
Resinas de poliéster.	29
Curado de la resina de poliéster.	30
<i>Choque térmicos en resinas de poliéster.</i>	31
<i>Sistemas asistidos por computadora.</i>	31
Diseño asistido por computadora (CAD).	32
Ingeniería asistido por computadora (CAE).	33

CAPÍTULO II	34
MÉTODO.	34
<i>Tipos de investigación</i>	34
<i>Metodología</i>	35
Selección y asignación de elementos de estudio.....	35
Procesamiento de datos.....	35
EQUIPOS Y MATERIALES.....	36
<i>Equipos.</i>	36
<i>Materiales.</i>	38
<i>Dimensionamiento y construcción del moldes</i>	40
<i>Proceso de fabricación de las probetas de tracción, flexión e impacto.</i>	41
<i>Metodología para la obtención de la fibra de totora.</i>	41
<i>Proceso de fabricación del material compuesto</i>	43
Estratificación manual.	43
TRACCIÓN FLEXIÓN E IMPACTO.....	44
<i>Tracción.</i>	44
<i>Flexión.</i>	46
<i>Impacto.</i>	47
DESARROLLO DE ENSAYOS A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO	48
<i>Determinación de la fracción volumétrica de la fibra natural</i>	48
<i>Tiempo de curado</i>	51
<i>Dimensionamiento de las probetas</i>	52
Elaboración de las probetas de tracción.....	52
Elaboración de las probetas para flexión.	53
Elaboración de las probetas para impacto.....	55
CHOQUE TÉRMICO.....	56
TEST DE PARACHOQUES “RCAR”	57
<i>Parámetros de ensayo parachoques delantero</i>	58
Diseño y dimensiones de la barrera de acero.....	59
FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO	61
CAPÍTULO III.....	63
RESULTADOS.....	63
<i>Ensayos destructivos</i>	63
CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ RESINA DE POLIÉSTER 33000.....	63
CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE RESINA DE POLIÉSTER Y REFUERZO DE FIBRA DE TOTORA.....	67
<i>Fusión de la matriz de poliéster y fibra de totora.</i>	67
<i>Resultados del ensayo a tracción</i>	68
<i>Resultados del ensayo a flexión.</i>	75
<i>Resultados del ensayo a impacto.</i>	79
<i>Choque térmico.</i>	82
<i>Simulación del test de parachoques RCAR</i>	84
Modelado de componentes.	84
Simulación del test de impacto RCAR.	86

Simulación de datos fibra tejida.....	91
Simulación de datos fibra larga.....	96
<i>Fabricación de prototipo de parachoques</i>	98
Análisis de costos para la fabricación de prototipo.	99
CAPÍTULO IV.....	100
ANÁLISIS DE RESULTADOS	100
ENSAYO A TRACCIÓN.	100
ENSAYO A FLEXIÓN.....	102
ENSAYO A IMPACTO	104
PRUEBA DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	105
INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CHOQUE TÉRMICO	109
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN.	110
ANÁLISIS DEL PROTOTIPO FABRICADO.	110
<i>Análisis de costos</i>	111
CONCLUSIONES.....	112
RECOMENDACIONES.	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
ANEXOS	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 . Autobús de servicio urbano.	8
Figura 2. Chasis de autobús urbano.	8
Figura 3. Elementos que conforman el chasis.	9
Figura 4. Etapas de construcción de carrocería de un autobús.	11
Figura 5. Etapa de acabados de carrocería de autobús.....	13
Figura 7. Clasificación de materiales compuestos	14
Figura 8. Elementos de un material compuesto	15
Figura 9. Compresión en la matriz	16
Figura 10. Tracción en la matriz	16
Figura 11. Características de las matrices termoestables.	18
Figura 12. Fibras continuas alineadas.	22
Figura 13. Planta de totora.	24
Figura 14. Artesanías de Totorá.....	24
Figura 15. Tallo de totora.....	25
Figura 16. Interfaz de material compuesto	27
Figura 17. Curva de curado de la resina.	30
Figura 18. Carcaza de motor de arranque	32
Figura 19. Análisis de distintos elementos en sistema CAE.	33
Figura 20. Máquina Universal.	36
Figura 21. Microscopio electrónico.	36
Figura 22. Horno para tratamientos térmicos.	37
Figura 23. Péndulo Charpy.	37
Figura 24. Deformímetro.	37
Figura 25. Calibrador pie de rey.	37
Figura 26. Moldes fabricados en vidrio para probetas	38
Figura 27. Resina poliéster 33000.	38
Figura 28. Matriz conformada por resina de Poliéster 33000.....	39
Figura 29. Cera desmoldante.	39
Figura 30. Molde elaborado en vidrio	40
Figura 31. Metodología para la obtención de fibra de totora.....	42

Figura 32. Tejido para la elaboración de esteras.....	42
Figura 33. Esquema de aplicación de carga a tensión y compresión.	44
Figura 34. Esquema de ensayo a flexión.	46
Figura 35. Ensayo Charpy.....	47
Figura 36. Determinación de la densidad y peso de las probetas.	50
Figura 38. Dimensionamiento probeta a tracción.	52
Figura 39. Probetas elaboradas para ensayo de tracción	53
Figura 40. Dimensionamiento de probetas a flexión.	54
Figura 41. Probetas elaboradas para ensayo de flexión	54
Figura 42. Dimensionamiento probeta de impacto.	55
Figura 43. Probetas elaboradas para ensayo de impacto.....	56
Figura 44. Fractura material compuesto producido	56
Figura 45. Barrera de parachoques de acero con anti retorno	59
Figura 46. Barrera de parachoques y absorbedor de energía.	59
Figura 47. Disposición de barrera de acero	60
Figura 48. Dimensiones de respaldo.....	60
Figura 49. Dimensiones de la barrera principal, vista superior.	60
Figura 50. Fabricación de prototipo.	62
Figura 51. Representación del esfuerzo máximo, módulo de elasticidad.....	65
Figura 52. Adherencia de la matriz y refuerzo.	68
Figura 53. Esfuerzo máximo a tracción de cada configuración.	72
Figura 54. Módulo de elasticidad de cada configuración.	72
Figura 55. Gráfica esfuerzo vs deformación ensayo de tracción.....	73
Figura 56. Comparación de medias del esfuerzo máximo.	74
Figura 57. Comparación de medias del módulo de elasticidad	74
Figura 58. Esfuerzo máximo de cada configuración a flexión.	77
Figura 59. Módulo de flexión de cada configuración.	77
Figura 60. Gráfica esfuerzo vs deformación ensayo de flexión,.....	78
Figura 61. Resistencia máxima al impacto de las configuraciones.	81
Figura 62. Distribución de las probetas en el horno.	82
Figura 63. Grietas producidas por el choque térmico.	82

Figura 64. Imperfecciones producidas por choque térmico.	83
Figura 65. Modelado de parachoques.	84
Figura 66. Modelado de barrera de choques.	84
Figura 67. Ensamble de parachoques y barrera.	85
Figura 68. Ensamble para simulación.....	86
Figura 69. Éxplicit Dynamics.	86
Figura 70. Creación de material compuesto de resina y fibra tejida de totora en ANSYS.....	87
Figura 71. Creación de material compuesto de resina y fibra larga de totora en ANSYS	87
Figura 72. Elementos sólidos y de superficie.	88
Figura 73. Mallado de elementos de simulación.	89
Figura 74. Verificación jacobiana de los elementos de simulación.....	90
Figura 75. Simulación deformación máxima, fibra tejida	91
Figura 76. Simulación factor de seguridad, fibra tejida,.....	91
Figura 77. Determinación del momento máximo y momento de inercia.	93
Figura 78. Representación esfuerzo de flexión.....	94
Figura 79. Simulación deformación máxima, fibra larga,	96
Figura 80. Simulación factor de seguridad, fibra larga,	96
Figura 81. Vista isométrica de prototipo de parachoques para bus	98
Figura 82. Vista posterior de prototipo de parachoques para bus.	98
Figura 83. Resultados promedio de la resistencia a la tracción de todos los materiales.....	100
Figura 84. Resultados promedio del módulo de elasticidad de todos los materiales.....	101
Figura 85. Resultados promedio de la resistencia a la flexión de todos los materiales.	102
Figura 86. Resultados promedio del módulo de flexión de todos los materiales.	102
Figura 87. Comparación de medias del esfuerzo máximo a flexión.	103
Figura 88. Comparación de medias del módulo de flexión promedio.	104
Figura 89. Comparación de medias de la resistencia al impacto.	104
Figura 90. Interpretación de resultados.	108
Figura 91. Vista lateral de prototipo de parachoques para bus.	110
Figura 92. Fallas en el prototipo.	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas de fibras vegetales comparadas con fibras de vidrio	22
Tabla 2. Comparación entre fibras vegetales y fibras de vidrio	23
Tabla 3. Propiedades físicas de la Totora	26
Tabla 4. Tiempos de curado de las probetas de matriz polimérica y refuerzo de totora.	51
Tabla 5. Número de probetas a tracción a ensayar	53
Tabla 6. Información de las probetas a flexión.	54
Tabla 7. Información de las probetas a impacto	55
Tabla 8. Ensayo a tracción resina de poliéster 33000.	64
Tabla 9. Datos del ensayo a flexión de la matriz resina de poliéster 33000.	66
Tabla 10. Datos del ensayo a impacto de resina poliéster 33000.	67
Tabla 11. Datos de ensayo a tracción fibra corta	69
Tabla 12. Datos de ensayo a tracción fibra larga.	70
Tabla 13. Datos de ensayo a tracción fibra tejida.	71
Tabla 14. Resultados promedios del ensayo a tracción de las distintas configuraciones	73
Tabla 15. Datos de ensayo a flexión fibra larga.	75
Tabla 16. Datos de ensayo a flexión fibra tejida.	76
Tabla 17. Resultados promedios del ensayo a flexión de las distintas configuraciones.	78
Tabla 18. Datos den ensayo a impacto de fibra larga.	79
Tabla 19. Datos del ensayo a impacto fibra tejida.	80
Tabla 20. Resistencia al impacto promedio.	81
Tabla 21. Datos registrados por el ensayo a impacto en probetas con choque térmico.....	83
Tabla 22. Costos directos	99
Tabla 23. Costos indirectos	99
Tabla 24. Costos totales	99
Tabla 25. Resumen estadístico fibra tejida, fibra larga, y fibra corta.	105
Tabla 26. Tabla resumen método ANOVA	106
Tabla 27. Resumen estadístico fibra tejida, larga y resina de poliéster	107
Tabla 28. Resumen de tabla ANOVA flexión	107
Tabla 29. Tabla de diferencias significativas	108
Tabla 30. Valores obtenidos en la simulación de impacto RCAR.	110

LISTA DE ECUACIONES

Número	Nombre	Ecuación	Unidades
1	Esfuerzo máximo a tracción	$\sigma_{max} = \frac{F}{A}$	MPa
2	Elongación	$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o}$	mm
3	Módulo de elasticidad	$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon}$	MPa
4	Esfuerzo máximo a flexión	$\sigma_{maxf} = \frac{3FL}{2bh^2}$	MPa
5	Módulo de deformación a flexión	$Y_{max} = \frac{FL^3}{4bh^3\delta}$	MPa
6	Densidad material compuesto	$\rho_c = f_m\rho_m + f_f\rho_f$	Kg/m ³
7	Energía cinética	$E_c = \frac{1}{2}m.v^2$	N-m
8	Trabajo	$W = \frac{1}{2}m.v_B^2 - \frac{1}{2}m.v_A^2$	J
9	Fuerza en función energía cinética	$F = \frac{E_c}{s}$	N
10	Esfuerzo a flexión	$\sigma_{maxf} = \frac{Mc}{I}$	MPa
11	Mohr Modificado	$\sigma_A = \frac{Sut}{n}$	MPa

LISTA DE SIMBOLOS Y NOMENCLARURA

Símbolo	Nomenclatura
FC	Fibra corta
FL	Fibra larga
FT	Fibra tejida
RP	Resina poliéster
σ_{max}	Esfuerzo máximo (MPa)
E	Módulo de elasticidad (MPa)
σ_{maxf}	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)
Y_{max}	Módulo de deformación a flexión (MPa)
F	Carga máxima o fuerza máxima (kgf - N)
A	Área de la sección transversal mm^2
ε	Elongación
l_f	Longitud final (mm)
l_o	Longitud inicial (mm)
δ	Deflexión de la probeta (mm)
L	Longitud entre apoyos (mm)
h	Espesor de la probeta (mm)
b	Ancho de la probeta (mm)
ρ_c	Densidad del material compuesto
ρ_m	Densidad de la matriz
ρ_f	Densidad de la fibra
f_m	Fracción volumétrica de la matriz
f_f	Fracción volumétrica de la fibra
E_c	Energía cinética (N-m)

m	Masa (kg)
v	Velocidad ($\frac{m}{s}$)
M	Momento máximo (N-mm)
s	Desplazamiento (m)
c	Distancia máxima del momento (mm)
I	Segundo momento de área alrededor del eje z (mm^4)
S_{ut}	Resistencia a la tensión
n	Factor de seguridad

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Plano de molde para probetas a tracción.....	118
ANEXO 2. Plano de molde para probetas a flexión	119
ANEXO 3. Plano de molde para probetas a impacto.....	120
ANEXO 4. Probeta a tracción	121
ANEXO 5. Probeta a flexión	122
ANEXO 6. Probeta a Impacto	123
ANEXO 7. Dimensiones de prototipo de guardachoques	124
ANEXO 8. Barrera de choque para simulación.	125
ANEXO 9. Parachoques con acabados superficiales	126

TÍTULO

Caracterización y Aplicación de material compuesto de resina de poliéster y refuerzo de totora para la fabricación de parachoques delantero de autobús urbano

RESUMEN

El presente proyecto se basa en la caracterización mecánica de material compuesto por resina de poliéster 33000 con fibra natural de totora, con configuraciones de fibra larga, corta y tejida, en fracción volumétrica de 30 %. Los ensayos de tracción, flexión e impacto son desarrollados bajo la norma ASTM para materiales poliméricos, con el propósito de mejorar la configuración de parachoques delanteros de autobuses urbanos. Las pruebas de tracción y flexión se realiza en la maquina universal Tinius Olsen, los ensayos de impacto en el péndulo Charpy. Se analizó los resultados y se determinó que la configuración de fibra larga y tejida presentan mejores características mecánicas en relación a la matriz resina de poliéster, los valores obtenidos para la fibra larga fueron un esfuerzo máximo a tracción $\sigma_{max}= 19.71$ MPa, y un $E= 691.39$ MPa, para fibra tejida se estableció un esfuerzo máximo $\sigma_{max}= 28.16$ MPa, y un $E= 943.33$ MPa. Se realizó un ensayo de choque térmico al material compuesto de totora y se evidenció fracturas que afecta totalmente las características mecánicas del compuesto. Se realiza un modelado del prototipo de parachoques software NX para luego con la ayuda de software ANSYS FREE realizar una simulación del ensayo de impacto RCAR, obteniendo factores de seguridad superiores a 1, tanto para la fibra larga como para fibra tejida. A partir del estudio realizado se procede a fabricar un prototipo de parachoques delantero para autobús, que demuestra la posibilidad de impulsar la fabricación de autopartes, y así aportar al desarrollo de la matriz productiva del Ecuador.

ABSTRACT

The present project is based on the mechanical characterization of material composed of polyester resin 33000 with natural fiber of totora, with configurations of long, short and woven fiber, in volumetric fraction of 30%. The tensile, flexure and impact tests are developed under the ASTM standard for polymeric materials, in order to improve the front bumper configuration of city buses. The tests of traction and flexion are realized in the universal machine Tinius Olsen, the tests of impact in the Charpy pendulum. The results were analyzed and it was determined that the configuration of long and woven fiber presented better mechanical characteristics in relation to the polyester resin matrix, the values obtained for the long fiber were a maximum tensile stress $\sigma_{max} = 19.71$ MPa, and an $E = 691.39$ MPa, for woven fiber a maximum stress $\sigma_{max} = 28.16$ MPa was established, and an $E = 943.33$ MPa. A thermal shock test was performed on the composite of totora and fractures were evidenced that totally affected the mechanical characteristics of the compound. A modeling of the NX software bumper prototype is performed and then with the help of ANSYS FREE software, a simulation of the RCAR impact test is obtained, obtaining safety factors greater than 1 for both long and woven fibers. From the study carried out, a prototype of a front bumper for buses is produced, demonstrating the possibility of promoting the manufacture of auto parts, and thus contribute to the development of the productive matrix of Ecuador

CAPÍTULO I

Introducción.

En los últimos años la necesidad de suplantar materiales que afectan al ambiente ha dado paso a que se realice investigaciones sobre materiales compuestos que tienen como elemento de refuerzo fibras naturales, los mismos que presentan características y propiedades relevantes como resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, aislante térmico, además de ser livianos.

La industria automotriz realiza investigaciones de nuevos materiales con el fin de suplantarse a los ya existentes, pero que tenga las mismas o mejores propiedades mecánicas, a su vez también busca el alivianamiento de las distintas autopartes, uno de los materiales naturales utilizados por la industria es la soja, su aceite se utiliza para la fabricación de pintura para autos, las fibras se utilizan para elaborar tiradores, pedales, botones, además la empresa Ford elaboró una carrocería completa con cáñamo, lino, trigo y pulpa de abeto diez veces más resistente que el acero (Quagliano, 2006).

En el campo de los composites se han realizado varios estudios que involucran los materiales poliméricos como material base y fibra natural como refuerzo, como es el caso de matriz poliéster con refuerzo de coco, al mismo que se le realizó ensayos de tracción, flexión, y ensayos de impacto, para los ensayos a tracción, su módulo elástico 3 960 MPa y esfuerzo máximo 38,56 MPa. Los ensayos de impacto revelaron que el material compuesto absorbió un 361 % más energía que la matriz poliéster (0,07 J) (Guerrero D. , 2014).

Víctor H. Guerrero (2013) realizó un estudio sobre la influencia de la variación de las fracciones volumétricas y configuraciones de los refuerzos en las propiedades mecánicas de los materiales compuestos con fibras naturales. La incorporación de fibras de refuerzo a las matrices poliméricas permitió un incremento de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto.

Este incremento dependió de las fracciones volumétricas empleadas, la configuración y tipo del refuerzo, entre otros. Para la matriz poliéster se observó que a mayor fracción volumétrica de refuerzo los módulos elásticos a tracción presentaron un aumento. Los ensayos de flexión e impacto realizados a los compuestos de matriz poliéster mostraron que a mayor cantidad de fibra de vidrio se produce un incremento en los módulos y en la resistencia al impacto (Víctor H. Guerrero, 2013).

Younouss Dieye (2016), investigó sobre la caracterización mecánica y termo física de materiales a base de fibras de Typha con una perspectiva de uso como materiales de construcción, el aglutinante utilizado en este estudio fue la arcilla. Se examinó la influencia del contenido de aglutinante sobre las propiedades mecánicas y de aislamiento térmico. Las resistencias a la compresión y a la tracción varían respectivamente de 0,279 a 0,796 MPa y de 0,340 a 0,969 MPa cuando el porcentaje en peso de aglutinante oscila entre 77-85%. Estos valores tienen una fuerte correlación lineal con el porcentaje en peso de aglutinante. La conductividad térmica de los materiales secos varía de 0.117 a 0.153 W. m⁻¹. K⁻¹ mientras que la efusividad térmica aumenta de 228,9 a 300,0 J. m⁻². ° C⁻¹. S⁻¹. Los resultados muestran que la conductividad térmica y la efusividad térmica aumentan con el aumento del contenido de humedad de los materiales. Desde el punto de vista mecánico, las resistencias a la compresión y las resistencias a la tracción de los materiales obtenidos son bajas e indica que estos materiales en su forma actual no pueden usarse como material portador; Se pueden utilizar en combinación con una estructura portante; Los bajos valores de conductividad térmica mostraron altas capacidades de aislamiento térmico de estos materiales. Estos materiales, sujetos a los resultados de pruebas adicionales como el envejecimiento y la resistencia al fuego, pueden ser una alternativa interesante para materiales de aislamiento importados (Younouss Dieye, 2016).

Richard S. (2016) realizó una caracterización de compuestos de poliéster reforzados con fibra de *Typha domingensis*. Las muestras se fabricaron mediante el proceso de disposición manual con proporción de fibra y matriz de 30:70 en volumen. Las propiedades mecánicas se ensayaron y mostraron que tienen la máxima resistencia a la tracción de 49,72 MPa y la resistencia al impacto de 121J / m. Se encontró que las propiedades de tracción y de impacto de los materiales compuestos con estas fibras eran mayores que las de la matriz y aumentaban con el contenido de fibra. Determinó que los compuestos de compuestos de fibra-poliéster de *Typha domingensis* eran ligeros en peso y poseían mejores propiedades mecánicas y aislantes. Por lo tanto, el material compuesto recién desarrollado puede usarse para aplicaciones tales como paquetes electrónicos, placas aislantes, partes de automóviles, construcción de edificios y otros usos (Richard S., 2016).

Slah Msahli (2015) estudió el efecto del tratamiento de la fibra, la estructura del refuerzo y la relación de peso de fibra sobre las propiedades de flexión de los compuestos de *Typha-polyester*. Se fabricó una matriz de poliéster insaturado reforzada con una mezcla de fibras de hoja de *Typha* y fibras de hoja de *Typha* no tejidas, con diversas condiciones de tratamiento como agua de mar, álcali y tratamiento combinado, y peso de fibra proporción. Los resultados muestran que el tratamiento con álcali y el proceso combinado proporcionaron mejores propiedades mecánicas de los compuestos en comparación con la fibra tratada con agua de mar.

La relación de peso de las fibras influyó en las propiedades de flexión de los materiales compuestos de tal manera que sus valores aumentan después del tratamiento con álcali. De hecho, se observó un valor máximo de resistencia a la flexión (69,8 MPa) y módulo de flexión (6,16 GPa) para una proporción en peso de fibras del 12,6%. La resistencia a la flexión aumenta en un 65,32 % y 50,66 % respectivamente para el tratamiento combinado y alcalino. Por lo tanto,

el material compuesto desarrollado puede utilizarse para aplicaciones tales como partes de automóviles, construcción de edificios, entre otros. (Msahli Slah, 2015).

Como se puede observar se han realizados varios estudios en el que se utiliza la resina poliéster reforzado con fibras de coco, cáñamo, cabuya, typha entre otras, de los cuales se ha obtenido buenos resultados con respecto a las propiedades mecánicas, térmicas, para la utilización en autopartes, construcción civil y paquetes electrónicos. En el Ecuador existe un gran potencial de producción de Totorá, la cual posee características térmicas, mecánicas además de ser liviano, permite en la actualidad ser empleadas en usos artesanales, y un pequeño porcentaje se utiliza en la construcción de viviendas, sin embargo no existe un estudio previo para su aplicación en autopartes de vehículo, siendo esto un beneficio y ventaja para el desarrollo de este proyecto en el que se realiza un material compuesto con matriz de resina poliéster y refuerzo de fibras de totora, además se determina sus propiedades mecánicas y las afectaciones del mismo a choques térmicos con la finalidad de obtener un material alternativo para la fabricación de parachoques.

Justificación

Por la necesidad de obtener materiales con mejores propiedades mecánicas nace el desarrollo de los materiales compuestos, estos se basan en la unión de materiales simples que poseen diferentes características, producto de la combinación se obtiene un nuevo material que posee mejores propiedades mecánicas.

Los materiales compuestos se forman por dos fases específicas que son la matriz y el refuerzo, la matriz aporta con las propiedades de tenacidad, ductilidad, a su vez transmite los esfuerzos inducidos a los refuerzos. Los refuerzos determinan la estructura interna de los materiales, es decir que las propiedades mecánicas de los composites dependen del material de refuerzo.

En la industria automotriz con el afán de mejorar el rendimiento de los vehículos se ha visto en la necesidad de mejorar los sistemas mecánicos de los vehículos, también se ha desarrollado la investigación de nuevos materiales que ayuden al medio ambiente, analizando materiales compuestos con fibras naturales.

Los automóviles utilizan una gran variedad de autopartes conformados con refuerzo de fibra de vidrio, debido a que sus propiedades mecánicas son relativamente perfectas para la fabricación de parachoques guardabarros entre otros. Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (A.T.S.D.R.), en los últimos años ha realizado investigaciones de la afectación de la fibra de vidrio a la salud de los operarios de este material, indicando que la fibra de vidrio es un elemento muy perjudicial y su afectación depende del tamaño de las fibras, las fibras grandes producen irritación, erupciones de la piel, ojos, estómago, la inhalación del polvo de fibra de vidrio causa problemas pulmonares.

En el año 2002, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (I.A.R.C.) determinó que la lana de vidrio, lana de piedra y filamentos de vidrio continuos no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos debido a la evidencia inadecuada de carcinogenicidad en seres humanos y a la relativa baja biopersistencia de estos materiales.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE. UU (EPA) no ha evaluado la carcinogenicidad de la lana de vidrio, lana de piedra, lana de escoria o de los filamentos de vidrio continuos, pero ha clasificado a las fibras refractarias de cerámica como probablemente carcinogénicas en seres humanos (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016).

La propuesta por el gobierno del Ecuador de cambio de la matriz productiva ha sido con la finalidad de buscar nuevas riquezas que logren tener un desarrollo sostenible e impulsar distintas actividades que se encuentran relacionadas con el talento humano, tecnología y el conocimiento. Este cambio de la matriz productiva ha impulsado y fortalecido en el ámbito automotriz debido a que se han formado empresas las cuales aportan con distintas autopartes como asientos, parabrisas, tapicería, entre otros, para el ensamble de automóviles en Ecuador generando así una economía y puestos de trabajo para los ecuatorianos (VICEPRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2015).

Con el afán de precautelar la salud de las personas se busca caracterizar un material que no sea perjudicial para la salud humana y que tampoco tenga afectaciones con el medio ambiente; a su vez se busca aportar el desarrollo económico del Ecuador fomentando una nueva área de oportunidad utilizando un nuevo material. Se desarrolla el presente trabajo de investigación que se basa en la caracterización mecánica y afectación del material por choques térmicos de materiales compuestos de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de totora, con la fracción

volumétricas de 30 %, en configuraciones de fibra corta, larga y tejida , realizando ensayos antes y después del choque térmico de tracción, flexión, e impacto, según las normas ASTM para materiales poliméricos, determinando la mejor configuración alternativa de aplicación para la construcción de parachoques delantero de autobús.

Objetivos

Objetivo principal.

Caracterizar y aplicar el material compuesto de matriz polimérica de resina de poliéster y refuerzo de totora mediante una estructura tipo de parachoques delantero para un autobús urbano

Objetivos específicos

Determinar las propiedades mecánicas del compuesto de resina de poliéster y refuerzo de totora bajo las normativas ASTM D3039, D6110, D7264, para la caracterización del material.

Realizar ensayo de choque térmico en base a la norma NTN INEN 2 192:2000 para analizar los cambios producidos en las propiedades mecánicas del material compuesto de resina de poliéster y refuerzo de totora.

Diseñar un prototipo de parachoques delantero de un autobús urbano mediante la utilización del software NX

Analizar dinámicamente el parachoques delantero de un autobús urbano con las propiedades del material compuesto de resina de poliéster y refuerzo de totora, utilizando software ANSYS

Fabricar un prototipo de parachoques delantero para autobús urbano con el material compuesto de resina de poliéster y refuerzo de totora mediante el método de estratificación manual.

Marco teórico.

Autobús. Es un medio de transporte terrestre diseñado con la finalidad de trasladar personas de un lugar a otro (ver figura 1). Según la ley orgánica de transporte terrestre tránsito y seguridad vial del Ecuador del año 2008 y modificada el 31 diciembre 2014, establece que los tipos de autobuses se designaran según los ámbitos de competencia, es decir que se clasifican según el servicio prestado como autobuses urbanos, interparroquiales, intercantonales, interprovinciales e internacionales



Figura 1. Autobús de servicio urbano.
Capacidad 40 pasajeros. Fuente: Autor

Autopartes de autobuses. Los autobuses están constituidos por varias autopartes y sistemas útiles para su correcto funcionamiento garantizando el confort y seguridad a los pasajeros que ocupen las unidades, entre las autopartes y sistemas importantes se tiene:

Chasis. El chasis es una parte totalmente independiente de la carrocería que aporta una gran rigidez y soporta grandes esfuerzos sin que su alineación se vea afectada por irregularidades de las vías, está compuesta por vigas longitudinales y transversales las cuales se forman para fijar elementos y grupos mecánicos que conforman el autobús como lo indica la figura 2.



Figura 2. Chasis de autobús urbano.
Fuente: Autor

Los sistemas y elementos más importantes que conforma el chasis se representa en la figura

3.

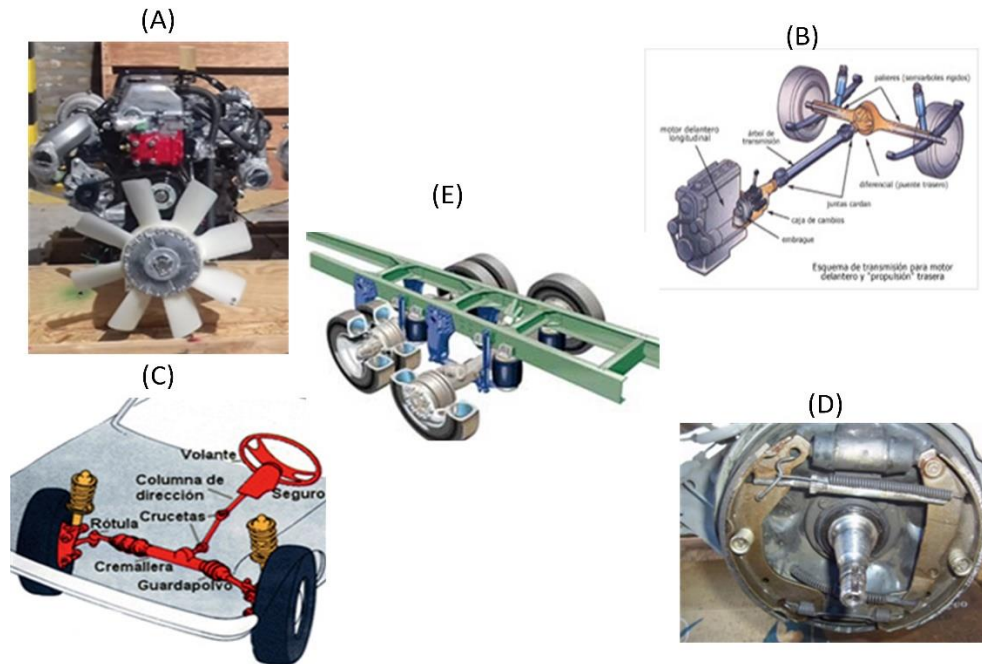


Figura 3. Elementos que conforman el chasis. *Nota:* (A)= motor de combustión interna; (B)= sistema de transmisión; (C)= sistema de dirección; (D)= sistema de freno por tambor; (E)= sistema de suspensión de buses. Fuente: (Transporte informativo, 2014), (Mecánica y automoción, 2009)

Motor. Es un conjunto de elementos mecánicos que tiene la finalidad de transformar energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible, su representación se visualiza en la figura 3A.

Sistema de transmisión. Es un conjunto de elementos mecánicos que tienen como misión hacer llegar el giro del motor hasta las ruedas motrices, ver figura 3B, (Mecánica y automoción, 2009).

Sistema de dirección. Es el sistema que permite tener un control sobre nuestro vehículo, tiene la misión de orientar las ruedas delanteras para que el automóvil tome la trayectoria deseada por el conductor, sus componentes principales se representan en la figura 3C.

Sistema de freno. Sistema de seguridad que se utiliza para detener o disminuir la velocidad de un vehículo, (ver figura 3D).

Según la norma técnica ecuatoriana INEN 2205:2010 para buses urbanos, los sistemas de frenos serán independientes entre sí y estarán compuestos por los siguientes subsistemas:

Frenos de servicio. Sean neumáticos con dos circuitos independientes, uno para el eje delantero y otro para el eje trasero.

Freno de Parqueo. Será capaz de detener al vehículo con su carga máxima en pendientes del 22%.

Sistema de suspensión. Es el sistema que tiene por función de suspender y absorber los movimientos bruscos que se producirían en la carrocería, por efecto de irregularidades que presenta el camino, proporcionando una marcha suave, estable y segura (ver figura 3E). Este debe estar diseñada exclusivamente para el transporte de pasajeros en el caso de autobuses (Mecanica y automocion, 2009).

Sistema eléctrico. Es otro sistema muy importante en vehículos debido a que este sistema distribuye el fluido eléctrico para todo el vehículo y nos permite arrancar el vehículo o encender luces entre otros. Este sistema se encuentra conformado por:

- **Sistema de generación y almacenamiento:** Es el encargado de suministrar corriente eléctrica a la batería para su almacenamiento, y a todos los componentes que requieran energía eléctrica durante el funcionamiento del motor.

- *Sistema de encendido*: Es capaz de producir el encendido mediante una chispa, de la mezcla combustible y aire dentro del cilindro en los motores a gasolina. En los motores a diésel la mezcla produce su autoencendido.
- *Sistema de arranque*: Tiene finalidad de dar manivela al cigüeñal del motor, para conseguir el primer impulso vivo o primer tiempo de expansión o fuerza que inicie su funcionamiento.
- *Sistema de inyección*. Es encargado de suministrar el combustible dentro de la cámara de combustión.
- *Sistema de iluminación*. Su propósito es de proveer seguridad al conductor con iluminación en condiciones de baja visibilidad.
- *Instrumentos de control*. Permite al conductor mantener la vigilancia del correcto funcionamiento del motor.

Carrocería. Es una parte del autobús encargada de cuidar a los pasajeros de factores naturales. En su construcción la resistencia de la carrocería es un factor esencial para la seguridad pasiva. Una estructura estable puede ayudar a disminuir las consecuencias negativas de un siniestro.

La carrocería se construye en varias etapas las que se visualiza en la figura 4.

