



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA MECÁNICA

TEMA:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL
COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE CABELLO HUMANO
Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”.

AUTORA: Anahí Raquel Reinoso Arias

TUTOR: Ing. Mg. Segundo Espín

AMBATO - ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Mecánica, con el tema “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE CABELLO HUMANO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”, elaborado por la señorita Anahí Raquel Reinoso Arias, portadora de la cédula de ciudadanía: 050349246-4, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico que:

- El presente Trabajo Investigativo es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

.....
Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Anahí Raquel Reinoso Arias, portadora de la C.I. 050349246-4, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, tengo a bien indicar que las investigaciones realizadas en el presente trabajo experimental con el tema: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE CABELLO HUMANO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL” así como los ensayos realizados, análisis, conclusiones y recomendaciones, son auténticos y de absoluta responsabilidad de la autora, a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentra citadas en el mismo.

Ambato, Mayo de 2019

.....
Anahí Raquel Reinoso Arias

C.I. 050349246-4

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.

.....

Anahí Raquel Reinoso Arias

C.I. 050349246-4

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe del trabajo experimental, bajo el tema: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE CABELLO HUMANO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”, de la egresada Anahí Raquel Reinoso Arias de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, Mayo 2019

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg. Christian Castro

.....

Ing. Mg. Christian Pérez

DEDICATORIA

A mis padres, Héctor y Raquel por siempre apoyarme y ser mi ejemplo a seguir, por inculcarme sus valores y enseñarme a ser una persona de bien, a luchar por mis sueños, que con esfuerzo, sencillez y perseverancia se puede alcanzarlos.

A ti padre por siempre cuidarme, porque con tu sabiduría, tus consejos y reproches he logrado ser una mujer de moral amplia y mirada fija hacia el futuro. A ti madre por alentarme siempre, por no dejarme caer a pesar de los obstáculos y el cansancio, por ser ese hombro en el cual apoyarme y confiar en mi con todas fuerzas, este triunfo se los dedico a ustedes como símbolo de gratitud, que con su confianza y amor seguiré siempre adelante.

A mis abuelitos y a mi tío Angelito que ahora están en el cielo, que, con su humildad, bondad, ejemplo de justicia y superación, me llevan admirarlos cada día más.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por todo el sacrificio que realizaron día a día para que no me falte nada a lo largo de mi carrera universitaria, no existen palabras para expresar lo agradecida que estoy con ustedes y lo orgullosa que me siento de ser su hija. Gracias por estar pendiente de mí a todo momento y no dejarme sola jamás.

A mi hermano Michel, por ser mi compañero de desvelos a lo largo de mi vida estudiantil y estar a mi lado incondicionalmente.

A todos mis docentes que además de impartirme su conocimiento, me enseñaron lecciones de vida que me permitieron crecer como persona, en especial al Ing. Segundo Espín por su confianza y amabilidad, por regalarme su tiempo y ayudarme a concluir esta investigación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XV
EXECUTIVE SUMMARY	XVI
CAPÍTULO I.....	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos:.....	4
1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
1.3.1 Materiales compuestos	4
1.3.2 Clasificación de los materiales compuestos	5
1.3.3 Tipos de matriz.....	6
1.3.4 Tipos de matrices poliméricas.....	7
1.3.5 Resina poliéster	7
1.3.6 Tipos de resinas poliéster	8
1.3.7 Proceso de curado	8
1.3.8 Materiales reforzados con fibras	9

1.3.9 Influencia de la longitud de la fibra	10
1.3.10 Influencia de la orientación de las fibras y la concentración	10
1.3.11 Fibras.....	10
1.3.12 Fibra de cabello humano	12
1.3.13 Moldeo del material compuesto	15
1.3.14 Ensayos destructivos para materiales compuestos.....	16
1.4 HIPÓTESIS.....	20
1.5 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	20
1.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE	20
1.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE	20
CAPÍTULO II	21
2.1 MATERIALES	21
2.2 MÉTODOS	25
2.2.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
2.2.1.1 Exploratorio	25
2.2.1.2 Descriptivo.....	25
2.2.1.3 Bibliográfico	25
2.2.1.4 Experimental.....	25
METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.....	25
2.2.2 DIAGRAMA DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.....	25
2.2.3 PROCEDIMIENTO	28
2.2.3.1 Obtención de la fibra natural de cabello humano	28
2.2.3.2 Limpieza de la fibra de cabello humano	28
2.2.3.3 Cálculo de la densidad de la fibra de cabello humano.....	29
2.2.3.4 Cálculo de la densidad de la resina poliéster	33
2.2.3.5 DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICAS	33
2.2.3.6 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL MATERIAL COMPUESTO	43

2.2.3.7 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS.....	43
METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN.....	55
2.2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	55
2.2.4.1 Población.....	55
2.2.4.2 Muestra.....	55
METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MECÁNICA.....	56
2.2.5 MÉTODO ESTADÍSTICO DE LA DISTRIBUCIÓN T-STUDENT.....	56
2.2.6 OPERALIZACIÓN DE VARIABLES.....	57
2.2.6.1 Variable Independiente.....	57
2.2.6.2 Variable Dependiente.....	58
CAPÍTULO III.....	59
3.1 TABULACIÓN DE RESULTADOS.....	59
3.1.1 Tabulación de datos de probetas ensayadas a tracción.....	59
3.1.2 Tabulación de datos de probetas ensayadas a flexión.....	86
3.1.3 Tabulación de datos de probetas ensayadas a impacto.....	113
3.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	127
3.2.1 Valores promedios del esfuerzo máximo (MPa) de los grupos de probetas ensayadas a tracción ASTM D3039 y flexión ASTM D 7264.....	127
3.2.2 Valores promedios del módulo de elasticidad (MPa) de los grupos de probetas ensayadas a tracción ASTM D3039 y flexión ASTM D 7264.....	129
3.2.3 Valores promedios de la energía de los ensayos de impacto MEF (J).....	130
3.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	131
3.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES.....	138
3.5 POSIBLES APLICACIONES INDUSTRIALES.....	139
CAPÍTULO IV.....	141
4.1 CONCLUSIONES.....	141
4.2 RECOMENDACIONES.....	142

5 BIBLIOGRAFÍA	143
ANEXOS.....	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Material compuesto sometido a tracción	5
Figura 2. Matriz y refuerzo de un material compuesto.....	5
Figura 3. Clasificación según el tipo de refuerzo	6
Figura 4. Estructura molecular de las matrices poliméricas.....	7
Figura 5. Deformación producida en la matriz sujeta a carga de tracción.....	10
Figura 6. Orientación de la fibra	10
Figura 7. Clasificación de las fibras	11
Figura 8. Fibras capilares de diferentes especies de mamíferos	12
Figura 9. Partes de la fibra de cabello.....	14
Figura 10. Diagrama esquemático de la cutícula del cabello humano.....	14
Figura 11. Esquema de la estructura de la fibra capilar	14
Figura 12. Moldeo por compresión.....	15
Figura 13. Moldeo manual	16
Figura 14. Máquina MTE-50	16
Figura 15. Fuerzas implicadas en los ensayos de flexión	18
Figura 16. Equipo para ensayos a flexión en máquina universal MTE-50.....	18
Figura 17. Máquina de impacto por caída de dardo.....	20
Figura 18. Obtención de la fibra de cabello.....	28
Figura 19. Corte de la fibra de cabello.....	28
Figura 20. Colocación del estireno.....	29
Figura 21. Secado de la fibra de cabello.....	29
Figura 22. Impurezas de la fibra de cabello.....	29
Figura 23. Dimensiones de la probeta a tracción	33
Figura 24. Dimensiones de la probeta a flexión	36
Figura 25. Dimensiones de la probeta a impacto	38
Figura 26. Limpieza de la fibra para placas tipo A.....	44
Figura 27. Secado de la fibra larga tipo A	44

Figura 28. Limpieza del molde	44
Figura 29. Molde encerado	45
Figura 30. Pesaje de la masa de fibra larga.....	45
Figura 31. Pesaje de la resina poliéster	45
Figura 32. Medición del estireno	46
Figura 33. Medición del peróxido.....	46
Figura 34. Colocación de la fibra larga en el molde	46
Figura 35. Extracción de la placa.....	47
Figura 36. Esquema para el corte de probetas	47
Figura 37. Corte a láser.....	47
Figura 38. Colocación de códigos.....	48
Figura 39. Colocación de lijas.....	48
Figura 40. Limpieza de la fibra para placas tipo B	48
Figura 41. Secado de la fibra para placas tipo B.....	49
Figura 42. Encerado del molde	49
Figura 43. Ubicación de la fibra a 45°	49
Figura 44. Limpieza de la fibra para placas tipo C	50
Figura 45. Secado de la fibra tipo C.....	50
Figura 46. Tamizado de la fibra	51
Figura 47. Encerado del molde	51
Figura 48. Pesaje de la fibra.....	51
Figura 49. Pesaje de la resina.....	52
Figura 50. Medición del estireno	52
Figura 51. Medición del peróxido.....	52
Figura 52. Mezcla con el cobalto.....	53
Figura 53. Preparación de la placa tipo C	53
Figura 54. Extracción de la placa.....	53
Figura 55. Corte a láser probetas tipo C.....	54
Figura 56. Selección de las probetas.....	54
Figura 57. Colocación de lijas.....	54
Figura 58. Comparación de esfuerzos promedios máximos a tracción y flexión ...	128
Figura 59. Curva de resistencia máxima vs Concentración volumétrica.....	129
Figura 60. Comparación de módulos de elasticidad a tracción y flexión	130

Figura 61. Comparación de energía de impacto de grupos de probetas	131
Figura 62. Tabla t-Student para ensayos a tracción	134
Figura 63. Tabla t-Student para ensayos a flexión	137
Figura 64. Gráfica comparativa de la resistencia máxima a tracción y flexión de distintos materiales compuestos	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de la resina poliéster	8
Tabla 2. Propiedades a tracción de fibras convencionales	11
Tabla 3. Elementos presentes en el cabello.....	13
Tabla 4. Aminoácidos presentes en el cabello humano normal	13
Tabla 5. Propiedades de la fibra de cabello humano	13
Tabla 6. Listado de materiales y equipos	21
Tabla 7. Obtención de densidad de la fibra.....	30
Tabla 8. Cálculos para la elaboración de las planchas de material compuesto.....	42
Tabla 9. Cálculo de la densidad del material compuesto	43
Tabla 10. Configuraciones del material compuesto	55
Tabla 11. Muestra para los diferentes ensayos.....	55
Tabla 12. Variable Independiente	57
Tabla 13. Variable Dependiente.....	58
Tabla 14. Tabulación de datos del grupo 1 a tracción.....	59
Tabla 15. Tabulación de datos del grupo 2 a tracción.....	62
Tabla 16. Tabulación de datos del grupo 3 a tracción.....	65
Tabla 17. Tabulación de datos del grupo 4 a tracción.....	68
Tabla 18. Tabulación de datos del grupo 5 a tracción.....	71
Tabla 19. Tabulación de datos del grupo 6 a tracción.....	74
Tabla 20. Tabulación de datos del grupo 7 a tracción.....	77
Tabla 21. Tabulación de datos del grupo 8 a tracción.....	80
Tabla 22. Tabulación de datos del grupo 9 a tracción.....	83
Tabla 23. Tipos de fallas a tracción.....	85
Tabla 24. Tabulación de datos del grupo 1 a flexión	86

Tabla 25. Tabulación de datos del grupo 2 a flexión	89
Tabla 26. Tabulación de datos del grupo 3 a flexión	92
Tabla 27. Tabulación de datos del grupo 4 a flexión	95
Tabla 28. Tabulación de datos del grupo 5 a flexión	98
Tabla 29. Tabulación de datos del grupo 6 a flexión	101
Tabla 30. Tabulación de datos del grupo 7 a flexión	104
Tabla 31. Tabulación de datos del grupo 8 a flexión	107
Tabla 32. Tabulación de datos del grupo 9 a flexión	110
Tabla 33. Tipos de fallas a flexión	112
Tabla 34. Tabulación de datos del grupo 1 a impacto.....	113
Tabla 35. Tabulación de datos del grupo 2 a impacto.....	114
Tabla 36. Tabulación de datos del grupo 3 a impacto.....	116
Tabla 37. Tabulación de datos del grupo 4 a impacto.....	117
Tabla 38. Tabulación de datos del grupo 5 a impacto.....	119
Tabla 39. Tabulación de datos del grupo 6 a impacto.....	120
Tabla 40. Tabulación de datos del grupo 7 a impacto.....	122
Tabla 41. Tabulación de datos del grupo 8 a impacto.....	123
Tabla 42. Tabulación de datos del grupo 9 a impacto.....	125
Tabla 43. Tipos de fallas a impacto.....	126
Tabla 44. Caracterización de los grupos de probetas	127
Tabla 45. Comparación de esfuerzos máximos (MPa) a tracción y flexión	128
Tabla 46. Comparación de módulos de elasticidad (MPa) a tracción y flexión.....	129
Tabla 47. Comparación de la energía de impacto MEF (J).....	130
Tabla 48. Datos para analizar el esfuerzo máximo a tracción.....	132
Tabla 49. Valores del grupo 1 a tracción	133
Tabla 50. Valores del grupo 4 a tracción	133
Tabla 51. Datos para analizar el esfuerzo máximo a flexión	135
Tabla 52. Valores del grupo 1 a flexión	136
Tabla 53. Valores del grupo 4 a flexión	136
Tabla 54. Comparación de resistencia de materiales compuestos	138
Tabla 55. Propiedades mecánicas de materiales usados en industria carrocera	140
Tabla 56. Resistencia a la tracción y flexión de la madera.....	140

RESUMEN EJECUTIVO

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE CABELLO HUMANO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL”.

Autora: Anahí Raquel Reinoso Arias

Tutor: Ing. Mg. Segundo Espín

En esta investigación, se evaluó el comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de cabello humano, por lo que se elaboró placas con diferentes tamaños de fibra, orientaciones y fracciones volumétricas, posteriormente se realizó el corte a láser de probetas, las mismas que fueron ensayadas bajo las especificaciones de las normas ASTM 3039, ASTM 7264 y ASTM 5628 para tracción, flexión e impacto respectivamente, con el propósito de conocer la combinación más idónea, que brinde óptimas propiedades mecánicas.

De los grupos de probetas elaborados con 3 diferentes fracciones volumétricas: 70%-30%, 80%-20% y 90%-10% de matriz y refuerzo respectivamente, el primer grupo de probetas constituidas por una fracción volumétrica del 70% de matriz y 30% de refuerzo y con una orientación de fibra longitudinal a 0°, sobresalen del resto con una resistencia máxima a la tracción de 28.472 MPa, resistencia máxima a la flexión de 66.24 MPa y 1.371 J de energía de impacto.

Según el análisis realizado, se ha valorado el potencial de la fibra de cabello humano como refuerzo en el material compuesto y su posible aplicación en el área de la mueblería y en la industria automotriz.

EXECUTIVE SUMMARY

"EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF A COMPOSITE MATERIAL OF POLYESTER MATRIX WITH HUMAN HAIR FIBER AND ITS POSSIBLE INDUSTRIAL APPLICATION".

Author: Anahí Raquel Reinoso Arias

Tutor: Ing. Mg. Segundo Espín

In this investigation, was evaluated the mechanical behavior of a composite material of a polyester matrix reinforced with human hair fiber, so composite sheet were elaborated with different fiber sizes, orientations and volumetric fractions, later the laser cut was made and were obtained the specimens, the same ones that were tested under the requirements of ASTM 3039, ASTM 7264 and ASTM 5628 for traction, flexure and impact respectively, with the purpose of knowing the most suitable combination, which provides the best mechanical properties.

Of the groups of test pieces made with 3 different volumetric fractions: 70% -30%, 80% -20% and 90% -10% of matrix and reinforcement respectively, the first group of test pieces constituted by a volumetric fraction of 70% of matrix and 30% reinforcement and with longitudinal fiber orientation at 0 °, stand out from the rest with a maximum tensile strength of 28,472 MPa, maximum resistance to bending of 66.24 MPa and 1,371 J of impact energy.

According to the analysis carried out, the potential of the human hair fiber as a reinforcement in the composite material has been assessed and its possible application in the area of furniture and in the automotive industry.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La revista científico-profesional DYNA publicó en el año 2017 el artículo científico: “ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA RESINA POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE BAMBÚ, COMO MATERIAL SUSTITUTO DE LA FIBRA DE VIDRIO”, realizada por: el Ingeniero J.A. Taborda miembro del grupo de investigación en materiales de Ingeniería, el MSc. L.A. Cañas y el Dr. J.L. Trisancho, profesores titulares en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Los cuales concluyeron lo siguiente:

Las muestras realizadas presentaron un incremento del módulo de elasticidad, además, en los ensayos a tracción se determinó que los compuestos de resina poliéster reforzado con fibra de bambú formados por el 11.07, 13.53 y 16.23% de masa, en lugar de incrementar la resistencia a la tracción, generaron una reducción proporcional al contenido de la fibra. Además, desde el criterio de impregnabilidad fibra-matriz, el porcentaje más apto fue de 16.23% de refuerzo [1].

La revista Internacional de materiales compuestos publicó en el año 2017 el artículo científico con el tema: “EFFECT OF FIBER LOADING AND VOID CONTENT ON TENSILE PROPERTIES OF KERATIN BASED RANDOMLY ORIENTED HUMAN HAIR FIBER COMPOSITES”, realizada por los señores P. Divakara Rao, C. Udaya Kiran, K. Eshwara Prasad en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica Jawaharlal Nehru ubicada en la India, la presente investigación se centró en el uso del cabello humano desechado y abundantemente disponible como refuerzo alternativo para los materiales compuestos de fibra natural.

El cabello humano por naturaleza es un material fibroso con buenas propiedades de tracción. Donde se observó una resistencia máxima a la tracción de 23,5 MPa a una fracción de volumen de fibra de 17,73% [2].

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ingeniería Mecánica en el año 2017, se desarrolló la investigación con el tema: “FABRICACIÓN DE UN RETROVISOR PARA EL VEHÍCULO SUZUKI FORSA CON MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA DE POLIÉSTER Y REFUERZO NATURAL DE CABUYA”, elaborada por los Señores Loza Romel y Pila Germán, donde se determinó:

Según las pruebas realizadas el material compuesto que presenta excelentes propiedades mecánicas, está formada por 30% de refuerzo y 70% de matriz, dando como resultados un módulo de elasticidad de: 4157 MPa del ensayo a tracción, 3425 MPa del ensayo a flexión y una energía absorbida de 5,2 J del ensayo de impacto [3].

La revista tecnológica ESPOL, publicó el artículo científico realizado por los Ingenieros P. Pontón y V.Guerrero de la Escuela Politécnica Nacional con el tema: “OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE ABACÁ MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN MANUAL”, donde se concluyó:

Las fracciones volumétricas admisibles para la elaboración de materiales compuestos de resina poliéster con fibra de abacá fueron de 0,35 para los compuestos de fibra corta de 5 mm, de 0,30 para fibra corta de 10 mm y la fibra continua colocada longitudinalmente. El material compuesto con fracción volumétrica del 0.30 presentó un módulo de elasticidad de 3990 MPa a tracción y para los materiales elaborados con fibra corta de 5 mm el módulo a flexión aumentó entre el 42 al 63% en las diferentes fracciones volumétricas [4].

En el año 2018, en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato, el Señor Daniel Vargas, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica, desarrolló la investigación referente al tema: “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ

POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE HOJA DE TUNA EN USOS INDUSTRIALES”, donde concluyó:

Que la configuración entrecruzada concede mejores propiedades mecánicas, además, el grupo que sobresalió fue el constituido de 30% de refuerzo y 70% de matriz, con un esfuerzo máximo a flexión de 24,98 MPa y módulo de elasticidad de 2500 MPa, un esfuerzo máximo a tracción de 7,09 MPa y módulo de elasticidad de 350,7 MPa y 1,87 Joules de energía de impacto, considerándose como la configuración más apta para aplicaciones industriales [5].

Entre otras investigaciones realizadas en la Universidad Técnica de Ambato, Carrera de Ingeniería Mecánica, tenemos la elaborada por la Señorita Morayma de los Ángeles Balladares en el 2017, con el tema: “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE PLANTA DE MORA (RUBUS GLAUCUS) EN PARTES INTERIORES DE CARROCERÍAS DE LA INDUSTRIA CARROCERA DE TUNGURAHUA.”, donde se determinó que:

La combinación más favorable es la elaborada con fibra larga y formada por 30% de refuerzo y 70% de matriz, pertenecientes al grupo 6, dando los siguientes resultados promedios: esfuerzo máximo de tracción de 18,62 MPa y un módulo de elasticidad de 746,78 MPa, un esfuerzo máximo de flexión de 46,90 MPa y un módulo de flexión de 3405,23 MPa y 1,2156 J en los ensayos de impacto, por lo que, los valores cumplen con las mínimas propiedades mecánicas solicitadas para su aplicación en la industria carrocera en la elaboración de partes internas [6].

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General:

Evaluar el comportamiento mecánico de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de cabello humano.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Determinar la fracción volumétrica del material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de cabello humano.

Se realizó la elaboración del material compuesto en base a tres configuraciones de la fracción volumétrica 70% - 30%, 80% - 20% y 90% - 10%, de matriz y refuerzo respectivamente.

- Determinar la densidad del cabello humano.

Para calcular la densidad de la fibra se aplicó el método gravimétrico, el cual se basa en el principio de Arquímedes, para lo cual se utilizó 5 muestras y se obtuvo su valor promedio mediante la aplicación de la ecuación 1.8.

- Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de cabello humano mediante ensayos a flexión, tracción e impacto del material bajo normas ASTM.

Se realizó los diferentes ensayos para conocer las propiedades mecánicas, con lo que se obtuvo el esfuerzo máximo (MPa) y módulo de elasticidad (MPa) tanto a tracción y flexión aplicando la Norma ASTM D 3039 y la ASTM D 7264 respectivamente, y se calculó la energía absorbida (J) según los requerimientos de la Norma ASTM D 5628 para ensayos de impacto.

- Determinar la combinación del material compuesto que brinde las mejores propiedades mecánicas.

Mediante la aplicación del método estadístico de distribución T-Student, se evaluó los diferentes grupos de probetas, para conocer la mejor combinación que ofrezca excelentes propiedades mecánicas para su posible aplicación industrial.

1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.3.1 Materiales compuestos

Se denomina material compuesto a la composición de materiales formados a partir de la unión de dos o más elementos, originando uno nuevo con propiedades diferentes.

Se identifica dos partes: una continua, formada por la matriz, y la discontinua, conocida como refuerzo. Los componentes de un material compuesto no se deben disolver totalmente entre ellos [7].

1.3.1.1 Matriz

Es el elemento que se muestra en fase continua y actúa como ligante [8]. Las principales funciones son: especificar las propiedades tanto físicas como químicas, proteger y brindar cohesión y ayuda a transferir las cargas al refuerzo [9]. La matriz presenta las siguientes características cuando se somete al material compuesto a distintas cargas mecánicas:

- En compresión, la matriz es el elemento que soporta el esfuerzo.
- En tracción, la matriz se encarga de transmitir la carga hacia las fibras, las mismas que soportan el esfuerzo [10].

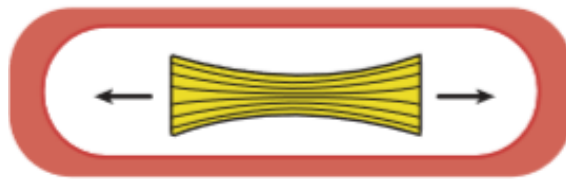


Figura 1. Material compuesto sometido a tracción [10].

1.3.1.2 Refuerzo

Componente que se muestra en fase discontinua, considerado como el elemento resistente. Ocupa un papel esencial, es utilizado para incrementar las propiedades mecánicas, entre las cuales tenemos la rigidez y la resistencia, además, es empleado con finalidad de mejorar el comportamiento a elevadas temperaturas.

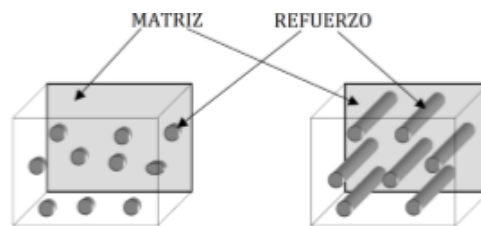


Figura 2. Matriz y refuerzo [11].

1.3.2 Clasificación de los materiales compuestos

Según el tipo de matriz, se puede identificar:

- Matriz metálica.
- Matriz cerámica.
- Matriz polimérica.

Según el tipo de refuerzo:

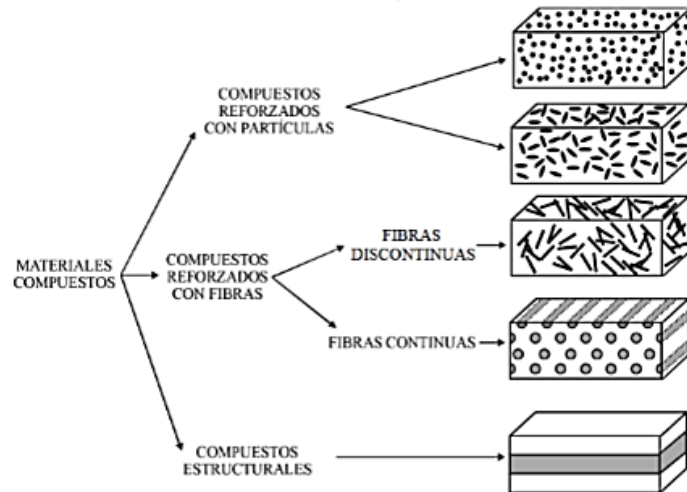


Figura 3. Clasificación según el tipo de refuerzo [11].

1.3.3 Tipos de matriz

1.3.3.1 Materiales compuestos de matriz metálica

Generalmente son reforzadas con partículas metálicas. Un ejemplo de materiales compuestos de matriz metálica son las aleaciones de aluminio reforzados con partículas de alúmina y carburo de silicio.

Cuando se trabaja con este tipo de matrices, el refuerzo debe cumplir ciertos requerimientos como:

- Elevado módulo de elasticidad, resistencia y rigidez.
- Poseer una baja densidad, compatibilidad química y mecánica.
- Conservar estabilidad térmica.
- Elevada resistencia a la compresión y a la tracción.

1.3.3.2 Materiales compuestos de matriz cerámica

Estos materiales mejoran ciertas propiedades mecánicas entre las cuales tenemos la resistencia y tenacidad. Son manejadas en aplicaciones de elevadas temperaturas. Generalmente, son reforzadas con fibras cerámicas. Las principales fibras de refuerzo utilizadas son las de carburo de silicio y las de óxido de aluminio.

1.3.3.3 Materiales compuestos de matriz polimérica

Son muy utilizados por la versatilidad de polímeros, permiten trabajar a temperatura ambiente, presentan baja densidad, facilidad de conformado y excelentes propiedades mecánicas, son aquellos que presentan la matriz formada por un polímero y el refuerzo

por la fibra. Entre las fibras utilizadas tenemos las de origen vegetal, fibra de carbono, de vidrio, entre otras.

1.3.4 Tipos de matrices poliméricas

1.3.4.1 Matriz termoestable

Estos polímeros no logran fluir por efecto de la temperatura, para que puedan ser remodelados, por lo que no pueden reutilizarse. Las cadenas poliméricas de su estructura molecular se encuentran entrecruzadas. Poseen mayor dureza, resistencia y fragilidad en comparación con los termoplásticos. Entre las cuales tenemos la resina poliéster, la resina viniléster, las epoxi y las fenólicas.



Figura 4. Estructura molecular de las matrices poliméricas [7].

1.3.4.2 Matriz termoplástica

Poseen la particularidad que al calentarse a cierta temperatura pueden ser derretidos, de modo que su forma cambia, además, son considerados como reversibles. Entre los polímeros termoplásticos más usados tenemos: el polietileno, el policloruro de vinilo, el poliestireno, entre otros.

1.3.4.3 Matriz elastomérica

Pueden deformarse de manera notoria por efecto de la acción de esfuerzos, la recuperación de sus formas iniciales se da cuando se dejan de aplicar los esfuerzos. Entre los cuales tenemos el caucho natural, sintético, el caucho nitrilo, etc [11].

1.3.5 Resina poliéster

Son consideradas con un 90% de consumo, como las matrices termoestables más utilizadas. Posee un contenido de estireno entre porcentajes del 30 y 50% en peso. Además, se usa como catalizador el MEK o denominado metiletilcetona [12].

1.3.5.1 Propiedades de la resina poliéster

Es complicado establecer las propiedades de las resinas poliéster por la gran variedad que existe y a la diferente composición con la que se formula cada una de ellas, a

continuación, se detalla las principales propiedades de la resina POL 33000 utilizada en la elaboración de las probetas.

Tabla 1. Propiedades de la resina poliéster POL 33000 [13].

Propiedad	Método	Unidad	Valor
Densidad	Gravimétrico	g/cm ³	1.058
Tensión			
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	MPa	45
Módulo	ASTM D638	GPa	3.60
Deformación	ASTM D638	%	2.40
Flexión			
Esfuerzo de flexión	ASTM D790	MPa	113
Módulo	ASTM D790	GPa	3.77
Deformación	ASTM D790	%	3.52
Otras propiedades			
Absorción del agua	ASTM D570	%	0.10

1.3.6 Tipos de resinas poliéster

1.3.6.1 Ortoftálicas: Entre este grupo de resinas, son las más frecuentes y de menor costo. Absorben hasta un 2.5% de agua.

1.3.6.2 Isoftálicas: Poseen mejores propiedades mecánicas que las resinas ortoftálicas. Gran número de gelcoats en la industria naval son elaborados en base a esta resina.

1.3.6.3 Bisfenólicas: De elevado costo, poseen mejores propiedades químicas y mecánicas que las resinas isoftálicas y las ortoftálicas. Son muy utilizadas en aplicaciones de medios corrosivos.

1.3.6.4 Isoftálicas NPG: Estas resinas sustituyen el propilen glicol por neopentil glicol, de manera que incrementan notoriamente la resistencia química de la resina isoftálica.

1.3.7 Proceso de curado

Se denomina a la etapa en el que la resina cambia de estado líquido a estado sólido. Para que la reacción en el proceso de polimerización y el cambio de estado de la resina ocurra con mayor facilidad, es sustancial añadir el catalizador o denominado iniciador y el acelerador o conocido como activador.

El catalizador se encarga de provocar el inicio de la reacción se basa principalmente en peróxidos orgánicos, los mismos que se añaden a la resina en porcentajes entre el 1 y 3%. El acelerador se selecciona según el catalizador, en procesos de curado a temperatura ambiente, las sales de cobalto orgánicas suelen ser el acelerador y los porcentajes mínimos requeridos son entre el 0.1 y 0.3%.

El curado de la resina poliéster se lleva a cabo en básicamente tres etapas:

- **Gelificación**, es el proceso en donde la resina se convierte de líquido fluyente a un gel blando.
- **Endurecimiento**, proceso en el cual la resina pasa de un gel blando a un material endurecido que puede ser extraído del molde.
- **Curado final**, es el último proceso en el cual la resina obtiene sus propiedades mecánicas y químicas.

1.3.7.1 Factores del proceso de curado

- La temperatura ambiente, la gran mayoría de las resinas no curan a temperaturas menores a los 16 °C.
- La humedad relativa se debe mantener entre los 40 y 54 %.
- La naturaleza y cantidad tanto del catalizador como del acelerador.
- El aumento de la temperatura del proceso reduce el tiempo de gelificación, por lo que a temperatura ambiente no se debe exceder los 27 °C [12].

1.3.8 Materiales reforzados con fibras

Son ampliamente usados debido a que al momento de añadir fibras a los materiales que se utilizan como matriz, sus propiedades mejoran notoriamente tales como: la resistencia, rigidez, dependiendo de la naturaleza de sus componentes. La función de la matriz es unir y soportar las fibras.

Entre las características importantes que permiten conocer las propiedades mecánicas de los materiales compuestos tenemos: la longitud, concentración y orientación de la fibra. Además, el largo del refuerzo (fibra) interviene en la magnitud de la aplicación de una carga, la misma que se transfiere a la fibra mediante la matriz.

1.3.9 Influencia de la longitud de la fibra

Las propiedades mecánicas de un material compuesto fortalecido con fibra no dependen solo de las características que posee la fibra, sino, además, del grado en que la carga aplicada es transferida de la matriz hacia la fibra. En este punto es esencial asegurar la unión fibra-matriz [13]. En la figura 5, se puede observar la deformación producida en la matriz.

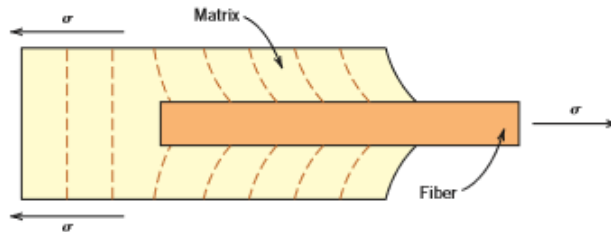


Figura 5. Deformación producida en la matriz sujeta a carga de tracción [14].

1.3.10 Influencia de la orientación de las fibras y la concentración

La disposición u orientación de las fibras, la concentración y distribución de la misma, tiene gran influencia en las propiedades de los composites reforzados con fibra como la resistencia mecánica. En cuanto a su orientación existen las siguientes posibilidades: a) alineación paralela del eje longitudinal de las fibras en una sola dirección (fibras continuas y discontinuas) y b) alineación totalmente aleatoria [14].

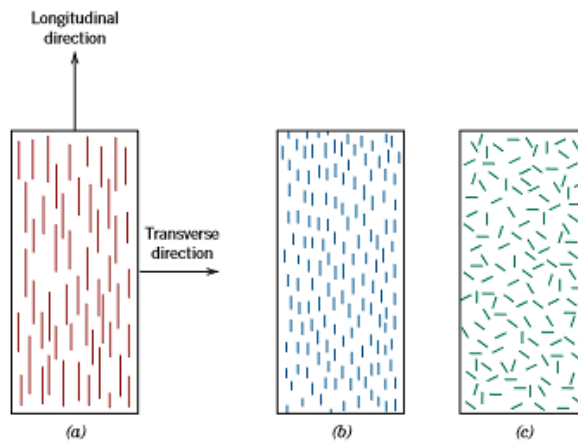


Figura 6. Orientación de la fibra: a) Continua y alineada b) Discontinua y alineada y c) Discontinua al azar [14].