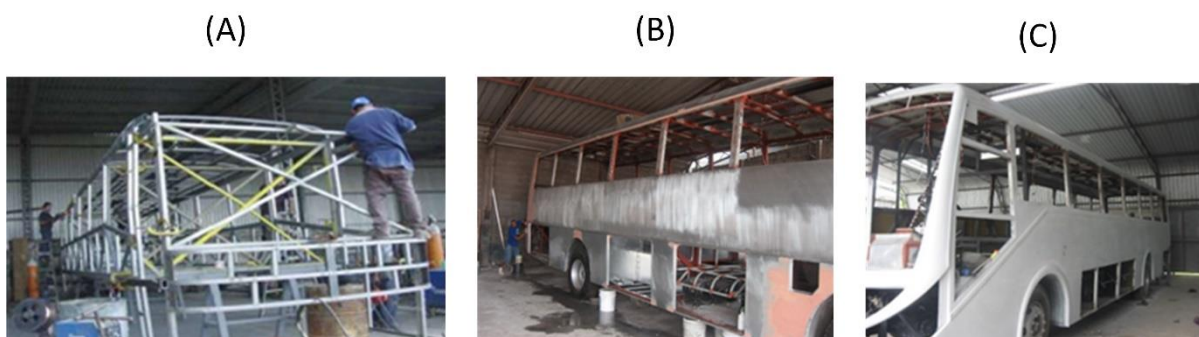


Figura 4. Etapas de construcción de carrocería de un autobús. *Nota:* (A)= construcción de la estructura metálica, (B)= Recubrimiento metálico de carrocería, (C)= Masillado de carrocería. Fuente: (Montenegro, 2012)

- Se diseña y se construye en el chasis la estructura metálica (Ver figura 4A), la norma NTE INEN 2205:2010 establece que los materiales utilizados deben ser perfiles estructurales de aluminio, acero perfilado o tubular galvanizados o protegidos contra la corrosión.
- Colocación de las paredes de aluminio, revista de imperfecciones, colocación de masilla y limpieza como se observa en la figura 4B.
- Se coloca Parachoques, paneles frontales y posteriores y se realiza un masillado total de la carrocería para eliminar las imperfecciones como indica la figura 4C.
- Cuando la carrocería ya no posee imperfecciones se procede al siguiente paso que es el fondeado y pintado de la carrocería posterior se adiciona ventanas y parabrisas como se visualiza en la figura 5A.

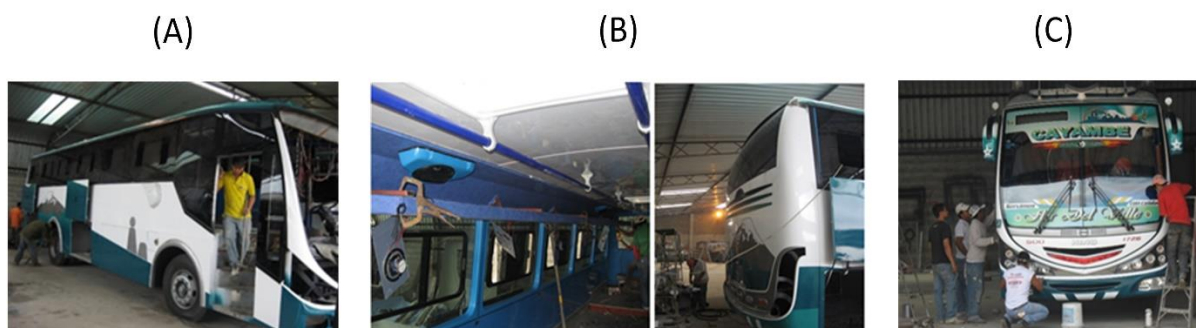


Figura 5. Etapa de acabados de carrocería de autobús. *Nota:* (A)= etapa de pintado, (B)=instalación de acabados, (C)= carrocería finalizada. Fuente: (Montenegro, 2012)

- Colocación de acabados interiores y exteriores como son asientos portamaletas lunas etc. Ver figura 5B.
- Para finalizar se ubica las letras y distintivos de los autobuses y después de una verificación de que todos los sistemas funciones correctamente el autobús está listo para circular como se observa en la figura 5C.

Parachoques. Son autopartes cuya función principal es de amortiguar los efectos de una colisión absorbiendo la energía cinética del choque y haciéndola rebotar, en la actualidad los parachoques están contruidos por material plástico de altas densidades como poliestireno o poliuretano este material se usa por el bajo costo económico y por su buen rendimiento. (TOYOTA, 2014)

Según la norma INEN 2205 dice que los parachoques de autobuses deben ser fabricados por un material dúctil y tenaz es por eso que para abaratar costos y su fácil manipulación en la construcción de carrocerías se fabrica parachoques de buses con fibra de vidrio y resina poliéster como se observa en la figura 6.



Figura 6. Parachoques delantero autobús, manufacturado en base de resina de poliéster y refuerzo de fibra de vidrio. Fuente: Autor

Materiales compuestos. Son la combinación o formación de dos o más materiales con la finalidad de obtener otro material con diferentes propiedades, que diferencian en su forma y composición, sin que exista reacción química entre ellos (Nowell, 2011).

En la industria automotriz se utilizan estos materiales a partir de matrices poliméricas reforzadas con fibras naturales para ayudar al ambiente, son utilizadas en la fabricación de autopartes internos y externos del vehículo (Nowell, 2011).

Entre las características principales de los materiales compuestos se destaca la alta resistencia en relación a su peso, baja densidad, alta resistencia dieléctrica, resistencia a la corrosión, buen comportamiento a la fatiga, reducción de costes de mantenimiento entre otras.

Calcificación de los materiales compuestos. La evolución y la gran variedad de tecnologías necesitan de materiales con una combinación no habitual, de grandes propiedades por sus exigentes requerimientos, esto es imposible de conseguir con metales, cerámicos y polímeros convencionales. En la figura 7 se representa la clasificación de materiales compuestos reforzados con fibras.

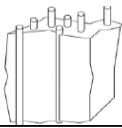

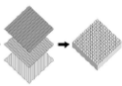

Categoría de Compuesto	Definición	Diagrama	Ejemplo
Reforzados con fibras	Compuestos en el que un material se forma de la matriz externa y transfiere cualquier carga aplicada a las fibras		Compuesto Epóxico Kevlar
De partículas	Compuestos que contienen grandes números de partículas gruesas para reforzar la matriz		Concreto
Laminares	Compuestos que se hace al alternar juntas con un adhesivo capas de distintos materiales		Madera contrachapada
Híbridos	Compuestos hechos de otros materiales compuestos		Concreto reforzada con barras

Figura 7. Clasificación de materiales compuestos reforzados con fibras. Fuente: (Nowell, 2011).

Compuestos reforzados con fibras. Estos compuestos son diseñados con la finalidad de conseguir una gran resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los indicadores de resistencia específica y módulo específico que corresponden respectivamente a las relaciones entre la resistencia a la tracción, peso específico y módulo de elasticidad (Callister, 2014).

Los compuestos reforzados con fibras están formados en dos fases la fibra y la matriz. La fibra es la que soporta las cargas relevantes de tracción en la dirección longitudinal, la matriz rodea las fibras y las orienta para optimizar su desempeño, protege de los ataques ambientales y les transfiere la carga (Nowell, 2011).

Composición del material compuesto. Los materiales compuestos son la combinación de dos o más fases, proporcionando propiedades diferentes a las de sus contribuyentes.

La necesidad de obtener materiales con una combinación de propiedades que difícilmente se encuentran en los cerámicos, plásticos o los metales se fabrican los materiales compuestos, en la industria automotriz son necesario composites ligeros, rígidos, resistentes al impacto, que resistan a la corrosión y al desgaste (Stupenengo, 2011).

Un material compuesto se encuentra formado por dos partes principales que son la matriz y el refuerzo como se puede observar en la figura 8.

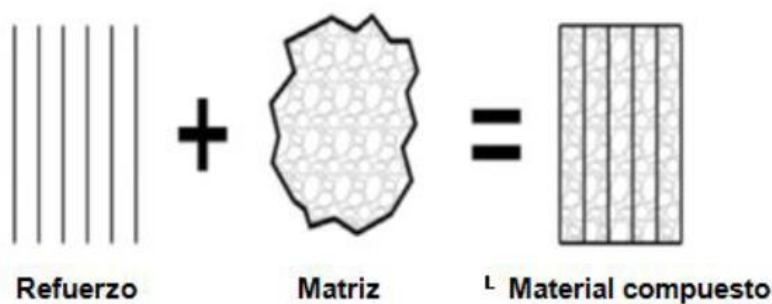


Figura 8. Elementos de un material compuesto
Fuente: Mazumdar (2012).

Matriz. Es la fase que contiene a los elementos de refuerzo, brindando consistencia y continuidad al material además distribuye los esfuerzos entre las fibras y las mantiene unidas.

En un material compuesto la matriz desempeña varias funciones, fundamentalmente es la fase continua, la cual engloba y sostiene los elementos de refuerzo otorgando consistencia y continuidad al material. Entre las funciones principales de la matriz se tiene las siguientes:

definir las propiedades físicas y químicas, transmitir las cargas aplicadas al refuerzo, proteger y brindar cohesión al refuerzo, cubrir al refuerzo de humedad, definir la conformabilidad y acabado superficial del material (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

Cuando el material compuesto es sometido a diferentes cargas mecánicas la matriz realiza diferentes funciones.

- Cuando el material es sometido a compresión (ver figura 9), la matriz por ser fase continua soporta el esfuerzo (Stupenengo, 2011).

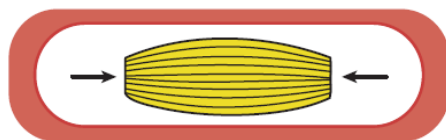


Figura 9. Compresión en la matriz

Fuente: (Stupenengo, 2011)

- Al aplicar al material fuerzas de tracción (Ver figura 10) la matriz transfiere la carga aplicada a las fibras o partículas de manera que estas soportan el esfuerzo (Stupenengo, 2011).

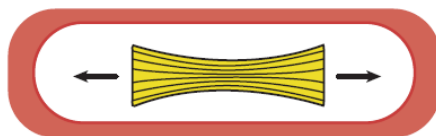


Figura 10. Tracción en la matriz

Fuente: (Stupenengo, 2011)

En la mayoría de materiales compuestos la matriz es la que determina la resistencia al impacto y además es la encargada de detener la propagación de fisuras (Stupenengo, 2011).

Propiedades de las matrices. Los materiales compuestos deben tener una matriz con propiedades que brinden al elemento mejores características, entre las propiedades principales se tiene:

- Controlar el comportamiento químico, las propiedades eléctricas y temperaturas elevadas del compuesto
- Impedir la formación de grietas en las fibras del compuesto

- Mantener en una posición correcta las fibras protegiendo de sufrir daños durante su construcción

Tipos de matrices. Existen varios tipos de matrices pero en los más importantes tenemos:

- Polimérica. Este tipo de matrices pueden ser reforzadas con fibras naturales y sintéticas, poseen una baja densidad y excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).
- Metálica. Las matrices metálicas más comunes son el aluminio, magnesio, cobre, níquel. Los refuerzos utilizados con estas matrices son las fibras cerámicas y metálicas. Este tipo de matrices se las utiliza en las industrias aeroespacial y automotriz ya que permiten el trabajo en altas temperaturas, además poseen una alta resistencia mecánica, elevada rigidez, y pueden trabajar en un amplio rango de condiciones de operación (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).
- Cerámica. Poseen buenas propiedades a temperaturas elevadas y son menos densas en comparación a las matrices metálicas. Con este tipo de matrices es común utilizar refuerzos como fibra de cerámica, obteniendo una mejor resistencia y tenacidad a la fractura en comparación a los materiales cerámicos convencionales (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

Matriz polimérica. Conocidas también como matrices orgánicas, este tipo de matrices son utilizadas en varias aplicaciones por sus buenas propiedades, baja densidad, disponibilidad en el mercado y bajos costos, esta matriz se puede combinar con fibras o polvos que pueden ser sintéticos o naturales (Víctor H. Guerrero, 2013).

Las matrices poliméricas pueden ser de tres tipos: termoplásticos, termoestables y elastómeros. Los termoplásticos poseen la característica que cuando son sometidos a temperaturas relativamente altas cambian a un estado líquido, este ciclo reversible de

ablandamiento y endurecimiento es responsable de su aptitud para el reciclaje, como ejemplos se tiene al polietileno (PE), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET) entre otros. Las matrices termoestables no se funden al calentarse si no empiezan a degradarse, es decir que dificulta su reciclaje, entre los más importantes se tiene la resina poliéster, epoxi y fenólica. Las matrices elastómeras pueden estirarse cinco o seis veces su longitud original es decir poseen una excelente comportamiento elástico, sin embargo su módulo de elasticidad es bajo, el caucho natural es perteneciente a este grupo (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

Matriz Termoestable. Se caracterizan por tener un comportamiento irreversible al pasar de un estado líquido- viscoso a un estado sólido en el momento de curado, poseen alta rigidez, estabilidad térmica y bajo peso, por su baja viscosidad permite realizar una excelente impregnación de la fibra de refuerzo de forma rápida durante los procesos de fabricación, en la figura 11 se representa las propiedades de la matriz termoestables comunes.

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Viniléster	Resina Poliimida
Densidad (g/cm ³)	1,17-1,26	1,17-1,25	1,25-1,3	1,17-1,25	1,27-1,42
Alargamiento (%)	< 3	6-8	< 3	3,5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de Moldeo (°C)	T _{amb} hasta 180	T _{amb} hasta 170	150-190	T _{amb} hasta 175	≈ 350
Temperatura de Reblandecimiento	80 - 160	80 - 130	100 - 150	100 - 150	260
Propiedades reológicas	Muy buenas				Función de la resina
Calor de reacción	Reacción exotérmica dependiente de la geometría de la pieza				
Contracción de fraguado (%)	6 - 10	1 - 3	0,5 - 1,5	0,1 - 1	0,5 - 0,7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0,4	Hasta 1	Casi ninguna
Resiste a:	Agua, soluciones acuosas, fuel, gasolina	Alcohol, gasolina, benzol, aceites y grasas	Alcohol, gasolina, benzol, aceites y grasas	37% HCl, ClO ₂ , agua salina, alquitranes	-
No resiste a:	Agua hirviendo, ácidos y lejías, benzol y alcohol	Agua hirviendo, ésteres, ácidos y bases, cetonas.	Ácidos y bases concentradas	H ₂ SO ₄ al 75%, NaCl al 6%, NaOH al 15%, agua hirviendo	-
Inflamabilidad	No autoextinguible	Difícilmente inflamable, después arde	Difícilmente inflamable	No autoextinguible	-

Figura 11. Características de las matrices termoestables. Fuente: (Morales, 2008)

Las resinas termoestables más usadas son poliéster y epoxi, estas se emplean para la obtención de compuestos de alto rendimiento estructural, por sus excelentes propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión

Refuerzo. Es la fase que se agrega a la matriz para mejorar las propiedades, por lo general se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas, pero además se emplean refuerzos para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la absorción.

Los refuerzos son efectivos cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz o cuando se incrementa la relación longitud – diámetro de la fibra (Stupenengo, 2011).

Tipos de refuerzos. Existe tres tipos de refuerzo:

- **Partícula.** Estas pueden ser de tamaño grande o consolidado por dispersión. En los materiales reforzados con partículas grandes son utilizados matrices metálicas, poliméricas y cerámicas, en la mayoría de estos composites, el refuerzo es más duro y rígido que la matriz, un ejemplo de este tipo de compuesto es el concreto donde la matriz es el cemento y el refuerzo de partículas es la arena y la grava. Los materiales compuestos con partículas consolidadas por dispersión el refuerzo posee diámetros entre 10 y 100 nm por lo que la matriz soporta la mayor parte de la carga aplicada (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).
- **Fibras.** Los compuestos reforzados con fibras en su mayoría consiguen una mejor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia-peso. Estos refuerzos se emplean en muchos tipos de materiales como por ejemplo, en el concreto se introducen varillas de acero de refuerzo, fibra de vidrio en una matriz polimérica produce un material para aplicaciones en la industria automotriz y aeroespacial (Stupenengo, 2011).

- Elementos estructurales. Estos materiales no solo dependen de las propiedades de los materiales contribuyentes, sino que son fundamentalmente dependientes de la geometría de los elementos estructurales, los compuestos laminares y paneles tipo sánduche son dos de los elementos más comunes, un ejemplo de estos tenemos el cartón corrugado el mismo que en su configuración posee capas delgadas de material de recubrimiento unidas a un material de relleno, como una espuma de polímero, cabe recalcar que ni el recubrimiento ni el relleno son materiales resistentes y rígidos pero el compuesto tiene ambas propiedades (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

Refuerzos por fibras. Son los materiales más importantes ya que la mayoría de estos materiales alcanzan una mejor resistencia a la fatiga y la relación resistencia – peso al incorporar fibras resistentes y rígidas, en una matriz más blanda y dúctil. El refuerzo por fibras es muy utilizado en matrices poliméricas para así poder aumentar las propiedades que la matriz no posee como son resistencia y rigidez

Los refuerzos por fibras se clasifican en tres grupos:

1. Alambres. Poseen diámetros relativamente grandes, son utilizados especialmente como refuerzos radiales en llantas de automóviles. Es así que las propiedades de los materiales dependen de la longitud, diámetro, orientación entre otras.
2. Fibras. Son materiales policristalinos o amorfos, tienen diámetros pequeños y poseen gran longitud.
3. Whiskers. Son mono cristales muy delgados que tienen una relación longitud–diámetro muy grande, como consecuencia de su pequeño tamaño tiene un alto grado de perfección cristalina y son virtualmente libres de defectos, lo cual explica su alta resistencia y su alto costo.

Las fibras. Son materiales policristalinos o amorfos con diámetros pequeños y gran longitud, son generalmente polímeros y cerámicos, además las fibras soportan la mayor parte de la fuerza transmitida por el material de la matriz. Las fibras se subdividen en:

- Fibras inorgánicas. Son constituidas por productos químicos inorgánicos en base a elementos naturales como el carbono, silicio y boro. Estas fibras son denominadas de alto rendimiento por su alta resistencia térmica y mecánica en comparación a otras fibras.
- Fibras sintéticas. Se producen de los productos derivados de petróleo y son prácticamente artificiales y se las utiliza en la industria textil. Entre los ejemplos más comunes tenemos el nailon.
- Fibras naturales. Estas fibras pueden ser de origen animal, vegetal o mineral, las de mayor abundancia son las de origen vegetal y presentan una baja densidad y bajo costo de obtención, las fibras de origen mineral se encuentran en rocas con estructuras fibrosas y consisten especialmente en silicatos.

La cantidad y orientación de las fibras refuerzo de acuerdo a la fracción volumétrica de la fibra el desempeño del compuesto varía, ya que las fibras son las encargadas de soportar la carga aplicada. Según Askeland la fracción máxima de volumen de la fibra es alrededor del 80% y si excede esta cantidad el material de la matriz no rodea en su totalidad a la fibra (Askeland, 2004).

La orientación de las fibras juega un papel importante en el desempeño del compuesto debido a que se puede introducir en la matriz en varias orientaciones (ver figura 12), la orientación con fibras cortas son aleatorias y proporcionan las mismas propiedades en todas las direcciones ya que tienen propiedades isotrópicas, las fibras largas unidireccionales tienen más capacidad de reforzamiento en dirección longitudinal ya que las fibras están alineadas en la dirección de la fuerza aplicada, por lo que poseen propiedades anisotrópicas (Askeland, 2004).

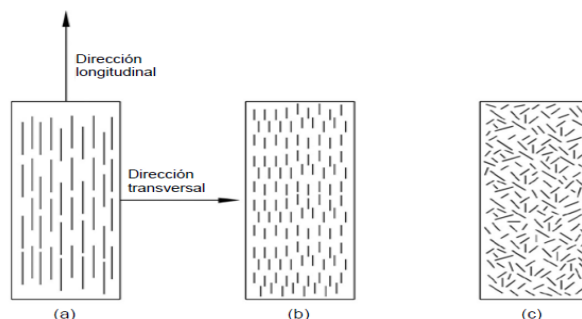


Figura 12. a) Fibras continuas alineadas.
b) Discontinuas alineadas c) Orientadas al azar.

Fuente: (Callister, 2014)

Fibras naturales y sus propiedades. Actualmente se utilizan materiales reforzados con fibra que sean económicos y de menor impacto ambiental, por ello se están reforzando polímeros con fibras provenientes de productos naturales. Al provenir las fibras de vegetales el impacto medioambiental en la fabricación de piezas es mucho menor.

Las fibras naturales poseen características innatas a su naturaleza las que determinan su utilidad al momento de utilizarlas como refuerzos de matrices compuestas. Estas propiedades pueden ser resistencia a esfuerzos de tracción, flexión compresión e impacto como indica la tabla 1, para elegir una fibra como refuerzo se debe tomar en cuenta parámetros importantes que determinan la facilidad de su producción y el rendimiento que estas presentan (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

Tabla 1. *Propiedades mecánicas de fibras vegetales comparadas con fibras de vidrio*

Fibras	Densidad (g/cm^3)	Resistencia Tensión (MPa)	Módulo (GPa)	Elongación Fractura (%)	Absorción de Humedad (%)
Vidrio-S	2.5	2000-3500	70	2.5	-
Vidrio-E	2.5	4570	86	2.8	-
Aramida	1.4	3000-3150	63-67	3.3-3.7	-
Carbón	1.4	4000	230-240	1.4-1.8	-
Cáñamo	1.4	690	35	1.6	8
Yute	1.3	393-773	26.5	1.5-1.8	12
Ramio	1.5	400-938	61.4-128	3.6-3.8	12-17
Coco	1.2	175-220	4-6	15-30	10
Sisal	1.5	511-635	9.4-22.0	2.0-2.5	11
Abacá	1.3	400-1289	45	2.7	8-10
Lino	1.5	345-1035	27.6	2.7-3.2	7
Algodón	1.5	393-773	26.5	7-8	8-25

Fuente: (Páez, 2007)

Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio son superiores a las fibras vegetales, pero las vegetales son más livianas por lo que hay un aumento de eficiencia en los materiales que requieren ser resistentes y livianos, como es el caso de la industria automotriz. En la tabla 2 se realiza un comparación entre las fibras vegetales y fibras de vidrio.

Tabla 2. *Comparación entre fibras vegetales y fibras de vidrio*

Características	Fibra vegetales	Fibra de vidrio
Densidad	Baja	Doble que las FV
Costo	Baja	Bajo, mayor que las FV
Renovable	Si	No
Reciclaje	Si	No
Consumo de energía	Bajo	Alto
CO ₂ neutro	Si	
Abrasión de máquinas	No	Si
Riesgo de inhalación	No	Si
Eliminación	Biodegradable	No biodegradable

Fuente: (Páez, 2007)

En los andes centrales de la región andina de sur América posee una gran diversidad de ecosistemas forestales y no forestales; el Ecuador es un país con la mayor diversidad en especies de plantas de fibra, una de ellas es la totora (*Schoenoplectus californicus*) misma que se encuentra ubicada en la región sierra, se emplea para realizar pisos y también para elaborar esteras de distintos tamaños que sirven para techar viviendas, alfombras, se usa además para secar frutos granos y para confeccionar artesanías que se comercializan en distintas ciudades. (Macía, 2006)

Totora y sus propiedades. En el Ecuador existe una gran variedad de recursos naturales y su utilización es amplia y variada, de esta gran variedad de recursos naturales, se identifica la planta *Schoenoplectus californicus* más conocida como totora (ver figura13), géneros *Scirpus* y *Typha*, la misma que se encuentra en toda la zona andina.



Figura 13. Planta de totora. Fuente: Autor

La totora es una planta acuática y es muy común de encontrarla en las costas de los lagos, se caracteriza por albergar una diversidad de vida silvestre como aves residentes y migratorias, peces de agua dulce, anfibios como sapos y ranas y una gran variedad de plantas acuáticas (Aza Medina, 2016).

Esta planta acuática es muy tradicional en el Ecuador, ya que esta fibra es utilizada para la formación de artesanías como cestos, camas, esteras entre otros como se observa en la figura 14, (Totora SISA SCC, 2009).



Figura 14. Artesanías de Totora
Fuente: (Totora SISA SCC, 2009)

Características de la totora. Posee una estructura esponjosa de los tallos y hojas, las cuales están conformadas por cámaras de aire que hacen que la totora sea liviana y puedan ser utilizados como aislantes térmicos, aislantes acústicos, paquetes electrónicos, partes de automóviles entre otras (Richard S., 2016).

Esta especie de planta posee características importantes una de ellas es que pertenecen a las plantas vasculares acuáticas lo que determina una forma de estructuración de las hojas y tallos constituidos por el aeréquima (Hidalgo, 2007).

El aeréquima es un tejido muy eficiente que permite la flotación de determinados órganos y logra su robustez con una cantidad mínima de células de forma variada, frecuentemente estrellada o lobulada dejando espacios intercelulares muy grandes, de origen esquizógeno o lisígeno, llamados lagunas o cámaras como indica la figura 15a (Hidalgo, 2007).

Las cámaras se encuentran distribuidas a lo largo del tallo como se observa en la figura 15b. Están atravesadas perpendicularmente por placas transversales llamadas diafragmas, que al mismo tiempo dan mayor solidez a la estructura.

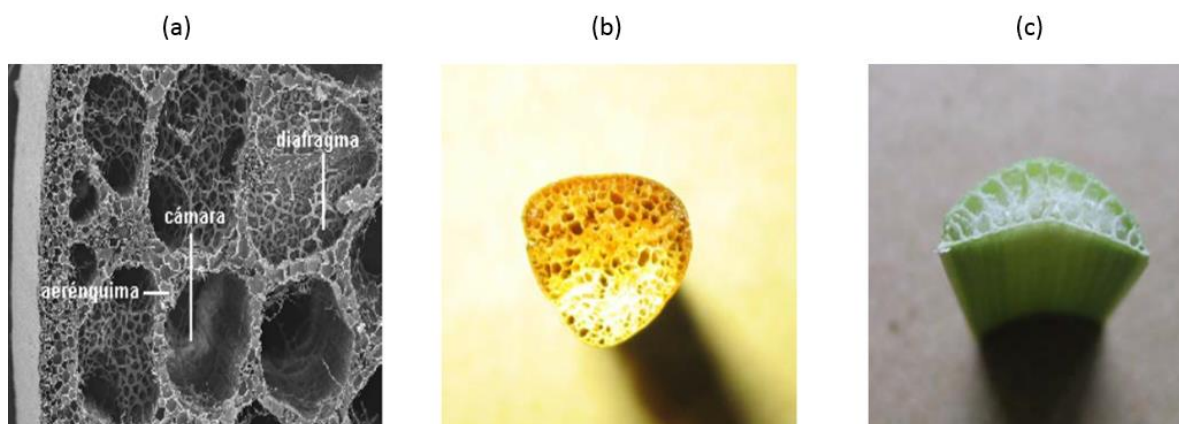


Figura 15. Tallo de totora, a) corte transversal e identificación de la estructura, b) Sección de tallo c) Sección de la hoja de Typha. Fuente: (Hidalgo, 2007)

Propiedades físicas Las propiedades físicas de la totora se representan en la siguiente tabla 3:

Tabla 3. *Propiedades físicas de la Tatora*

PROPIEDAD	VALOR	DESCRIPCIÓN
Densidad	180 kg/m^3	Este valor se determinó con un grupo de totora atada con presión mediana de manera q no altere su volumen pero mantenga estable el conjunto
Velocidad de Absorción	0.3 % de <i>peso/minuto</i>	En 20 minutos
Velocidad de perdida de humedad	0.3 % de <i>peso/minuto</i>	En 20 minutos
Tensión	38 kg/cm^2	Para un tallo de sección promedio de 0.433 cm^2
Compresión	15 kg/cm^2	Si se trabaja con grupo de tallos este valor se incrementara hasta 40 kg/cm^2 o mas

Fuente: (Hidalgo, 2007)

La totora tiene un tiempo de crecimiento de 6 meses aproximadamente y se espera hasta que tenga una altura aproximada de 3 a 4 metros de altura, para el proceso de obtención de la fibra de totora se realiza mediante procesos como:

- a) Siembra en lugares con abundante agua
- b) Corte de la fibra cuando posee una altura aproximada de 3 a 4 m
- c) Secado de la fibra por al menos 1 mes en lugar totalmente seco y bajo sombra.
- d) Eliminación de cortezas inservibles de la fibra
- e) Cepillamiento de la fibra
- f) Utilización.

Interfaz. La interfaz es la región de contacto entre las superficies de la matriz y el refuerzo, las propiedades de los materiales compuestos también dependen de la interfaz, si la interfaz es débil, la transferencia de la carga de la matriz a la fibra no será eficiente, por lo que la matriz terminará soportando las cargas, o se producirá huecos entre la matriz y las fibras, lo cual llevará a la rotura de la pieza (Stupenengo, 2011).

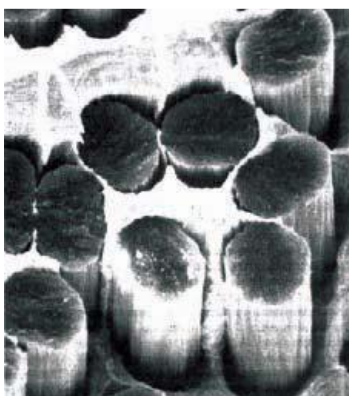


Figura 16. Interfaz de material compuesto
Fuente: (Stupenengo, 2011)

Para que la matriz pueda impregnarse de una manera correcta sobre el refuerzo es muy importante que se encuentre en estado líquido así extendiéndose sobre una superficie sólida siendo este el refuerzo, la interfaz genera las propiedades del material dependiendo de la capacidad de mojado de su matriz (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

Resinas. Son matrices termoestables que en estado inicial es un líquido viscoso, que por efecto de una reacción de endurecimiento pasa por un estado de gel y se transforma finalmente en un sólido. Según el grado de esta reticulación se define la fragilidad y resistencia a la temperatura del punto final, a mayor grado, más resistencia térmica, mayor fragilidad pero a menor temperatura menor capacidad de absorción de energía, menor alargamiento a la rotura y menor resistencia química (Besedjak, 2005).

Entre las principales ventajas de las resinas podemos mencionar que poseen alta rigidez, bajo peso, alta estabilidad dimensional, alta estabilidad térmica, resistencia a la fluencia y a la deformación bajo carga, buenas propiedades como aislante térmico y eléctrico

Existen cuatro resinas más comunes según Besednjak:

Resina Fenólicas. Su principal campo de aplicación es en los sectores que requieran un buen comportamiento frente al fuego y altas temperaturas, fueron las primeras resinas utilizadas para la conformación de materiales compuestos. Entre las principales propiedades podemos destacar la elevada resistencia a la temperatura, buena resistencia al fuego, resistencia a la abrasión, buena resistencia a ataques químicos entre otras.

Resina poliéster. Son las más utilizadas a escala mundial, son de bajo costo y fácil moldeo, sus propiedades son casi imposible definir puesto que existe una gran variedad y cada una es formulada para requerimientos específicos y con constituyentes particulares, en líneas generales presentan una resistencia y rigidez baja. Se utiliza en la industria naval y automotriz para elaborar cascos, cubiertas, mobiliarios, pequeñas autopartes entre otras (Besedjak, 2005).

Resina Viniléster. Son desarrolladas para formar materiales compuestos resistentes a agentes químicos, esta resina es considerada intermedia entre la resina epoxies y poliéster, de las primeras heredan sus propiedades físico químicas con ciclos de curado cortos como los de la resina poliéster. Estas resinas poseen mejores propiedades mecánicas, químicas y térmicas que las de poliéster. Son de fácil impregnación y manipulación durante el moldeo pero sus costos son aproximadamente de 1.5 a 2 veces el precio de las resinas de poliéster. Se utiliza en la industria naval en la construcción de cascos y piezas que se encuentren sumergidas constantemente,

además para elaborar tanques, tuberías, y autopartes que requieran de alta resistencia química. (Besedjak, 2005).

Resina Epoxi. Son utilizadas en materiales compuestos de alta calidad, fundamentalmente por que poseen mejores resistencias físicas y químicas que las resinas de poliéster y de viniléster. La variedad de resinas epoxi presentes en el mercado es muy amplia, y su elección se fundamente en el tipo de propiedades finales deseadas, técnica de procesado y tipo de aplicación. Se utiliza frecuentemente en estructuras que requieran máxima resistencia con el mínimo peso, como por ejemplo embarcaciones de regata, tanques de almacenamiento, tuberías etc.

Resinas de poliéster. La resina de poliéster es una de las más utilizadas para la formulación de materiales compuestos ya que es una resina termoestable, además es una resina versátil y de fácil manipulación, posee una disponibilidad en el mercado a un bajo costo que oscila entre 4 dólares 1 kg , esta resina al ser utilizada sin ningún material de refuerzo presenta una disminución notoria en su resistencia por lo que la mayoría de materiales fabricados con esta resina de poliéster poseen refuerzos naturales o sintéticos, los cuales mejoran sus propiedades mecánicas.

Esta resina se produce a partir de dos reacciones de policondensación entre dos monómeros, diol más ácido dicarboxílico, Al añadir estireno a la resina esta disminuye su viscosidad para que exista una buena fluidez en el material de refuerzo, se debe añadir un sistema catalítico iniciador y un acelerador que se elige según el iniciador o catalizador, el tipo de iniciador determina el tiempo de gelificación y endurecimiento de la matriz una vez catalizada (Besedjak, 2005).

Curado de la resina de poliéster. Este proceso consiste en pasar de un estado líquido a un estado sólido por medio de reacciones de los compuestos en la formación de la matriz, que al mezclarse empieza el proceso de endurecimiento (Besedjak, 2005).

El curado de la resina se realiza en tres etapas:

Gelificación. Donde la resina cambia de un estado líquido a un gel blando.

Endurecimiento. Cuando la resina cambia de gel blando a un material endurecido

Curado final. En esta etapa la resina adquiere sus propiedades mecánicas

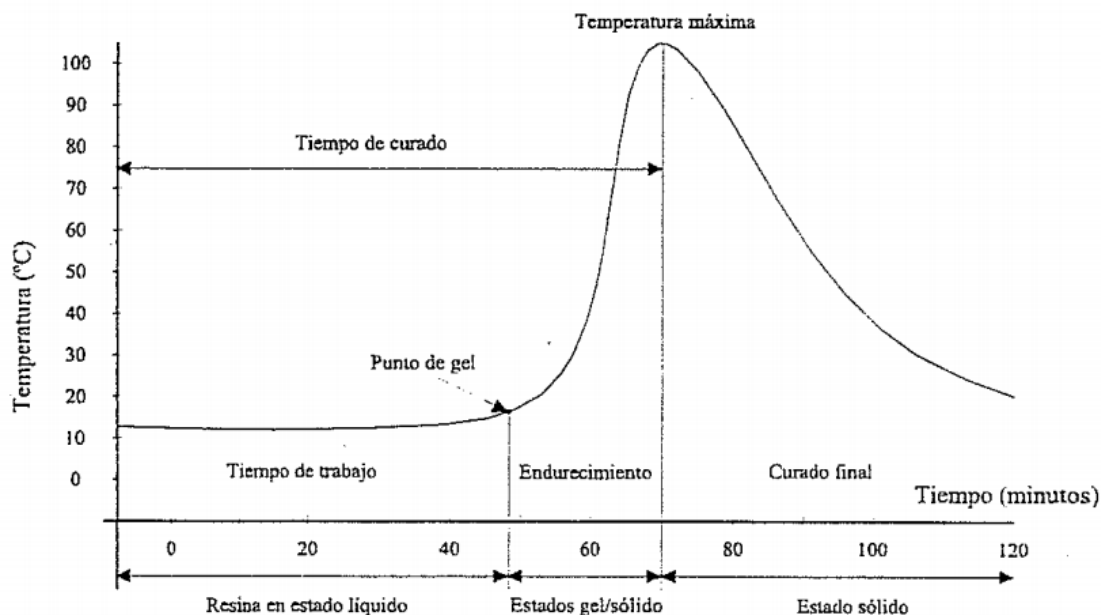


Figura 17. Curva de curado de la resina. Fuente: (Besedjak, 2005)

El proceso de curado se hace a través de polimerización por medio de grupos insaturados en la cadena de poliéster y el estireno, los radicales libres del peróxido al descomponerse empiezan a entrelazarse para determinar el tiempo de gelificación y curado, cabe indicar que este proceso depende mucho de los porcentajes que se utilice de catalizador, de la temperatura ambiente y de una manera muy importante del espesor del laminado. En las resinas poliéster y viniléster la temperatura máxima puede alcanzar los 150 °C

Choque térmicos en resinas de poliéster. Los ciclos de choque térmico son variaciones bruscas de temperatura las cuales producen afectaciones a los materiales expuestos a este tipo de ciclos.

Al someter a choques térmicos a distintos materiales compuestos se pudo determinar que:

Existe modificaciones en el contenido máximo de humedad y ligeramente el coeficiente de difusión, además se presenciaron el daño permanente en el laminado en forma de micro grietas a una resolución de 0.5 μm (Barrera, 1990).

La vida en fatiga se reduce significativamente pero esta reducción no es lineal con el número de choques aplicados. Durante el proceso de fatiga el modulo elástico disminuye ligeramente, además se produce agrietamientos, y el número de grietas incrementa paulatinamente con el ciclado. Se producen roturas de las fibras durante todo el proceso de choque térmico (Barrera, 1990).

Sistemas asistidos por computadora.

Por la dificultad de recrear algunas situaciones de estudio, en la actualidad se ha diseñado una posibilidad muy útil como son los simuladores, que son programas que buscan reproducir fenómenos naturales que están descritos y definidos por un conjunto de variables que combinan mediante la interacción del tiempo con un algoritmo determinado a fin de describir de manera intuitiva el comportamiento del sistema real (Cataldi, Lage, & Dominighini, 2013).

Los software de simulación son una herramienta muy útil para la toma de decisiones en el área de diseño y operación de un sistema, además permite realizar análisis y evaluaciones respondiendo a la pregunta ¿Qué pasaría si?; por esta razón es primordial para los ingenieros diseñadores, analistas, administradores, directivos para la resolución de problemas, ya que

permite diseñar un sistema real y realizar experimentos con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema (Cataldi, Lage, & Dominighini, 2013).

Diseño asistido por computadora (CAD). Es el uso de sistemas computacionales para la creación, modificación y optimización de un diseño (Leão, 2016).

El CAD es importante para la industria ya que se puede realizar esquemas en 2D y 3D (ver figura 18), los cuales pueden rotarse para ser vistos de cualquier ángulo incluso desde adentro hacia afuera, y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la industria automotriz, la de construcción naval, y la aeroespacial (Leão, 2016).

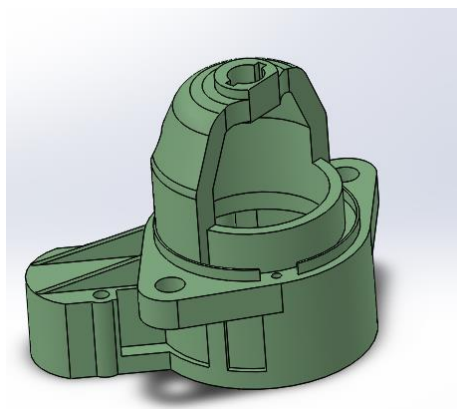


Figura 18. Carcaza de motor de arranque ilustrada en CAD. Fuente: Autor

Con los programas CAD se puede alcanzar:

- Mejora la representación gráfica del objeto diseñado, ya que el modelo puede aparecer en una pantalla como una imagen realista en movimiento y observarlo de distintos puntos de vista.
- Mejora el proceso de diseño, debido a que se puede visualizar detalles del modelo, comprobar colisiones entre piezas, interrogar sobre distancias, pesos, inercias entre otras.

Ingeniería asistido por computadora (CAE). Es el uso de programas computacionales con la finalidad de realizar análisis de ingeniería. Los programas de ingeniería incluyen análisis de elementos finitos (FEA), mecánica de fluidos computacional (CFD), sistema multicuerpo (MDB) (Leão, 2016).

Los sistemas CAE son utilizados para analizar la solidez, rendimiento de los componentes de ensamble es decir que abarcan simulación, validación y optimización de productos y de herramientas de fabricación (Leão, 2016).

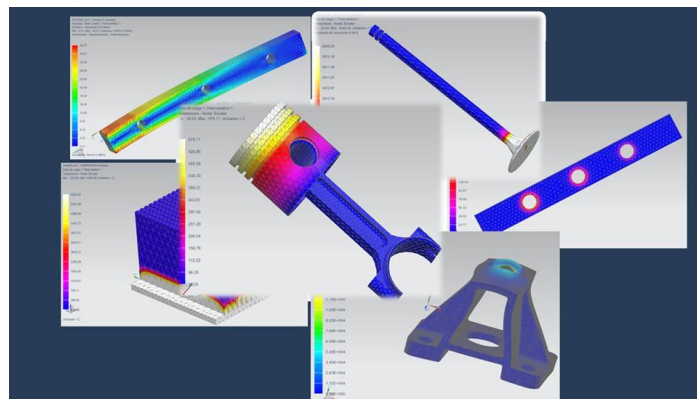


Figura 19. Analisis de distintos elementos en sistema CAE.

Fuente: Autor

CAPÍTULO II

Método.

En esta etapa se listan los diferentes tipos de investigaciones y los métodos aplicados para el desarrollo del proyecto, así también como realizar la ordenación y tabulación de datos recogidos mediante el análisis de los resultados de ensayos realizados, además los materiales y equipos empleados para la obtención del material compuesto de resina de poliéster y totora, describiendo su uso y especificaciones.

Tipos de investigación. Para las distintas etapas del desarrollo de este proyecto se realiza varios tipos de investigación como:

Para la determinación del tema propuesto se aplica investigación exploratoria, donde se toman referencias de fuentes de apoyo como artículos científicos, libros, revistas, tesis. Además, se aplica esta investigación para determinar los tipos de normas y los ensayos requeridos para el desarrollo del proyecto, para caracterizar el material, determinar la mejor configuración de fibra (corta, larga, tejida), y obtener las propiedades mecánicas del material compuesto de fibra de totora.

Se establece una investigación explicativa con los resultados obtenidos en el laboratorio de resistencia de materiales de Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH, estos resultados permiten desarrollar un razonamiento deductivo para la determinación de la factibilidad de sustituir el material de conformación de los parachoques de buses urbanos con material compuesto de refuerzo de totora.

Mediante una investigación descriptiva se detalla las características, propiedades y origen de cada elemento que se utiliza para el material compuesto de fibra de totora.

Con los resultados de la caracterización se establece una investigación aplicada, con la finalidad de utilizar este material alternativo para la aplicación de parachoques de buses urbanos.

Metodología

Se detalla una metodología experimental, la cual se dividió en varias etapas que fueron:

1. Formulación del material compuesto
2. Caracterización del material compuestos
3. Validación de la caracterización mediante software
4. Construcción de un prototipo de parachoques delantero.

Selección y asignación de elementos de estudio. Para realizar los ensayos de tracción, flexión e impacto se fabricara un mínimo de cinco probetas según la norma ASTM (D 3039, D 7264, D 6110) respectivamente. Se establecerá la configuración óptima de resina y fibra. La fabricación de las probetas se realizara mediante estratificación manual.

Procesamiento de datos. Los valores encontrados en los ensayos se registran en tablas, planos y fotos que permitan obtener un buen análisis y un correcto entendimiento de los mismos. La representación de los resultados se lo realiza mediante diagramas, curvas, fichas técnicas, y gráficas que permitan representar las características del material compuesto.

Con los resultados obtenidos se realiza un análisis comparativo entre las distintas configuraciones del material compuesto para determinar la composición que presente mejores propiedades mecánicas para la construcción de un parachoques de autobús urbano. Para este proceso comparativo fue diseñado un experimento unifactorial con 3 nieles: el factor (tipo de resina) y los niveles configuración de la fibra (larga, corta y tejida) procesándolo con un software estadístico y determinada diferencia significativa por la F de Fischer.

Equipos y materiales.

Los equipos y materiales para la formación de probetas de material compuesto de totora, para desarrollar los ensayos que establece la norma ASTM correspondientemente se detallan a continuación:

Equipos. Los equipos que se utilizaron para el desarrollo de las probetas y ensayos fueron los siguientes: Máquina universal (figura 20), Microscopio electrónico (figura 21), Horno de tratamientos térmicos (figura 22), péndulo Charpy (figura 23), deformímetro (figura 24), calibrador pie de rey (figura 25), moldes de vidrio (figura 26) entre otros.


	MAQUINA PARA ENSAYOS UNIVERSAL	
	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
	Marca	Tinius Olsen
	Capacidad	100 000 (kg)
	Voltaje	220 (V)
	Asistencia	Computador
	Software	Labview

Figura 20. Máquina Universal. Fuente: Autor


	MICROSCOPIO ELECTRÓNICO	
	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
	Marca	JEOL
	Aumentos	x5 –x300 000
	Voltaje aceleración	0.5-20 kV
	Presión de trabajo en vacío	1-100 Pa
	Adquisición de datos	Automática

Figura 21. Microscopio electrónico. Fuente: Autor

	HORNO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS	
	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
	Marca	Europages
	Rango	0 – 1400 °C
	Voltaje	220 (V)
	Tamaño	150x100x100 (mm)
	Precisión	± 1°C

Figura 22. Horno para tratamientos térmicos. Fuente: Autor

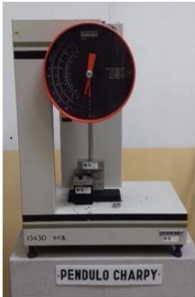
	PÉNDULO CHARPY	
	CARACTERÍSTICAS TECNICAS	
	Marca	Ceast
	Capacidad	25 (J)
	Voltaje	-
	Asistencia	-
	Software	-

Figura 23. Péndulo Charpy. Fuente: Autor

	PÉNDULO CHARPY	
	CARACTERÍSTICAS TECNICAS	
	Marca	Mitutoyo
	Rango	0-12,7mm/0,5'
	Graduación	0,001mm/00005'
	Exactitud	0.02 mm
	Carátula	2" diámetro

Figura 24. Deformímetro. Fuente: Autor

	CALIBRADOR PIE DE REY	
	CARACTERÍSTICAS TECNICAS	
	Marca	Mitutoyo
	Rango	0-150mm
	Exactitud	0.01mm

Figura 25. Calibrador pie de rey. Fuente: Autor

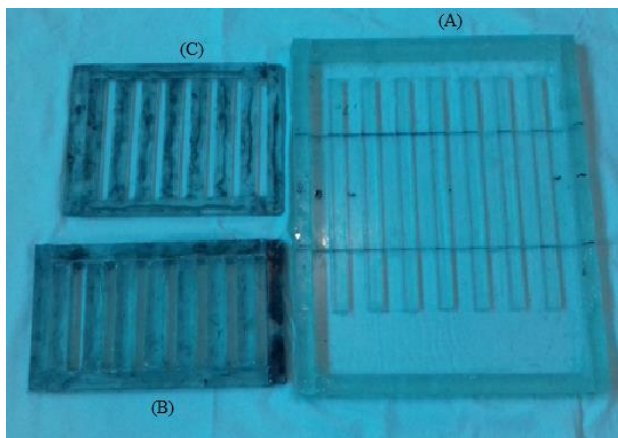


Figura 26. Moldes fabricados en vidrio para probetas: (A) Tracción, (B) Flexión, (C) Impacto. Fuente: Autor

Materiales. Para la fabricación de las probetas se utiliza como matriz del material compuesto resina de poliéster 33000 con sus respectivos componentes.

La resina de poliéster 33000 es un compuesto químico derivado del petróleo que posee una buena resistencia a la compresión térmica, mecánica y química (Besedjak, 2005). Es un líquido viscoso, transparente (ver figura 27) y es el más utilizado en la industria donde exista mediana exigencia mecánica como por ejemplo para la formación de autopartes plásticas reforzadas con fibras ya sea natural o sintéticas.

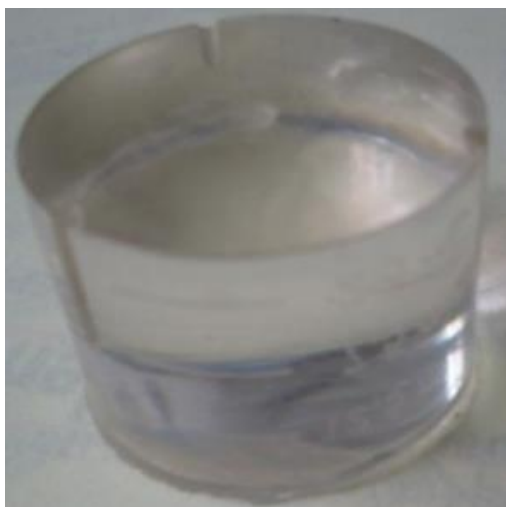


Figura 27. Resina poliéster 33000. Fuente: Autor

A la resina poliéster se le adiciona estireno con la finalidad de reducir la viscosidad y así obtener una correcta combinación de la matriz. También se combina con cobalto que es un componente de color violeta, este fluido se emplea como acelerante de la matriz polimérica para conseguir un curado adecuado. Para el curado a temperatura ambiente se incorpora a la mezcla MEC (Metil Etil Cetona). Estos tres componentes forman la matriz como se observa en la figura 28.



Figura 28. Matriz conformada por resina de Poliéster 33000, Cobalto y MEC. Fuente Autor

Cera desmoldante que se utiliza para crear una película en las superficies del molde en contacto con la resina, para así facilitar el desmolde de las probetas como se indica en la figura 29.



Figura 29. Cera desmoldante. Fuente: Autor

Dimensionamiento y construcción del molde para la elaboración de probetas tracción, flexión e impacto. Los moldes para las probetas son de suma importancia para desarrollar el proyecto es por eso que deben brindar confianza, calidad y sobre todo los acabados deben ser excelentes, para así asegurar una buena fusión entre el material base y el refuerzo. El diseño de moldes para los materiales compuestos se rige bajo la norma ASTM, para los ensayo de tracción se aplica la norma ASTM D 3039, la ASTM D 7264 para flexión y la ASTM D 6110 para impacto, donde se especifica las dimensiones y otros factores importantes.

Para la fabricación de los moldes se realizan las siguientes etapas:

- Modelado y dimensionamiento de cada molde (Tracción, flexión e impacto) para las probetas en software NX (ver anexo1, 2,3).
- Desarrollo de los planos y lista de materiales a utilizar para la construcción de los moldes
- Construcción del molde en función de los planos establecidos.

Para la construcción del molde se utilizó vidrio laminar, por su alta resistencia a la compresión y a la temperatura hasta 600 °C, además su transparencia facilita observar las etapas de curado del material compuesto, en la figura 30 se puede observar el molde realizado.



Figura 30. Molde elaborado en vidrio
Fuente: Autor

Proceso de fabricación de las probetas de tracción, flexión e impacto. El

dimensionamiento de las probetas se realiza bajo la norma ASTM para ensayos destructivos respectivamente. El proceso de fabricación se realiza por estratificación manual siguiendo una secuencia de pasos:

- a) Colocar cera desmoldante en el molde
- b) Preparar la resina necesaria con las combinaciones apropiadas:
 - Estireno en un porcentaje de 5 % x 1kg de resina poliéster
 - Cobalto en un porcentaje de 1% x 1 kg de resina
 - Agitar la resina el estireno y cobalto hasta tener una mezcla homogénea
 - Agregar MEC (Metil Etil Cetona) a la mezcla en un porcentaje de 1% x 1 kg de mezcla
 - Agitar para obtener una combinación homogénea
- c) Colocar el refuerzo en el molde
- d) Colocar la Combinación de resina (Estireno, cobalto, MEC) en el molde
- e) Esperar a que se produzcan las fases de gelificación, endurecimiento y curado final

Metodología para la obtención de la fibra de totora.

En base a la metodología de experimentación se definió estrategias para la obtención de la fibra en sus tres configuraciones, fibra larga, corta y tejida, los pasos seguidos se detallan a continuación en la figura 31.

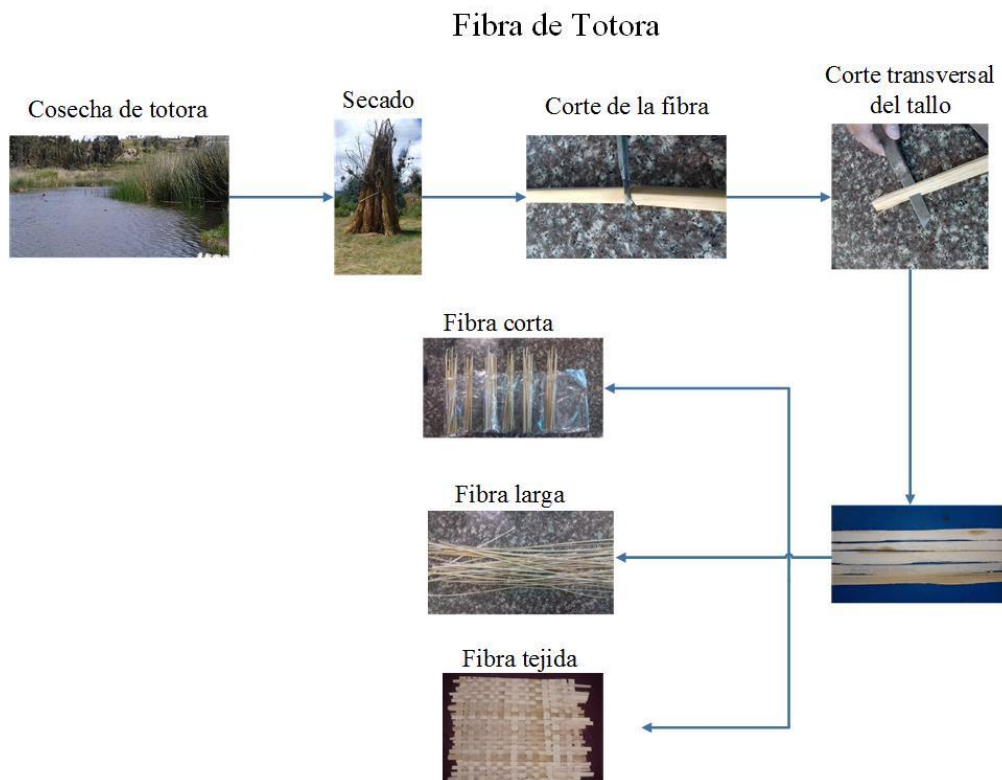


Figura 31. Metodología para la obtención de fibra de totora. Fuente: Autor

La totora se adquirió en el cantón Guano en la parroquia San Gerardo, las distintas configuraciones como fibra larga y fibra corta fue realizada por el autor, la configuración tejida se tomó como base el tejido que realizan los artesanos para la fabricación de esteras.



Figura 32. Tejido para la elaboración de esteras. Fuente: Autor

Proceso de fabricación del material compuesto. Existen varios procesos de fabricación de materiales compuestos como: estratificación manual, moldeo por extrusión, moldeo por inyección, compresión, transferencia de resina, aspersión (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

Considerando que las probetas deben obtener buenos resultados con bajos costos, el proceso de fabricación elegido para la fabricación de probetas es mediante estratificación manual.

Estratificación manual. Es la técnica más antigua y fácil de aplicar para la obtención de materiales compuestos con matriz de resina termoestable. El material de refuerzo puede obtener distintas configuraciones como fibra corta, fibra continua tejida o no tejida y es adicionado en un porcentaje en volumen máximo del 40 % (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

Entre las ventajas de este proceso se destaca, su simplicidad operacional lo cual permite elaborar elementos de distintos tamaños con alto contenido de refuerzo y baja inversión, en su proceso no requiere la aplicación de calor y sus reactivos son accesibles y económicos. Presenta la dificultad de controlar el espesor del elemento y un buen acabado solo en una de sus caras (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

Proceso de estratificación manual.

1. Al molde se le adiciona un agente de desmolde que puede ser una cera para retirar con facilidad la pieza final
2. Se aplica resina con una pistola de aspersión, con un rodillo o brocha.
3. Se coloca capas de refuerzo conjuntamente con resina preparada, además se pasa un rodillo o aprisionador para permitir que el refuerzo se impregne con la resina y así eliminar el aire comprimido y evitar imperfecciones en la pieza final.
4. Se deja que ocurra el tiempo de curado
5. Se retira la pieza del molde

Tracción flexión e impacto

Para determinar el comportamiento mecánico de un material, se lo realiza mediante una prueba simple de tensión deformación, esta prueba se produce si una carga es estática o cambios relativamente lentos con el tiempo se aplica de manera uniforme en una sección transversal a la superficie de un miembro, existe tres formas principales en las que se puede aplicar la carga como tensión, compresión y torsión como se muestra en la figura 33

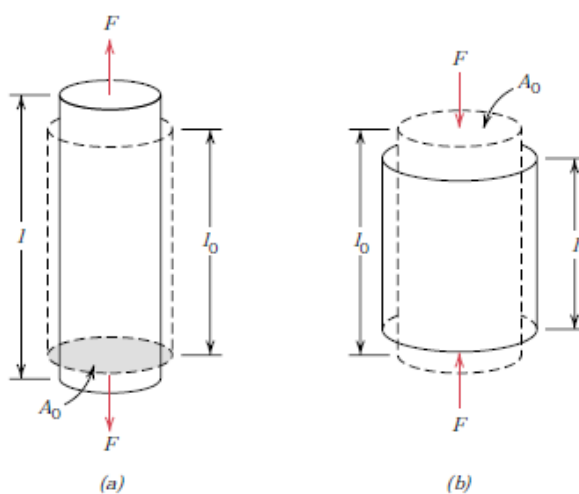


Figura 33. Esquema de aplicación de carga a tensión y compresión. *Nota:* La figura (a) da como una carga de tracción F la cual produce un alargamiento y una tensión lineal positiva punteadas representa la forma antes de la deformación; líneas continuas después de la deformación y en el esquema (b) una carga a compresión produce una contracción F y lineal negativa. Fuente. (Callister, 2014)

Tracción. Es uno de los ensayos destructivos importantes para la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales, en este ensayo el material se deforma hasta la rotura mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal. (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011)

Es el esfuerzo producido por la intensidad de fuerza ejercida por unidad de área, como se observa en la ecuación 1

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo (MPa)

F = carga máxima o fuerza máxima (kgf - N)

A = Área de la sección transversal mm^2

Deformación. Se determina bajo la siguiente ecuación 2.

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \quad (2)$$

Donde:

ε = Elongación

l_f = Longitud final (mm)

l_o = Longitud inicial (mm)

Módulo de elasticidad. También denominado módulo de Young se determinó mediante la ecuación 3:

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon} \quad (3).$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad (MPa)

σ_{max} = Esfuerzo máximo (MPa)

ε = Elongación

Flexión. Este ensayo se realiza cuando la característica esfuerzo – deformación no puede ser determinada mediante tracción ya que algunos materiales presentan tres problemas, primero el espécimen posee una geometría difícil de preparar otra posibilidad es que sea difícil de agarrar sin fracturar porque algunos materiales son quebradizos, y al ultima es que el material falla después de solo 0.1 % de deformación (Callister, 2014).

Al presentarse estos problemas se opta por el ensayo de flexión que no es más que doblar una sección transversal circular o rectangular hasta la fractura usando la técnica de tres o cuatro puntos como se observa en la figura 34.

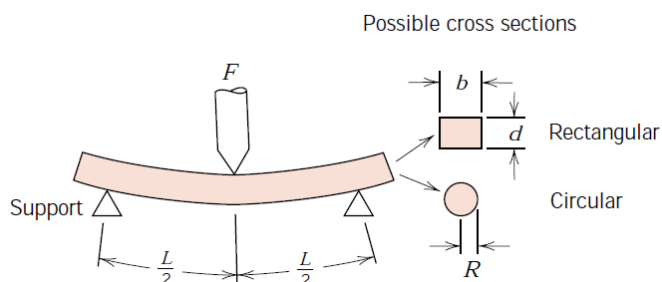


Figura 34. Esquema de ensayo a flexión.
Fuente: (Callister, 2014)

Esfuerzo máximo a flexión Se representa en unidades de MPa y se determina mediante la ecuación 4:

$$\sigma_{maxf} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (4)$$

Donde:

σ_{maxf} = Esfuerzo máximo de flexión (MPa)

F = Fuerza aplicada (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

h = Espesor de la probeta (mm)

Deflexión máxima. Al aplicar una carga sobre una viga esta produce que se flexione en una dirección perpendicular a su eje neutro formando una ligera curva. Para su determinación se utiliza:

$$Y_{max} = \frac{FL^3}{4bh^3\delta} \quad (5)$$

Donde:

Y_{max} = Deformación máxima (MPa)

F = Fuerza aplicada (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

h = Espesor de la probeta (mm)

b = Ancho de la probeta (mm)

δ = Deflexión de la probeta (mm)

Impacto. Se utiliza para determinar la resistencia al impacto de materiales, se ha diseñado dos ensayos estandarizados el de Charpy e Izod, el objetivo de los dos ensayos es de romper una probeta con sección transversal cuadrada, con un péndulo oscilante, una vez aplicada la fuerza se registrara la energía de resistencia al choque que vendrá representada por la variación de alturas del péndulo (Callister, 2014).

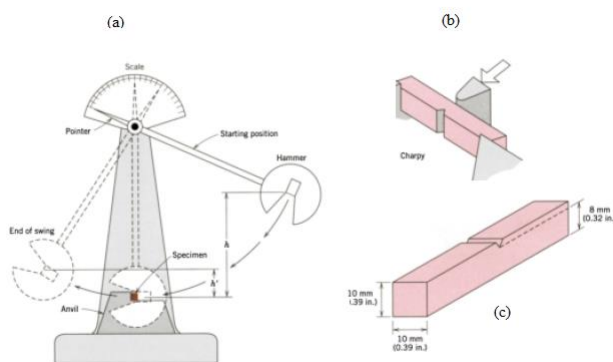


Figura 35. Ensayo Charpy, *Nota:* (a) representa la oscilación del péndulo, (b) Aplicación de la fuerza sobre la probeta, (c) Probeta de perfil cuadrado con muesca para ensayo.

Fuente: (Callister, 2014)

Desarrollo de ensayos a tracción, flexión e impacto

Los vehículos están constituidos por distintas autopartes, las autopartes según la función que cumplan son conformadas por distintos materiales los cuales presentan propiedades específicas, que desde el punto de vista del diseño son seleccionadas con la finalidad de obtener una autoparte económica y que cumpla las funciones encomendadas sin que se produzcan fallos mecánicos.

Para obtener un diseño adecuado de una autoparte se requiere conocer las propiedades de los materiales, por tal motivo se desarrollan ensayos normalizados, que para nuestro caso serán los ensayos de tracción bajo la norma ASTM D-3039, ensayos de flexión con la norma ASTM D-7264, y el ensayo de impacto de acuerdo a la norma ASTM D 6110.

Determinación de la fracción volumétrica de la fibra natural. Para determinar las fracciones volumétricas tanto como para la matriz y el refuerzo se considera la relación:

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad (6)$$

Donde:

ρ_c = Densidad del material compuesto

ρ_m =Densidad de la matriz

ρ_f =Densidad de la fibra

f_m =Fracción volumétrica de la matriz

f_f = Fracción volumétrica de la fibra

Se considera que:

$$f_m = 1 - f_f$$

La densidad del compuesto se determina mediante gravimetría, este proceso consiste en utilizar una probeta de 250 cm^3 , en el que se deposita agua a temperatura ambiente una cantidad de 200 cm^3 , posteriormente se sumerge completamente la probeta a flexión; se observó un

cambio de volumen depositado en la probeta de 13.6 cm^3 como se indica en la figura 36A; también con la ayuda de una balanza digital se determinó una masa de 12.26 gr como indica la figura 36B con estos valores se determina la densidad del material compuesto reforzado con totora con un valor de 0.894 gr/cm^3 .



Figura 36. Determinación de la densidad y peso de las probetas.

Nota: A= Determinación del volumen por gravimetría,
B= determinación de la masa de la probeta. Fuente autor.

Entonces se considera:

$$\rho_c = 0.894 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_m = 1.20 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_f = 0.18 \text{ gr/cm}^3$$

$$f_m = 1 - f_f$$

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = (1 - f_f) \rho_m + f_f \rho_f$$

$$0.894 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = (1 - f_f) 1.20 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} + f_f 0.18 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$0.894 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1.20 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} - f_f (1.20 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}) + f_f (0.18 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3})$$

$$0.894 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} - 1.20 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = -f_f(1.20 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}) + f_f(0.18 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3})$$

$$-0.306 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = -f_f(1.02 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3})$$

$$f_f = 0.3 = 30 \%$$

Se propone tres combinaciones fibra corta, larga, tejida para la fracción volumétrica del 30%, la razón primordial por la que se eligió esta fracción volumétrica, es porque al fabricar a un menor porcentaje la configuración tejida no permite ser elaborada ya que se produce rotura en las fibras, también al elaborar con un mayor porcentaje en la configuración tejida supera el espesor indicado por la norma ASTM D-3039 en el ensayo a tracción. Se elaboró las fracciones volumétricas de totora para los ensayos de tracción flexión e impacto como se indica en la figura 37.

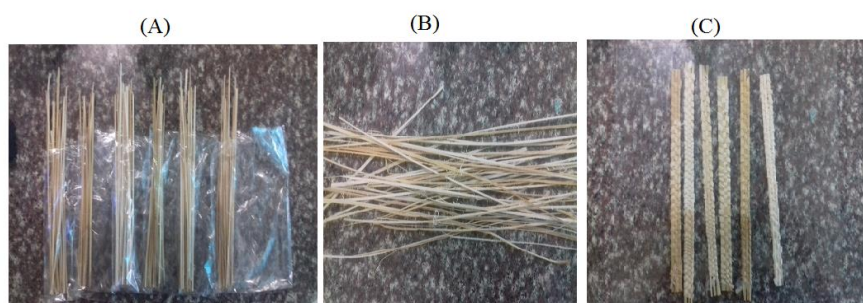


Figura 37. Fracciones volumétricas. *Nota:* (A) fibra corta, (B) larga, (C) tejida. Fuente: Autor

Las fibras cortas tienen una longitud aproximada de 1.5 cm esta longitud se utilizará para todos los ensayos (Tracción, flexión, impacto), para la fibra larga y la fibra tejida poseen una longitud de 24 cm para tracción, una longitud de 16 cm y 12.7 cm para las pruebas de flexión e impacto respectivamente.

Para asegurar un mejor contacto de las fibras a su vez para no tener problemas con el alineamiento de las fibras con el molde, el momento de elaborar las probetas de resina de poliéster más fibras largas de totora se realiza un pre mojado de las fibras (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

Tiempo de curado El tiempo de curado de las probetas es importante para la caracterización del material compuesto, el tiempo de curado mínimo es de 15 días a temperatura ambiente, pero existe la posibilidad de reducir el tiempo de curado mediante la utilización de un horno a 40 °C en un tiempo de 16 y 24 horas según (Guerrero, Davila, & Pontón, 2011).

En la tabla 4 se muestra el tiempo de curado de cada una de las configuraciones del material

Tabla 4. *Tiempos de curado de las probetas de matriz polimérica y refuerzo de totora.*

Configuración	Tiempo de curado de la probeta a caracterizar
F.C.S 30 %	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra corta de totora sin tratamiento térmico. Gelificación (10-15) minutos, endurecimiento (45-30) minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente
F.L.S 30%	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra larga de totora sin tratamiento térmico. Gelificación 10-15 minutos, endurecimiento 45-30 minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente
F.T.S 30 %	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra tejida de totora sin tratamiento térmico. Gelificación 10-15 minutos, endurecimiento 45-30 minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente
F.C.T 30 %	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra corta de totora para tratamiento térmico. Gelificación 10-15 minutos, endurecimiento 45-30 minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente
F.L.T 30 %	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra larga de totora para tratamiento térmico. Gelificación 10-15 minutos, endurecimiento 45-30 minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente
F.T.T. 30 %	Material compuesto reforzado con 30 % de fracción volumétrica de fibra tejida de totora para tratamiento térmico. Gelificación 10-15 minutos, endurecimiento 45-30 minutos y curado final 15 días a temperatura ambiente

Nota: En la tabla se representa los tiempos de curado de las distintas probetas: Fibra corta (FC), Fibra larga (FL), Fibra tejida (FT), se utiliza para probetas sin tratamientos térmicos (S) y con tratamientos térmicos (T). Fuente: Autor

Dimensionamiento de las probetas.