1.3.11 Fibras

Con la investigación acerca de nuevos materiales, se empezó con el uso de las fibras como material de refuerzo en distintos tipos de matrices, con la finalidad de mejorar las propiedades en materiales compuestos conocidos como composites, además, estos

refuerzos se añaden a la matriz con la finalidad de conferir alguna propiedad que anteriormente no poseía [15], [16].

1.3.11.1 Clasificación de las fibras

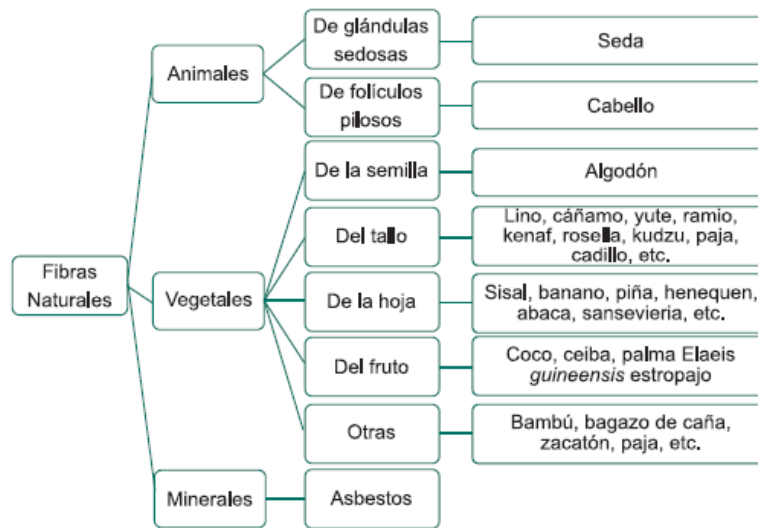


Figura 7. Clasificación de las fibras [17].

1.3.11.2 Fibras convencionales

Son las fibras más comunes, entre las cuales se encuentran: fibra de carbono, las poliméricas y la fibra de vidrio perteneciente a las inorgánicas, la cual es muy usada debido a su elevada resistencia y costo asequible.

Tabla 2. Propiedades a tracción de fibras convencionales [11].

Fibra	Módulo (GPa)	Resistencia (GPa)	Densidad (g/cm ³)	Deform. Rotura [%]
FIBRAS ORGÁNICAS				
Kevlar 29	65	2,8	1,44	4,0
Kevlar 49	125	3,5	1,44	2,3
Kevlar 149	185	3,4	1,47	-
FIBRAS INORGÁNICAS				
Vidrio E	75	3,5	2,58	4
Vidrio S	90	4,5	2,46	-
Vidrio C	69	3,3	2,49	-
FIBRAS TEXTILES				
Poliéster (PET)	3-10	0,4-0,8	1,39	-
Nylon 66	1-5	0,3-0,8	1,14	-

1.3.11.3 Fibras naturales

Las fibras naturales se han convertido en un refuerzo atractivo para los compuestos poliméricos desde el aspecto económico y ecológico. Hay un aumento en la conciencia ambiental que ha despertado un interés en el desarrollo de materiales biodegradables. Las fibras biológicas o naturales pueden obtenerse de recursos naturales como plantas, animales o minerales.

1.3.12 Fibra de cabello humano

El cabello es considerado como un filamento de proteína que se desarrolla a partir de los folículos que se hallan en la dermis o piel. La fibra de cabello es un significativo biomaterial compuesto en especial de proteínas, principalmente de queratina. Las queratinas son proteínas, cadenas largas (polímeros) de aminoácidos [18].

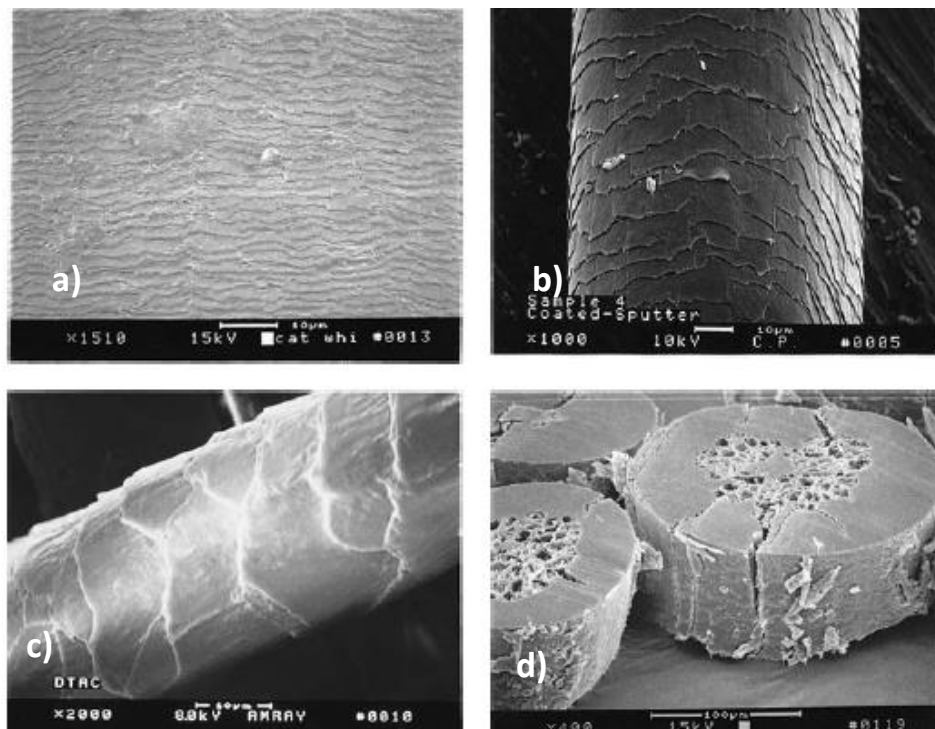


Figura 8. Fibras capilares de diferentes especies de mamíferos: a) micrografía electrónica de barrido (SEM) de un bigote de gato (1.510x); b) SEM de una fibra de cabello humano (1,000x); c) SEM de una fibra de lana (2,000x); d) SEM de secciones de fibra de cola de caballo (400x) [19]

1.3.12.1 Propiedades de la fibra de cabello humano

El cabello está compuesto de los siguientes elementos:

Tabla 3. Elementos presentes en el cabello [2].

Nombre del elemento	Cantidad
Carbono	50.65%
Oxígeno	20.85%
Nitrógeno	17.14%
Hidrógeno	6.36%
Azufre	5%

Tabla 4. Aminoácidos presentes en el cabello humano normal [2].

Aminoácido	Cantidad en residuos extraídos
Cisteína	17.5
Serina	11.7
Ácido glutámico	11.1
Treonina	6.9
Glicina	6.5
Leucina	6.1
Valina	5.9
Arginina	5.6
Ácido aspártico	5
Alanina	4.8
Prolina	3.6
Isoleucina	2.7
Tirosina	1.9
Fenilalanina	1.4
Histidina	0.8
Metionina	0.5

Tabla 5. Propiedades de la fibra de cabello humano [2].

Densidad g/cm³	Módulo de Young (GPa)	Coefficiente de Poisson
1.34	1.74-4.15	0.36-0.39

1.3.12.2 Partes de la fibra de cabello

La sección transversal del tallo del cabello humano presenta:

- La cutícula, que radica en varias capas de células planas y delgadas colocadas una sobre la otra como tejas.
- La corteza, que posee los haces de queratina en las estructuras celulares.

- La médula, como se observa en la figura 9, posee un área desorganizada y abierta en la parte media de la fibra [18].

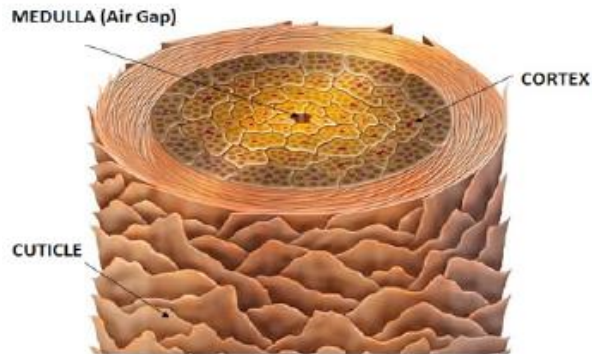


Figura 9. Partes de la fibra de cabello [18].

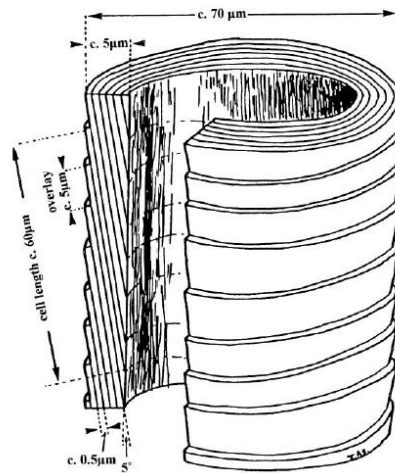


Figura 10. Diagrama esquemático de la cutícula del cabello humano que ilustra sus dimensiones y capas [19].

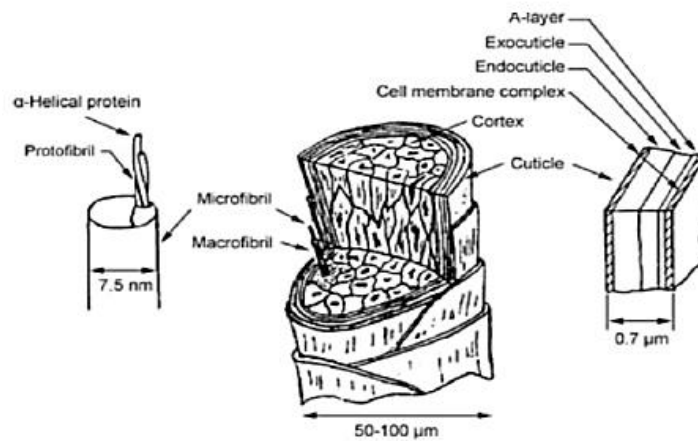


Figura 11. Esquema de la estructura de la fibra capilar que ilustra las subestructuras de la cutícula y la corteza [19].

1.3.13 Moldeo del material compuesto

1.3.13.1 Estratificación a compresión

Este método procede del estampado de placas metálicas. Se utilizan moldes macho y hembra según la geometría del elemento, donde cantidades de fibra y de resina se colocan en el molde, al cual es aplicada una presión relativamente elevada. Esta técnica es muy usada para materiales termoestables y termoplásticos, donde básicamente se intercala láminas de matriz y de refuerzo colocados dentro de un molde que es consecutivamente prensado.

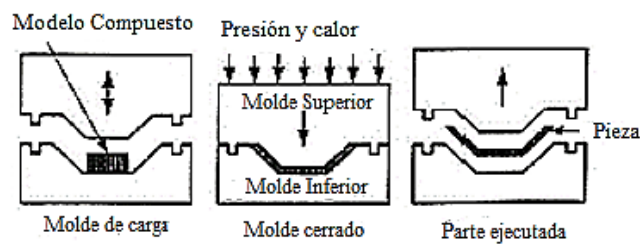


Figura 12. Moldeo por compresión [16].

1.3.13.2 Estratificación manual

Este método es considerado como una técnica fácil y de bajo costo, aprovecha las ventajas de la matriz poliéster en su fase de curado, además, no requiere del aporte de calor externo, ni tampoco de una elevada presión de moldeo.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Adicionar al molde un agente desmoldante de tal manera que al finalizar el proceso se pueda retirar fácilmente la pieza.
2. Se procede aplicar el gelcoat con ayuda de una brocha o un rodillo.
3. Una vez que exista curado parcial, se debe ubicar capas de material de refuerzo y se coloca resina catalizada sobre cada una de estas capas.
4. Finalmente, a temperatura ambiente esperar el curado del componente y retirarlo del molde [16].

En la figura 13, se puede observar el moldeo manual donde se utiliza un rodillo sobre la superficie, el mismo que ayuda en la impregnación del refuerzo y evita lo más posible la creación de burbujas.

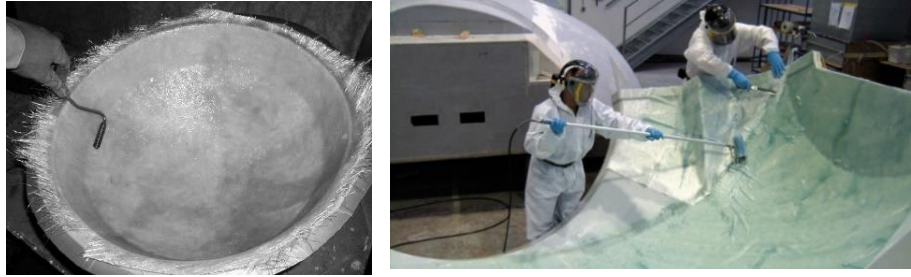


Figura 13. Moldeo manual [16].

1.3.14 Ensayos destructivos para materiales compuestos

Estos ensayos mecánicos permiten la evaluación de las diferentes propiedades mecánicas de materiales compuestos mediante la aplicación de máquinas especializadas bajo normas, tales como: ISO, ASTM y la INEN.

El presente trabajo de investigación se basa en la aplicación de las normas ASTM para los distintos ensayos a realizar.

1.3.14.1 Ensayo de tracción

Radica en someter a un esfuerzo axial de tracción creciente a una probeta correctamente normalizada, hasta llegar al punto en donde se genera la rotura.

La Norma ASTM D 3039 explica que, mediante las mordazas se sujeta de un extremo a la probeta, de tal manera que no exista deslizamiento en el momento de realizar la aplicación de cargas.

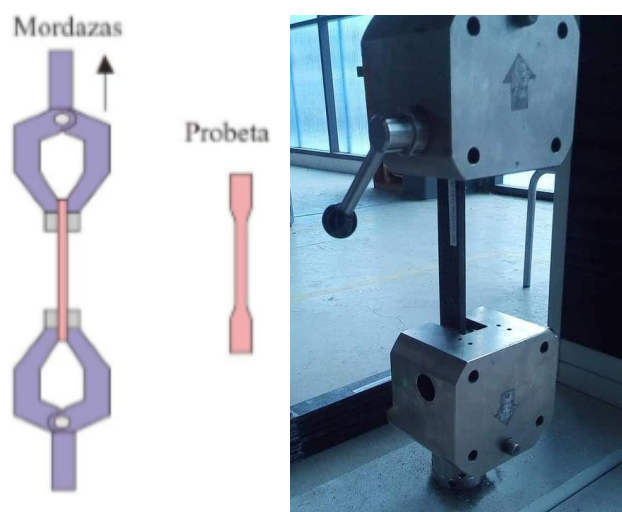


Figura 14. Máquina MTE-50

Fuente: Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

Cálculos para ensayos de tracción

Resistencia máxima a la tracción

Para calcular la resistencia máxima de tracción se aplica la ecuación 1.1.

$$\sigma_{\max(t)} = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec 1.1})$$

Donde:

$\sigma_{\max(t)}$: Esfuerzo máximo de tracción (MPa)

F : Fuerza máxima antes de la ruptura (N)

A : Área de la sección transversal de la probeta (mm^2)

Deformación plástica (%)

Para calcular la deformación plástica se aplica la ecuación 1.2.

$$\varepsilon = \left(\frac{l_f - l_i}{l_i} \right) \times 100 \quad (\text{Ec 1.2})$$

Donde:

ε : Porcentaje de deformación

l_f : Longitud final de la probeta (mm)

l_i : Longitud inicial de la probeta (mm)

Módulo de elasticidad

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Ec 1.3})$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad (MPa)

σ = Esfuerzo máximo

ε = Elongación

1.3.14.2 Ensayo de flexión

Para la ejecución de este ensayo se utiliza la norma ASTM D7264, la técnica ocupada consiste básicamente en tres puntos de carga, uno central con apoyos simples, se establece la resistencia bajo cargas a flexión, la distancia establecida entre los apoyos es de 140 mm.

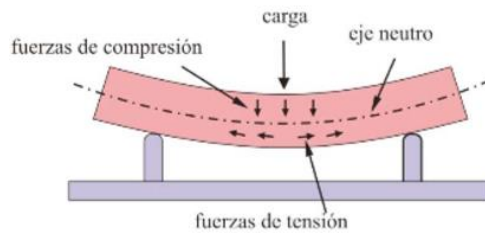


Figura 15. Fuerzas implicadas en los ensayos de flexión [20].

Para este tipo de ensayos de igual forma se utiliza la máquina universal MTE-50, con la diferencia que se cambia los adimentos que son el indentador y las bases.

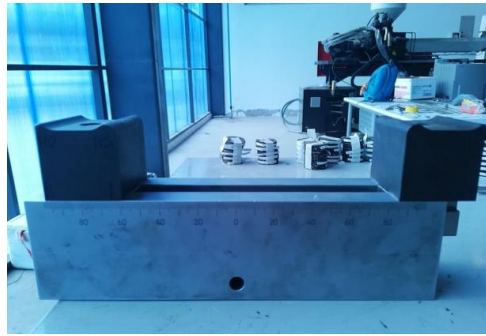


Figura 16. Equipo para ensayos a flexión en máquina universal MTE-50.

Fuente: Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

Cálculos para ensayos de flexión

Resistencia máxima de flexión

Para calcular la resistencia máxima de flexión se aplica la ecuación 1.4.

$$\sigma_{\max(f)} = 3FL / 2bh^2 \quad (\text{Ec 1.4})$$

Donde:

$\sigma_{\max(f)}$: Resistencia máxima a flexión (MPa)

F : Fuerza máxima aplicada (N)

L : Longitud entre apoyos (mm)

b : Ancho de probeta (mm)

h : Espesor de probeta (mm)

Deformación unitaria

Para calcular la deformación unitaria se aplica la ecuación 1.5.

$$\epsilon = 6\delta h / L^2 \quad (\text{Ec 1.5})$$

ϵ : Deformación unitaria máxima (mm/mm)

δ : Deflexión de la probeta (mm)

h : Espesor de probeta (mm)

L : Longitud entre apoyos (mm)

Módulo de elasticidad o Módulo de Young

Para calcular el módulo de elasticidad se aplica la ecuación 1.6.

$$E = \frac{FL^3}{4bh^3\delta} \quad (\text{Ec 1.6})$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad o módulo de Young (MPa)

F : Fuerza máxima aplicada (N)

L : Longitud entre los apoyos (mm)

b : Ancho de la probeta (mm)

h : Espesor de la probeta (mm)

δ : Deflexión de la probeta (mm)

1.3.14.3 Ensayos de impacto por caída de dardo

Se aplica la norma ASTM D5628, mediante la cual se analiza la energía de falla del material, donde sí se genera fisuras producto de la caída del dardo a determinada altura sobre la probeta se considera falla [21].

Para calcular la cantidad de energía se aplica la ecuación 1.7.

$$MEF = h \cdot w \cdot f \quad (\text{Ec 1.7})$$

Donde:

MEF : Resistencia máxima al impacto o Energía máxima de ruptura (J).

h : Altura máxima de ruptura (mm).

w : Masa máxima de ruptura (Kg).

f : Factor para conversión a Joules.



Figura 17. Máquina de impacto por caída de dardo.

Fuente: Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.4 HIPÓTESIS

El estudio del material compuesto de resina poliéster reforzada con fibra de cabello humano permitirá la determinación de las propiedades mecánicas más aptas para futuras aplicaciones industriales.

1.5 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

1.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Material compuesto con matriz polimérica reforzada con fibra de cabello humano.

1.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE





Propiedades mecánicas.






CAPÍTULO II







METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

Tabla 6. Listado de materiales y equipos

Fibra de cabello humano	
Cobalto	
Peróxido	
Estireno	

Resina poliéster	
Jeringuilla de 5 y 10 ml	
Cera desmoldante	
Recipientes de plástico	
Guantes de látex	

<p>Probeta graduada</p>	
<p>Cernidor</p>	
<p>Mascarilla</p>	
<p>Espátula</p>	
<p>Tijera</p>	
<p>Destornillador plano</p>	

Llave de dados	
Guaípe	
Mandil	
Moldes	
Balanza	

Fuente. La autora

2.2 MÉTODOS

2.2.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.2.1.1 Exploratorio

En este nivel de investigación se utilizó el método exploratorio, elaborando un nuevo material compuesto, formado de resina poliéster con fibras de cabello humano, realizando distintas configuraciones y de tal manera poder hallar la combinación más apta para aplicaciones industriales.

2.2.1.2 Descriptivo

Este método es aplicable para la descripción de las propiedades físicas y mecánicas del nuevo material compuesto, para conocer el comportamiento de las distintas configuraciones, mediante la realización de los ensayos de tracción, flexión e impacto y la especificación de los resultados en las fichas técnicas.

2.2.1.3 Bibliográfico

Para el presente trabajo experimental se recolectó información de tesis publicadas en el país como fuera de él, de libros, artículos científicos, páginas web, entre otras fuentes bibliográficas, las mismas que ayudan en la elaboración de los distintos ensayos para poder obtener resultados correctos y coherentes.

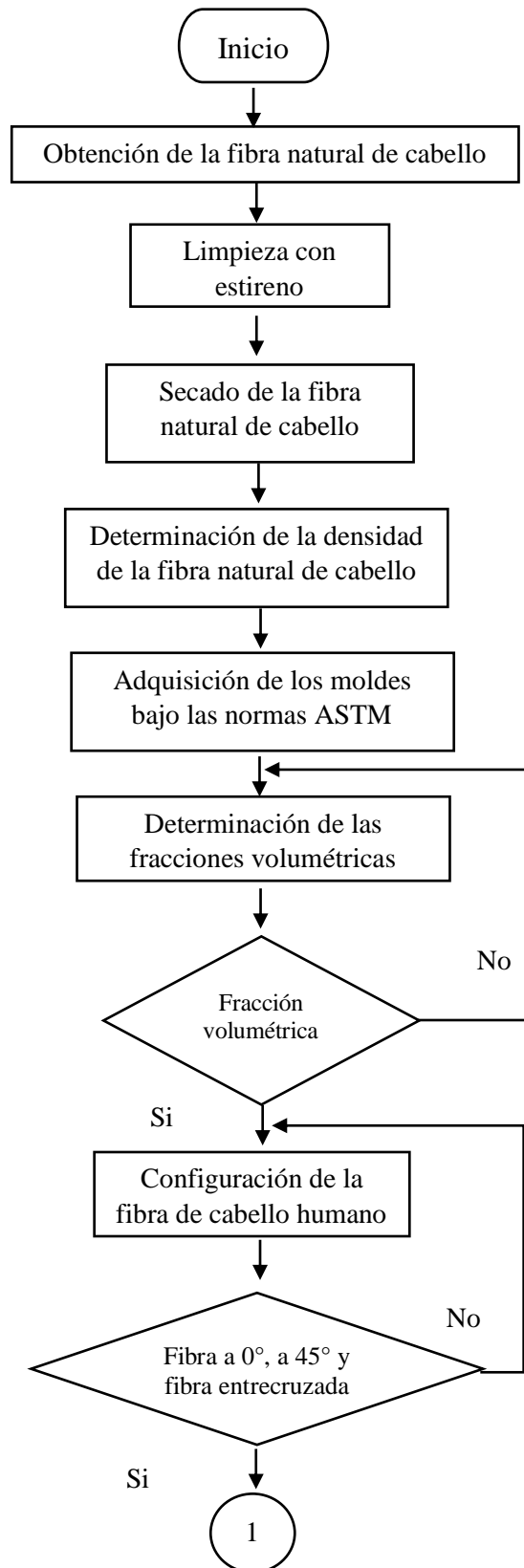
2.2.1.4 Experimental

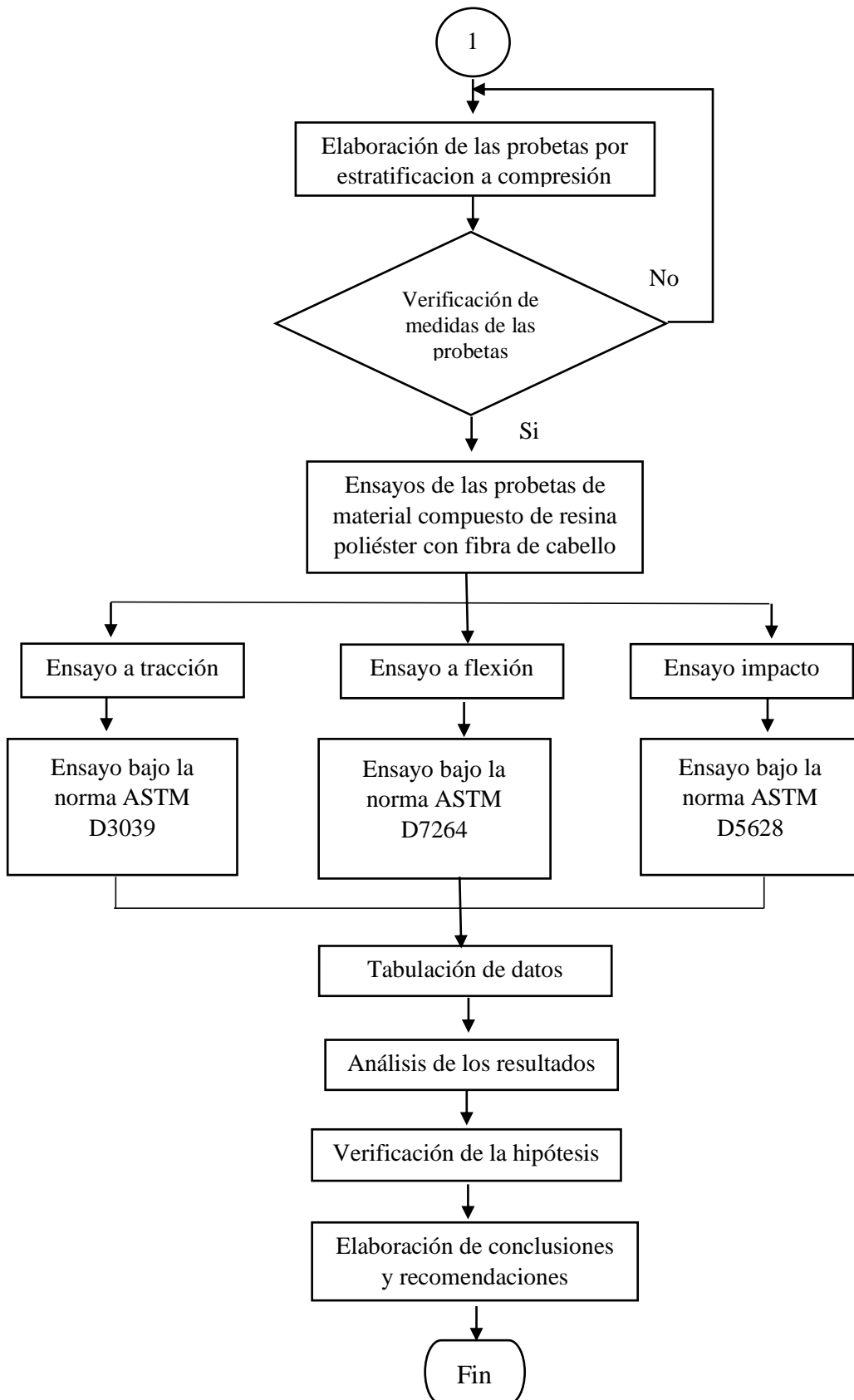
Este tipo de investigación es experimental, debido a que mediante la elaboración de probetas para los diferentes ensayos y con los resultados adquiridos de las pruebas, se consiguió aptitud en aplicaciones industriales.

METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

2.2.2 DIAGRAMA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

A continuación, se presenta el diagrama de proceso, en donde se describe paso a paso la elaboración del material compuesto.





2.2.3 PROCEDIMIENTO

2.2.3.1 Obtención de la fibra natural de cabello humano

Las fibras naturales de cabello humano utilizadas para el presente trabajo experimental con fines investigativos, fueron obtenidas de pequeños locales que brindan servicio de peluquería, ubicados en la ciudad de Latacunga y Ambato, para lo cual se cortó el cabello a una cierta cantidad de mujeres para la fibra larga y a hombres para la fibra corta. En los últimos años, los productos biológicos se han convertido en un interesante refuerzo para los materiales compuestos, desde el punto de vista económico y ecológico.



Figura 18. Obtención de la fibra de cabello.

Fuente: Autora

2.2.3.2 Limpieza de la fibra de cabello humano

Debido a que la fibra de cabello humano posee grasa se realizó la limpieza de la misma, siguiendo el siguiente procedimiento:

- 1) Cortar la fibra de cabello.



Figura 19. Corte de la fibra de cabello.

Fuente: Autora

- 2) Sumergir la fibra en un recipiente con estireno y dejarlo reposar por una hora.



Figura 20. Colocación del estireno
Fuente: Autora

- 3) Posteriormente retirar del recipiente y dejar secar, para que exista una correcta adhesión fibra-matriz.



Figura 21. Secado de la fibra de cabello.
Fuente: Autora

En la figura 22, se puede observar los residuos de grasa y e impurezas después de la limpieza del cabello.



Figura 22. Impurezas de la fibra de cabello.
Fuente: Autora

2.2.3.3 Cálculo de la densidad de la fibra de cabello humano

Se utilizó el método gravimétrico para obtener la densidad de la fibra de cabello humano, se aplicó la ecuación 1.8:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Ec 1.8})$$







Donde:

ρ : Densidad (g/cm³)

m : Masa (g)

v : Volumen (cm³)

Tabla 7. Obtención de densidad de la fibra

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE DENSIDADES			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	03/02/2019	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica		
Autora:	Anahí Reinoso	Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de método:	Método gravimétrico	Principio:	Arquímedes
Fibra:	Cabello humano natural	Temperatura:	Ambiente
Tipo de resina:	Resina poliéster	Densidad teórica:	-----
PROCEDIMIENTO			
<p>1. Pesar la fibra natural de cabello sin limpiar y también realizado el proceso de limpieza, para poder observar las diferencias, el valor real utilizado será el último.</p>			
			
Muestra 1 sin limpiar		Muestra 1 limpia	
			
Muestra 2 sin limpiar		Muestra 2 limpia	



Muestra 3 sin limpiar



Muestra 3 limpia



Muestra 4 sin limpiar



Muestra 4 limpia



Muestra 5 sin limpiar



Muestra 5 limpia

Como podemos observar en las imágenes existe una reducción en el peso de las diferentes muestras, esto se debe a que en el proceso de limpieza de la fibra con el estireno se desprende grasa y otras impurezas adheridas al cabello.

2. En una probeta graduada medir 55 ml de resina poliéster.



3. Colocar la fibra en la resina poliéster y medir el incremento de volumen.



Muestra 1



Muestra 2



Muestra 3



Muestra 4



Muestra 5

4. Calcular la densidad con los datos obtenidos.

RESULTADOS

Muestra	Masa (g) Fibra lavada	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación de volumen (cm ³)	Densidad (g/ cm ³)
1	3.9	55	58	3	1.3
2	3.2	55	57	2	1.6
3	3.6	55	57	2	1.8
4	3.5	55	58	3	1.17
5	4.1	55	58	3	1.37
Promedio					1.448

Fuente: La autora

La densidad promedio obtenida fue de 1.448 (g/cm³).

2.2.3.4 Cálculo de la densidad de la resina poliéster

Para calcular la densidad de la resina poliéster se utilizó de igual forma el método gravimétrico, los datos fueron tomados del proyecto de investigación elaborado por el Ing. Segundo Espín ya que se trabajó con el mismo tipo de resina, en donde se obtuvo una densidad de 1.058 g/cm³ [22].

2.2.3.5 DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DEL REFUERZO Y LA MATRIZ

Para la determinación de las fracciones volumétricas de la matriz y del refuerzo, se debe realizar el cálculo del área y el volumen de los moldes, para la elaboración de cada probeta, además, se calculó la masa de fibra natural de cabello humano para las distintas probetas.

a) PROBETA A TRACCIÓN

Las dimensiones de las probetas se establecieron de acuerdo a la Norma ASTM D3039, como lo indica la figura 23.

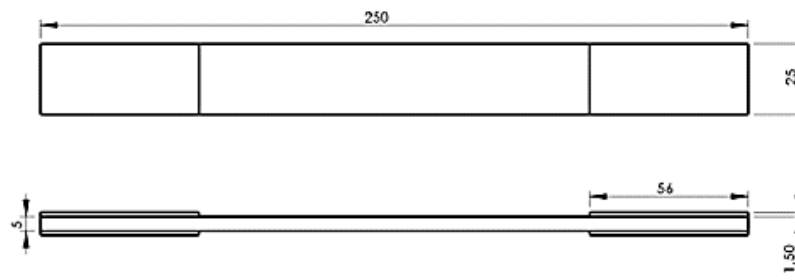


Figura 23. Dimensiones de la probeta a tracción [21].