Elaboración de las probetas de tracción. Para la elaboración de las probetas de tracción se realizó mediante lo descrito en la norma ASTM D - 3039 para materiales compuestos de matriz polimérica utilizando el molde antes descrito y con las medidas como indica en la figura 38, y en el anexo 4.

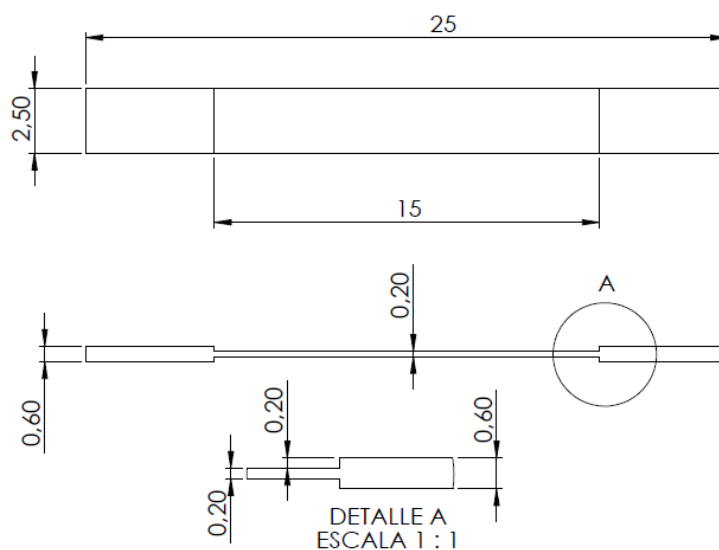


Figura 38. Dimensionamiento probeta a tracción. Fuente: Autor

Con la finalidad de obtener veracidad y confiabilidad en los resultados de los ensayos a realizarse, se construyen 60 probetas para la fracción volumétrica del 30 % con configuraciones de fibra corta, larga y tejida (ver tabla 5). Todas las probetas pasaron por los mismos tiempos de curado, para así obtener las mejores características del material compuesto.

Tabla 5. *Número de probetas a tracción a ensayar*

Tipo de material	<u>Probetas a tracción según su configuración</u>			
	Volumen de refuerzo (%)	N. de probetas	Tipo de ensayo	Norma
Matriz poliéster	---	12	Tracción	ASTM- D 3039
Fibra Corta FC(S.T)	30	16	Tracción	ASTM- D 3039
Fibra Larga FL(S.T)	30	16	Tracción	ASTM- D 3039
Fibra Tejida FT(S.T)	30	16	Tracción	ASTM- D 3039
Total de probetas		60		

Nota: las probetas serán ensayadas primero sin tratamiento térmico para determinar la mejor configuración de fibra, y después se realizará el tratamiento térmico a la mejor configuración de la fibra y se realizará nuevamente el ensayo para determinar su afectación Fuente: Autor

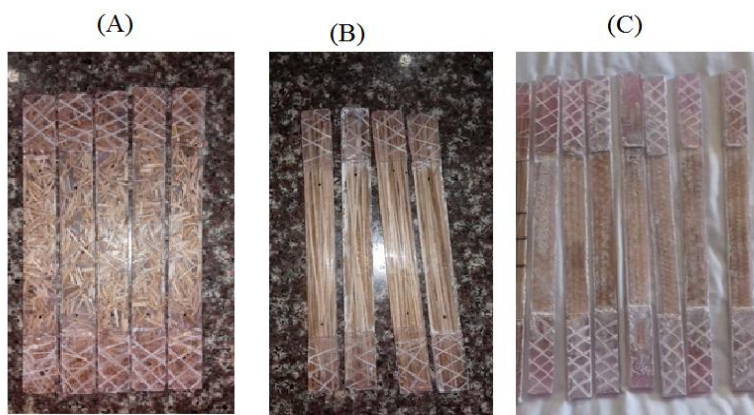


Figura 39. Probetas elaboradas para ensayo de tracción con distinta configuración de fibra. (A) Corta, (B) Larga, (C) Tejida. Fuente Autor

Elaboración de las probetas para flexión. Se elaboraron según la norma ASTM – D 7264 con fracción volumétrica del 30 %, la configuración de la fibra (corta, larga, tejida) y el número de probetas realizadas depende de los mejores resultados obtenidos en los ensayos de tracción, las dimensiones de las probetas se muestran en la figura 40 y en el anexo 5.

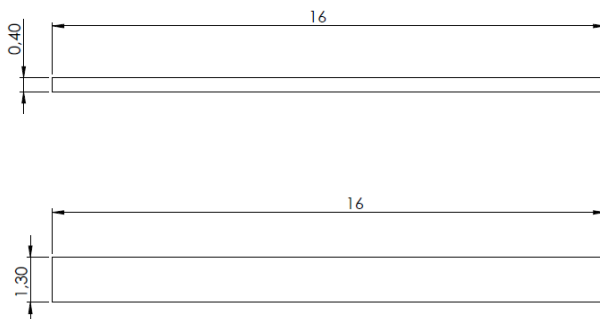


Figura 40. Dimensionamiento de probetas a flexión. Fuente: Autor

Tabla 6. Información de las probetas a flexión.

Probetas a flexión según su configuración				
Tipo de material	Volumen de refuerzo (%)	N. de probetas	Tipo de ensayo	Norma
Matriz poliéster	---		Flexión	ASTM- D 7264
Fibra Corta FC(S.T)	30	Según los resultados obtenidos en los ensayos de tracción	Flexión	ASTM- D 7264
Fibra Larga FL(S.T)	30		Flexión	ASTM- D 7264
Fibra Tejida FT(S.T)	30		Flexión	ASTM- D 7264

Nota: Para el ensayo de flexión una vez obtenido los resultados de tracción se determinan la mejor configuración de fibra y según lo establecido en la norma ASTM-D 7264 se elaboraran el número de probetas considerando que se debe realizar el tratamiento térmico. Fuente: Autor

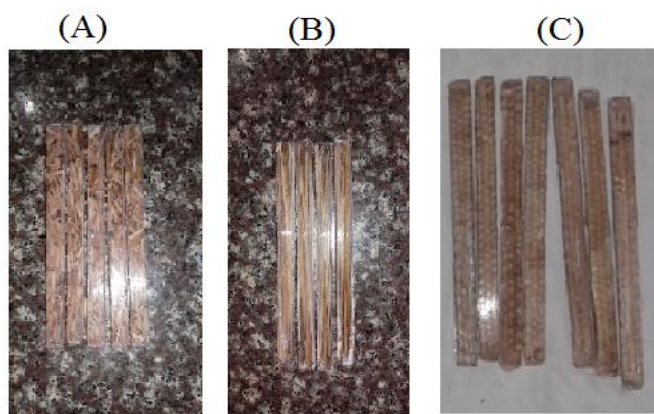


Figura 41. Probetas elaboradas para ensayo de flexión con distinta configuración de fibra. (A)Corta, (B) Larga, (C) Tejida. Fuente: Autor

Elaboración de las probetas para impacto. Se elaboraron mediante la norma ASTM- D 6110 como se observa en la figura 42, (ver anexo 6), con una fracción volumétrica del 30 %, la configuración de la fibra (Corta, larga, tejida) y el número de probetas depende de los mejores resultados del ensayo a tracción y flexión.

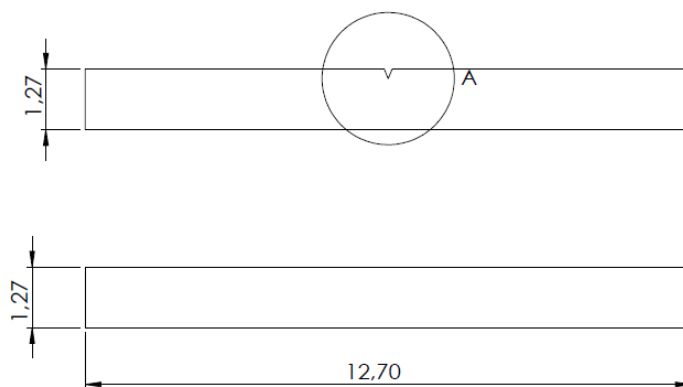


Figura 42. Dimensionamiento probeta de impacto. Fuente: Autor

Tabla 7. Información de las probetas a impacto

Tipo de material	Probetas a flexión según su configuración			
	Volumen de refuerzo (%)	N. de probetas	Tipo de ensayo	Norma
Matriz poliéster	---		Flexión	ASTM- D 6110
Fibra Corta FC(S.T)	30	Según los resultados obtenidos en los ensayos de tracción y flexión	Flexión	ASTM- D 6110
Fibra Larga FL(S.T)	30		Flexión	ASTM- D 6110
Fibra Tejida FT(S.T)	30		Flexión	ASTM- D 6110

Nota: Para el ensayo de impacto una vez obtenido los resultados de tracción y flexión se determina la mejor configuración de fibra y según lo establecido en la norma ASTM-D 7264 se elaboraran el número de probetas considerando que se debe realizar el tratamiento térmico. Fuente: Autor

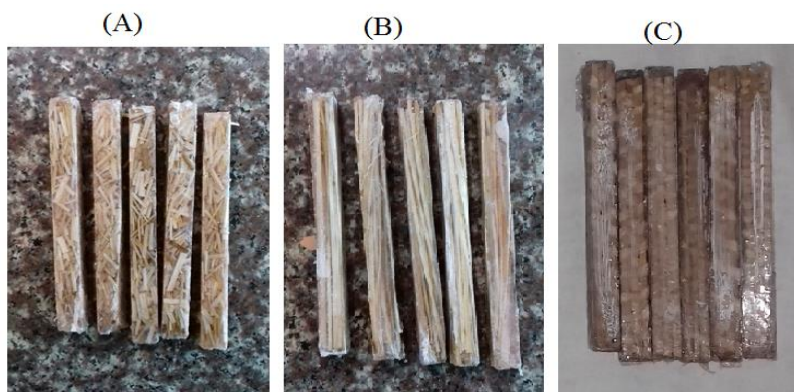


Figura 43. Probetas elaboradas para ensayo de impacto con distinta configuración de fibra. (A)Corta, (B) Larga, (C) Tejida. Fuente: Autor.

Choque térmico. Es cuando se produce un enfriamiento brusco de piezas que fueron previamente calentadas con la finalidad de observar cambios en las propiedades mecánicas como módulo de Young, elasticidad o esfuerzo máximo entre otros.

Además, al someter un material sólido a cambios drásticos de temperatura este suele quebrarse o agrietarse, esto sucede en materiales que poseen bajo nivel de tenacidad, baja conductividad térmica y bajos coeficientes de expansión térmica

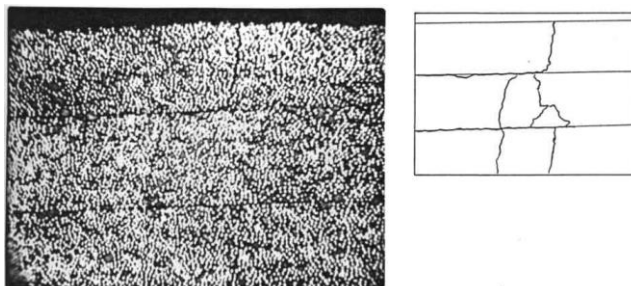


Figura 44. Fractura material compuesto producido por choque térmico. Fuente: (Barrera, 1990)

Para el choque térmico se considera como referencia lo establecido en la norma NTN INEN 2 192:2000, en cuanto a la determinación del número de ciclos térmicos que se debe realizar, variación de temperatura y tiempos de realización del ensayo. Las probetas se someterán a cambios de temperatura, los mismos que oscilan entre 90 °C y la temperatura ambiente del sector con una variación de $\pm 5^{\circ}\text{C}$. El espécimen permanecerá durante 5 min a temperatura baja,

inmediatamente se transferirá la probeta a la estufa mantenida a $(90 \pm 5) ^\circ\text{C}$ durante 20 min hasta que alcance una temperatura uniforme, inmediatamente se retornará a las condiciones de baja temperatura mediante enfriamiento forzado, este procedimiento se repetirá 10 veces.

Test de parachoques “RCAR”

En los ensayos de impacto se evalúa la seguridad que brinda el vehículo a los ocupantes ante una colisión, estos test se lo realiza de manera obligatoria para obtener la homologación, o también existen entidades independientes como EURO NCAP “Programa de valoración de vehículos nuevos”. Sin embargo existen otros car test, menos conocidos pero realizados por centros mundiales de investigación pertenecientes al RCAR (Ruiz, 2009).

Los centros de investigación miembros del RCAR tienen por objetivo el trabajar con los fabricantes de automóviles a fin de mejorar la dañabilidad y reparabilidad de sus vehículos, con la finalidad de satisfacer las necesidades del consumidor (Ruiz, 2009).

La dañabilidad no es más que la capacidad de un vehículo para soportar los esfuerzos producidos en una colisión, lo que abarca su capacidad de absorber la energía del impacto como para limitar las deformaciones y daños en su estructura, componentes. Un automóvil se dice que posee reparabilidad cuando tiene la posibilidad y facilidad para su reparación, tanto desde el punto de vista técnico como económico (Ruiz, 2009).

La mejora de ambas cualidades no debe afectar a la seguridad de los ocupantes del vehículo, ni con la de otros usuarios de la vía, para evaluar estos conceptos, el vehículo se somete a diversas pruebas de impacto para así analizar su comportamiento y costes de reparación, clasificando cada modelo en función de los resultados obtenidos (Ruiz, 2009).

El RCAR posee un procedimiento estandarizado para evaluar los parachoques delanteros y posteriores en un impacto a baja velocidad. La finalidad de este test es fomentar que los

fabricantes de vehículos optimicen el desarrollo de sus parachoques, para proteger con eficacia al vehículo en impactos a baja velocidad (Ruiz, 2009).

El comportamiento de los parachoques tiene tres variantes:

La geométrica: No debe tener excesiva diferencia en las alturas sobre el suelo entre diferentes parachoques (Ruiz, 2009).

Compatibilidad: Debe buscarse una suficiente superposición entre las traviesas de los golpes, a pesar de los cambios de posición debidos a la dinámica de la conducción por ejemplo una maniobra de frenado (Ruiz, 2009).

Capacidad de absorción de energía: han de ser capaces de absorber la energía en impactos a baja velocidad, sin transmitir daños a otras partes dl vehículo (Ruiz, 2009).

Descripción del ensayo. El Test de Parachoques RCAR se realizará mediante simulación en el Software ANSYS con los detalles que se mencionan a continuación: Para el desarrollo del ensayo se utiliza una barrera específicamente diseñada y cubierta de material deformable, montada sobre una superficie indeformable. La altura a la que se sitúa es de 455 mm en el test de parachoques delantero y para el posterior de 405 - 455 dependiendo del mercado local. En ambas pruebas el vehículo es lanzado a una velocidad de 10 km/h contra la barrera de manera que el eje longitudinal del vehículo coincida en el momento del impacto con el centro geométrico de la barrera (RCAR, 2010).

Parámetros de ensayo parachoques delantero

Altura de la barrera: 457 mm desde el suelo hasta el borde inferior de la barrera

Velocidad: 10 km/h

Diseño y dimensiones de la barrera de acero. La barrera de parachoques es una construcción rígida de acero con un radio de $3\,400 \pm 25$ mm a través de toda su anchura como se muestra en la figura 45. $1\,500 \text{ mm} \pm 25$ mm de ancho, con un piso de $100 \text{ mm} \pm 2$ mm de cara vertical de altura. La barrera es de al menos 230 mm de profundidad en su centro (sin bridas) y debe ser construido de manera que se puede montar a una pared de choque inflexible e inmuebles a varia alturas. La barrera de acero tiene un radio de 25.4 mm incorporado en cada extremo (RCAR, 2010).



Figura 45. Barrera de parachoques de acero con anti retorno Fuente: (RCAR, 2010)

El absorbedor de energía debe ser tan largo como la cara de parachoques, 50 mm de profundidad y es curvado a lo largo de su longitud con un radio de 3400 mm para permitir el montaje en la cara de la barrera. La cara frontal del absorbedor tiene un radio de arriba a abajo $150 \text{ mm} \pm 2$ mm (RCAR, 2010). El dimensionamiento del absorbedor se muestra en las figuras 46, 47, 48 y 49.

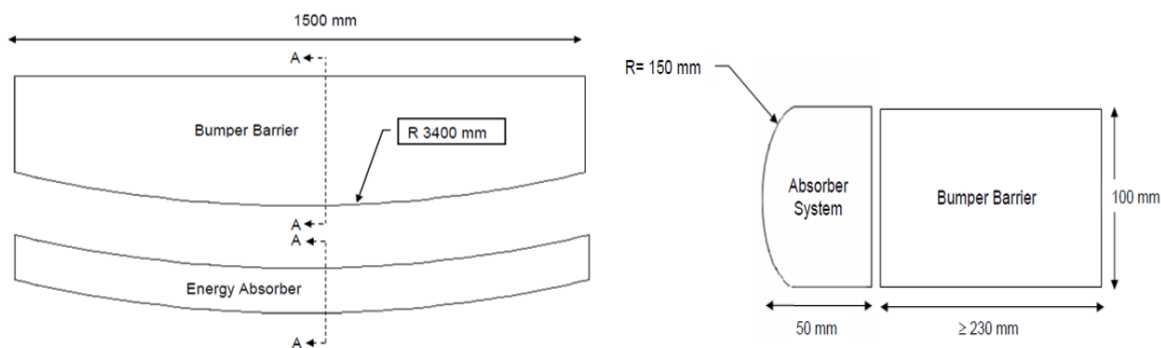


Figura 46. Barrera de parachoques y absorbedor de energía. Fuente: (RCAR, 2010)

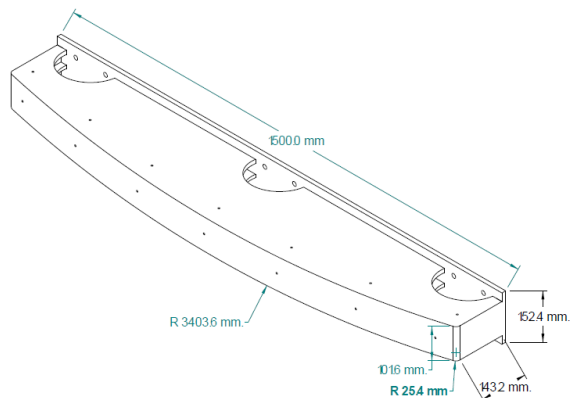


Figura 47. Disposición de barrera de acero sin respaldo. Fuente: (RCAR, 2010)

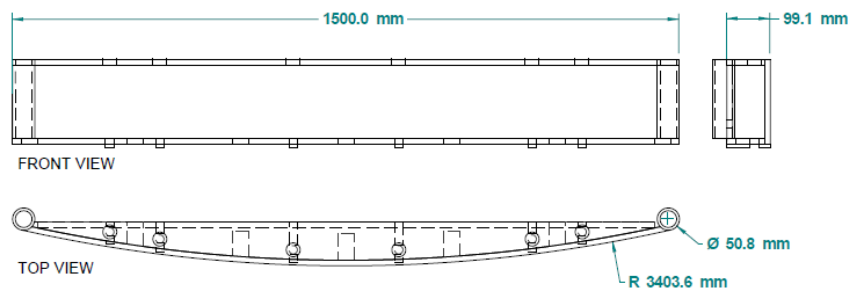


Figura 48. Dimensiones de respaldo. Fuente: (RCAR, 2010)

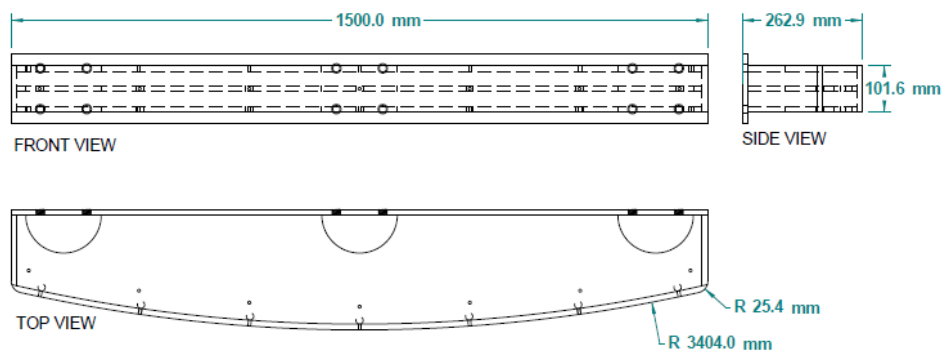


Figura 49. Dimensiones de la barrera principal, vista superior. Fuente: (RCAR, 2010)

Fabricación del prototipo

Para elaborar el prototipo se utilizará un molde de parachoques delantero de bus, adquirido en el mercado, a partir del molde se detalla a continuación los pasos a seguir para la fabricación del parachoques.

1. Limpieza del molde
2. Aplicar cera desmoldante al molde con un mínimo de 5 capas para garantizar el desmolde del prototipo.
3. Elaborar el refuerzo de fibra de totora con la mejor configuración en el porcentaje utilizado en los ensayos (Tracción, flexión e impacto)
4. Preparar la matriz de resina de poliéster y catalizador con las mismas concentraciones de volumen usadas en los ensayos (Tracción, flexión e impacto).
5. Realizar un pre mojado de la fibra de totora con la resina poliéster
6. Aplicar con una brocha una capa fina de resina preparada en el molde
7. Colocar el material de refuerzo respetando la forma del molde
8. Consecutivamente aplicar con una brocha otra capa fina de resina para que el refuerzo absorba la resina.
9. Se dejar secar por al menos unas 2 horas a temperatura ambiente para volver aplicar otra capa de resina y refuerzo donde se observe que sea necesario.
10. Dejar secar hasta que se produzca un curado total por al menos 15 días a temperatura ambiente.
11. Desmóldelo de prototipo

En la figura 50 se representa esquemáticamente el proceso de elaboración del prototipo de parachoques delantero para autobús urbano.



Figura 50. Fabricación de prototipo. Fuente: Autor

CAPÍTULO III

Resultados.

En esta etapa se muestra los resultados de los ensayos realizados al material compuesto de resina de poliéster 33000 y totora según las normas ASTM, para una fácil comprensión de los datos obtenidos son tabuladas en Excel donde se muestran propiedades mecánicas como deformación máxima, esfuerzo máximo elongación entre otros.

Con el afán de obtener una mejor visualización de las prácticas que se deben realizar, la caracterización se divide en dos tipos de ensayos:

Ensayos destructivos. Para el desarrollo de los ensayos Tracción, flexión e impacto se elaboraron 8 probetas (sabiendo que la norma ASTM, establece un mínimo de 5 probetas)

Ensayos no destructivos. Se realiza un análisis microscópico para verificar la fusión de la matriz con la fibra, además se desarrolla una prueba de resistencia al choque térmico a la configuración de fibra que represente mejores propiedades mecánicas, en un número de 8 probetas para posterior realizar ensayos destructivos y verificar sus propiedades mecánicas.

Caracterización de la matriz resina de poliéster 33000

En la tabla 8 se establece los datos adquiridos en el ensayo a tracción de resina de poliéster bajo la norma ASTM D -3039.

Tabla 8. *Ensayo a tracción resina de poliéster 33000.*

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK						
RESINA DE POLIÉSTER 33000						
Máquina		Máquina Universal		Norma		ASTM D 3039
Tipo de ensayo		Tracción		Numero de probetas		8
Matriz		Resina de poliéster		Frac. Volumétrica		100%
Refuerzo				Frac. Volumétrica		-
Estratificación		Manual		Velocidad de ensayo		2mm/min
Dimensiones promedio probeta (mm)		250x 25,25x 2,46		Peso promedio probeta		48,2 gr
Área trasversal (mm2)		62,12		Laboratorio		ESPOCH
DATOS Y RESULTADOS						
N°	Carga máxima(Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)
1	72,21	708,17	0,303	11,40	0,07447	153,09
2	72,83	714,21	0,301	11,50	0,06360	180,76
3	63,73	624,97	0,259	10,06	0,10213	98,51
4	68,57	672,44	0,283	10,82	0,08429	128,42
5	71,07	696,95	0,302	11,22	0,07092	158,19
6	67,97	666,57	0,283	10,73	0,08238	130,26
7	68,57	672,44	0,283	10,82	0,07510	144,15
8	68,57	672,44	0,283	10,82	0,07968	135,86
Promedio	69,19	678,52	0,287	10,92	0,07907	141,15
Desv. Estándar	2,88	28,31	0,014	0,457	0,01142	24,31

Fuente: Autor

En la figura 51 se representa los valores máximos de momento máximo, del módulo de elasticidad así como también se realiza el diagrama esfuerzo – deformación (promedio) de las probetas ensayadas

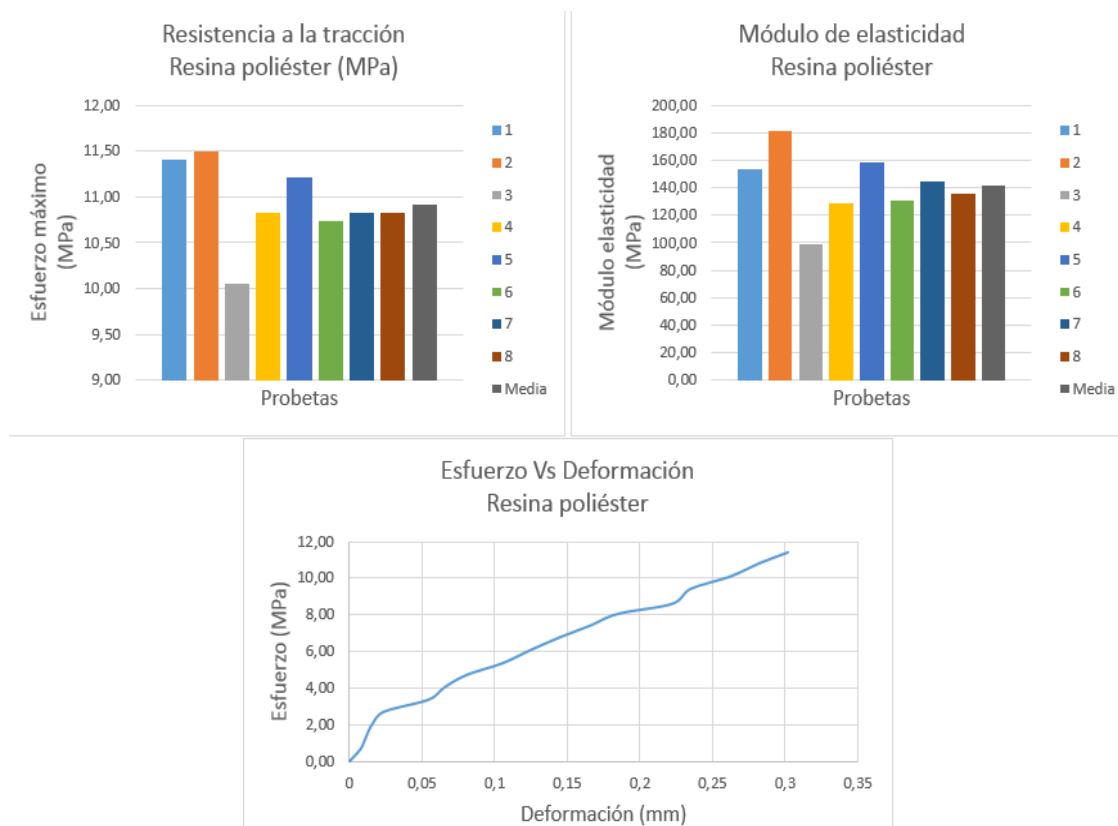


Figura 51. Representación del esfuerzo máximo, módulo de elasticidad, y el diagrama esfuerzo deformación de la resina poliéster 33000. Fuente: Autor

En la tabla 9 se representa los datos obtenidos en el ensayo a flexión de la resina de poliéster 33000, bajo la norma ASTM D 7264.

Tabla 9. Datos del ensayo a flexión de la matriz resina de poliéster 33000.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK					
RESINA POLIÉSTER 33000					
Máquina	Máquina Universal	Norma		ASTM D 7264	
Tipo de ensayo	Flexión	Numero de probetas		8	
Matriz	Resina de poliéster	Frac. Volumétrica		100%	
Refuerzo	-	Frac. Volumétrica		-	
Estratificación	Manual	Velocidad de ensayo		1mm/min	
Dimensiones probeta (mm)	160x 13,5x espesor	Peso promedio probeta		25,7 gr	
Espesor Promedio (mm)	4,6	Laboratorio		ESPOCH	
DATOS Y RESULTADOS					
N°	Carga máxima(Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de flexión(MPa)
1	9,56	93,72	24,50	73,82	2456,26
2	8,52	83,54	21,75	65,80	2466,19
3	9,56	93,70	24,00	73,81	2506,97
4	8,59	84,21	21,65	66,33	2497,54
5	9,56	93,72	24,50	73,82	2456,26
6	9,47	92,86	24,50	73,14	2433,64
7	8,55	83,88	21,75	66,07	2476,38
8	8,50	83,36	21,65	65,66	2472,46
Promedio	9,03	88,60	23,03	69,80	2470,71
Desv. Estándar	0,53	5,22	1,43	4,11	23,54

Resistencia a la flexión
Resina poliéster

Probeta	Esfuerzo máximo (MPa)
1	73,82
2	65,80
3	73,81
4	66,33
5	73,82
6	73,14
7	66,07
8	65,66
Media	69,80

Módulo de flexión
Resina poliéster

Probeta	Módulo elasticidad (MPa)
1	2456,26
2	2466,19
3	2506,97
4	2497,54
5	2456,26
6	2433,64
7	2476,38
8	2472,46
Media	2470,71

Fuente: Autor

En la tabla 10 se detallan los datos obtenidos del ensayo de impacto de la resina de poliéster 33000, bajo la norma ASTM D 6110.

Tabla 10. *Datos del ensayo a impacto de resina poliéster 33000.*

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK			
RESINA DE POLIÉSTER 33000			
Máquina	Péndulo Charpy	Norma	ASTM D 6110
Tipo de ensayo	Impacto	Numero de probetas	8
Matriz	Resina de poliéster	Frac. Volumétrica	100%
Refuerzo	-	Frac. Volumétrica	-
Estratificación	Manual	Velocidad de ensayo	
Dimensiones probeta (mm)	120x 12,5x espesor	Peso promedio probeta	22,8 gr
Espesor Promedio (mm)	12,4	Laboratorio	ESPOCH
DATOS Y RESULTADOS			
N°	Péndulo	RESISTENCIA AL IMPACTO (J)	
1	25 J	3	
2		2,8	
3		3	
4		3	
5		2,8	
6		3,2	
7		3	
8		2,6	
Promedio		2,9	
Desviación Estándar		0,18	

Fuente: Autor

Caracterización del material compuesto de matriz resina de poliéster 33000 y refuerzo de fibra de totora.

Fusión de la matriz de poliéster y fibra de totora. En la figura 52 se analiza la adherencia entre la matriz y el refuerzo, se determina que existe una buena fusión, pero que existen espacios que por la configuración del refuerzo de totora (aeréquima), no fueron ocupados por la matriz.