• Cálculo de área

$$A = l * a \quad (\text{Ec 1.9})$$

Donde:

A: Área de la probeta (mm²)

a: Ancho de la probeta (mm)

l: Largo de la probeta (mm)

$$A = 250 \text{ mm} * 25 \text{ mm}$$

$$A = 6250 \text{ mm}^2 = 62.50 \text{ cm}^2$$

- **Cálculo de volumen**

$$V = A * e \quad (\text{Ec 1.10})$$

Donde:

A : Área de la probeta (cm^2)

V_T : Volumen total de la probeta (cm^3)

e : Espesor de la probeta (cm)

$$V_T = 62.50 \text{ cm}^2 * 0.5 \text{ cm}$$

$$V_T = 31.25 \text{ cm}^3$$

$$V_T = V_F + V_M \quad (\text{Ec 1.11})$$

Donde:

V_F : Volumen del refuerzo (cm^3)

V_M : Volumen de la matriz (cm^3)

m_F : Masa del refuerzo (g)

- **PROBETAS TIPO A**

Fracción I para la matriz: 70 % de resina poliéster

31.25 cm^3	→	100%
V_M	→	70%

$$V_M = 21.875 \text{ cm}^3$$

Fracción I para el refuerzo: 30 % de fibra de cabello humano

$$V_F = V_T - V_M$$

$$V_F = 31.25 \text{ cm}^3 - 21.875 \text{ cm}^3$$

$$V_F = 9.375 \text{ cm}^3$$

De la ecuación 1.8 despejamos la masa del refuerzo:

$$m_F = \rho * V_F$$

$$m_F = 1.448 \frac{g}{cm^3} * 9.375 \text{ cm}^3$$

$$m_F = 13.6 \text{ g}$$

Como se elaboró 21 probetas, la masa necesaria para las probetas tipo A fue de:

$$m_{T(A)t} = 21 * 13.6 \text{ g}$$

$$m_{T(A)t} = 285.6 \text{ g}$$

- **PROBETAS TIPO B**

Fracción II para la matriz: 80 % de resina poliéster

$$\begin{array}{ccc} 31.25 \text{ cm}^3 & \longrightarrow & 100\% \\ V_M & \longrightarrow & 80\% \\ & & V_M = 25 \text{ cm}^3 \end{array}$$

Fracción II para el refuerzo: 20 % de fibra de cabello humano

$$\begin{aligned} V_F &= V_T - V_M \\ V_F &= 31.25 \text{ cm}^3 - 25 \text{ cm}^3 \\ V_F &= 6.25 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

De la ecuación 1.8 despejamos la masa del refuerzo:

$$\begin{aligned} m_F &= \rho * V_F \\ m_F &= 1.448 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 6.25 \text{ cm}^3 \\ m_F &= 9.05 \text{ g} \end{aligned}$$

Como se elaboró 21 probetas, la masa necesaria para las probetas tipo B fue de:

$$\begin{aligned} m_{T(B)t} &= 21 * 9.05 \text{ g} \\ m_{T(B)t} &= 190.05 \text{ g} \end{aligned}$$

- **PROBETAS TIPO C**

Fracción III para la matriz: 90 % de resina poliéster

$$\begin{array}{ccc} 31.25 \text{ cm}^3 & \longrightarrow & 100\% \\ V_M & \longrightarrow & 90\% \\ & & V_M = 28.125 \text{ cm}^3 \end{array}$$

Fracción III para el refuerzo: 10 % de fibra de cabello humano

$$\begin{aligned} V_F &= V_T - V_M \\ V_F &= 31.25 \text{ cm}^3 - 28.125 \text{ cm}^3 \\ V_F &= 3.125 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

De la ecuación 1.8, despejamos la masa del refuerzo:

$$m_F = \rho * V_F$$

$$m_F = 1.448 \frac{g}{cm^3} * 3.125 cm^3$$

$$m_F = 4.525 g$$

Como se elaboró 21 probetas, la masa necesaria para las probetas tipo C fue de:

$$m_{T(C)t} = 21 * 4.525 g$$

$$m_{T(C)t} = 95.03 g$$

b) PROBETA A FLEXIÓN

Las dimensiones de las probetas se establecieron de acuerdo a la Norma ASTM D7264-07, como lo indica la figura 24.

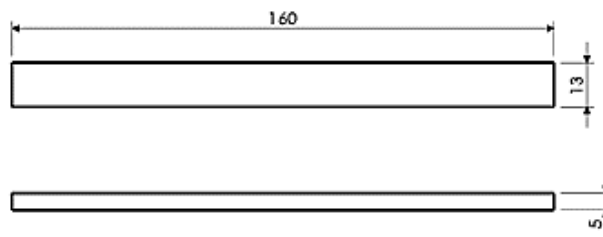


Figura 24. Dimensiones de la probeta a flexión [21].

- **Cálculo de área**

Aplicamos la ecuación 1.9:

$$A = 160 mm * 13 mm$$

$$A = 2080 mm^2 = 20.80 cm^2$$

- **Cálculo de volumen**

Aplicamos la ecuación 1.10:

$$V_T = 20.80 cm^2 * 0.5 cm$$

$$V_T = 10.4 cm^3$$

- **PROBETAS TIPO A**

Fracción I para la matriz: 70 % de resina poliéster

$10.4 cm^3$	→	100%
V_M	→	70%

$$V_M = 7.28 \text{ cm}^3$$

Fracción I para el refuerzo: 30 % de fibra de cabello humano

$$V_F = V_T - V_M$$

$$V_F = 10.4 \text{ cm}^3 - 7.28 \text{ cm}^3$$

$$V_F = 3.12 \text{ cm}^3$$

De la ecuación 1.8, despejamos la masa del refuerzo:

$$m_F = \rho * V_F$$

$$m_F = 1.448 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 3.12 \text{ cm}^3$$

$$m_F = 4.52 \text{ g}$$

Como se elaboró 21 probetas, la masa necesaria para las probetas tipo A fue de:

$$m_{T(A)f} = 21 * 4.52 \text{ g}$$

$$m_{T(A)f} = 94.92 \text{ g}$$

- **PROBETAS TIPO B**

Fracción II para la matriz: 80 % de resina poliéster

$$10.4 \text{ cm}^3 \quad \longrightarrow \quad 100\%$$

$$V_M \quad \longrightarrow \quad 80\%$$

$$V_M = 8.32 \text{ cm}^3$$

Fracción II para el refuerzo: 20 % de fibra de cabello humano

$$V_F = V_T - V_M$$

$$V_F = 10.4 \text{ cm}^3 - 8.32 \text{ cm}^3$$

$$V_F = 2.08 \text{ cm}^3$$

De la ecuación 1.8, despejamos la masa del refuerzo:

$$m_F = \rho * V_F$$

$$m_F = 1.448 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 2.08 \text{ cm}^3$$

$$m_F = 3.01 \text{ g}$$

Como se elaboró 21 probetas, la masa necesaria para las probetas tipo B fue de:

$$m_{T(B)f} = 21 * 3.01 \text{ g}$$

$$m_{T(B)f} = 63.21 \text{ g}$$

- **PROBETAS TIPO C**

Fracción III para la matriz: 90 % de resina poliéster

$$10.4 \text{ cm}^3 \quad \longrightarrow \quad 100\%$$

$$V_M \quad \longrightarrow \quad 90\%$$

$$V_M = 9.36 \text{ cm}^3$$

Fracción III para el refuerzo: 10 % de fibra de cabello humano

$$V_F = V_T - V_M$$

$$V_F = 10.4 \text{ cm}^3 - 9.36 \text{ cm}^3$$

$$V_F = 1.04 \text{ cm}^3$$

De la ecuación 1.8, despejamos la masa del refuerzo:

$$m_F = \rho * V_F$$

$$m_F = 1.448 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 1.04 \text{ cm}^3$$

$$m_F = 1.51 \text{ g}$$

Como se elaboró 21 probetas, la masa necesaria para las probetas tipo C fue de:

$$m_{T(C)f} = 21 * 1.51 \text{ g}$$

$$m_{T(C)f} = 31.71 \text{ g}$$

c) PROBETA DE IMPACTO

Las dimensiones de las probetas se establecieron de acuerdo a la Norma ASTM D5628-10, como lo indica la figura 25.

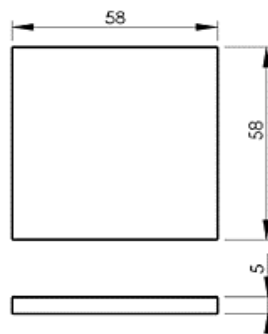


Figura 25. Dimensiones de la probeta a impacto [21].

- **Cálculo de área**

Aplicamos la ecuación 1.9:

$$A = 58 \text{ mm} * 58 \text{ mm}$$

$$A = 3364 \text{ mm}^2 = 33.64 \text{ cm}^2$$

- **Cálculo de volumen**

Aplicamos la ecuación 1.10:

$$V_T = 33.64 \text{ cm}^2 * 0.5 \text{ cm}$$

$$V_T = 16.82 \text{ cm}^3$$

- **PROBETAS TIPO A**

Fracción I para la matriz: 70 % de resina poliéster

16.82 cm^3	→	100%
V_M	→	70%

$$V_M = 11.774 \text{ cm}^3$$

Fracción I para el refuerzo: 30 % de fibra de cabello humano

$$V_F = V_T - V_M$$

$$V_F = 16.82 \text{ cm}^3 - 11.774 \text{ cm}^3$$

$$V_F = 5.046 \text{ cm}^3$$

De la ecuación 1.8, despejamos la masa del refuerzo:

$$m_F = \rho * V_F$$

$$m_F = 1.448 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 5.046 \text{ cm}^3$$

$$m_F = 7.31 \text{ g}$$

Como se elaboró 15 probetas, la masa necesaria para las probetas tipo A fue de:

$$m_{T(A)i} = 15 * 7.31 \text{ g}$$

$$m_{T(A)i} = 109.65 \text{ g}$$

- **PROBETAS TIPO B**

Fracción II para la matriz: 80 % de resina poliéster

$$\begin{array}{rcl}
 16.82 \text{ cm}^3 & \longrightarrow & 100\% \\
 V_M & \longrightarrow & 80\% \\
 V_M = 13.456 \text{ cm}^3 & &
 \end{array}$$

Fracción II para el refuerzo: 20 % de fibra de cabello humano

$$V_F = V_T - V_M$$

$$V_F = 16.82 \text{ cm}^3 - 13.456 \text{ cm}^3$$

$$V_F = 3.364 \text{ cm}^3$$

De la ecuación 1.8, despejamos la masa del refuerzo:

$$m_F = \rho * V_F$$

$$m_F = 1.448 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 3.364 \text{ cm}^3$$

$$m_F = 4.87 \text{ g}$$

Como se elaboró 15 probetas, la masa necesaria para las probetas tipo B fue de:

$$m_{T(B)i} = 15 * 4.87 \text{ g}$$

$$m_{T(B)i} = 73.05 \text{ g}$$

- **PROBETAS TIPO C**

Fracción III para la matriz: 90 % de resina poliéster

$$\begin{array}{rcl}
 16.82 \text{ cm}^3 & \longrightarrow & 100\% \\
 V_M & \longrightarrow & 90\% \\
 V_M = 15.138 \text{ cm}^3 & &
 \end{array}$$

Fracción III para el refuerzo: 10 % de fibra de cabello humano

$$V_F = V_T - V_M$$

$$V_F = 16.82 \text{ cm}^3 - 15.138 \text{ cm}^3 = 1.682 \text{ cm}^3$$

De la ecuación 1.8, despejamos la masa del refuerzo:

$$m_F = \rho * V_F$$

$$m_F = 1.448 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 1.682 \text{ cm}^3$$

$$m_F = 2.44 \text{ g}$$

Como se elaboró 15 probetas, la masa necesaria para las probetas tipo C fue de:

$$m_{T(C)i} = 15 * 2.44 \text{ g}$$

$$m_{T(C)i} = 36.6 \text{ g}$$

La cantidad de masa total necesaria para la fabricación de las probetas se calculó de la siguiente manera:

$$m_T = m_{T(A)t} + m_{T(B)t} + m_{T(C)t} + m_{T(A)f} + m_{T(B)f} + m_{T(C)f} + m_{T(A)i} + m_{T(B)i} + m_{T(C)i} \quad (\text{Ec 1.12})$$

$$m_T = 285.6 + 190.05 + 95.03 + 94.92 + 63.21 + 31.71 + 109.65 + 73.05 + 36.6$$

$$m_T = 979.82 \text{ g}$$

Donde:

m_T : Cantidad de masa total (g)

$m_{T(A)t}$: Cantidad de masa total para ensayo a tracción de probetas tipo A (g)

$m_{T(B)t}$: Cantidad de masa total para ensayo a tracción de probetas tipo B (g)

$m_{T(C)t}$: Cantidad de masa total para ensayo a tracción de probetas tipo C (g)

$m_{T(A)f}$: Cantidad de masa total para ensayo a flexión de probetas tipo A (g)

$m_{T(B)f}$: Cantidad de masa total para ensayo a flexión de probetas tipo B (g)

$m_{T(C)f}$: Cantidad de masa total para ensayo a flexión de probetas tipo C (g)

$m_{T(A)i}$: Cantidad de masa total para ensayo a impacto de probetas tipo A (g)

$m_{T(B)i}$: Cantidad de masa total para ensayo a impacto de probetas tipo B (g)

$m_{T(C)i}$: Cantidad de masa total para ensayo a impacto de probetas tipo C (g)

CÁLCULOS

En la tabla 12, se indica la cantidad de masa utilizada para la obtención de las planchas de resina poliéster con fibra de cabello, con datos experimentales anteriormente realizados, además se tomó el valor medio de la densidad del cabello, para una correcta adherencia fibra-matriz:

Tabla 8. Cálculos para la elaboración de las planchas de material compuesto

Tipo	Volumen total (cm^3)	Densidad resina (g/cm^3)	% Matriz	Densidad fibra (g/cm^3)	% Refuerzo	Volumen de la resina (cm^3)	Masa calculada de resina (g)	Volumen de fibra (cm^3)	Masa calculada de fibra (g)	10% Estireno	0.3% Cobalto	2% Peróxido	Peso resina menos estireno (g)
A	1300	1.058	70	0.724	30	910	969.78	390	282.36	91	2.73	18.2	866.50
A	900	1.058	80	0.724	20	720	761.76	180	130.32	72	2.16	14.4	685.58
A	800	1.058	90	0.724	10	720	761.76	80	57.92	72	2.16	14.4	685.58
B	1300	1.058	70	0.724	30	910	969.78	390	282.36	91	2.73	18.2	866.50
B	900	1.058	80	0.724	20	720	761.76	180	130.32	72	2.16	14.4	685.58
B	800	1.058	90	0.724	10	720	761.76	80	57.92	72	2.16	14.4	685.58
C	1300	1.058	70	0.724	30	910	969.78	390	282.36	91	2.73	18.2	866.50
C	900	1.058	80	0.724	20	720	761.76	180	130.32	72	2.16	14.4	685.58
C	800	1.058	90	0.724	10	720	761.76	80	57.92	72	2.16	14.4	685.58
	9000							1950	1411.8				

Fuente. La autora

2.2.3.6 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL MATERIAL COMPUESTO

Para calcular la densidad del material compuesto de resina poliéster y fibra de cabello humano se utiliza la ecuación 1.13:

$$\rho_c = f_m * \rho_m + f_f * \rho_f \quad (\text{Ec 1.13})$$

Donde:

ρ_c : Densidad del material compuesto (g/cm^3)

f_m : Fracción volumétrica de la matriz o resina (%)

ρ_m : Densidad de la matriz (g/cm^3)

f_f : Fracción volumétrica del refuerzo o fibra (%)

ρ_f : Densidad de la fibra (g/cm^3)

Tabla 9. Cálculo de la densidad del material compuesto

Fracción volumétrica		Densidad (g/cm^3)		Densidad del material compuesto (g/cm^3)
Refuerzo	Matriz	Refuerzo	Matriz	
30	70	0.724	1.058	0.958
20	80	0.724	1.058	0.991
10	90	0.724	1.058	1.025

Fuente. La autora

2.2.3.7 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

Se elaboró en total 9 planchas abarcando en las mismas el número suficiente de probetas de tracción, flexión e impacto, para cada tipo de configuración.

a) Elaboración de la plancha con fibra larga ubicada a 0 grados – TIPO A

- 1) Limpiar la fibra con estireno y dejar reposar durante 1 hora, después retirarlo del recipiente, procurar utilizar un recipiente rectangular para mantener la forma de la fibra.



Figura 26. Limpieza de la fibra para placas tipo A
Fuente: La autora

2) Dejar secar la fibra.



Figura 27. Secado de la fibra larga tipo A
Fuente: La autora

3) Realizar una correcta limpieza del molde.



Figura 28. Limpieza del molde
Fuente: La autora

4) Encerar el molde aplicando cera desmoldante y esperar un periodo de tiempo entre 10 a 15 minutos a que se seque, para posteriormente extraer la probeta rápidamente.



Figura 29. Molde encerado
Fuente: La autora

- 5) Realizar el pesaje de masa de las distintas configuraciones calculadas con anterioridad.



Figura 30. Pesaje de la masa de fibra larga
Fuente: La autora

- 6) Pesar la resina poliéster calculada con anterioridad.



Figura 31. Pesaje de la resina poliéster
Fuente: La autora

7) Medir correctamente el estireno al 10% y mezclar con la resina.



Figura 32. Medición del estireno
Fuente: La autora

8) Medir el peróxido al 2% y mezclarlo.



Figura 33. Medición del peróxido
Fuente: La autora

9) Medir el cobalto al 0.3% y mezclarlo.

10) Colocar correctamente y de manera cuidadosa la fibra, realizarlo de igual manera para la placa con 20 y 30% de fibra y posteriormente verter la resina de manera que se cubra todo el cabello.



Figura 34. Colocación de la fibra larga en el molde
Fuente: La autora

- 11) Cerrar el molde y esperar un periodo de tiempo de 3-4 horas, para que se realice correctamente el proceso de curado.
- 12) Realizar la extracción de la placa.



Figura 35. Extracción de la placa
Fuente: La autora

- 13) Realizar el respectivo corte a láser de las probetas según el esquema planificado, de donde se obtendrán las probetas para los diferentes ensayos.

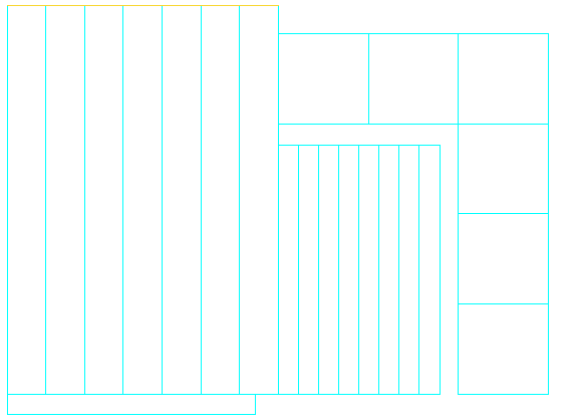


Figura 36. Esquema para el corte de probetas
Fuente: La autora



Figura 37. Corte a láser
Fuente: La autora

14) Colocar códigos para su identificación.



Figura 38. Colocación de códigos
Fuente: La autora

15) Colocar lijas N°30 en los extremos de las probetas para una correcta sujeción de las mordazas para las probetas que serán ensayadas a tracción.

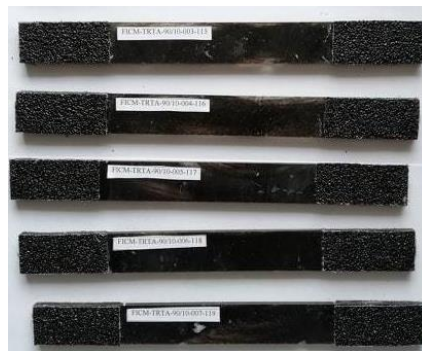


Figura 39. Colocación de lijas
Fuente: La autora

b) Elaboración de la plancha con fibra larga ubicada a 45 grados – TIPO B

1) Realizar la limpieza de la fibra larga con estireno y dejar reposar aproximadamente 1 hora.



Figura 40. Limpieza de la fibra para placas tipo B
Fuente: La autora

2) Esperar el tiempo necesario hasta que se seque completamente la fibra.



Figura 41. Secado de la fibra para placas tipo B
Fuente: La autora

- 3) Después de limpiar correctamente el molde con ayuda de la espátula y el estireno, se procede a encerar el mismo para facilitar la extracción de la placa.



Figura 42. Encerado del molde
Fuente: La autora

- 4) Realizar el pesaje de la masa para las configuraciones 10, 20 y 30% de fibra.
- 5) Realizar el pesaje de la resina poliéster tanto para 90,80 y 70% de resina.
- 6) Medir el estireno al 10%, peróxido al 2%, cobalto al 0.3% y mezclarlo con la matriz.
- 7) Ubicar la fibra a 45° y verte sobre la misma la mezcla antes mencionada.



Figura 43. Ubicación de la fibra a 45°
Fuente: La autora

- 8) Cerrar el molde y esperar hasta obtener el curado.
- 9) Realizar la extracción de la placa y posteriormente realizar el corte a láser para la obtención de las distintas probetas.
- 10) Colocar códigos en cada una de ellas para su identificación.
- 11) En los extremos de las probetas colocar lijas N°30 para mayor facilidad de sujeción de las mordazas al momento de realizar los ensayos de tracción.

c) Elaboración de la plancha con fibra corta ubicada de manera al azar- TIPO C

- 1) Realizar una correcta limpieza de la fibra utilizando estireno y dejándolo reposar durante 1 hora, después retirarlo del recipiente.



Figura 44. Limpieza de la fibra para placas tipo C
Fuente: La autora

- 2) Dejar secar la fibra el tiempo que se necesario.



Figura 45. Secado de la fibra tipo C
Fuente: La autora

- 3) Para este caso debido a que se utiliza fibra corta, se tamizó la misma con la ayuda de un cernidor, para que exista una mejor compactación.



Figura 46. Tamizado de la fibra
Fuente: La autora

- 4) Para eliminar las impurezas de la zona donde se elaborará el material compuesto, se debe realizar una correcta limpieza del molde, para lo cual se utilizó estireno.
- 5) Con la cera desmoldante encerar el molde y esperar entre 10 a 15 minutos a que se seque, esto se realiza con la finalidad de extraer la probeta fácilmente.



Figura 47. Encerado del molde
Fuente: La autora

- 6) Realizar el pesaje de masa de las distintas configuraciones calculadas con anterioridad.



Figura 48. Pesaje de la fibra
Fuente: La autora

7) Realizar el pesaje de la resina poliéster calculadas con anterioridad.



Figura 49. Pesaje de la resina
Fuente: La autora

8) Medir correctamente el estireno al 10% y mezclar con la resina.



Figura 50. Medición del estireno
Fuente: La autora

9) Medir el peróxido al 2% y mezclarlo.



Figura 51. Medición del peróxido
Fuente: La autora

10) Medir el cobalto al 0.3% y mezclarlo.



Figura 52. Mezcla con el cobalto
Fuente: La autora

11) Colocar correctamente y de manera cuidadosa la fibra de cabello humano en el molde y posteriormente la resina de manera que no se generen burbujas.



Figura 53. Preparación de la placa tipo C
Fuente: La autora

12) Esperar un periodo de tiempo de 3 a 4 horas, hasta que se realice el correcto proceso de curado y posteriormente realizar la extracción de la placa.



Figura 54. Extracción de la placa
Fuente: La autora

13) Realizar el respectivo corte de las probetas según la distribución planificada.



Figura 55. Corte a láser probetas tipo C
Fuente: La autora

14) Colocar los respectivos códigos para su identificación.



Figura 56. Selección de las probetas
Fuente: La autora

15) Colocar lijas N°30 en los extremos de las probetas para una correcta sujeción de las mordazas para las probetas que serán ensayadas a tracción, las dimensiones de las mismas son de 25 x 56 x 1.5 mm.



Figura 57. Colocación de lijas
Fuente: La autora

METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN

2.2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

2.2.4.1 Población

Se desarrolló en base de matriz polimérica reforzado con fibra de cabello humano, donde se evalúa a través de las distintas configuraciones mostradas a continuación:

Tabla 10. Configuraciones del material compuesto.

Fracción volumétrica	Orientación de la fibra	Método de fabricación
Fracción 1 70% resina poliéster y 30% fibra de cabello	Fibra orientada a 0°	Estratificación por compresión
	Fibra orientada a 45°	
	Fibra entrecruzada	
Fracción 2 80% de resina poliéster y 20% fibra de cabello	Fibra orientada a 0°	Estratificación por compresión
	Fibra orientada a 45°	
	Fibra entrecruzada	
Fracción 3 90% de resina poliéster y 10% fibra de cabello	Fibra orientada a 0°	Estratificación por compresión
	Fibra orientada a 45°	
	Fibra entrecruzada	

Fuente. La autora

2.2.4.2 Muestra

Para la ejecución de los ensayos se elaboraron 171 probetas:

- 63 probetas para ensayos a tracción en base a la Norma ASTM D3039.
- 63 probetas para ensayos a flexión en base a la Norma ASTM D7264.
- 45 probetas para ensayos de impacto en base a la Norma ASTM D5628.

Para incrementar la confiabilidad y obtener mejores resultados, se elaboró 2 probetas más para los ensayos a tracción y flexión.

Tabla 11. Muestra para los diferentes ensayos.

Fracción volumétrica	Orientación de las fibras	Método de fabricación	Número de probetas		
			Tracción ASTM D3039	Flexión ASTM D7264	Impacto ASTM D5628
Fracción 1	Fibra orientada a 0°		7	7	5

70% resina poliéster y 30% fibra de cabello humano	Fibra orientada a 45°	Estratificación por compresión	7	7	5
	Fibra entrecruzada		7	7	5
Fracción 2 80% de resina poliéster y 20% fibra de cabello humano	Fibra orientada a 0°	Estratificación por compresión	7	7	5
	Fibra orientada a 45°		7	7	5
	Fibra entrecruzada		7	7	5
Fracción 3 90% de resina poliéster y 10% fibra de cabello humano	Fibra orientada a 0°	Estratificación por compresión	7	7	5
	Fibra orientada a 45°		7	7	5
	Fibra entrecruzada		7	7	5
Número total de probetas			63	63	45

Fuente. La autora

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MECÁNICA

2.2.5 MÉTODO ESTADÍSTICO DE LA DISTRIBUCIÓN T-STUDENT

En el presente trabajo experimental se aplicó la distribución t-Student la misma que se utiliza cuando el tamaño de muestra es pequeño, además, este método permite realizar una comparación entre dos grupos de datos, por lo tanto, se efectuó una ponderación en base a los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos, para extraer los dos mejores grupos de probetas para la comprobación.

2.2.6 OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

2.2.6.1 Variable Independiente

Tabla 12. Variable Independiente

Concepto	Categoría	Indicadores		Ítems		Técnicas de Instrumentación
				Resina poliéster	Fibra de cabello humano	
El material compuesto de matriz poliéster y refuerzo de fibra natural de cabello humano, es obtenido mediante la adhesión de sus elementos, generando como resultado un material con mejores propiedades para aplicaciones industriales.	Material compuesto	Fracción volumétrica	1	70%	30%	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos. • Observación directa. • Fichas de datos. • Normas ASTM D: <ul style="list-style-type: none"> Tracción ASTM D-3039 Flexión ASTM D-7264 Impacto ASTM D-5628 • Investigación bibliografía.
			2	80%	20%	
			3	90%	10%	
		Orientación de refuerzos	I	N/A	0°	
			II	N/A	45°	
			III	N/A	Entrecruzado	
		Tipo de estratificación		Compresión		

Fuente. La autora

2.2.6.2 Variable Dependiente

Propiedades mecánicas

Tabla 13. Variable Dependiente

Conceptualización	Dimensión	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Se describe como el comportamiento del material compuesto sometido a distintas cargas externas mediante la aplicación de los ensayos mecánicos.	Propiedades mecánicas	Tracción	Resistencia a la tracción	MPa	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina universal de ensayos. • Normas ASTM: Tracción ASTM D-3039 Flexión ASTM D-7264 Impacto ASTM D-5628 • Fichas técnicas. • Investigación bibliografía.
			Módulo elástico a tracción	MPa	
		Flexión	Esfuerzo a flexión	MPa	
			Módulo elástico a flexión	MPa	
		Impacto	Resistencia al impacto	J	

Fuente. La autora



CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 TABULACIÓN DE RESULTADOS

3.1.1 TABULACIÓN DE DATOS DE PROBETAS ENSAYADAS A TRACCIÓN

Tabla 14. Tabulación de datos del grupo 1 a tracción

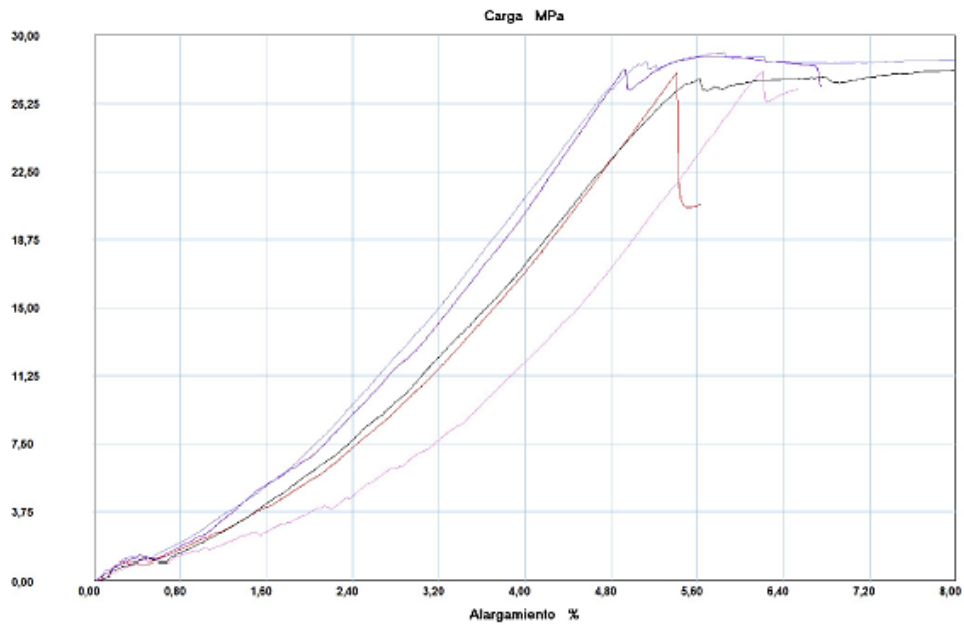
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	30%		
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	250*25*e	Tipo:	A		
Temperatura:	22.5 °C	Característica de la fibra:	Larga		
Humedad relativa:	57.9 %	Número de probetas:	5		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	6.0		
RESULTADOS					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
1	5263,56	27,96	516,91	5,41	OUU
2	4559,86	28,85	502,32	5,74	LGT
3	4993,76	29,06	496,19	5,86	LGB
4	4854,91	28,04	451,64	6,21	OUU
5	5295,12	28,44	423,97	6,71	LAB

Promedio \bar{X}	4993,442	28,472	478,206	5,986	
Desviación estándar $S_n - 1$	304,614	0,484	38,891	0,495	
Coefficiente de variación CV	6,100	1,700	8,133	8,262	

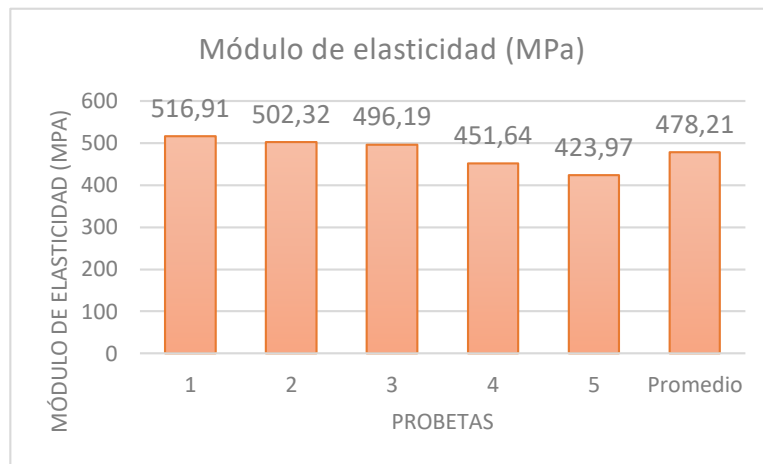
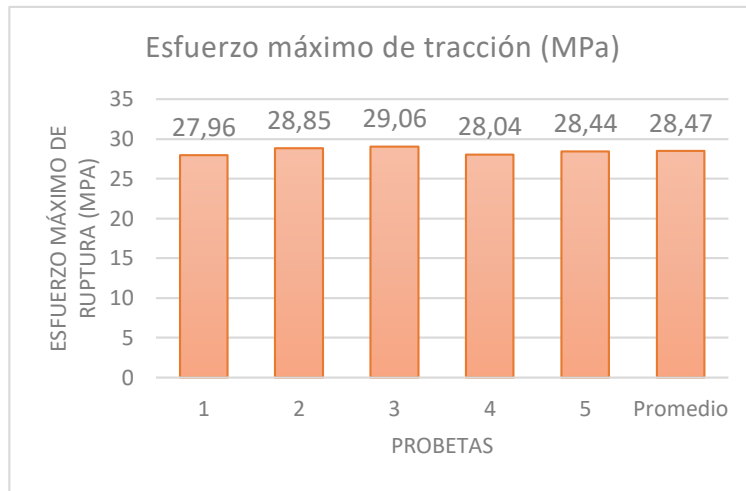
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	5263,56	189,34	5263,56	27,96	1,01	27,96
2	4559,86	213,00	4450,99	28,85	1,35	28,17
3	4993,76	272,96	4963,78	29,06	1,59	28,89
4	4854,91	205,11	4854,91	28,04	1,18	28,04
5	5295,12	231,94	5295,12	28,44	1,25	28,44
Media	4993,442	222,470	4965,672	28,472	1,275	28,299
Desv. Std	304,614	32,123	344,399	0,484	0,215	0,375
Coef. V.	0,061	0,144	0,069	0,017	0,169	0,013
+3 Sigma	5907,283	318,839	5998,869	29,924	1,920	29,423



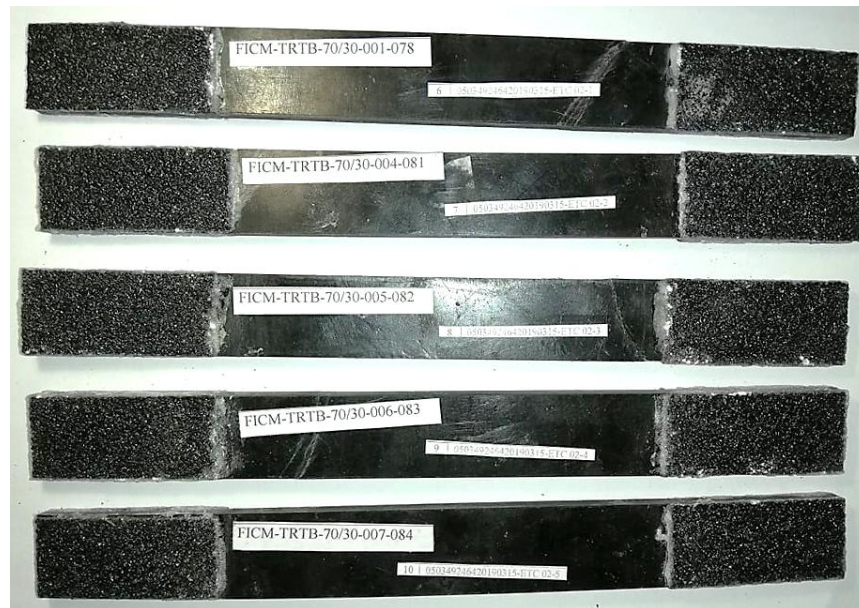
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
Valores promedios		<ul style="list-style-type: none"> • La probeta 2 muestra falla en la parte superior lateral del área calibrada. • La probeta 3 presenta falla lateral en el área calibrada. • La probeta 5 presenta falla lateral en el agarre. 	
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa):	28,472		
Módulo de elasticidad (MPa):	478,206		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