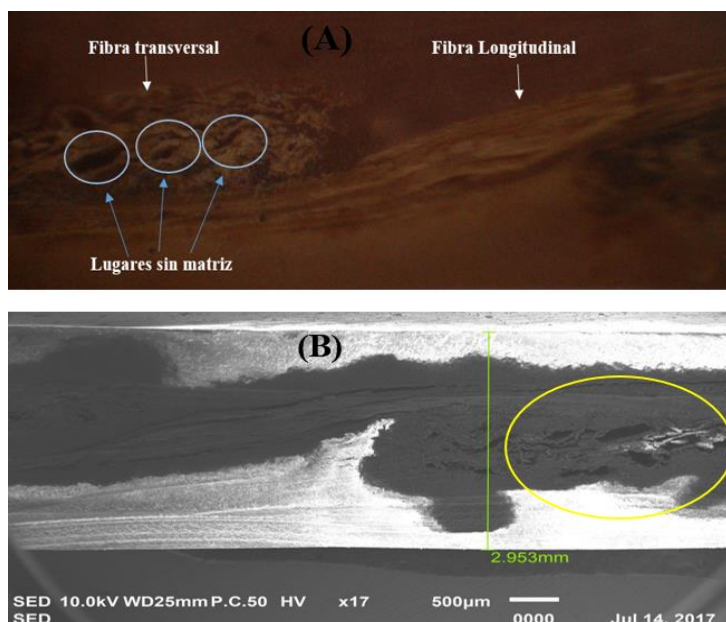




Figura 52. Adherencia de la matriz y refuerzo. Fotografía (A) tomada a una ampliación de 14 x en un microscopio normal y al fotografía (B) con microscopio electrónico a una aplicación de 17x. Fuente: Autor



Resultados del ensayo a tracción. Para el ensayo de tracción del material compuesto de resina de poliéster en un porcentaje del 70% y de fibra de totora en un porcentaje del 30%, en sus tres configuraciones, fibra corta, fibra larga, fibra tejida, se representa los valores obtenidos de esfuerzo máximo, elongación, módulo de elasticidad entre otras, en la tabla 11 los datos de fibra corta, en la tabla 12 para fibra larga y la tabla 13 fibra tejida,

Tabla 11. *Datos de ensayo a tracción fibra corta*

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK						
MATERIAL COMPUESTO – FIBRA CORTA DE TOTORA						
Máquina	Máquina Universal		Norma		ASTM D 3039	
Tipo de ensayo	Tracción		Numero de probetas		8	
Matriz	Resina de poliéster		Frac. Volumétrica		100%	
Refuerzo	Fibra corta de totora		Frac. Volumétrica		30%	
Estratificación	Manual		Velocidad de ensayo		2 mm/min	
Dimensiones promedio probeta (mm)	250x 25,31 x 2,64		Peso promedio probeta		48.8 gr	
Área trasversal (mm2)	66,82		Laboratorio		ESPOCH	
DATOS Y RESULTADOS						
Nº	Carga máxima(Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)
1	50,42	494,49	0,232	7,40	0,12077	61,27
2	41,92	411,13	0,188	6,15	0,18987	32,40
3	46,18	452,89	0,205	6,78	0,08466	80,06
4	50,41	494,32	0,230	7,40	0,11111	66,58
5	46,15	452,55	0,206	6,77	0,08995	75,30
6	50,42	494,49	0,232	7,40	0,12077	61,27
7	46,17	452,81	0,205	6,78	0,08898	76,16
8	50,41	494,32	0,231	7,40	0,12136	60,96
Promedio	47,76	468,37	0,216	7,01	0,1159	64,25
Desv. Estándar	3,16	30,983	0,017	0,464	0,0336	14,93
Imagen de las probetas						
<div></div>						

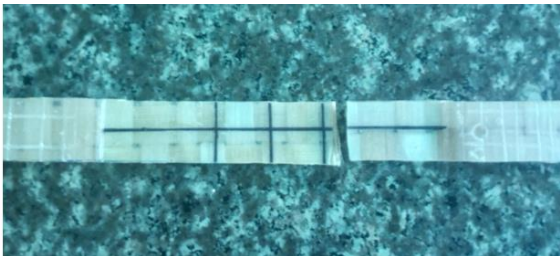

Fuente: Autor

Tabla 12. *Datos de ensayo a tracción fibra larga.*

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK						
MATERIAL COMPUESTO – FIBRA LARGA DE TOTORA						
Máquina	Máquina Universal		Norma		ASTM D 3039	
Tipo de ensayo	Tracción		Numero de probetas		8	
Matriz	Resina de poliéster		Frac. Volumétrica		100%	
Refuerzo	Fibra larga de totora		Frac. Volumétrica		30%	
Estratificación	Manual		Velocidad de ensayo		2 mm/min	
Dimensiones promedio probeta (mm)	250x 25,23x 2,68		Peso promedio probeta		48,1 gr	
Área trasversal (mm2)	67,62		Laboratorio		ESPOCH	
DATOS Y RESULTADOS						
N°	Carga máxima(Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)
1	143,90	1411,15	0,699	20,87	0,02493	837,21
2	143,88	1410,98	0,705	20,87	0,02471	844,47
3	143,86	1410,81	0,702	20,86	0,02482	840,69
4	131,16	1286,19	0,648	19,02	0,02693	706,29
5	135,43	1328,13	0,669	19,64	0,02766	710,08
6	118,87	1165,76	0,577	17,24	0,04601	374,69
7	126,95	1244,94	0,527	18,41	0,04805	383,14
8	143,44	1406,67	0,699	20,80	0,02493	834,55
Promedio	135,93	1333,08	0,653	19,71	0,03123	691,39
Desv. Estándar	9,56	93,81	0,066	1,38	0,0099	201,2
Imagen de las probetas						
<div></div>						

Fuente: Autor

Tabla 13. *Datos de ensayo a tracción fibra tejida.*

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK						
MATERIAL COMPUESTO – FIBRA TEJIDA DE TOTORA						
Máquina	Máquina Universal		Norma		ASTM D 3039	
Tipo de ensayo	Tracción		Numero de probetas		8	
Matriz	Resina de poliéster		Frac. Volumétrica		100%	
Refuerzo	Fibra tejida de totora		Frac. Volumétrica		30%	
Estratificación	Manual		Velocidad de ensayo		2mm/min	
Dimensiones promedio probeta (mm)	250x 25,04 x 2,84		Peso promedio probeta		46.2 gr	
Área trasversal (mm2)	71,11		Laboratorio		ESPOCH	
DATOS Y RESULTADOS						
N°	Carga máxima(Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)
1	208,56	2045,27	0,815	28,76	0,03426	839,43
2	200,08	1962,08	0,724	27,59	0,03903	706,93
3	204,21	2002,64	0,804	28,16	0,02073	1358,85
4	208,21	2041,82	0,856	28,71	0,02964	968,58
5	200,08	1962,08	0,756	27,59	0,03903	706,93
6	204,18	2002,30	0,782	28,16	0,02357	1194,87
7	208,56	2045,27	0,812	28,76	0,03439	836,23
8	200,08	1962,08	0,780	27,59	0,02952	934,81
Promedio	204,24	2002,94	0,791	28,16	0,03127	943,33
Desv. Estándar	3,873	37,99	0,04	0,534	0,0067	230,11
Imagen de las probetas						
<div></div>						

Fuente: Autor

La figura 53 representa el esfuerzo máximo, la figura 54 se representa el módulo de elasticidad máximo, alcanzado por cada probeta en sus distintas configuraciones, además se representa la media de los ensayos realizados.

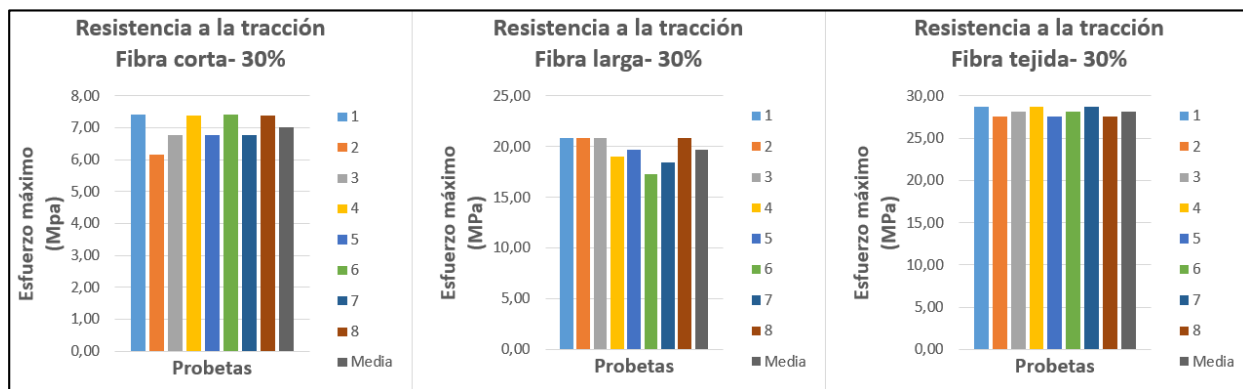


Figura 53. Esfuerzo máximo a tracción de cada configuración. Fuente: Autor

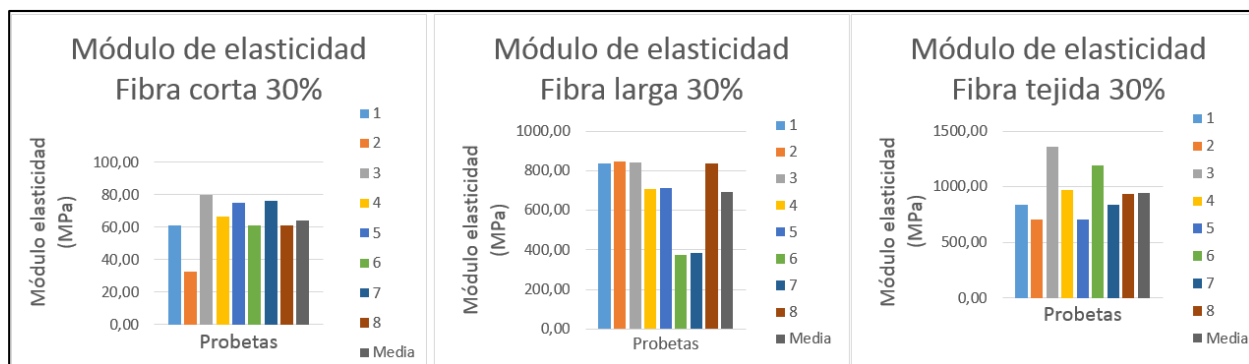


Figura 54. Módulo de elasticidad de cada configuración. Fuente: Autor

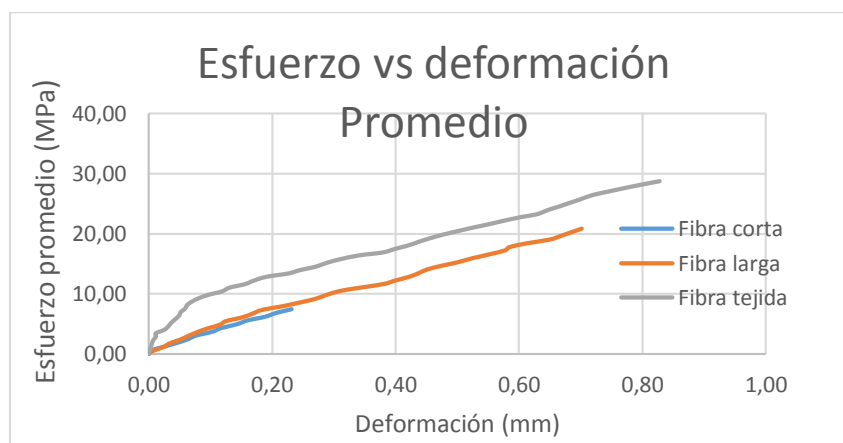
Para obtener una mejor visualización de los datos obtenidos, se representa en la tabla 14 los promedios de cada una de las configuraciones (fibra corta, fibra larga, fibra tejida).

Tabla 14. Resultados promedios del ensayo a tracción de las distintas configuraciones

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO A TRACCIÓN																						
Configuración	Carga máxima(Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)																
Fibra corta	47,76	468,37	0,216	7,01	0,1159	64,25																
Fibra larga	135,93	1333,08	0,653	19,71	0,031	691,39																
Fibra tejida	204,24	2002,94	0,791	28,16	0,03127	943,33																
Representaciones gráficas																						
<div><div><p>Resistencia a la tracción promedio(MPa)</p><table><caption>Resistencia a la tracción promedio (MPa)</caption><thead><tr><th>Configuración de fibras</th><th>Esfuerzo máximo (MPa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Fibra corta</td><td>7,01</td></tr><tr><td>Fibra larga</td><td>19,71</td></tr><tr><td>Fibra tejida</td><td>28,16</td></tr></tbody></table></div><div><p>Modulo de elasticidad promedio (MPa)</p><table><caption>Modulo de elasticidad promedio (MPa)</caption><thead><tr><th>Configuración de fibras</th><th>Título del eje</th></tr></thead><tbody><tr><td>Fibra corta</td><td>64,25</td></tr><tr><td>Fibra larga</td><td>691,39</td></tr><tr><td>Fibra tejida</td><td>943,33</td></tr></tbody></table></div></div>							Configuración de fibras	Esfuerzo máximo (MPa)	Fibra corta	7,01	Fibra larga	19,71	Fibra tejida	28,16	Configuración de fibras	Título del eje	Fibra corta	64,25	Fibra larga	691,39	Fibra tejida	943,33
Configuración de fibras	Esfuerzo máximo (MPa)																					
Fibra corta	7,01																					
Fibra larga	19,71																					
Fibra tejida	28,16																					
Configuración de fibras	Título del eje																					
Fibra corta	64,25																					
Fibra larga	691,39																					
Fibra tejida	943,33																					
OBSERVACIONES	Las probetas presentaban una cantidad mínima de imperfecciones en sus dimensiones																					
	La fractura producida en el ensayo se encontraban en la parte central de la probeta																					
	La falla de la probeta se produjo tanto en la matriz como en el refuerzo																					
	Buena adherencia de la matriz con el refuerzo																					
	Por la configuración del refuerzo existe presencia mínima de partículas de aire atrapadas en las probetas																					

Fuente: Autor

En la figura 55 se representa la grafica esfuerzo deformacion (promedio) de las tres configuraciones (fibra corta, fibra larga, fibra tejida)

**Figura 55.** Gráfica esfuerzo vs deformación ensayo de tracción, de fibra corta, fibra larga, fibra tejida. Fuente: Autor

Para determinar que configuración continúa con el desarrollo de los ensayos destructivos (Flexión e impacto) mediante un programa estadístico se compara la media y 95 % de Fisher de los datos obtenidos del esfuerzo máximo de las tres configuraciones y se representa en la figura 56, y el módulo de elasticidad en la figura 57.

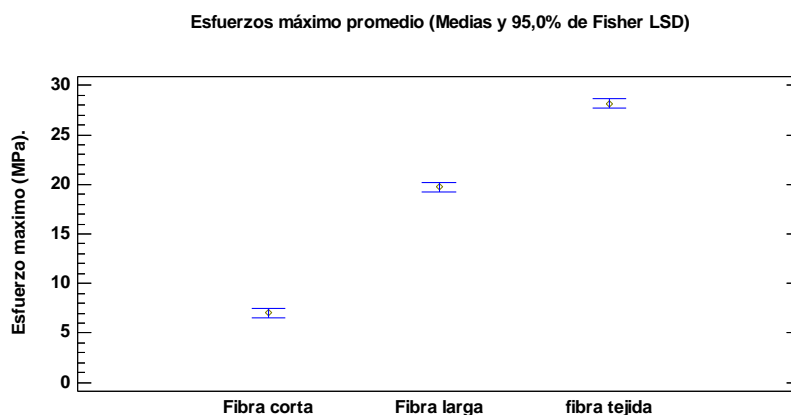


Figura 56. Comparación de medias del esfuerzo máximo. Fuente: Autor

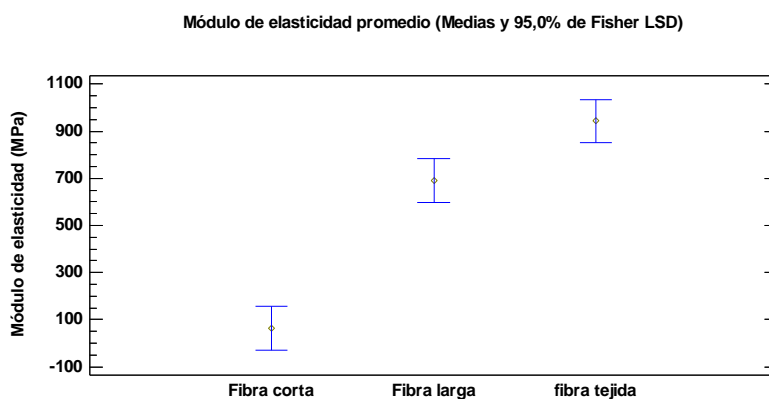




Figura 57. Comparación de medias del módulo de elasticidad

Se observa en la figura 56 y 57 que los datos no poseen variación significativa entre el límite superior e inferior de los valores obtenidos de cada configuración, además se determina que la media de la fibra corta es menor que las otras dos configuraciones (fibra larga, fibra tejida).

La fibra tejida y larga poseen valores superiores en sus propiedades mecánicas por tal motivo se continuará con estas configuraciones para el desarrollo de los ensayos a flexión e impacto.



Resultados del ensayo a flexión. Para el ensayo de flexión del material compuesto de resina de poliéster en un porcentaje del 70% y de fibra de totora en un porcentaje del 30%, en sus dos configuraciones, fibra larga, fibra tejida, se representa los resultados de esfuerzo máximo, módulo de flexión entre otras. En la tabla 15 para fibra larga y 16 para fibra tejida.

Tabla 15. Datos de ensayo a flexión fibra larga.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK					
MATERIAL COMPUESTO – FIBRA LARGA DE TOTORA					
Máquina	Máquina Universal		Norma		ASTM D 7264
Tipo de ensayo	Flexión		Numero de probetas		8
Matriz	Resina de poliéster		Frac. Volumétrica		70%
Refuerzo	Fibra larga de totora		Frac. Volumétrica		30%
Estratificación	Manual		Velocidad de ensayo		1mm/min
Dimensiones probeta (mm)	160x 13,6x espesor		Peso promedio probeta		26,6 gr
Espesor Promedio (mm)	4,7		Laboratorio		ESPOCH
DATOS Y RESULTADOS					
N°	Carga máxima(Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de flexión(MPa)
1	12,74	124,96	10,00	93,59	7467,12
2	12,76	125,13	9,50	93,72	7870,98
3	12,74	124,94	9,75	93,57	7657,53
4	12,83	125,81	10,00	94,22	7517,66
5	12,74	124,96	10,00	93,59	7467,12
6	10,52	103,21	8,50	77,30	7255,99
7	10,67	104,59	8,75	78,33	7142,98
8	10,61	104,08	8,70	77,95	7148,46
Promedio	11,95	117,21	9,4	87,78	7440,98
Desv. Estándar	9,37	10,98	0,64	8,22	252,88
Imagen de las probetas					
<div></div>					

Fuente: Autor

Tabla 16. *Datos de ensayo a flexión fibra tejida.*

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK					
MATERIAL COMPUESTO – FIBRA TEJIDA DE TOTORA					
Máquina	Máquina Universal		Norma		ASTM D 7264
Tipo de ensayo	Flexión		Numero de probetas		8
Matriz	Resina de poliéster		Frac. Volumétrica		70%
Refuerzo	Fibra Tejida de totora		Frac. Volumétrica		30%
Estratificación	Manual		Velocidad de ensayo		1mm/min
Dimensiones probeta (mm)	160x 13,8x espesor		Peso promedio probeta		25,8 gr
Espesor Promedio (mm)	4,3		Laboratorio		ESPOCH
DATOS Y RESULTADOS					
N°	Carga máxima(Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de flexión(MPa)
1	14,26	139,87	15,00	123,34	7170,85
2	12,52	122,79	11,40	108,27	8285,60
3	9,84	96,48	9,34	85,08	7943,79
4	12,69	124,44	14,00	109,73	6835,49
5	12,78	125,31	15,00	110,49	6424,04
6	14,26	139,87	14,50	123,34	7418,12
7	12,69	124,44	14,20	109,73	6739,22
8	11,31	110,89	11,40	97,79	7483,13
Promedio	12,54	123,01	13,1	108,47	7287,53
Desv. Estándar	1,45	14,28	2,1	12,6	626,36
Imagen de las probetas					
					

Fuente: Autor

Se representa en la figura 58 el esfuerzo máximo, y en la figura 59 el módulo de flexión, alcanzado por cada probeta en sus distintas configuraciones (Fibra larga, fibra tejida), además se representa la media de los ensayos realizados.

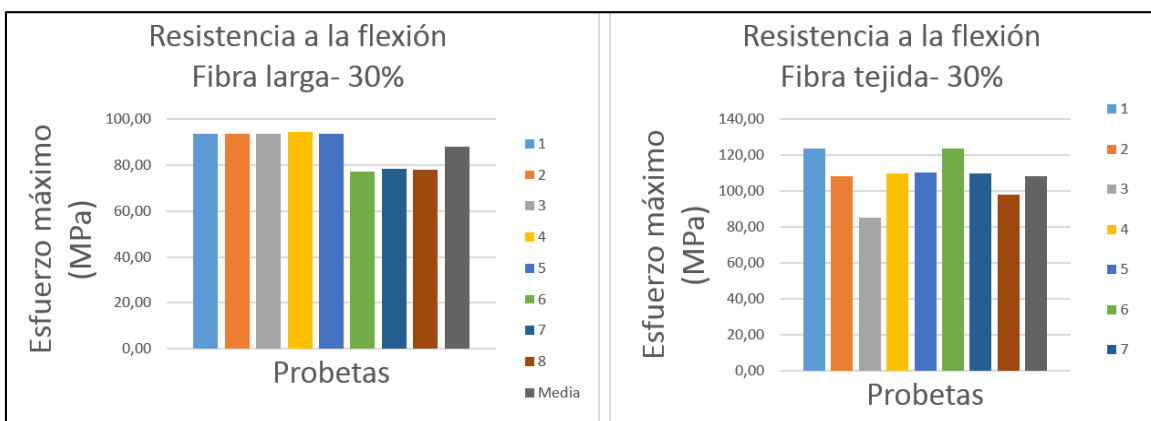


Figura 58. Esfuerzo máximo de cada configuración a flexión. Fuente: Autor

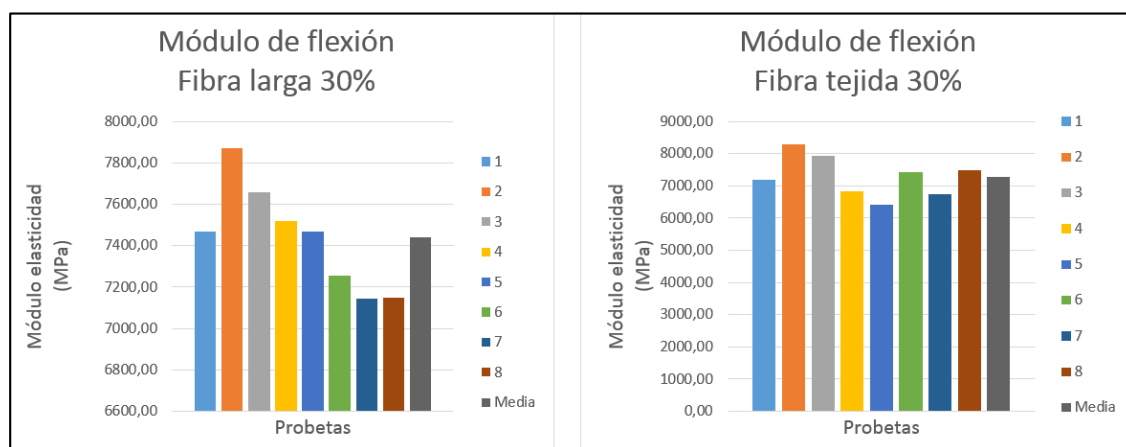


Figura 59. Módulo de flexión de cada configuración. Fuente: Autor

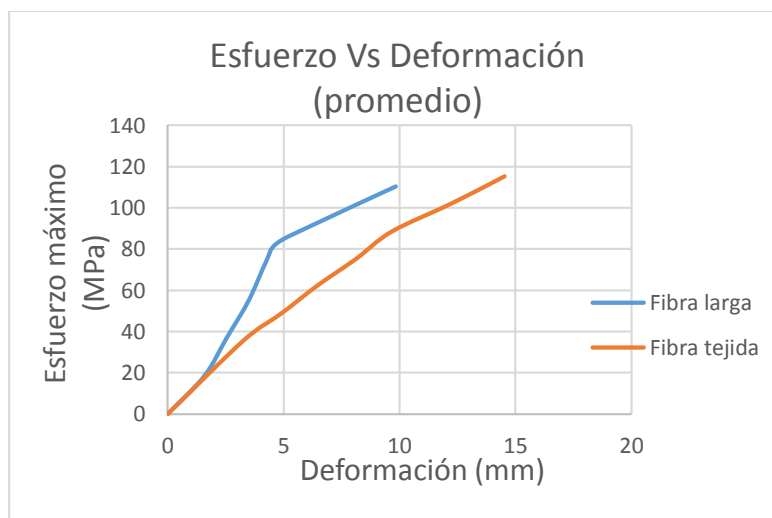
Para obtener una mejor visualización de los datos obtenidos, se representa en la tabla 17 los promedios de cada una de las configuraciones (fibra larga, fibra tejida)

Tabla 17. Resultados promedios del ensayo a flexión de las distintas configuraciones.

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO A FLEXIÓN					
Configuración	Carga máxima(Kg)	Carga máxima (N)	Deformación máxima (mm)	Resistencia máxima a flexión (MPa)	Módulo de flexión(MPa)
Fibra larga	11,95	117,21	9,4	87,78	7440,98
fibra tejida	12,54	123,01	13,1	108,47	7287,53
Representaciones gráficas					
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Resistencia a la flexión promedio (MPa)</p> <p>Probetas</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Módulo de flexión promedio (MPa)</p> <p>Probetas</p> </div> </div>					
Observaciones	La fractura se produce en la parte central de las probetas				
	La fractura se produjo tanto en la matriz como en el refuerzo				
	Buena adherencia de la matriz con el refuerzo				

Fuente: Autor

En la figura 60 se representa la grafica esfuerzo deformacion (promedio) de las tres configuraciones (fibra corta, fibra larga, fibra tejida)

**Figura 60.** Gráfica esfuerzo vs deformación ensayo de flexión, fibra larga, fibra tejida.

Fuente: Autor



Resultados del ensayo a impacto. Para el ensayo de impacto del material compuesto de resina de poliéster en un porcentaje del 70% y de fibra de totora en un porcentaje del 30%, en sus dos configuraciones, fibra larga, fibra tejida, se representa los resultados de resistencia al impacto. En la tabla 18 para fibra larga y 19 para fibra tejida.

Tabla 18. Datos den ensayo a impacto de fibra larga.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK			
MATERIAL COMPUESTO – FIBRA LARGA DE TOTORA			
Máquina	Péndulo Charpy	Norma	ASTM D 6110
Tipo de ensayo	Impacto	Numero de probetas	8
Matriz	Resina de poliéster	Frac. Volumétrica	70%
Refuerzo	Fibra larga totora	Frac. Volumétrica	30%
Estratificación	Manual	Velocidad de ensayo	-
Dimensiones probeta (mm)	127x 12,5x espesor	Peso promedio probeta	22,6 gr
Espesor Promedio (mm)	12,5	Laboratorio	ESPOCH
DATOS Y RESULTADOS			
N°	Péndulo	RESISTENCIA AL IMPACTO (J)	
1	25 J	3,6	
2		3,7	
3		3,5	
4		3,5	
5		2,8	
6		3,6	
7		3,4	
8		3,5	
Promedio		3,45	
Desviación Estándar		0,27	
Imagen de las probetas			
			

Fuente: Autor

Tabla 19. *Datos del ensayo a impacto fibra tejida.*

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK			
MATERIAL COMPUESTO – FIBRA TEJIDA DE TOTORA			
Máquina	Péndulo Charpy	Norma	ASTM D 6110
Tipo de ensayo	Impacto	Numero de probetas	8
Matriz	Resina de poliéster	Frac. Volumétrica	70%
Refuerzo	Fibra tejida totora	Frac. Volumétrica	30%
Estratificación	Manual	Velocidad de ensayo	
Dimensiones probeta (mm)	125x 12,7x espesor	Peso promedio probeta	48 gr
Espesor Promedio (mm)	12,5	Laboratorio	ESPOCH
DATOS Y RESULTADOS			
N°	Péndulo	RESISTENCIA AL IMPACTO (J)	
1	25 J	4,1	
2		4,5	
3		4,6	
4		4,3	
5		4,2	
6		4,5	
7		4,5	
8		4	
Promedio		4,33	
Desviación Estándar		0,21	
Imagen de las probetas			
			

Fuente Autor

Se representa en la figura 61 la resistencia máxima, alcanzado por cada probeta en sus distintas configuraciones (Fibra larga, fibra tejida), además se representa la media de los ensayos realizados.

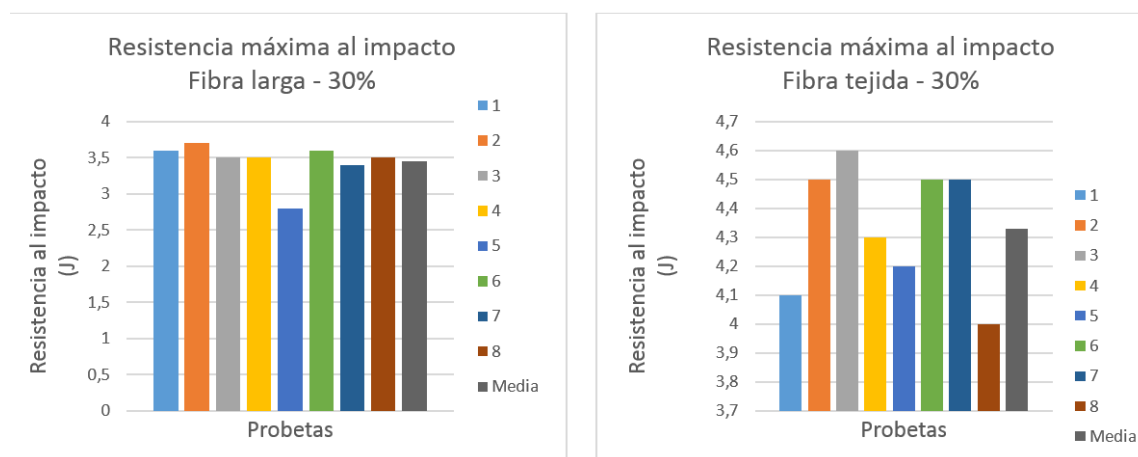


Figura 61. Resistencia máxima al impacto de las configuraciones. Fuente: Autor

Para obtener una mejor visualización de los datos obtenidos, se representa en la tabla 20 los promedios de cada una de las configuraciones (fibra larga, fibra tejida).

Tabla 20. Resistencia al impacto promedio.

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO A IMPACTO								
N°	Péndulo	RESISTENCIA AL IMPACTO PROMEDIO (J)						
Fibra larga	25 J	3,45						
Fibra tejida		4,33						
Representaciones gráficas								
<div><p>Resistencia al impacto Promedio</p><table><thead><tr><th>Probetas</th><th>Resistencia al impacto (J)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Fibra larga</td><td>3,45</td></tr><tr><td>Fibra tejida</td><td>4,33</td></tr></tbody></table></div>			Probetas	Resistencia al impacto (J)	Fibra larga	3,45	Fibra tejida	4,33
Probetas	Resistencia al impacto (J)							
Fibra larga	3,45							
Fibra tejida	4,33							
OBSERVACIONES	La fractura se produce en el centro de la probeta							
	Buena adherencia entre la matriz y el refuerzo							

Fuente: Autor

Choque térmico. Como la configuración de fibra tejida presenta las mejores características mecánicas, se fabrica probetas con esta configuración para el desarrollo del ensayo de choque térmico. La temperatura a la cual fueron sometidos los espécimen es de 90 °C por el tiempo de 20 minutos y enfriada por agua a temperatura de 15°C. En la figura 62 se observa la disposición de las probetas en el horno.



Figura 62. Distribución de las probetas en el horno. Fuente: Autor

Al terminar la prueba de choque térmico se evidencia imperfecciones y fisuras en el material como se observa en la figura 63.



Figura 63. Grietas producidas por el choque térmico. Fuente: Autor

Con el microscopio electrónico se realiza una visualización de barrido, encontrando imperfecciones que se representan en la figura 64.

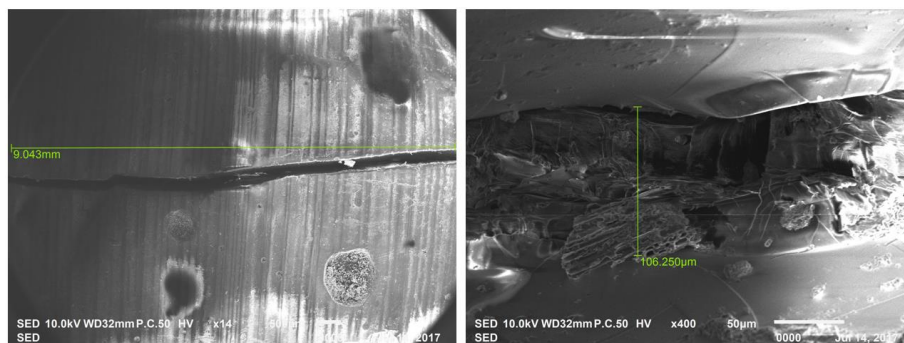


Figura 64. Imperfecciones producidas por choque térmico. Fuente: Autor

Los ensayos de tracción y flexión no se realizan, por problemas presentados el momento de desarrollar las pruebas, entre las principales dificultades tenemos: la probeta se rompe fácilmente al momento de colocar las mordazas de la maquina universal o al momento de realizar la precarga, por lo que no se puede registrar el valor de deformación, con respecto al ensayo de impacto los valores encontrados se detallan en la tabla 89.

Tabla 21. Datos registrados por el ensayo a impacto en probetas con choque térmico.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK			
MATERIAL COMPUESTO (Choque térmico)			
Máquina	Péndulo Charpy	Norma	ASTM D 6110
Tipo de ensayo	Impacto	Numero de probetas	8
Matriz	Resina de poliéster	Frac. Volumétrica	70%
Refuerzo	Fibra tejida totora	Frac. Volumétrica	30%
Estratificación	Manual	Velocidad de ensayo	
Dimensiones probeta (mm)	125x 12,7x espesor	Laboratorio	ESPOCH
Espesor Promedio (mm)	12,5	Responsable	Renato Moyano
DATOS Y RESULTADOS			
N°	Péndulo	RESISTENCIA AL IMPACTO (J)	
1	25 J	0,3	
2		0,5	
3		0,7	
4		0,5	
5		0,3	
6		0,3	
7		0,7	
8		0,7	
Promedio		0,5	
Desviación Estándar		0,18	

Fuente: Autor

Simulación del test de parachoques RCAR. En este apartado se modela un parachoques delantero de autobús urbano mediante software NX, para luego simular el test RCAR en el software ANSYS FREE, con la ayuda del método de modelación validamos las propiedades de la mejor configuración de material compuesto de totora.

Modelado de componentes. Para el dimensionamiento del parachoques se utiliza las medidas de un modelo de parachoques adquirido por el autor, el modelo posee las medidas estándar, es decir no presentará conflictos o datos inciertos por las dimensiones. Se modela el prototipo en el software NX como se observa en la figura 65, (los detalles y dimensiones se evidencian en el anexo 7)

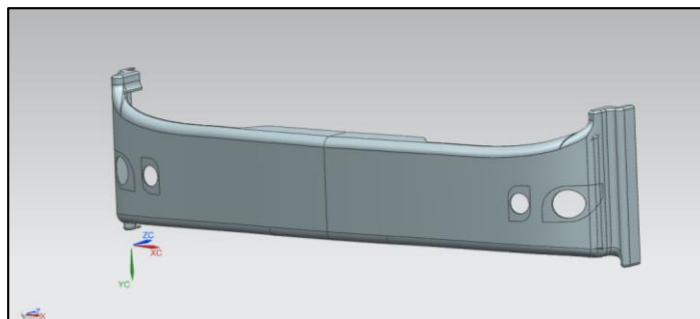


Figura 65. Modelado de parachoques. Fuente: Autor

De igual manera se modela la barrera de choques con las medidas recomendadas por el test RCAR, su representación se realiza en la figura 66.