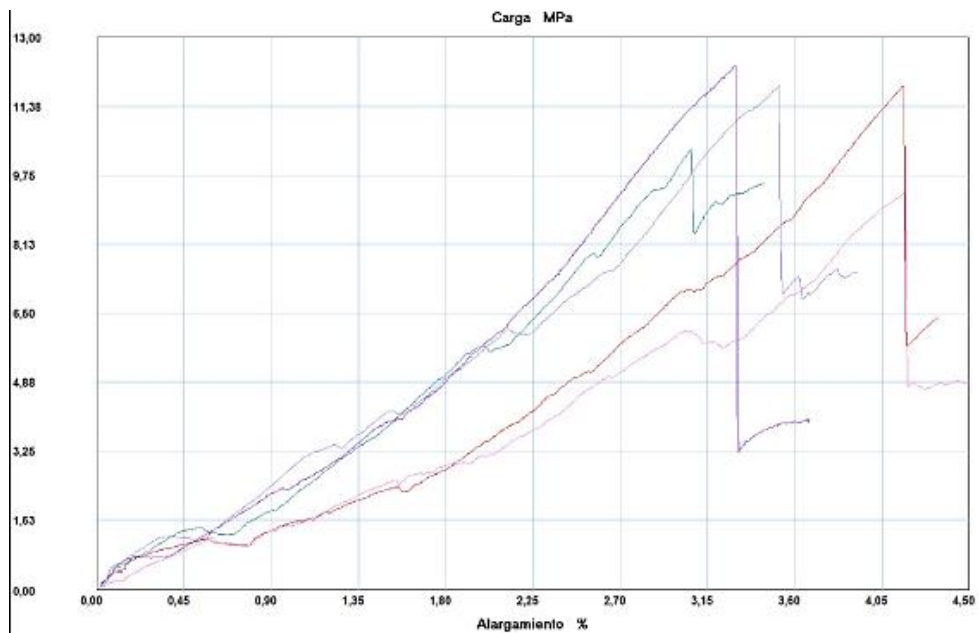
Tabla 15. Tabulación de datos del grupo 2 a tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	30%		
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	250*25*e	Tipo:	B		
Temperatura:	23.2 °C	Característica de la fibra:	Larga		
Humedad relativa:	57.7 %	Número de probetas:	5		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	6.208		
RESULTADOS					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
6	1860,23	11,85	285,14	4,16	LGB
7	1506,80	10,37	338,13	3,07	LAT
8	2109,53	12,34	374,86	3,29	LGB
9	1931,23	11,87	337,18	3,52	LGT
10	1560,45	9,37	224,78	4,17	LIB
Promedio \bar{X}	1793,648	11,161	312,018	3,641	
Desviación estándar $S_n - 1$	254,856	1,246	58,303	0,503	
Coefficiente de variación CV	14,209	11,168	18,686	13,817	

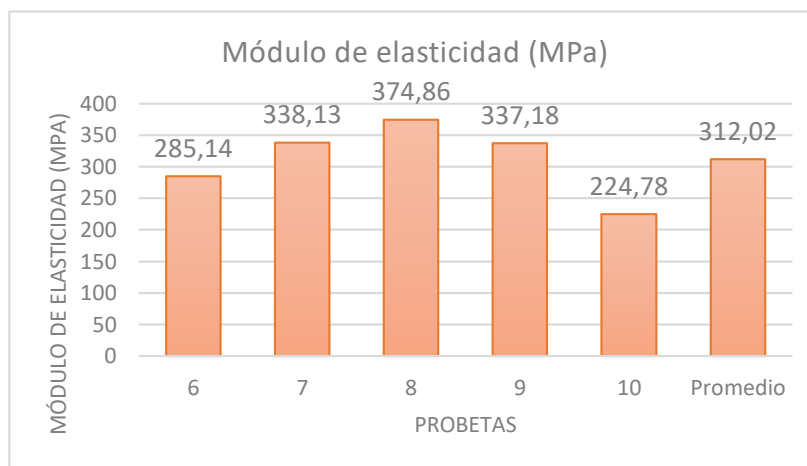
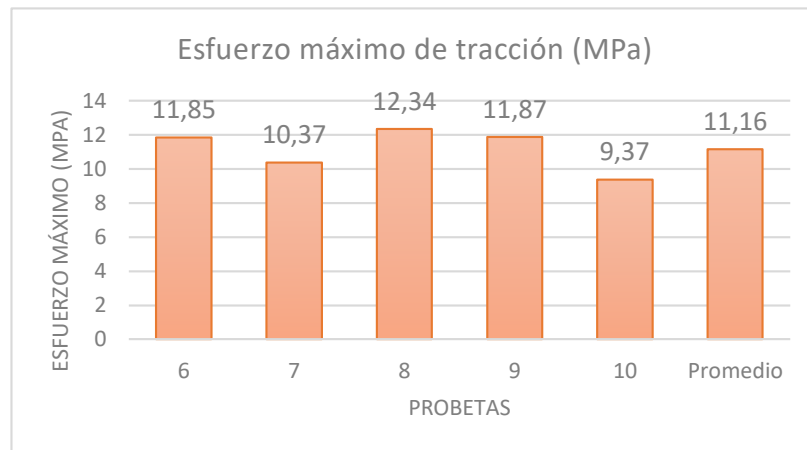
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1860,23	168,82	1853,92	11,85	1,08	11,81
2	1506,80	179,87	1388,47	10,37	1,24	9,55
3	2109,53	149,89	678,46	12,34	0,88	3,97
4	1931,23	201,96	1216,49	11,87	1,24	7,48
5	1560,45	160,94	1560,45	9,37	0,97	9,37
Media	1793,648	172,296	1339,558	11,161	1,080	8,437
Desv. Std	254,856	19,877	438,164	1,246	0,162	2,933
Coef. V.	0,142	0,115	0,327	0,112	0,150	0,348
+3 Sigma	2558,216	231,927	2654,050	14,901	1,566	17,235



EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
Valores promedios		<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 6 y 8 muestran fallas en el área calibrada en la parte lateral de la probeta. La probeta 7 muestra falla en la zona superior lateral del agarre de la probeta. La probeta 9 presenta falla en el área calibrada en la parte superior lateral de la probeta. La probeta 10 muestra falla lateral dentro del agarre. 	
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa):	11,161		
Módulo de elasticidad (MPa):	312,018		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

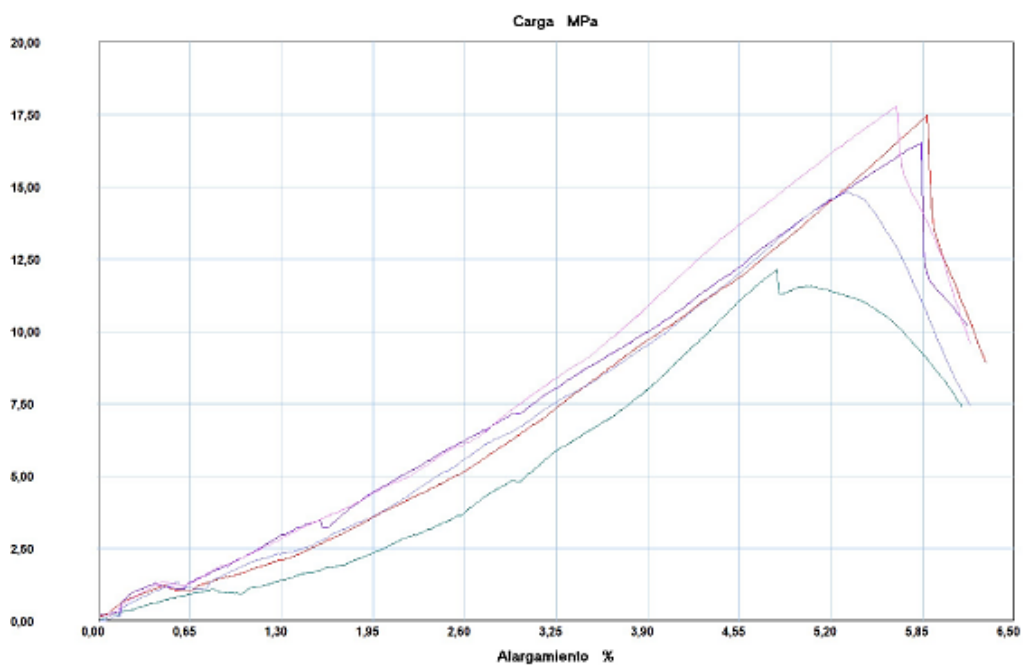
Tabla 16. Tabulación de datos del grupo 3 a tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	30%		
Orientación de la fibra:	Al azar	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	250*25*e	Tipo:	C		
Temperatura:	23.5 °C	Característica de la fibra:	Corta		
Humedad relativa:	57.3 %	Número de probetas:	5		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	7.298		
RESULTADOS					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
11	3677,87	17,48	297,14	5,88	LAB
12	2160,02	12,15	252,31	4,81	LAB
13	3141,41	16,51	282,72	5,84	LGB
14	2934,72	14,81	278,51	5,32	LAT
15	2710,67	17,79	313,98	5,67	LAT
Promedio \bar{X}	2924,938	15,749	284,932	5,505	
Desviación estándar $S_n - 1$	557,869	2,324	22,929	0,445	
Coeficiente de variación CV	19,073	14,758	8,047	8,090	

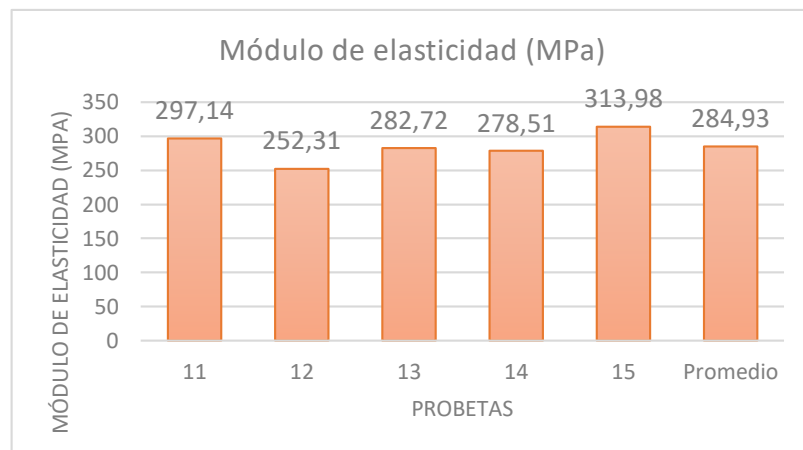
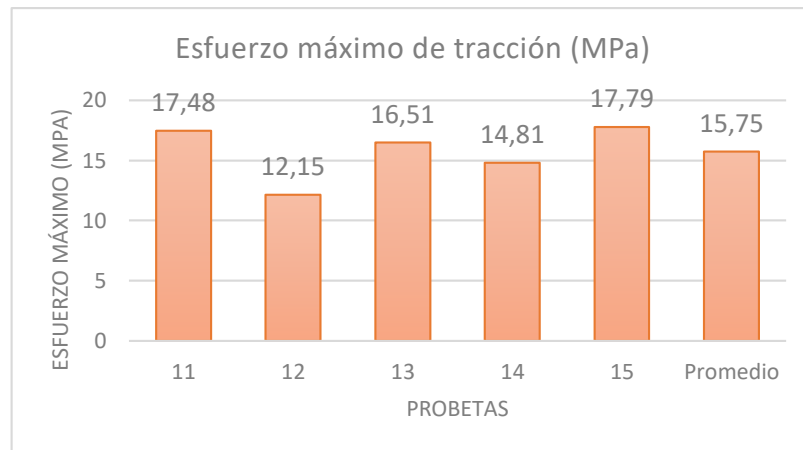
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	3677,87	255,60	3677,87	17,48	1,21	17,48
2	2160,02	138,85	2160,02	12,15	0,78	12,15
3	3141,41	249,29	3141,41	16,51	1,31	16,51
4	2934,72	255,60	2890,54	14,81	1,29	14,59
5	2710,67	206,69	2710,67	17,79	1,36	17,79
Media	2924,938	221,206	2916,102	15,749	1,191	15,705
Desv. Std	557,869	50,368	558,026	2,324	0,235	2,349
Coef. V.	0,191	0,228	0,191	0,148	0,197	0,150
+3 Sigma	4598,546	372,311	4590,179	22,722	1,895	22,750



EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
Valores promedios		<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 11 y 12 muestran fallas tipo LAB, ubicadas en la zona lateral del agarre de la probeta. La probeta 13 muestra falla en el área calibrada, en la parte lateral de la probeta. Las probetas 14 y 15 muestran fallas tipo LAT, en la zona superior lateral ubicada en el agarre de la probeta. 	
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa):	15,749		
Módulo de elasticidad (MPa):	284,932		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

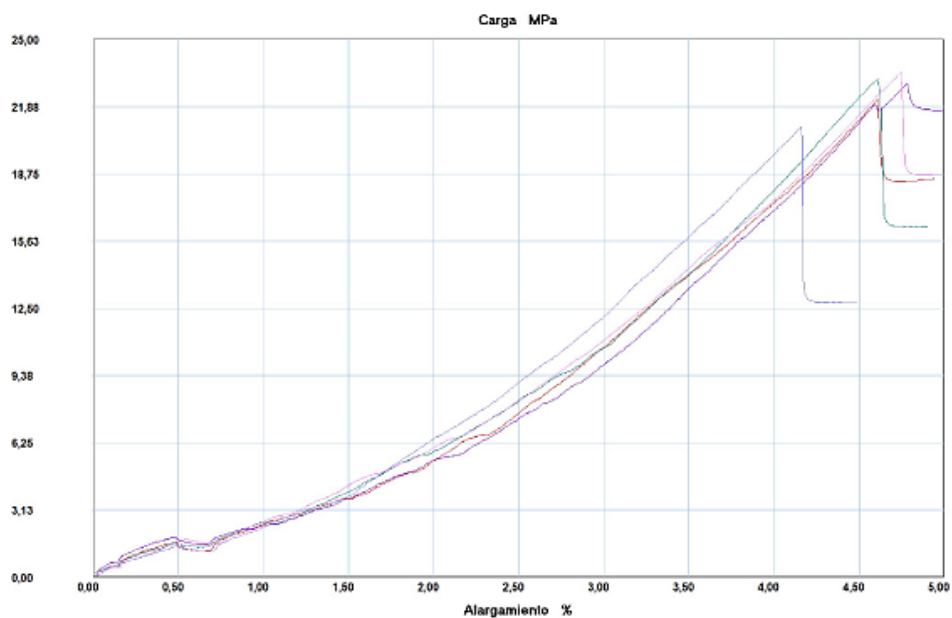
Tabla 17. Tabulación de datos del grupo 4 a tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	80%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	20%		
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	250*25*e	Tipo:	A		
Temperatura:	23.9 °C	Característica de la fibra:	Larga		
Humedad relativa:	55.5 %	Número de probetas:	5		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	5.13		
RESULTADOS					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
16	3106,70	22,21	481,79	4,61	LGM
17	3179,28	23,16	502,47	4,61	LGM
18	2720,14	22,94	479,33	4,79	LGT
19	2770,63	20,93	503,33	4,16	LGT
20	2950,50	23,49	494,61	4,75	LAT
Promedio \bar{X}	2945,450	22,548	492,306	4,583	
Desviación estándar $S_n - 1$	201,265	1,018	11,281	0,250	
Coefficiente de variación CV	6,833	4,508	2,291	5,450	

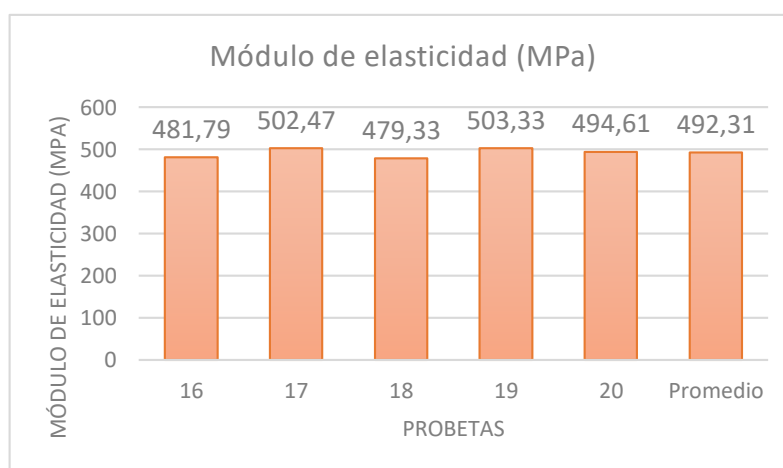
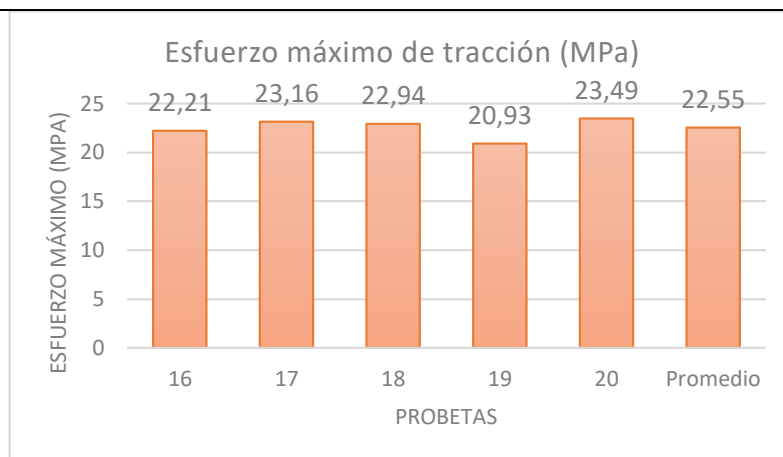
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	3106,70	231,94	3106,70	22,21	1,66	22,21
2	3179,28	219,31	3179,28	23,16	1,60	23,16
3	2720,14	220,89	2720,14	22,94	1,86	22,94
4	2770,63	187,76	2770,63	20,93	1,42	20,93
5	2950,50	205,11	2950,50	23,49	1,63	23,49
Media	2945,450	213,002	2945,450	22,548	1,634	22,548
Desv. Std	201,265	17,030	201,265	1,016	0,159	1,016
Coef. V.	0,068	0,080	0,068	0,045	0,097	0,045
+3 Sigma	3549,245	264,092	3549,245	25,597	2,110	25,597