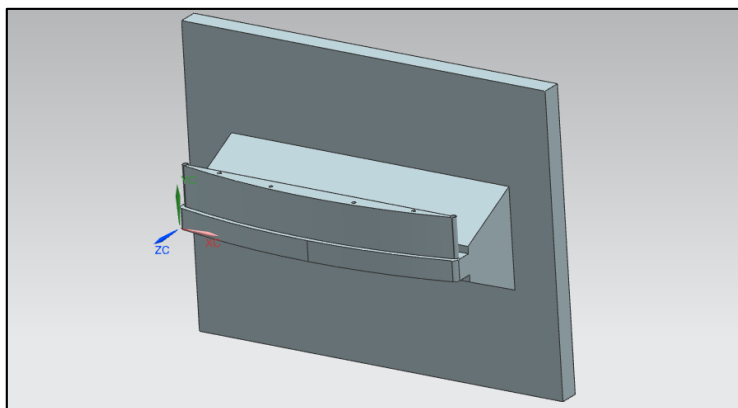


Figura 66. Modelado de barrera de choques. Fuente: Autor

Se realiza un ensamble de los dos componentes (parachoques y barrera de choques, ver figura 67) con la finalidad de obtener elementos con dimensiones acordes a los parámetros del ensayo RCAR.

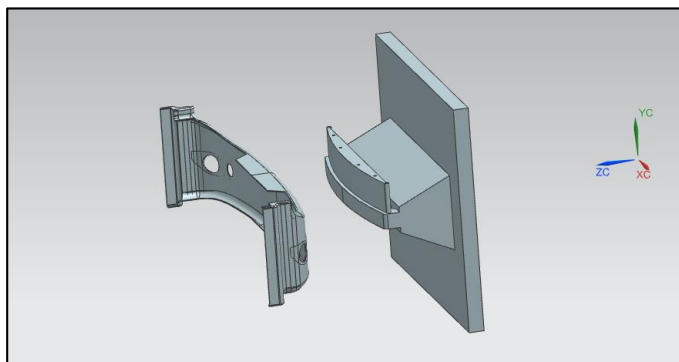


Figura 67. Ensamble de parachoques y barrera. Fuente: Autor

Los avances tecnológicos computacionales incluyen software y hardware que aportan a la resolución rápida, eficiente y precisa de matrices, también gráficas que facilitan visualizar las etapas de procesamiento previo a la revisión de los resultados de la solución (Richard Budynas, 2012).

El método del elemento finito es una técnica utilizada en softwares para resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico en geometrías complicadas. Este método convierte el dominio de una estructura continua en valores discretos (nodos) por lo que los errores son inevitables (Richard Budynas, 2012).

El error computacional se produce por exceso de geometrías como redondeos provenientes de cálculos de un punto flotante de la computadora y las formulaciones de los esquemas de integración numérica que se utiliza. Errores de conversión directa que se produce cuando la geometría y distribución del desplazamiento de una estructura real varía continuamente (Richard Budynas, 2012).

Por la falta de una normativa direccionada a los autobuses donde establezca la resistencia mínima de las autopartes se adopta el test RCAR el cual es aplicable para automóviles. Al

redimensionar el test RCAR para la aplicación en autobuses, se opta por cambiar la dimensión de la barrera a una longitud de 2.6 m, esto producirá que el impacto se realice en toda área central del parachoques como establece el test RCAR. El test establece que la barrera de impacto debe ser indeformable, y como el impacto se produce en la parte frontal se decide que para la simulación se tomará en cuenta solo los elementos que se encuentren involucrados en el ensayo (ver figura 68). Con los parámetros de velocidad establecidos y asegurando que el impacto se produce como lo establece el test RCAR, el ensayo no será afectado en sus resultados.

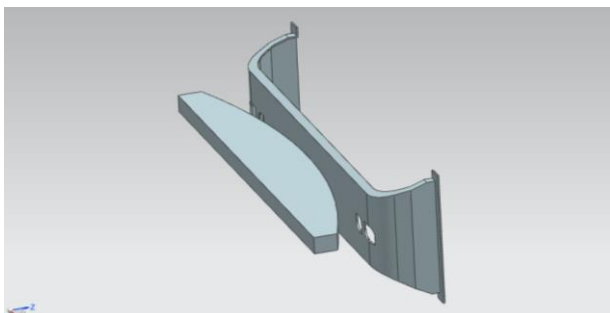


Figura 68. Ensamble para simulación. Fuente: Autor

Simulación del test de impacto RCAR. Para la simulación se utiliza el Software ANSYS FREE, y se procede con los siguientes pasos:

1. Se exporta el ensamble para simular como archivo STEP.
2. En el software ANSYS se selecciona el sistema Éxplicit Dynamics ver figura 69

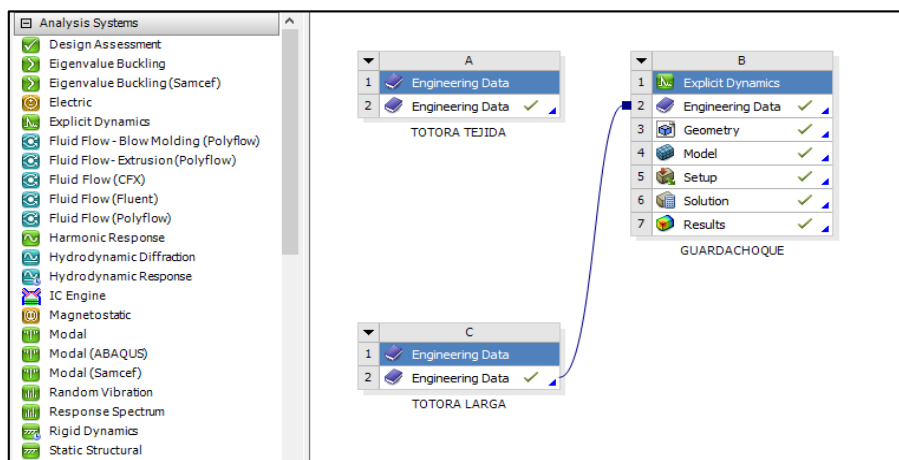


Figura 69. Éxplicit Dynamics. Fuente: Autor

3. Creación del material compuesto en el software ANSYS FREE con las propiedades obtenidas en la caracterización como son la densidad, el esfuerzo máximo, módulo de elasticidad entre otras, para las dos configuraciones fibra larga y fibra tejida, como indica la figura 70 y 71

Outline of Schematic A2, B2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	RESINA Y TOTORA TEJIDA			
4	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: RESINA Y TOTORA TEJIDA				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Density	0,894	g cm ⁻³	
3	Isotropic Elasticity			
4	Derive from	Young's Modu...		
5	Young's Modulus	943,33	MPa	
6	Poisson's Ratio	0,31		
7	Bulk Modulus	8,2748E+08	Pa	
8	Shear Modulus	3,6005E+08	Pa	
9	Field Variables			
10	Temperature	Yes		
11	Shear Angle	No		
12	Degradation Factor	No		
13	Tensile Yield Strength	28,16	MPa	

Figura 70. Creación de material compuesto de resina y fibra tejida de totora en ANSYS.
Fuente: Autor.

Outline of Schematic C2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	RESINA Y TOTORA LARGA			
4	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: RESINA Y TOTORA LARGA				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Density	0,894	g cm ⁻³	
3	Isotropic Elasticity			
4	Derive from	Young's Modu...		
5	Young's Modulus	691,39	MPa	
6	Poisson's Ratio	0,31		
7	Bulk Modulus	6,0648E+08	Pa	
8	Shear Modulus	2,6389E+08	Pa	
9	Field Variables			
10	Temperature	Yes		
11	Shear Angle	No		
12	Degradation Factor	No		
13	Tensile Yield Strength	19,71	MPa	

Figura 71. Creación de material compuesto de resina y fibra larga de totora en ANSYS
Fuente: Autor.

Para el análisis de elemento finito se usan muchas formas geométricas de distintos elementos, como elementos de línea, elementos de superficie, elementos sólidos y elementos de propósito específico, para las distintas aplicaciones como representa la figura 72 (Richard Budynas, 2012).





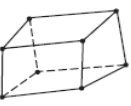
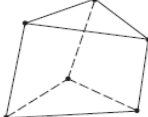

Superficie	Cuadrilátero de 4 nodos		4	Esfuerzo o deformación plana, simétrico con respecto a un eje, panel a cortante, placa plana delgada en flexión
	Cuadrilátero de 8 nodos		8	Esfuerzo o deformación plana, placa plana o cascarón en flexión
	Triangular de 3 nodos		3	Esfuerzo o deformación plana, simétrico con respecto a un eje, panel a cortante, placa plana delgada en flexión. Preferible cuadriláteros donde sea posible. Usado para transiciones de cuadriláteros
	Triangular de 6 nodos		6	Esfuerzo o deformación plana, simétrico con respecto a un eje, placa plana o cascarón en flexión. Preferible cuadriláteros donde sea posible. Usado para transiciones de cuadriláteros
Sólido [†]	Hexagonal de 8 nodos (paralelepípedo o ladrillo)		8	Sólido, placa gruesa
	Pentagonal de 6 nodos (cuña)		6	Sólido, placa gruesa. Usado para transiciones
	Tetraedro de 4 nodos (tetra)		4	Sólido, placa gruesa. Usado para transiciones

Figura 72. Elementos sólidos y de superficie. Fuente: (Richard Budynas, 2012)

- Se establece las condiciones de frontera como sujeciones, tiempo de análisis, valores de velocidad de impacto de 10 Km/h.
- Se realiza el mallado de los elementos (figura 73). Siguiendo las recomendaciones de la figura 72 se utiliza una malla hexagonal de 8 nodos para la barrera de impacto y una malla tetraedro para el guardachoques, además se considera que:

La malla es una red de elementos y nodos que discretizan una región; la densidad de la malla se incrementa a medida que más elementos se colocan dentro de una región dada (Richard Budynas, 2012).

Para estructuras de paredes delgadas la geometría puede definirse mediante representaciones de superficies tridimensionales y el tipo de elementos que formará la malla automáticamente será

el elemento de placa tridimensional. Para estructuras sólidas las fronteras se pueden construir empleando técnicas de geometría sólida (Richard Budynas, 2012).

Para obtener mejores resultados en un sistema se debe realizar un refinamiento de malla, por lo general los resultados mejoran cuando la densidad de la malla se incrementa en áreas gradientes de esfuerzo alto y/o cuando las zonas de transición geométricas se enmallan de manera uniforme (Richard Budynas, 2012).

Cuando se presenta concentraciones de esfuerzo, es necesario tener una malla muy fina en la región de concentración de esfuerzo con el fin de obtener resultados realistas (Richard Budynas, 2012).

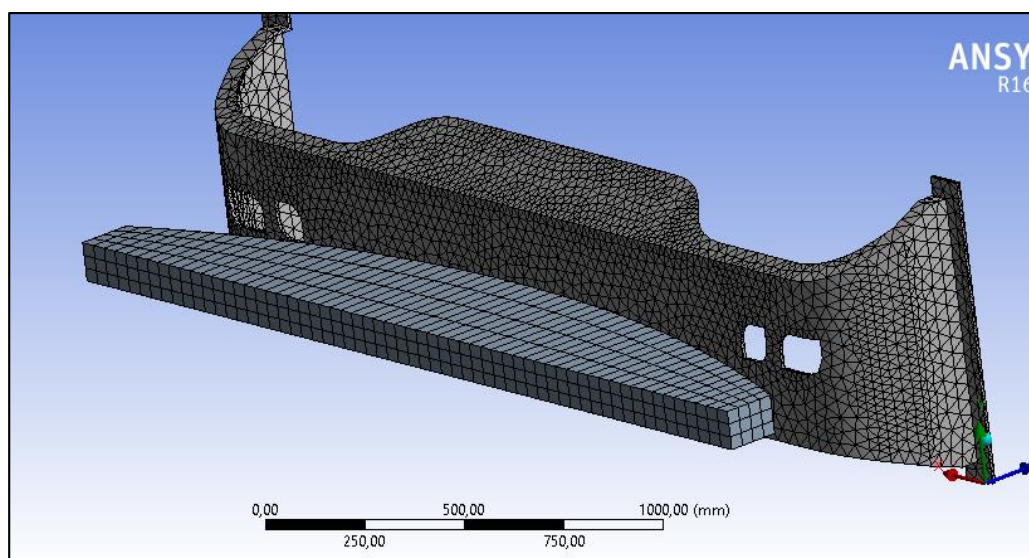


Figura 73. Mallado de elementos de simulación. Fuente: Autor

Con la finalidad de obtener precisión de los resultados se aplica una convergencia jacobiana, esta técnica se basa en trazar la geometría curva de manera más precisa que los elementos lineales del mismo tamaño. Los nodos centrales en una geometría real pueden generar elementos distorsionados con aristas que se cruzan entre sí (Dassault Systemes , 2017).

La verificación jacobiana de un elemento extremadamente distorsionado es negativa, esto produce la interrupción del programa de análisis. El coeficiente jacobiano de un elemento

tetraédrico parabólico, con nodos centrales ubicados exactamente en el medio de las aristas rectas es 1 y aumenta su medida a la vez que aumentan las curvas de las aristas (Dassault Systemes , 2017).

En un punto dentro del elemento el coeficiente jacobiano brinda una mediada de distorsión de elemento de dicha ubicación, el software calcula el coeficiente jacobiano en el número seleccionado de puntos gaussianos para cada elemento tetraédrico. “El software ajusta automáticamente los nodos centrales para que todos los elementos paseen la verificación jacobiana” (Dassault Systemes , 2017).

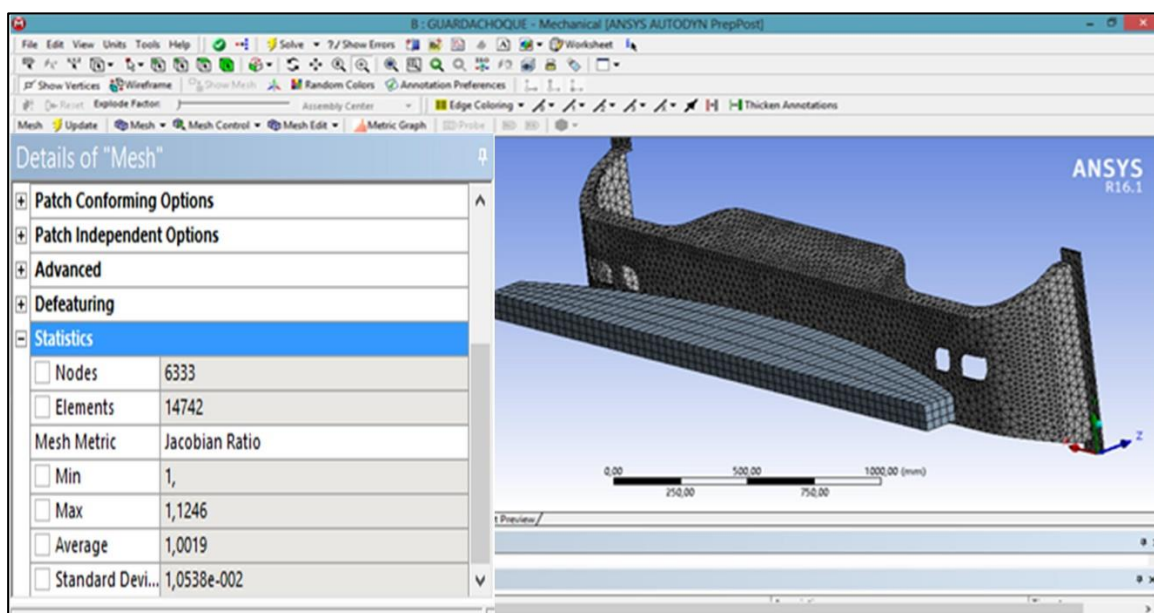


Figura 74. Verificación jacobiana de los elementos de simulación. Fuente: Autor.

El mallado de los elementos de simulación (parachoques y barrera de choques) posee una convergencia jacobiana mínima de 1 y una máxima de 1.12 como se observa en la figura 74, lo que permite aseverar que los resultados serán lo más cercano posible a la realidad.

6. Se resuelve la simulación, la misma que se realiza para los valores de las dos configuraciones del material compuesto, fibra larga y fibra tejida. Se toma en cuenta el espesor

mínimo de los parachoques en el mercado y se establece para la simulación un espesor de material mínimo de 5 mm.

Simulación de datos fibra tejida. Se representa los datos de deformación máxima en la figura 75 y el factor de seguridad en la figura 76.

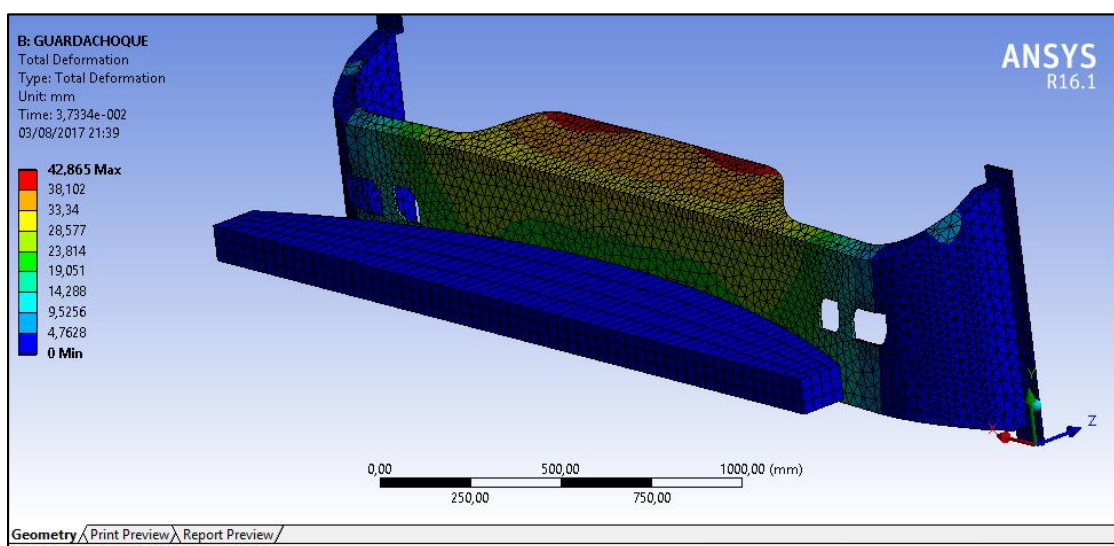


Figura 75. Simulación deformación máxima, fibra tejida, Fuente: Autor

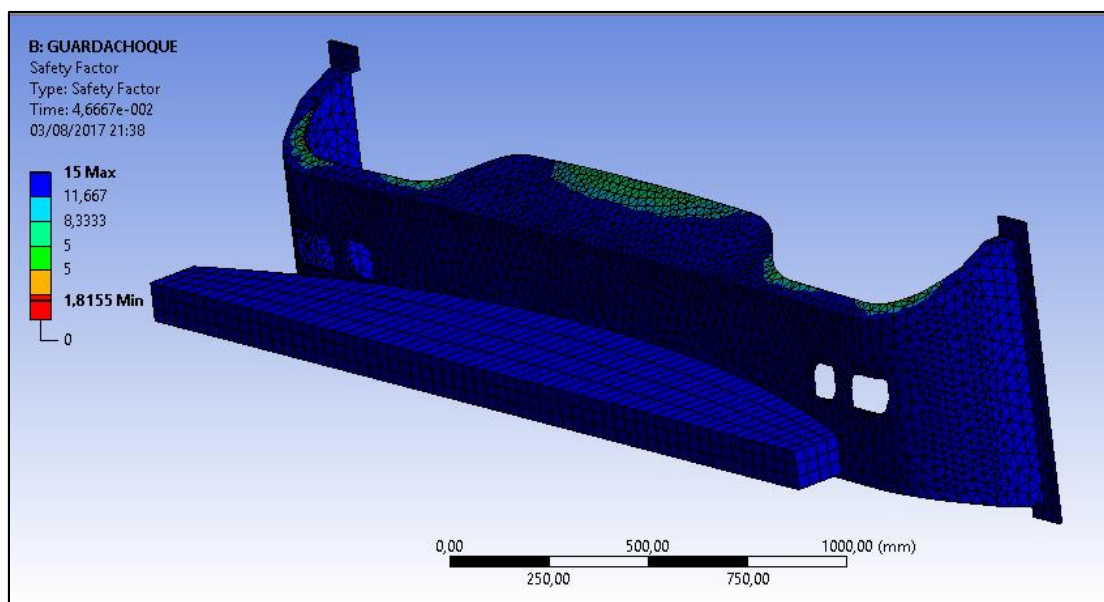


Figura 76. Simulación factor de seguridad, fibra tejida, Fuente: Autor

Validación de los resultados. Con los datos obtenidos de la simulación se verifica en forma manual los parámetros de diseño.

Se calcula la energía cinética del sistema, ya que esta representa la capacidad de un cuerpo para producir trabajo en virtud de su rapidez (Patricio Vallejo, 2005)

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (7)$$

Donde

E_c = Energía cinética (N-m)

m = masa kg (peso del autobús)

v = velocidad $\frac{m}{s}$ (establecida por la RCAR)

Entonces si el peso de un autobús es de 4.5 toneladas aproximadamente, $m = 145000 \text{ kg}$ la velocidad es de $v = 2.778 \frac{m}{s}$, si se remplace en la ecuación 7.

$$E_c = \frac{1}{2} (145000 \text{ kg}) \cdot \left(2.778 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$E_c = 559503.09 \text{ Nm}$$

El trabajo es el producto de una fuerza por un desplazamiento, si se supone que F es una fuerza resultante que actúa sobre una partícula m , el trabajo W de dicha fuerza es igual a la diferencia entre el valor final y el valor inicial de la energía cinética.

$$W = \int_A^B F \cdot dr = \int_A^B F_t \cdot ds = \int_A^B m a_t \cdot ds$$

Si se aplica la segunda ley de Newton la componente tangencial de la fuerza es igual a la masa por la aceleración tangencial.

$$W = \int_A^B m \frac{dv}{dt} ds = \int_A^B m \frac{dv}{dt} dv = \int_A^B m v dv = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 \quad (8)$$

Como la aceleración tangencial at es igual a la derivada del módulo de la velocidad, y el cociente entre el desplazamiento ds , y el tiempo dt , que tarda en desplazarse es igual a la velocidad v . Es decir que

$$F \cdot ds = E_c$$

$$F = \frac{E_c}{s} \quad (9)$$

Donde:

F = Fuerza (N)

s = desplazamiento (m) (deformación)

De los datos obtenidos en la simulación de la totora tejida se toma el dato de deformación $s = 0.042865 \text{ m}$ y se reemplaza en la ecuación (9)

$$F = \frac{559503.09 \text{ Nm}}{0.042865}$$

$$F = 13052679.11$$

Con la fuerza F realizamos un análisis estático en el guardachoque y determinamos los parámetros de momento máximo, y el momento de inercia del área. Como indica en la figura 77.

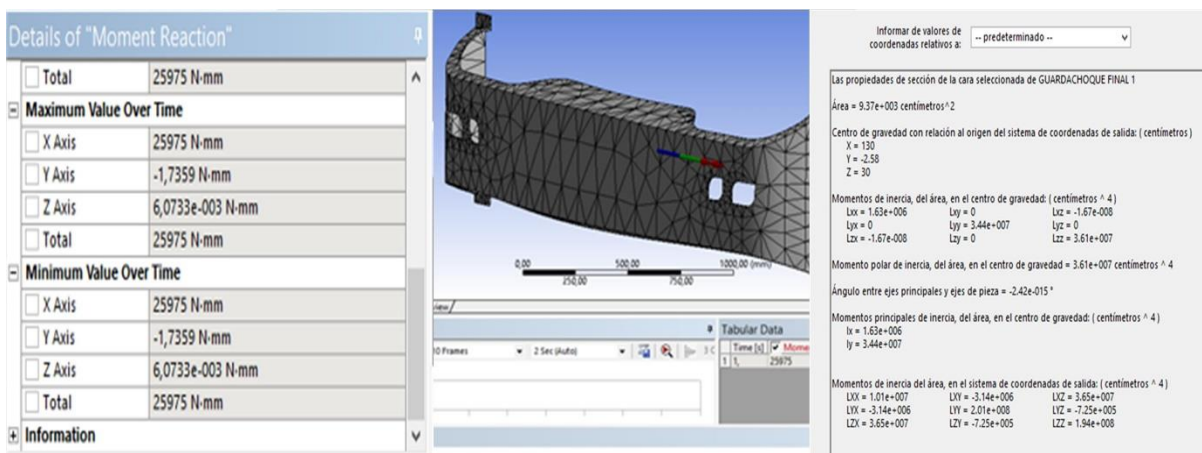


Figura 77. Determinación del momento máximo y momento de inercia. Fuente: Autor

El esfuerzo en flexión varía linealmente con la distancia desde el eje neutro “y”, como se aprecia en la figura 78 (Richard Budynas, 2012).

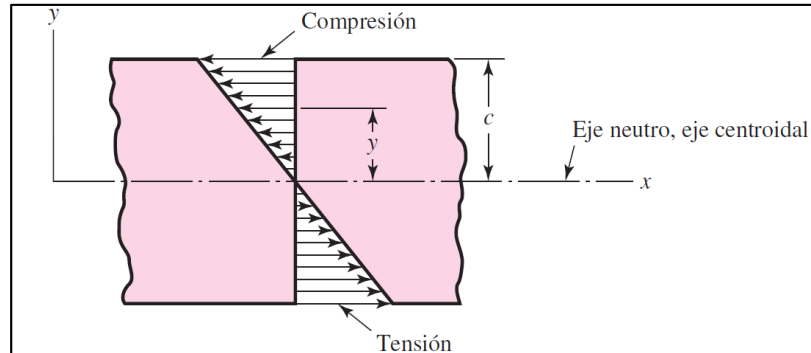


Figura 78. Representación esfuerzo de flexión. Fuente: (Richard Budynas, 2012).

Como la magnitud máxima del esfuerzo en flexión ocurrirá donde “y” tiene la magnitud más grande (Richard Budynas, 2012). Por lo tanto el esfuerzo máximo a flexión se define por la ecuación 10.

$$\sigma_{maxf} = \frac{Mc}{I} \quad (10)$$

Donde:

M = Momento máximo (N-mm)

c = 200 Distancia máxima del momento (mm)

I = Segundo momento de área alrededor del eje z (mm^4)

Remplazando los valores de la figura 102 en la ecuación 10 se tiene:

$$\sigma_{maxf} = \frac{(25975 \text{ Nmm})(200 \text{ mm})}{1630000 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{maxf} = 3.18 \text{ MPa}$$

La teoría de fallas de Mohr modificada establece que:

$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n} \quad (11)$$

$$\sigma_A \geq \sigma_{maxf} \geq 0 \quad y \quad \frac{\sigma_{maxf}}{\sigma_A} \leq 1$$

Donde:

S_{ut} = resistencia a la tensión

n = factor de seguridad

Si la resistencia a la tensión de la fibra tejida es $S_{ut} = 28.16$ y un factor de seguridad máximo de $n = 1.81$ al remplazar se tiene:

$$\sigma_A = \frac{28.16}{1.81}$$

$$\sigma_A = 15.56 \text{ Mpa}$$

Al realizar la relación se comprueba que:

$$15.56 \geq 3.18 \geq 0$$

$$\frac{3.18}{15.56} \leq 1$$

$$0.20 \leq 1$$

Al cumplir la relación que establece la teoría de fallas de Mohr modificada se establece que el material con configuración tejida resiste al ensayo de impacto RCAR.

Simulación de datos fibra larga. Se representa los datos de deformación máxima en la figura 79 y el factor de seguridad en la figura 80.

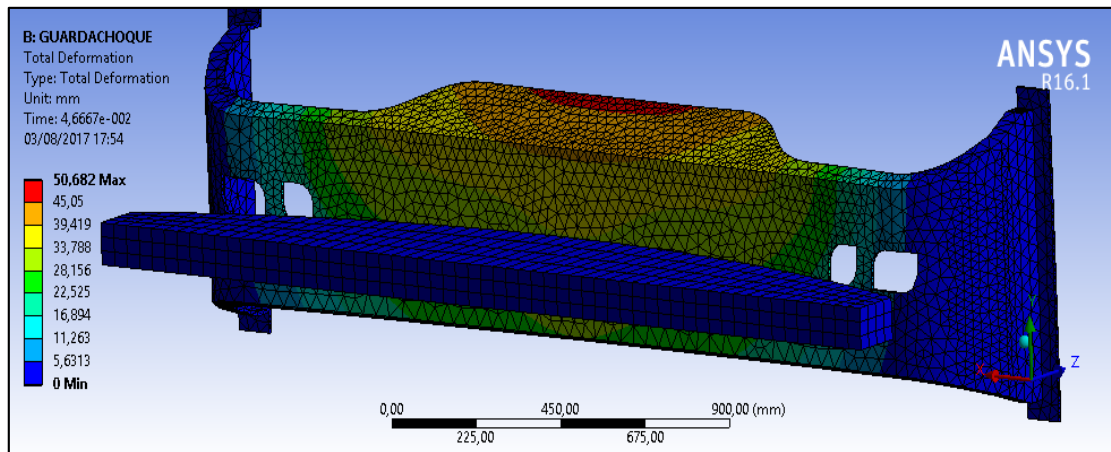


Figura 79. Simulación deformación máxima, fibra larga, Fuente: Autor

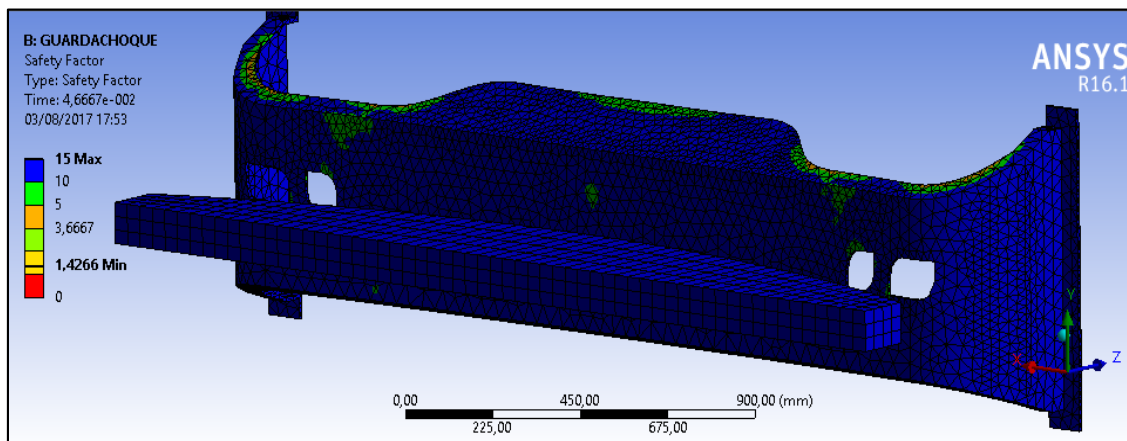


Figura 80. Simulación factor de seguridad, fibra larga, Fuente: Autor

Validación de los resultados. Se calcula al igual que en la fibra tejida:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Si el peso de un autobús es de 4.5 toneladas aproximadamente, $m = 145000 \text{ kg}$ la velocidad es de $v = 2.778 \frac{m}{s}$, si se reemplaza.

$$E_c = \frac{1}{2} (145000 \text{ kg}) \cdot \left(2.778 \frac{m}{s} \right)^2$$

$$E_c = 559503.09 \text{ Nm}$$

$$F \cdot ds = E_c$$

$$F = \frac{E_c}{s}$$

De los datos obtenidos en la simulación de la totora larga se toma el dato de deformación $s = 0.05068 \text{ m}$ y se reemplaza.

$$F = \frac{559503.09 \text{ Nm}}{0.05068 \text{ m}}$$

$$F = 11039483.25 \text{ N}$$

Con la fuerza F realizamos un análisis estático en el guardachoque y determinamos los parámetros de momento máximo $M = 21968.71 \text{ N} - \text{mm}$, y el momento de inercia del área $I = 1630000 \text{ mm}^4$ y $c = 200$.

$$\sigma_{maxf} = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{maxf} = \frac{(21968.71 \text{ Nmm})(200\text{mm})}{1630000 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{maxf} = 2.69 \text{ MPa}$$

La teoría de fallas de Mohr modificada establece que:

$$\sigma_A = \frac{Sut}{n}$$

$$\sigma_A \geq \sigma_{maxf} \geq 0 \quad y \quad \frac{\sigma_{maxf}}{\sigma_A} \leq 1$$

Si la resistencia a la tensión de la fibra tejida es $Sut = 19.71$ y un factor de seguridad máximo de $n = 1.42$ al reemplazar se tiene:

$$\sigma_A = \frac{19.71}{1.42}$$

$$\sigma_A = 13.88 \text{ MPa}$$

Al realizar la relación se comprueba que:

$$13.88 \geq 2.69 \geq 0$$

$$\frac{2.69}{13.88} \leq 1$$

$$0.19 \leq 1$$

Al cumplir la relación que establece la teoría de fallas de Mohr modificada se establece que el material con configuración larga resiste al ensayo de impacto RCAR.

Fabricación de prototipo de parachoques. En el presente inciso se representa en las figuras 81, 82, el prototipo de parachoques elaborado mediante estratificación manual. El parachoques se fabrica con fibra de totora tejida, respetando las fracciones volumétricas de refuerzo y matriz establecidas en los ensayos.



Figura 81. Vista isométrica de prototipo de parachoques para bus. Fuente: Autor



Figura 82. Vista posterior de prototipo de parachoques para bus. Fuente: Autor

Análisis de costos para la fabricación de prototipo Para desarrollar un análisis de costos se toma en cuenta los costos directos e indirectos en la fabricación del prototipo de un parachoques delantero de autobús urbano.

Costos directos Estos hacen referencia a los gastos como mano de obra, materia prima entre otros, que se representan en la tabla 22.

Tabla 22. *Costos directos*

Descripción	Cantidad	Valor
Mano de obra	1	120
Resina de poliéster	4 Kg	15,28
MECK	120 cc	1,23
Tотора	1 (carga)	10
Molde	1	400
Cera desmoldante	1	18,72
Masilla	1	50
Pintura de fondo	2(Lt)	25
Guaípe	1(Lb)	3
Total		643,23

Fuente: Autor

Costos indirectos. Se establece en este inciso a lo que es transporte, imprevistos entre otros los que se representan en la tabla 23.

Tabla 23. *Costos indirectos*

Descripción	Valor
Transporte	20
Imprevistos	50
Total (USD)	70

Fuente: Autor

Costos totales. Representan el valor total de la fabricación del prototipo, ver tabla 24.

Tabla 24. *Costos totales*

Costos totales	Valor
costos directos	643,23
costos indirectos	70
Total costos	713,23

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

Análisis de resultados

Al realizar la caracterización del material compuesto y sus distintas configuraciones fibra corta, fibra larga, fibra tejida, se procede a interpretar los resultados de los distintos ensayos a tracción, flexión e impacto y a determinar la configuración óptima para la construcción de un parachoques delantero de autobús urbano.

Ensayo a tracción.

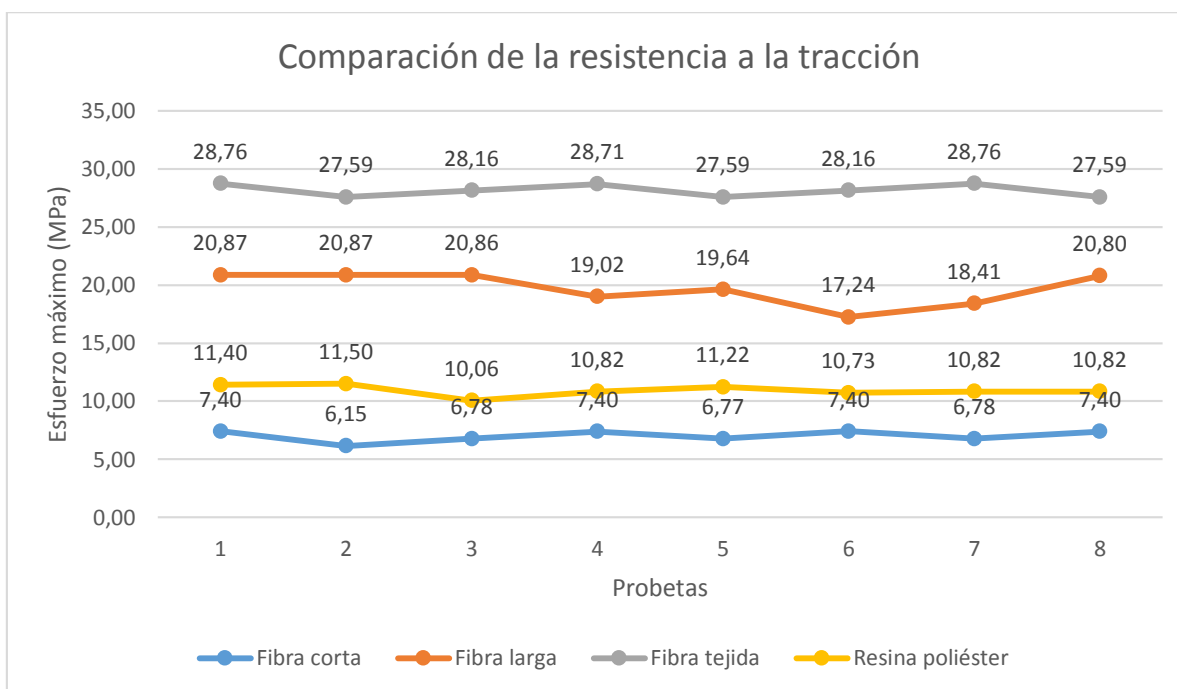


Figura 83. Resultados promedio de la resistencia a la tracción de todos los materiales. Fuente: Autor

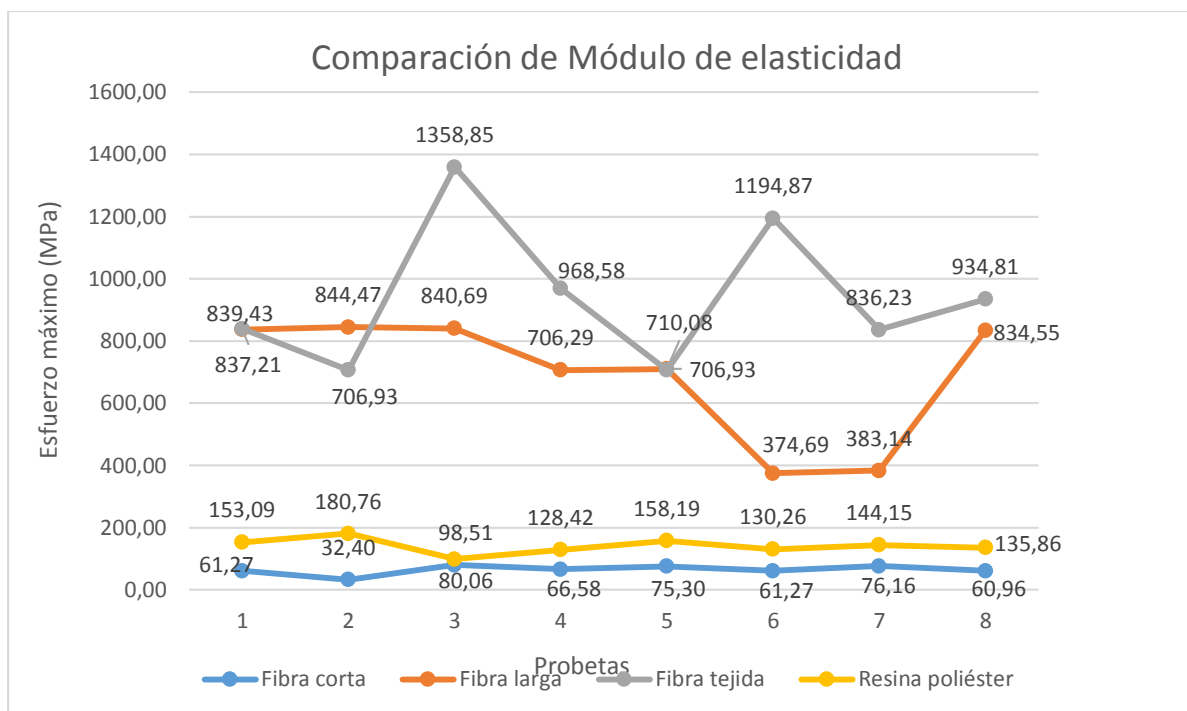


Figura 84. Resultados promedio del módulo de elasticidad de todos los materiales.

Fuente: Autor

Del análisis en los resultados del material compuesto por resina en un 70% y refuerzo de totora en 30%, se observa en las imágenes de las tablas 11, 12, 13, que las probetas poseen fracturas casi perpendiculares a la fuerza aplicada, además en la zona que se produjo el fallo no posee un cono de rotura, así también se evidencia en el diagrama Esfuerzo – Deformación (figura 55), que no existe un punto de fluencia definido, y la ausencia de un rango plástico antes de la fractura.

Al realizar la prueba de tracción se determina las propiedades mecánicas como el esfuerzo máximo y el módulo de elasticidad máximo representadas en las figuras 56 y 57, además se establece una comparación estadística de la media y 95 % de Fisher, entre las tres configuraciones (Fibra corta, fibra larga, fibra tejida), y se establece que la configuración de fibra tejida posee un valor más alto en comparación a la fibra larga y corta.

Las propiedades mecánicas como esfuerzo máximo y módulo de elasticidad de la fibra corta no superan a la resina de poliéster 33000 por lo que se descarta para el desarrollo del presente proyecto.

Ensayo a flexión

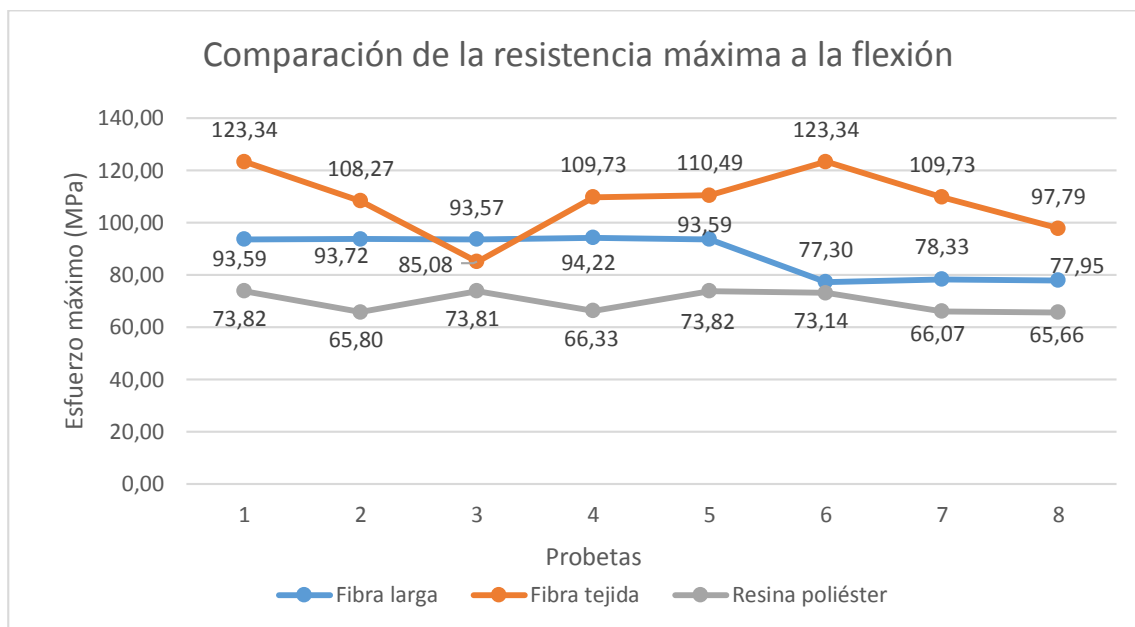


Figura 85. Resultados promedio de la resistencia a la flexión de todos los materiales. Fuente: Autor

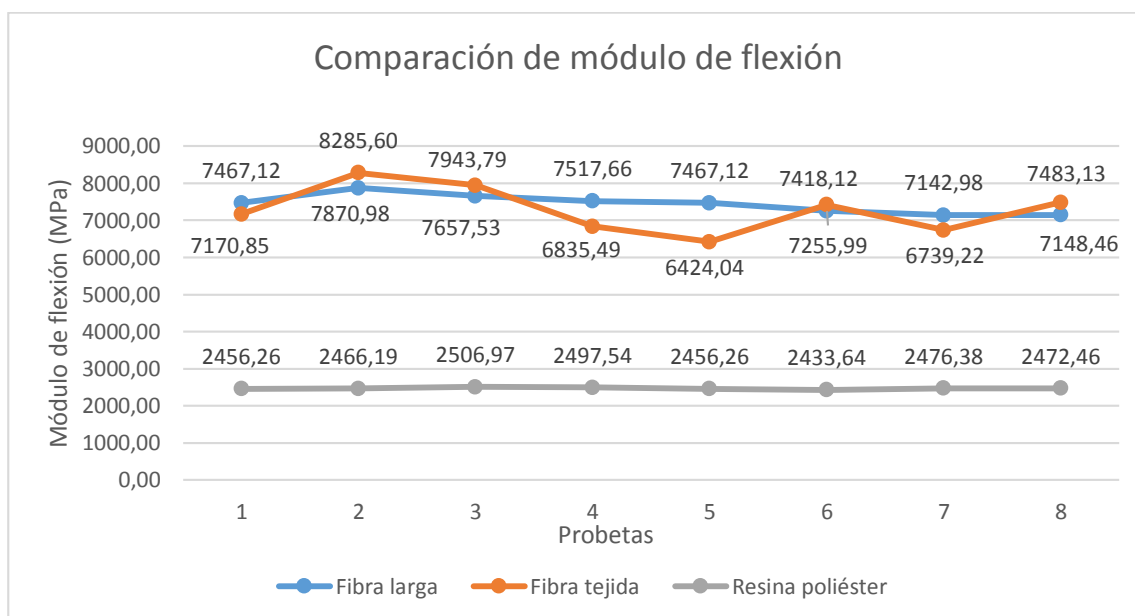


Figura 86. Resultados promedio del módulo de flexión de todos los materiales. Fuente: Autor

En lo que refiere al ensayo de flexión, después de realizar los ensayos, las probetas poseen fracturas correspondientes a un material frágil (tabla 15, 16), así como también en la curva Esfuerzo – Deformación (figura 60) no se evidencia un punto de fluencia definido y no existe una zona plástica.

Con la ayuda de un programa estadístico comparamos la media y 95 % de Fisher de los datos obtenidos del esfuerzo máximo a flexión de las dos configuraciones y se representa en la figura 87.

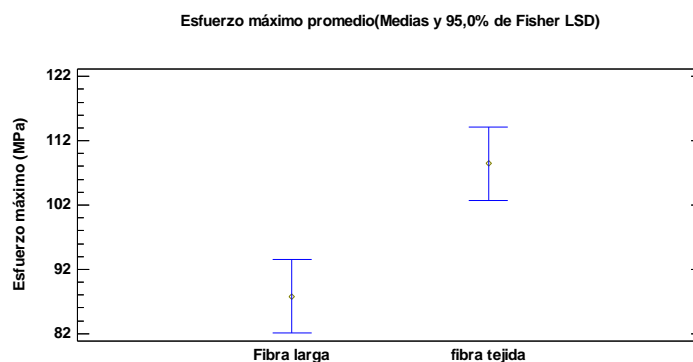


Figura 87. Comparación de medias del esfuerzo máximo a flexión.

Fuente: Autor

Al comparar los esfuerzos máximos de las dos configuraciones (fibra larga, fibra tejida), se observa que poseen variación significativa entre el límite superior e inferior de los datos obtenidos en las dos configuraciones, también se observa que la media de la fibra tejida se encuentra superior a la fibra larga.

En la figura 88 comparamos la media y el 95 % de Fisher de los datos obtenidos del módulo de elasticidad de las dos configuraciones (fibra larga, fibra tejida).

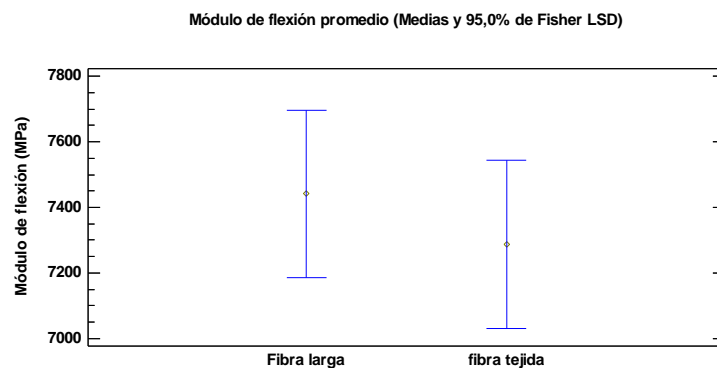


Figura 88. Comparación de medias del módulo de flexión promedio.

Fuente: Autor

En la figura 88 se observa una mayor variación entre los valores inicial y final, además se establece que la media de la fibra larga es mayor que la de la fibra tejida.

Al analizar los datos obtenidos en el ensayo a flexión se observa que las dos configuraciones tienen características mecánicas similares.

Ensayo a impacto

Se evidencia que las probetas poseen fracturas correspondientes a un material frágil. Con el apoyo de un programa estadístico comparamos la media y 95 % de Fisher de los datos obtenidos de la resistencia máxima al impacto de las dos configuraciones y se representa en la figura 89.

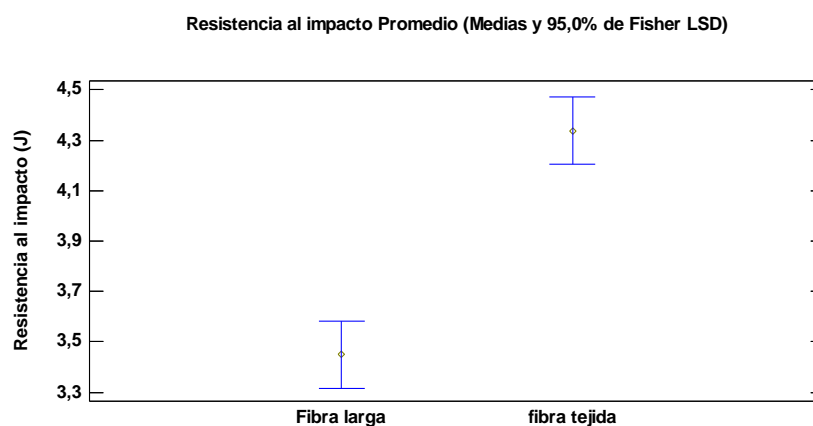


Figura 89. Comparación de medias de la resistencia al impacto. Fuente: Autor

Al comparar la resistencia al impacto de las dos configuraciones (fibra larga, fibra tejida), se observa que no poseen variación significativa entre el límite superior e inferior de los datos obtenidos en las dos configuraciones, también se observa que la media de la fibra tejida se encuentra superior a la fibra larga.

Prueba de la hipótesis de investigación.

En este apartado se prueba la hipótesis planteada para la investigación mediante la técnica estadística ANOVA, para desarrollar esta prueba se plantea dos hipótesis.

Hipótesis 1. El material compuesto de fibra de totora en su configuración fibra tejida y larga mejora las características mecánicas de la configuración fibra corta.

H0: No hay diferencia entre las configuraciones del material compuesto de fibra de totora.

H1: Las características del material compuesto en su configuración fibra tejida y fibra larga superan las características de la configuración de corta.

Se establece la variable dependiente: Esfuerzo máximo a tracción.

Variable independiente. Configuraciones de material.

Al registrar los valores en un programa estadístico y realizar una comparación de muestras se obtiene la tabla 25.

Tabla 25. *Resumen estadístico fibra tejida, fibra larga, y fibra corta.*

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
Fibra tejida	8	28,165	0,534121	1,8964%	27,59	28,76	1,17
Fibra larga	8	19,7138	1,38737	7,03758%	17,24	20,87	3,63
Fibra corta	8	7,01	0,464666	6,62861%	6,15	7,4	1,25
Total	24	18,2962	8,92293	48,7692%	6,15	28,76	22,61

Fuente: Autor

Para probar la diferencia de medias de las configuraciones de totora aplicamos el método estadístico ANOVA y sus valores se representan en la tabla 26.

Tabla 26. *Tabla resumen método ANOVA*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1814,25	2	907,124	1121,75	0,0000
Intra grupos	16,982	2	0,808666		
		1			
Total (Corr.)	1831,23	2			
		3			

Fuente: Autor

La razón-F, que en este caso es igual a 1121,75, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado 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. Al existir una diferencia entre las medias se rechaza la hipótesis nula “H0: No hay diferencia entre las configuraciones del material compuesto de fibra de totora“, y se acepta la hipótesis alternativa “H1: Las características del material compuesto en su configuración fibra tejida y fibra larga superan las características de la configuración de corta”.

Con la finalidad de encontrar una configuración adecuada (fibra corta o larga) para la construcción de parachoques se compara los valores de flexión obtenidos, con los valores de resina de poliéster 33000 y se plantea la segunda hipótesis.

Hipótesis 2. El material compuesto de fibra de totora en su configuración fibra tejida y larga mejora las características mecánicas de la resina de poliéster.

H0: No hay diferencia entre las configuraciones del material compuesto de fibra de totora.

H1: Las características del material compuesto en su configuración fibra tejida y fibra larga superan las características de la resina de poliéster.

Se establece la variable dependiente, Esfuerzo máximo a flexión.

Variable independiente. Configuraciones de material.

Al registrar los valores en un programa estadístico y realizar una comparación de muestras se obtiene la siguiente tabla 27.

Tabla 27. *Resumen estadístico fibra tejida, larga y resina de poliéster*

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
Fibra tejida	8	108,471	12,5964	11,6127%	85,08	123,34
Fibra larga	8	87,7838	8,22501	9,36962%	77,3	94,22
Resina poliéster	8	69,8062	4,11703	5,8978%	65,66	73,82
Total	24	88,6871	18,2883	20,6211%	65,66	123,34

Fuente: Autor

Para probar la diferencia de medias de las configuraciones de totora aplicamos el método estadístico ANOVA y los valores se representan en la tabla 28.

Tabla 28. *Resumen de tabla ANOVA flexión.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5989,72	2	2994,86	36,93	0,0000
Intra grupos	1702,89	21	81,0899		
Total (Corr.)	7692,61	23			

Fuente: Autor

La razón-F, que en este caso es igual a 1121,75, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado 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. Al existir una diferencia entre las medias se rechaza la hipótesis nula “H0: No hay diferencia entre las configuraciones del material compuesto de fibra de totora”, y se acepta la hipótesis alternativa, “H1: Las características del material compuesto en su configuración fibra tejida y fibra larga superan las características de la resina de poliéster”.

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras se establece una prueba de comparación múltiple. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este

método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. En la tabla 29 aplica representa la prueba realizada

Tabla 29. *Tabla de diferencias significativas*

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Fibra tejida - Fibra larga	*	20,6875	9,36348
Fibra tejida - Resina poliéster	*	38,665	9,36348
Fibra larga - Resina poliéster	*	17,9775	9,36348

Nota: El asterisco (*) indica que existe una diferencia significativa.

Fuente: Autor

Estadísticamente se establece una diferencia en las características mecánicas a flexión, entre la fibra tejida y la fibra larga de 21% entre la fibra tejida y la resina poliéster 39% y finalmente entre la fibra larga y resina de poliéster de 18%.

Con la finalidad de obtener una mejor apreciación de los datos obtenidos de las dos configuraciones fibra larga, fibra tejida, y resina de poliéster se agrupa en la figura 90, la misma que contiene el tipo de ensayo y valores máximos de esfuerzos, módulo de elasticidad entre otros.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
ENSAYO	Ensayo a Tracción		Ensayo a Flexión		Ensayo a impacto
	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Resistencia impacto (J)
Fibra larga (FL)	19.71	691.39	87.78	7440.98	3.45
Fibra tejida (FT)	28.16	943.33	108.47	7287.53	4.33
R. Poliéster (RP)	10,92	141,15	68.80	2470.71	2,90

Figura 90. Interpretación de resultados. En la figura se muestran los valores obtenidos en los ensayos de tracción flexión e impacto. Fuente: Autor

Al otorgar un puntaje del 100 % al valor más alto para cada ensayo realizado se establece las siguientes relaciones: En el ensayo a tracción en lo que refiere al esfuerzo máximo se otorga un valor de 100% a la FT haciendo relación a este valor la FL posee una puntuación de 69% y la RP una calificación de 61%, al comparar estos valores porcentuales, se determina que existe una

diferencia del 61% entre la RP y FT, además que existe una desigualdad del 31% entre la FT y la FL, y un valor del 30 % entre RP y FL.

Al continuar con la puntuación en el módulo de elasticidad se le otorga a la FT un puntaje de 100 % y en relación a este valor se determina un valor del 73% para FL, y de 14% para RP, al comparar estos valores se obtiene que existe una diferencia porcentual FT y FL del 27 %, así como también de FT y RP de 86%

En lo que refiere al ensayo de flexión, se hace la puntuación porcentual del esfuerzo máximo, y se califica con un valor del 100 % a la FT, 80 % FL y un 63% para RP, se realiza una comparación entre las configuraciones y se determina que existe una diferencia del 20% entre la FT y FL, también que existe una desigualdad de 63% entre FT y RP y un valor diferencial de 17 % entre FL y RP.

Al calificar el módulo de flexión, se otorga un valor del 100 % para la FL, una puntuación del 97% para FT y 34% para RP, si se compara estos valores se determina que existe una diferencia de 3% entre FL y FT, así como también una desigualdad del 66 % entre FL y RP, y además un valor diferencial del 63 % entre FT y RP.

Al realizar la puntuación del ensayo de impacto se establece un valor del 100 % a la FT, una calificación del 79 % para FL y una puntuación de 66 % para RP, al comparar estos valores se establece que existe una diferencia porcentual del 21% entre FT y FL un valor de desigualdad de 39% entre FT y RP, un valor diferencial del 13% entre FL y RP.

Interpretación de los resultados de choque térmico

En los resultados de la prueba de choque térmico se observa fracturas las mismas que reducen totalmente las características mecánicas del material, estas fracturas se producen en la matriz y en el refuerzo.

Análisis de los Resultados de simulación.

En lo que respecta a la simulación se obtiene valores de esfuerzo máximo y factor de seguridad para el ensayo de impacto RCAR, los mismos que se representan en la tabla 30.

Tabla 30. *Valores obtenidos en la simulación de impacto RCAR.*

<u>Simulación test RCAR</u>		
Configuración	Deformación máxima (mm)	Factor de seguridad
Fibra tejida	128,15	1,58
Fibra larga	148,12	1,29

Fuente: Autor

El factor de seguridad es mayor que 1, y establece que el material compuesto de resina de poliéster y totora en la conformación de parachoques pasa la prueba de choques RCAR tanto en la configuración de fibra tejida como en la configuración de fibra larga, por lo que se puede asegurar que es una buen material para la fabricación de parachoques.

Análisis del prototipo fabricado.

Referente a la fabricación de prototipo se obtiene un parachoques con un peso de 15.12 kg, de adecuadas condiciones para su aplicación, pero se evidencia que en la cara frontal posee un acabado superficial lizo con pequeñas imperfecciones que no son relevantes, buena formación en los detalles como focos y curvatura como se observa en la figura 91.



Figura 91. Vista lateral de prototipo de parachoques para bus. Fuente: Autor

La parte posterior posee un acabado altamente rugoso, presenta imperfecciones en el espesor, en ciertas partes como curvaturas y detalles de construcción, posee una mala fusión de la matriz resina de poliéster con el refuerzo de totora, ver figura 92.

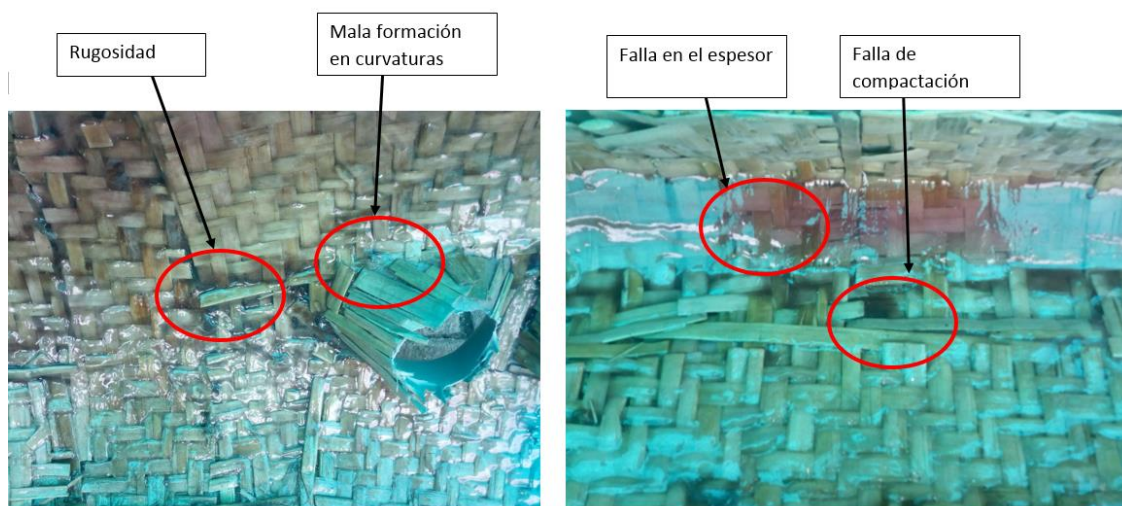


Figura 92. Fallas en el prototipo. Fuente: Autor

Si el peso aproximado de un parachoques fabricado con fibra de vidrio y resina poliéster es de 17.73 kg y se compara con el prototipo de totora se evidencia una reducción en peso del 15%.

Análisis de costos. El costo de fabricación sin acabados (Pintura y acabado superficial) del prototipo es de \$ 713, 23 dólares americanos, si se compara este valor con el precio encontrado en el mercado es superior, esto es porque para la fabricación de nuestro prototipo se adquirió un molde de parachoques en \$400, quiere decir que el valor del parachoques es de \$ 313.23, y que si aplicando un costo beneficio se establece que con cinco unidades fabricadas recompensa el precio del molde y se establece una ganancia de 21 % en unidad.

Conclusiones.

En base a la investigación realizada sobre materiales compuestos, el uso de las fibras naturales como totora, por su abundancia en el país, su gran resistencia, y al obtener una diferencia en su fabricación del 20 % del valor total de su construcción, en relación a los existentes en el mercado se establece que es una excelente alternativa para la fabricación de parachoques delantero de autobuses.

Para obtener veracidad y confiabilidad en los datos de la caracterización, se debe fabricar moldes, con medidas exactas que aseguren el dimensionamiento de las probetas establecidas en las normas de cada ensayo.

La resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad de los espécimen caracterizados, no dependen de la masa si no de la configuración interna de la fibra, como se puede apreciar en la tabla 14. El ensayos de tracción realizado al material compuesto de matriz resina de poliéster en concentración volumétrica de 70 % y refuerzo de totora de 30%, favorecen en los resultados de resistencia a la tracción a las configuraciones de fibra tejida y larga con valores de 19.71 (MPa) y 28.16 (MPa) respectivamente, de igual manera para el módulo de elasticidad con valores de 691.39 (MPa) para fibra larga, 943.33 (MPa) para fibra corta.

En la curva Esfuerzo – Deformación (figuras 55 y 60) del material compuesto, se evidencia que no posee un punto de fluencia definido, así como también carece de zona plástica. Las fracturas producidas por los ensayos destructivos son perpendiculares a la fuerza aplicada, y no presentan cono de rotura, estas son características son típicas de un material frágil.

Si se aplica cambios de temperatura igual o superior a 90 °C, el material compuesto es afectado notoriamente en las características mecánicas, ya que se produce imperfecciones como fracturas, por lo que esta composición del material debe trabajar en zonas con temperaturas inferiores 90°C.

En la prueba de resistencia al choque térmico se evidencia mediante microscopia que el material compuesto, al ser sometido a cambios de temperatura entre 90 °C y 14°C, afecta al material produciendo fracturas en la matriz y en el material de refuerzo como indica las figuras 63 y 64.

Para obtener una veracidad en los valores de la simulación del test RCAR se modela un prototipo de parachoques de bus delantero con las dimensiones reales en software NX.

Al realizar la simulación en el software ANSYS FREE el test RCAR de parachoques, proporciona factores de seguridad mayor a 1, lo que indica que el resultado corrobora con los obtenidos en la caracterización del material compuesto de resina poliéster y totora, la simulación obtuvo una convergencia jacobiana de 1.12.

Para la obtención del prototipo de parachoques delantero se emplea la técnica de estratificación manual por la facilidad de elaboración, ya que no requiere de mano de obra altamente capacitado o maquinaria sofisticada lo cual reduce costos de operación, haciendo factible el poder ser producido en cualquier taller automotriz.

Al elaborar el prototipo mediante el método de estratificación manual se evidencia una reducción en peso del 15%, pero presenta defectos como mala fusión del refuerzo con la matriz, los espesores no son uniformes en el prototipo, dificultad de moldeo.

El análisis de costos nos determina que es una inversión rentable la fabricación de parachoques con el material compuesto de totora.

Recomendaciones.

Para la construcción de las probetas tomar en cuenta las especificaciones determinadas por las normas de cada ensayo.

Tener en cuenta la configuración de la fibra de totora para su aplicación puesto que la fibra presenta distintas características mecánicas para cada configuración.

Respetar los tiempos de curado de la resina poliéster para obtener una buena fusión de matriz y refuerzo

Al realizar los ensayos destructivos realizarlos en los equipos y con especificaciones que establece la norma

Para el choque térmico verificar que el horno se encuentre total mente libre de impurezas para evitar incrustaciones en el material.

El momento de fabricar el parachoques verificar que el refuerzo adopte correctamente la forma del molde

Con la fibra larga el proceso de moldeo se facilita a diferencia que con la configuración tejida.

Para una mejor presentación del molde se pueden realizar acabados superficiales como es el masillado, fondeado y pintura. (Ver anexo 9)

Para realizar los ensayos destructivos, no destructivos, fabricación del molde, se debe utilizar los equipos, materiales, y protección personal, adecuada para evitar lesiones y datos erróneos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (06 de Mayo de 2016). *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs161.html
- Askeland, D. (2004). *Ciencia e ingeniería de materiales*. Mexico: International Thomson editores.
- Aza Medina, L. C. (Mayo de 2016). Totorá como material de aislamiento Térmico: Propiedades y potenciales. *Tesis Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña*. Barcelona, España.
- Barrera, W. (Marzo de 1990). Efecto de choques térmicos en el comportamiento en fatiga de materiales compuestos. Madrid .
- Besedjak, A. (2005). *Materiales compuestos proceso de fabricación de embarcaciones*. Barcelona: Ediciones Virtual.
- Callister, W. (2014). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales . En W. Callister, *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales* . Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Cataldi, Z., Lage, F. J., & Dominighini, C. (2013). Fundamentos para el uso de simulaciones en la enseñanza. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*.
- Dassault Systemes . (2017). *Solidworks*. Obtenido de http://help.solidworks.com/2017/spanish/SolidWorks/cworks/c_Mesh_Quality_Checks.htm?id=c635d01c82f54593861d689c6254af60#Pg0&ProductType=&ProductName=
- Guerrero, D. (2014). Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz de poliéster reforzada con fibras de coco. *Escuela Politécnica Nacional*, 9.
- Guerrero, V., Davila, J. G., & Pontón, P. (2011). Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales . *ResearchGate*.
- Hidalgo, J. (2007). Totorá material de construcción. *Tesis de Arquitecto*. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Leão, L. (23 de Mayo de 2016). *Ingeniería Eléctrica Moderna*. Obtenido de <http://www.cim-team.com.br/blog-de-engenharia-eletrica-moderna/cad-vs-cae-vs-cam-diferencias>
- Macía, M. (2006). *Las plantas de fibra*. Obtenido de <http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdf/Capitulo%2023.pdf>

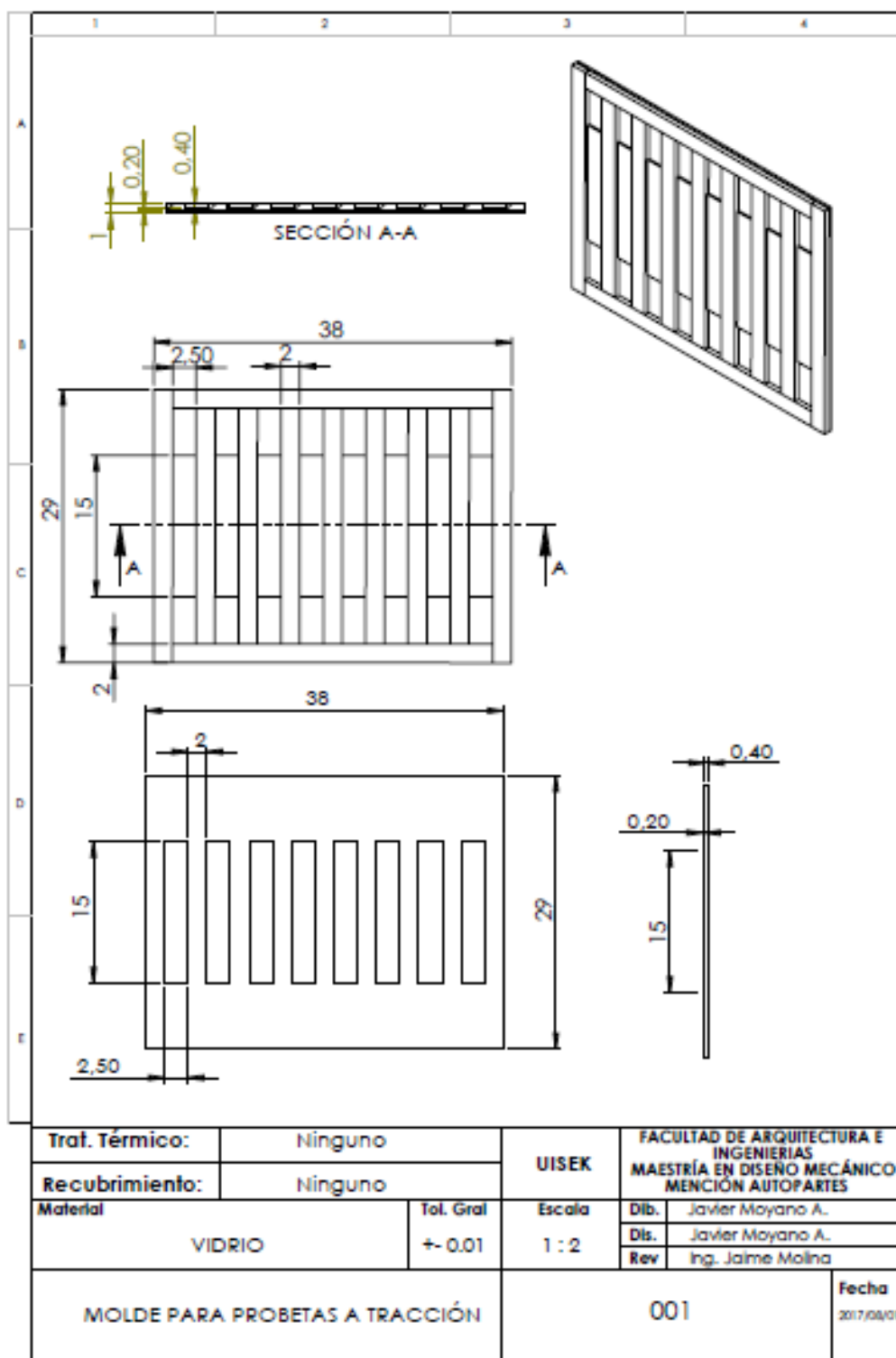
- Mecanica y automocion. (2 de Febrero de 2009). *Mecanica y automocion*. Obtenido de <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>
- Montenegro, V. U. (6 de Octubre de 2012). *Construccion de buses* . Obtenido de <http://construcciondelbusviniciounda.blogspot.com/>
- Morales, G. (2008). PProcesado y caracterizacion de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con nanofibras de carbono para aplicaciones tecnológicas. Madrid.
- Msahli Slah, R. S. (2015). Flexural Properties of Typha Natural Fiber-Reinforced Polyester Composites. 1-8.
- Nowell, J. (2011). Ciencia de materiales aplicaciones en ingeniería . En J. Nowell, *Ciencia de materiales aplicaciones en ingeniería* . Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de .C.V. .
- Páez, J. (2007). Obtencion de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión. Quito.
- Patricio Vallejo, J. Z. (2005). *Fisica Vectorial 2*. Autores.
- Quagliano, E. (6 de 12 de 2006). *Tecnología para todos* . Obtenido de <http://tecnologiaparatodos.com.ar/noticias.php?op=eco¬a=67012>
- RCAR. (Septiembre de 2010). Research Council for automobile repairs. *Bumper Test* . España.
- Richard Budynas, K. N. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Octava edición)*. Mexico: Mcgraw Hill Latinoamerica Editores SA.
- Richard S., P. P. (2016). Mechanical characterisation of Typa. 1-5.
- Ruiz, G. G. (2009). *Los otros crash test*. Obtenido de https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1046544
- Stupenengo, F. (2011). Materiales y materias primas . En F. Stupenengo, *Materiales y materias primas* . Buenos Aires : Saavedra.
- Tотора SISA SCC. (JULIO de 2009). *Tотора SISA S.C.C*. Obtenido de <http://totorasisa.blogspot.com/>
- TOYOTA. (23 de JUNIO de 2014). *Noticias TOYOTA*. Obtenido de <http://www.toyocosta.com/blog/parachoques/>
- VICEPRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (MARZO de 2015). *Estrategia nacional para el cambio de la matriz productiva*. Obtenido de <http://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2013/10/ENCMPweb.pdf>

Víctor H. Guerrero. (2013). Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas. *Escuela Politécnica Nacional*, 5.

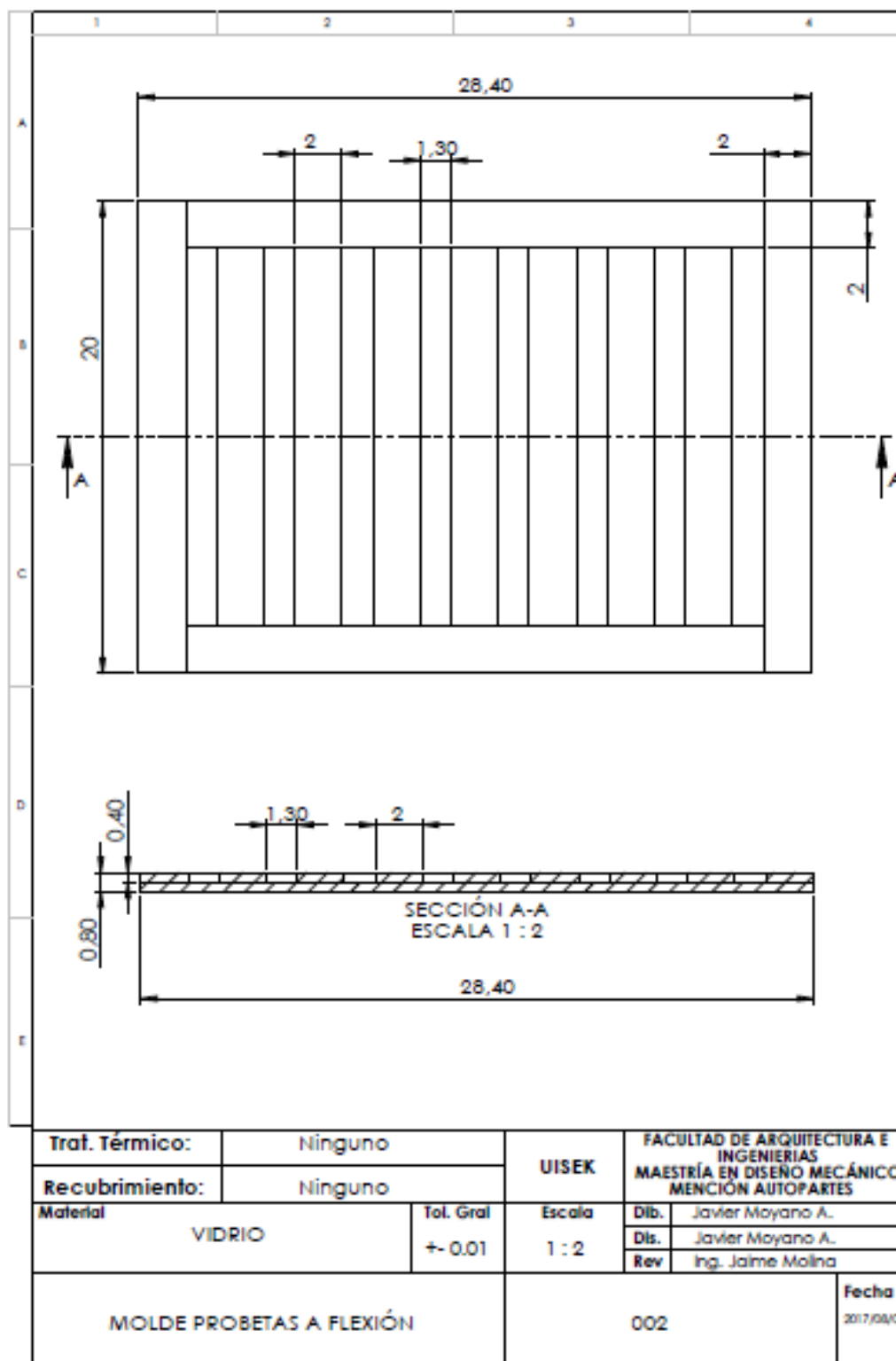
Younouss Dieye, V. S. (2016). Thermo-mechanical characterization of a building material based on Typha. 1-5.

ANEXOS

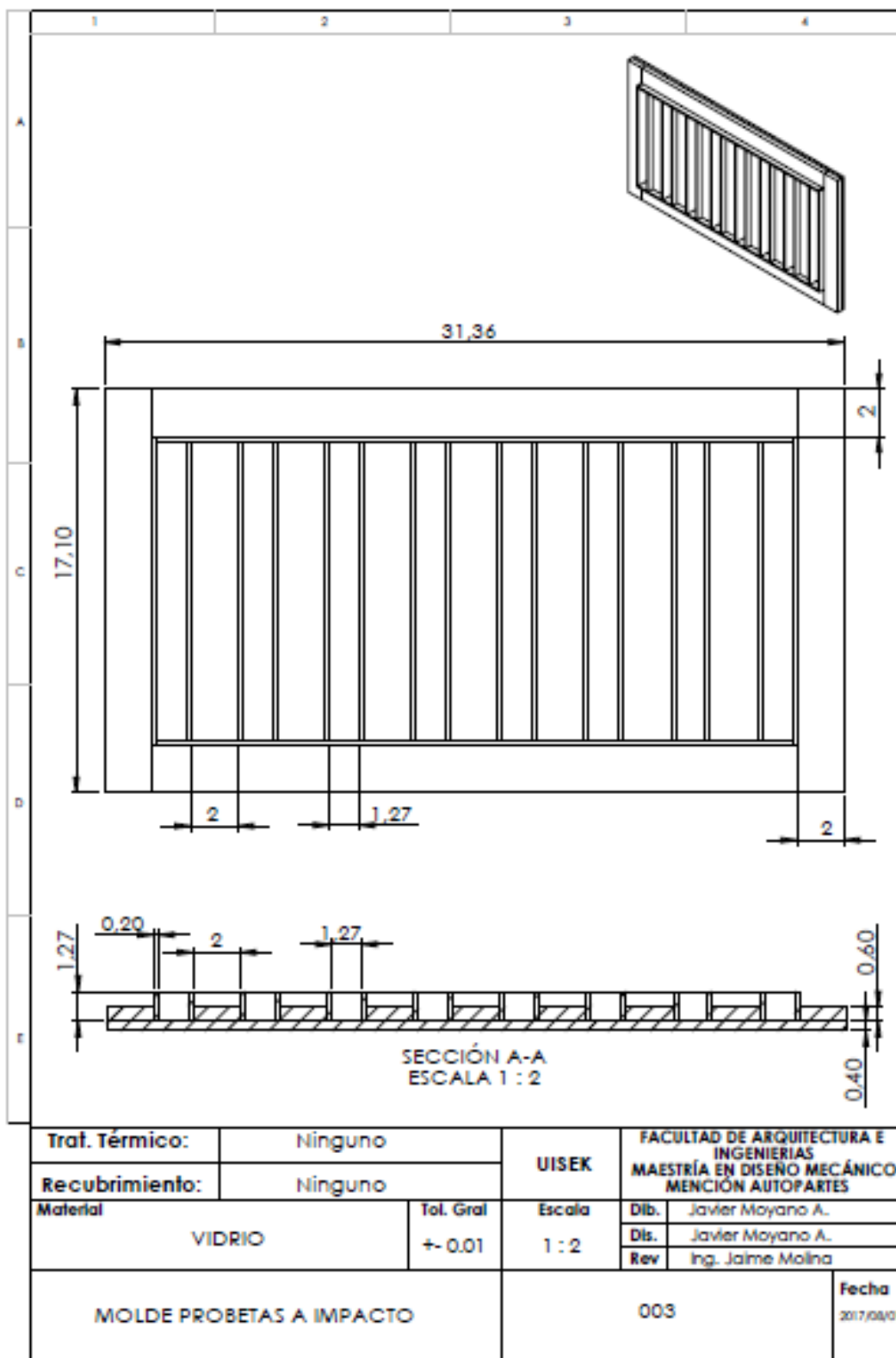
ANEXO 1. Plano de molde para probetas a tracción



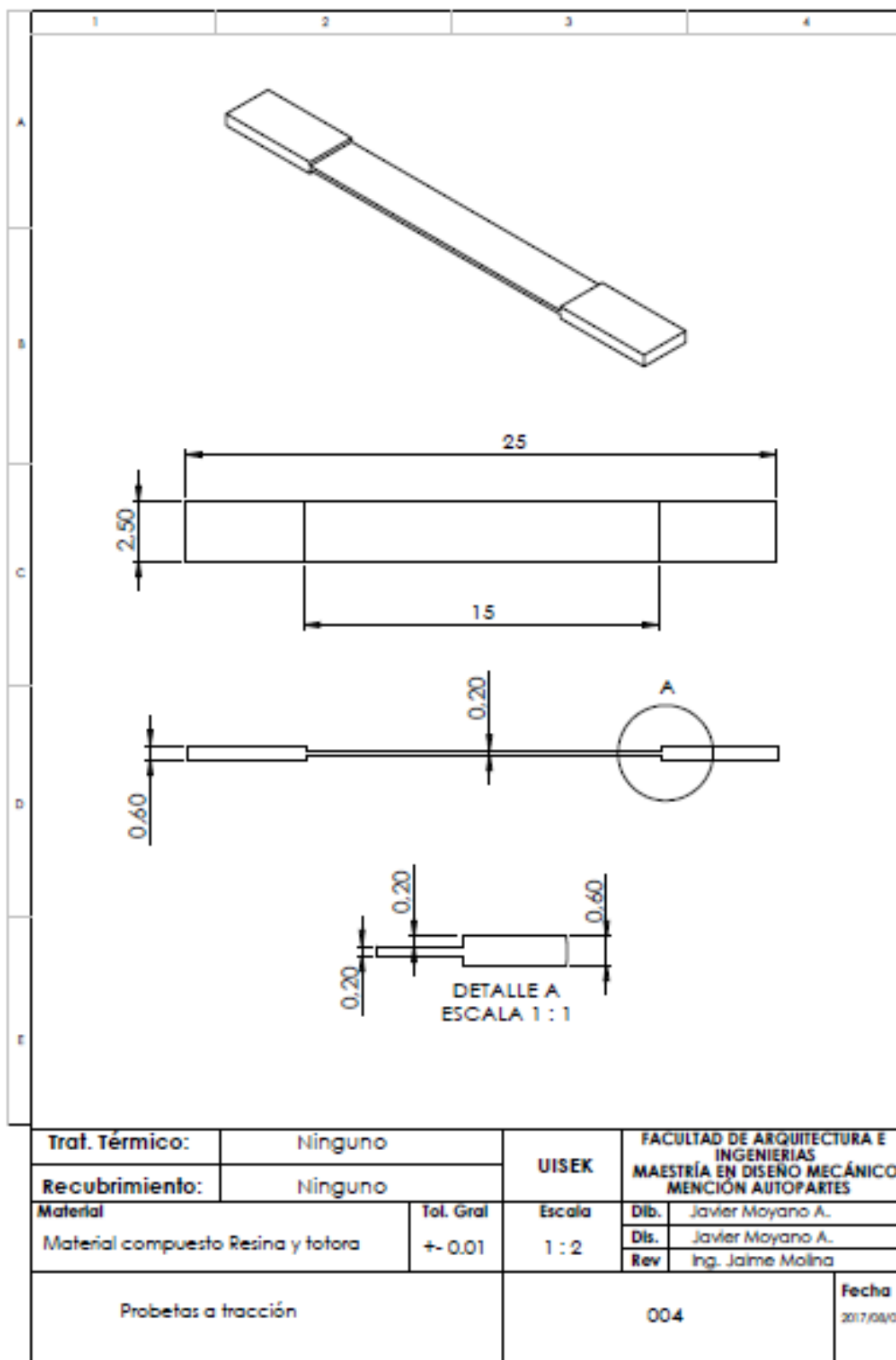
ANEXO 2. Plano de molde para probetas a flexión



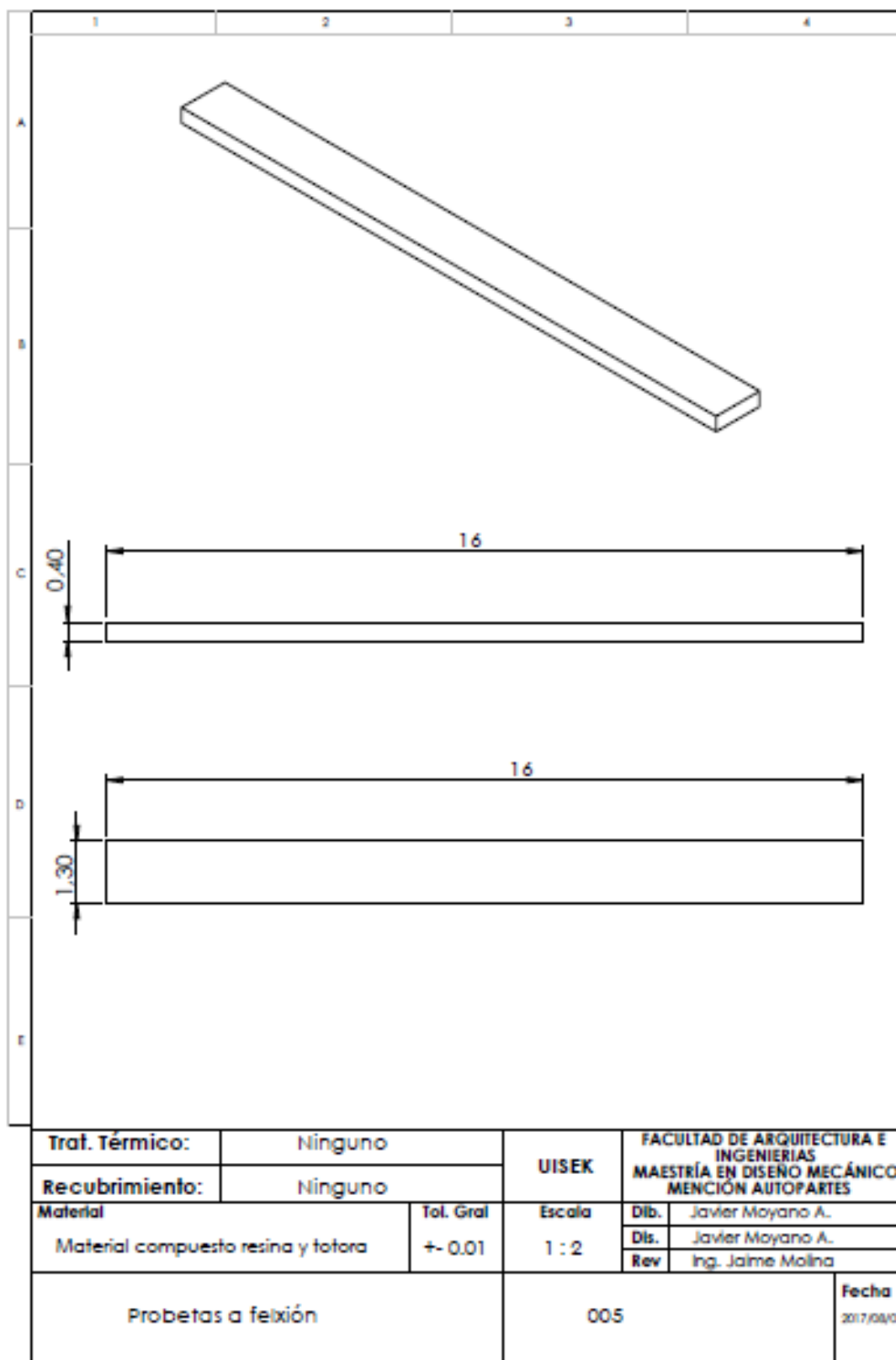
ANEXO 3. Plano de molde para probetas a impacto



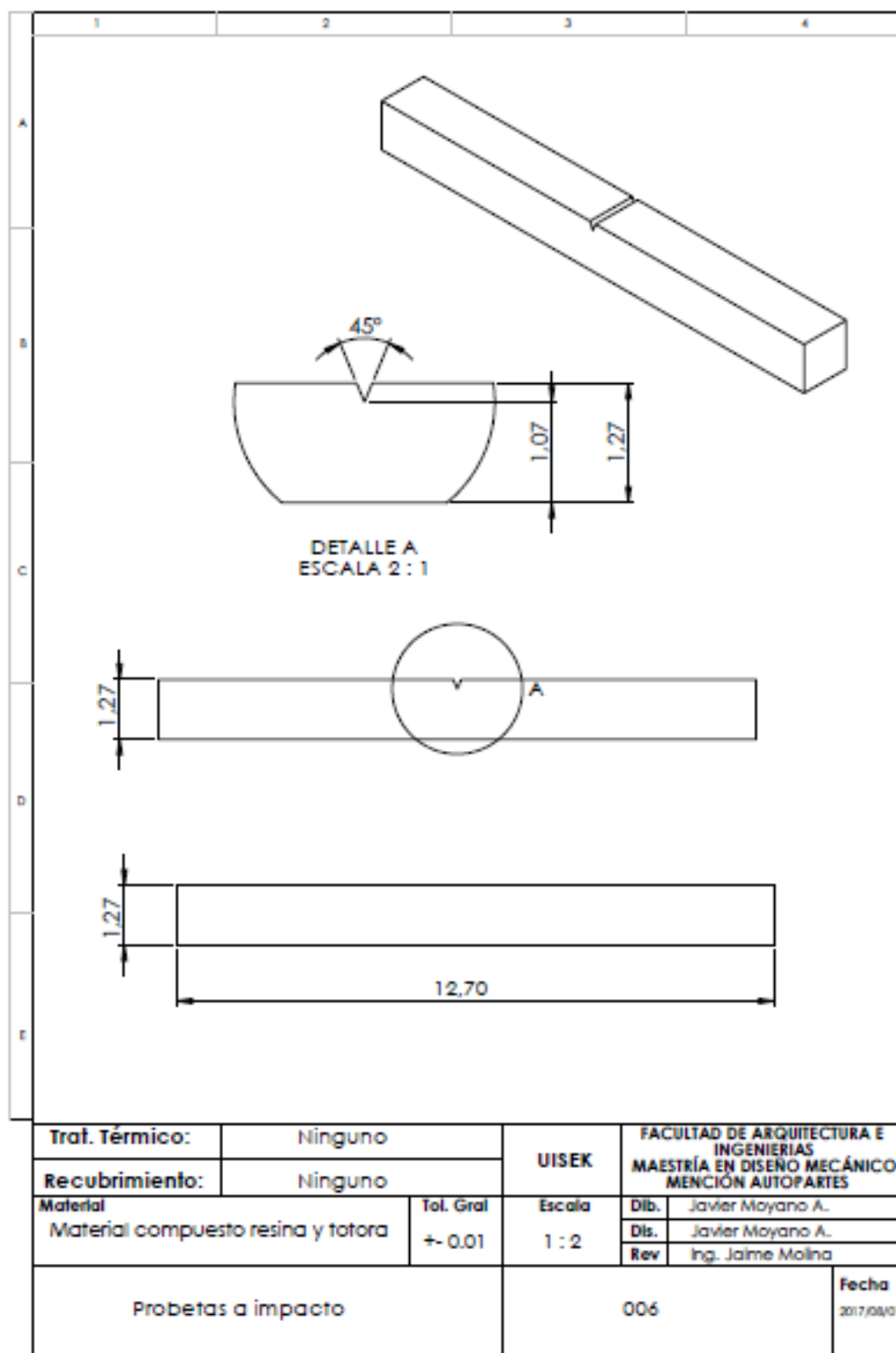
ANEXO 4. Probeta a tracción



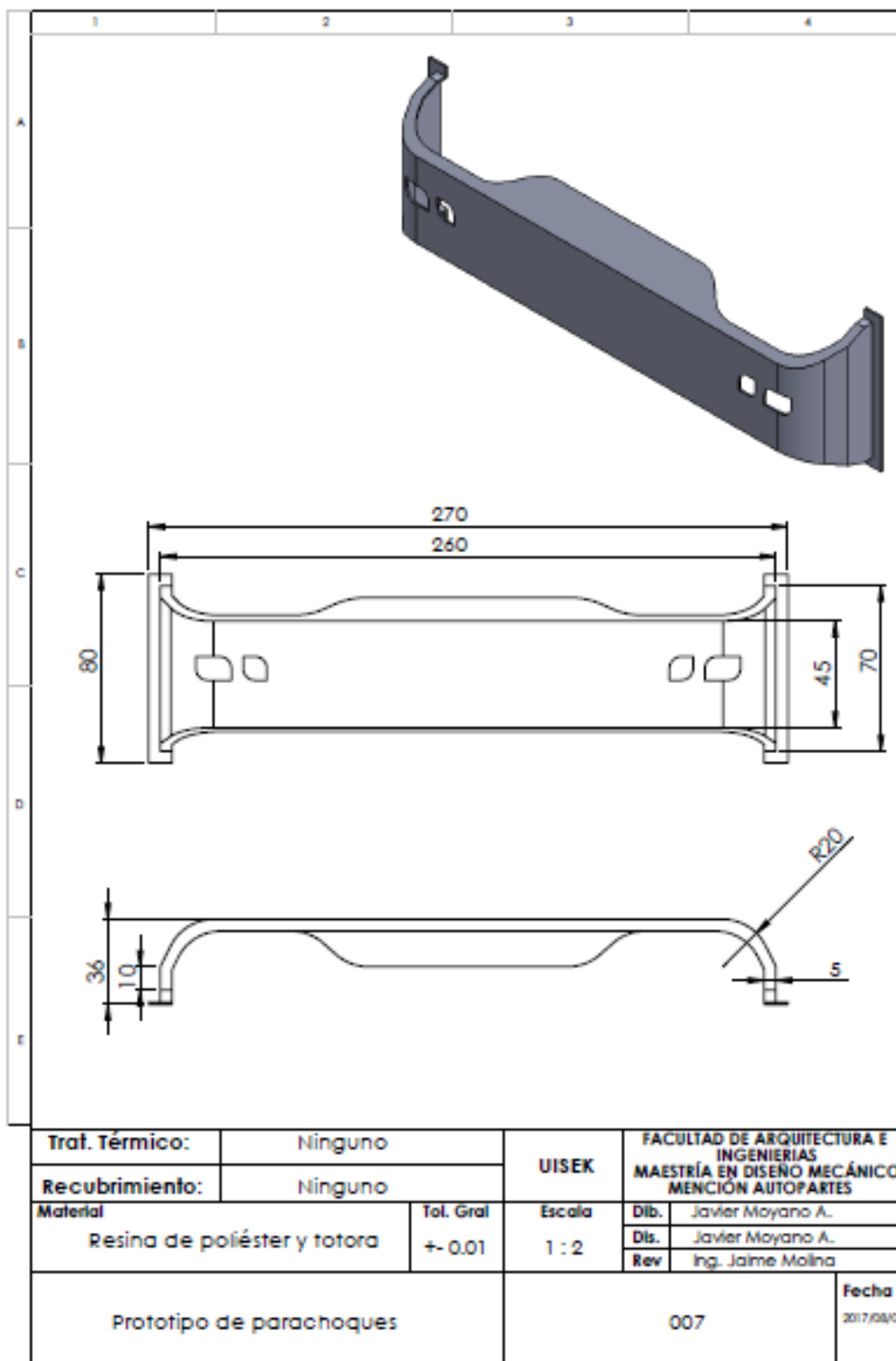
ANEXO 5. Probeta a flexión



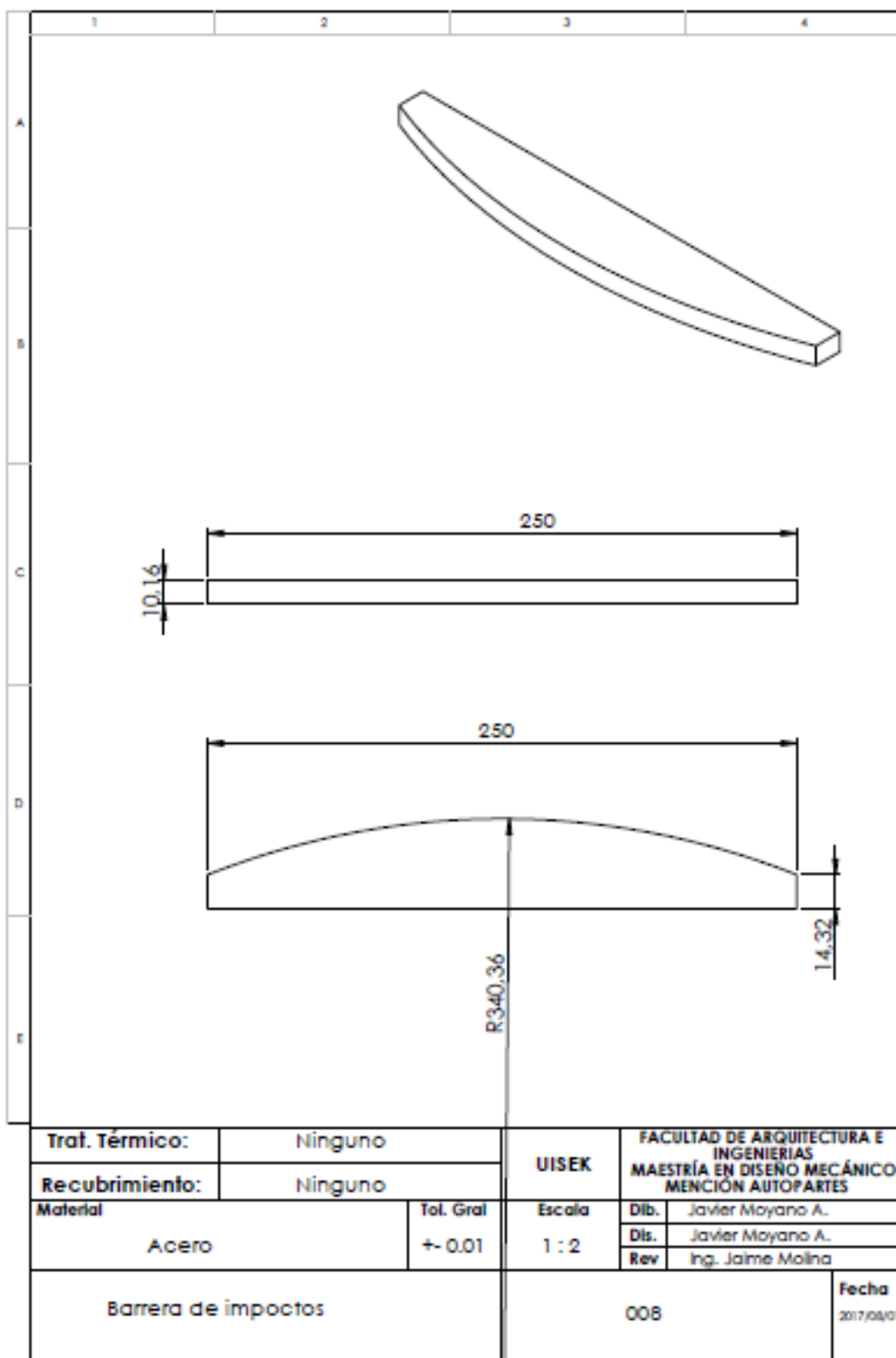
ANEXO 6. Probeta a Impacto



ANEXO 7. Dimensiones de prototipo de guardachoques



ANEXO 8. Barrera de choque para simulación.



ANEXO 9. Parachoques con acabados superficiales