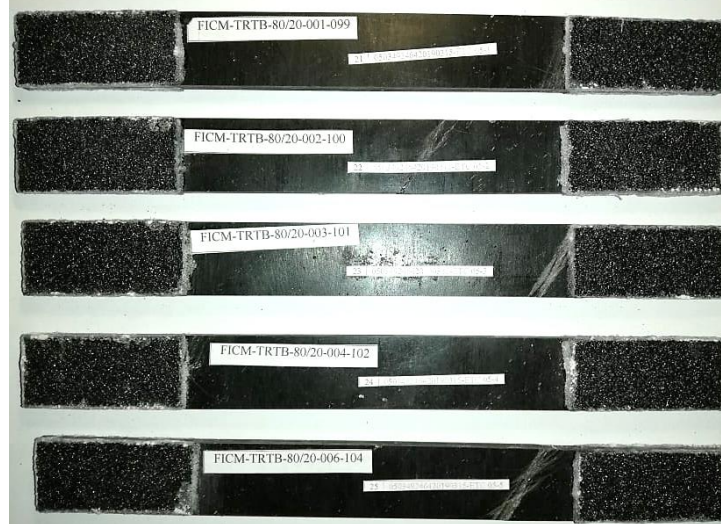
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
Valores promedios		<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 16 y 17 muestran fallas en el área calibrada, en la parte media lateral. Las probetas 18 y 19 muestran fallas en la parte superior lateral del área calibrada. La probeta 20 muestra falla en la zona superior lateral ubicada en el agarre de la probeta. 	
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa):	22,548		
Módulo de elasticidad (MPa):	492,306		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

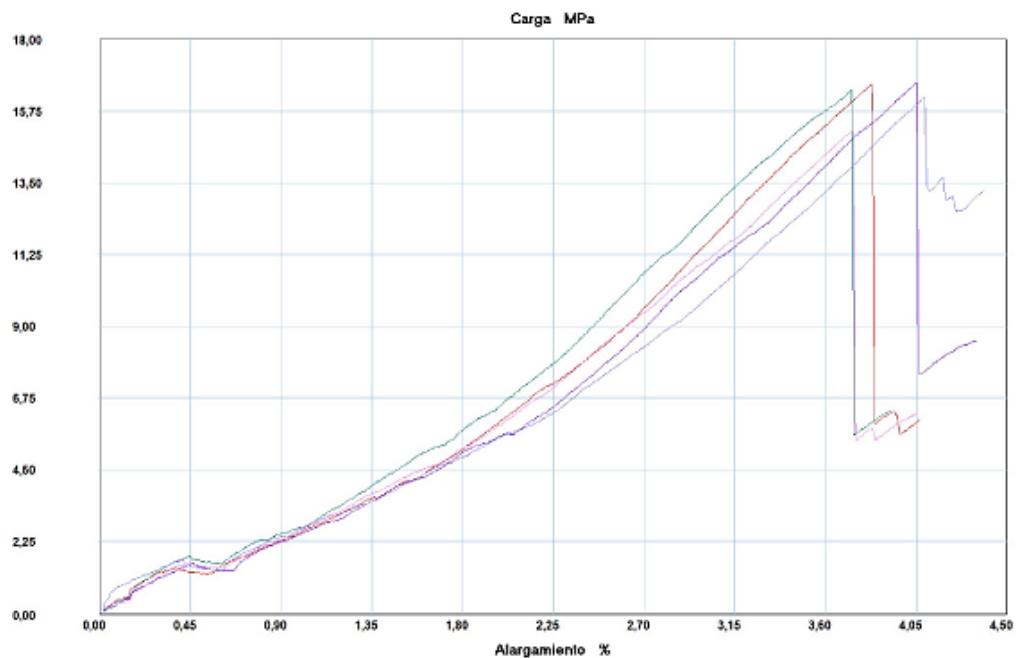
Tabla 18. Tabulación de datos del grupo 5 a tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	80%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	20%		
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	250*25*e	Tipo:	B		
Temperatura:	24.4 °C	Característica de la fibra:	Larga		
Humedad relativa:	54.6 %	Número de probetas:	5		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	5.244		
RESULTADOS					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
21	2227,86	16,60	360,04	4,594	LAB
22	2207,35	16,43	356,44	4,474	LGM
23	2246,80	16,64	347,70	4,858	LAB
24	2210,51	16,17	388,76	4,907	LGM
25	2089,02	15,12	318,47	4,482	LGB
Promedio \bar{X}	2196,308	16,193	354,282	4,663	
Desviación estándar $S_n - 1$	62,007	0,625	25,262	0,207	
Coefficiente de variación CV	2,823	3,861	7,130	4,432	

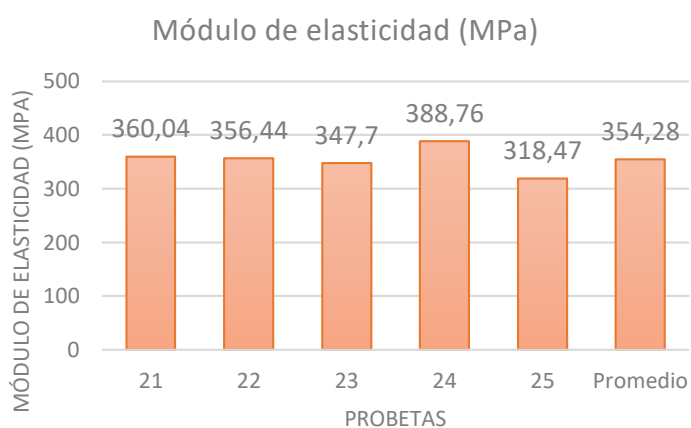
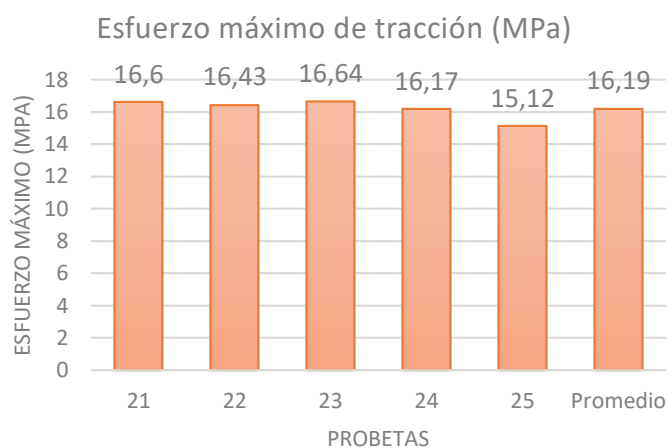
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	2227,86	189,34	2227,86	16,60	1,41	16,60
2	2207,35	236,67	2207,35	16,43	1,76	16,43
3	2246,80	211,43	2246,80	16,64	1,57	16,64
4	2210,51	224,05	2210,51	16,17	1,64	16,17
5	2089,02	220,89	2089,02	15,12	1,60	15,12
Media	2196,308	216,476	2196,308	16,193	1,595	16,193
Desv. Std	62,007	17,653	62,007	0,625	0,127	0,625
Coef. V.	0,028	0,082	0,028	0,039	0,080	0,039
+3 Sigma	2382,328	269,434	2382,328	18,068	1,976	18,068



EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
Valores promedios		<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 21 y 23 muestran fallas en la parte lateral ubicada en el agarre de la probeta. Las probetas 22 y 24 muestran fallas en el área calibrada, en la parte lateral media. La probeta 25 muestra falla en la parte lateral del área calibrada. 	
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa):	16,193		
Módulo de elasticidad (MPa):	354,282		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

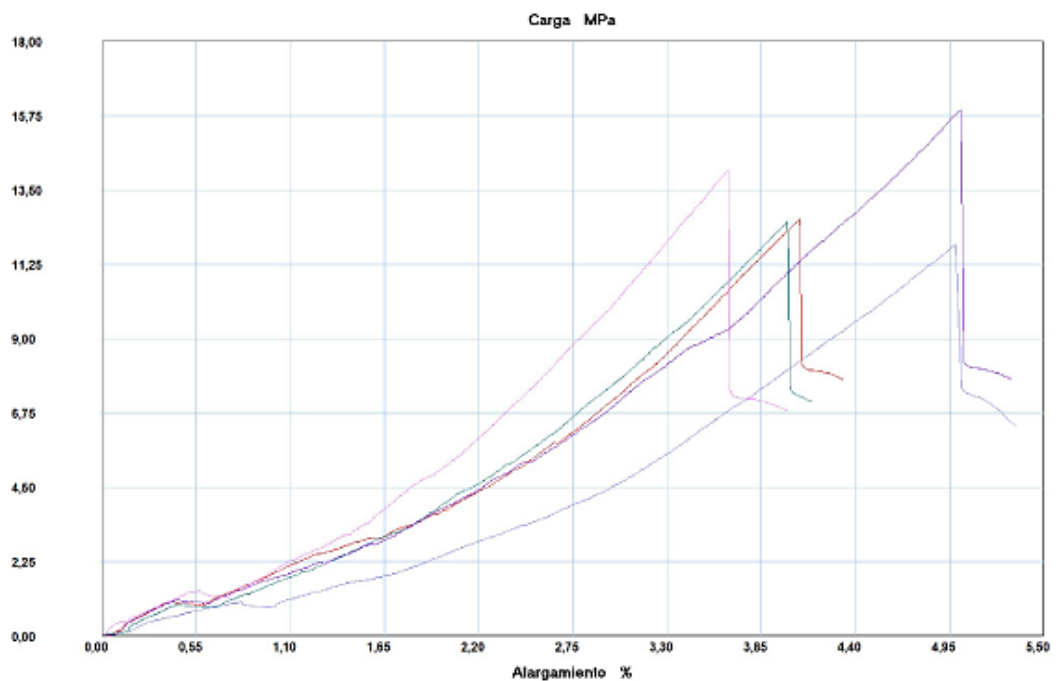
Tabla 19. Tabulación de datos del grupo 6 a tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	80%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	20%		
Orientación de la fibra:	Al azar	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	250*25*e	Tipo:	C		
Temperatura:	25.0 °C	Característica de la fibra:	Corta		
Humedad relativa:	53.3 %	Número de probetas:	5		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	7.266		
RESULTADOS					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
26	2332,00	12,61	309,80	4,07	LAT
27	2420,36	12,54	313,36	4,00	LAB
28	2743,91	15,95	317,82	5,02	LAB
29	2481,89	11,84	237,44	4,99	LAB
30	2279,93	14,11	385,97	3,66	LAT
Promedio \bar{X}	2451,618	13,411	312,877	4,347	
Desviación estándar $S_n - 1$	181,048	1,642	52,599	0,618	
Coefficiente de variación CV	7,385	12,241	16,811	14,219	

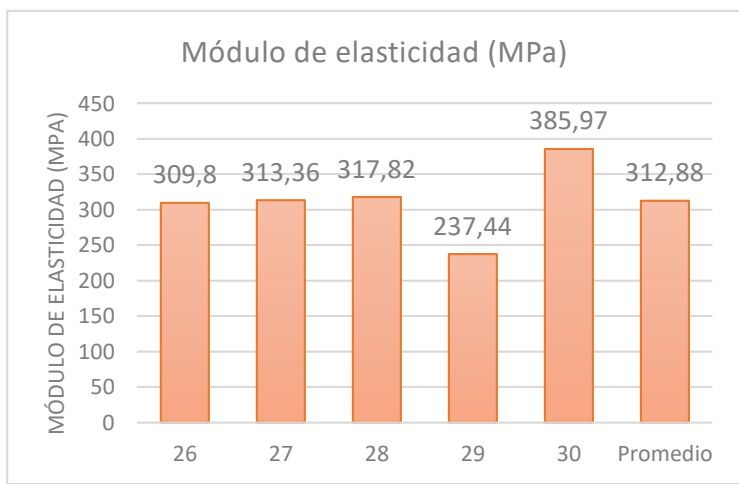
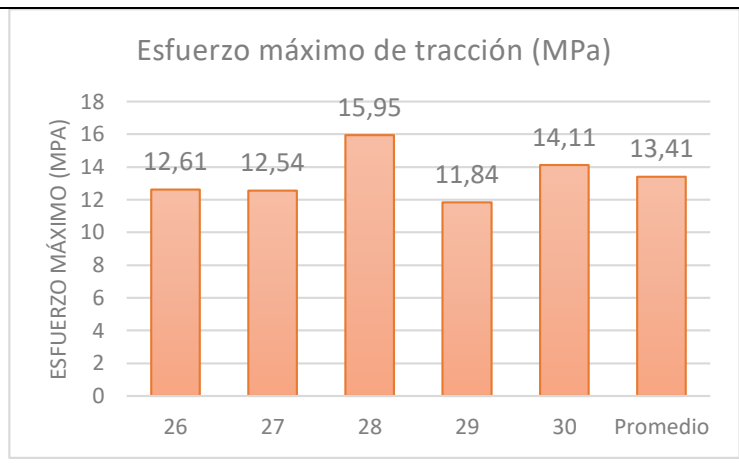
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
■ 1	2332,00	198,80	2332,00	12,61	1,08	12,61
■ 2	2420,36	184,60	2420,36	12,54	0,96	12,54
■ 3	2743,81	190,91	2743,81	15,95	1,11	15,95
■ 4	2481,89	151,47	2481,89	11,84	0,72	11,84
■ 5	2279,93	187,76	2279,93	14,11	1,16	14,11
Media	2451,598	182,708	2451,598	13,411	1,005	13,411
Desv. Std	181,007	18,242	181,007	1,642	0,175	1,642
Coef. V.	0,074	0,100	0,074	0,122	0,174	0,122
+3 Sigma	2994,620	237,435	2994,620	18,336	1,531	18,336



EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
Valores promedios		<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 26 y 30 muestran fallas en la parte superior lateral ubicada en el agarre de la probeta. Las probetas 27, 28 y 29 muestran fallas en la parte lateral del agarre de la probeta. 	
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa):	13,411		
Módulo de elasticidad (MPa):	312,877		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

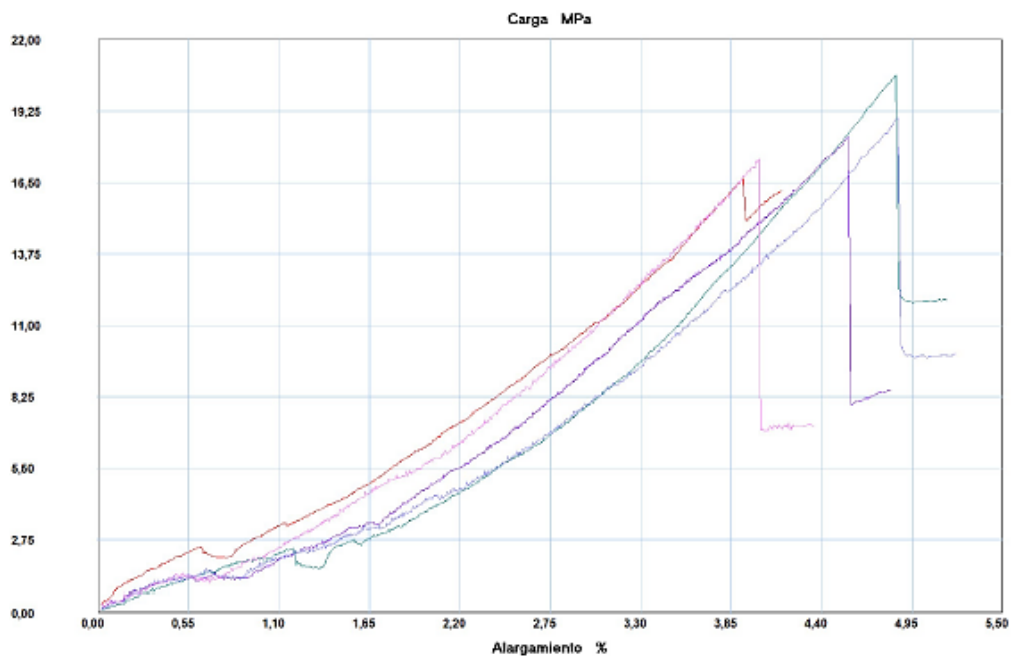
Tabla 20. Tabulación de datos del grupo 7 a tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	90%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	10%		
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	250*25*e	Tipo:	A		
Temperatura:	25.8 °C	Característica de la fibra:	Larga		
Humedad relativa:	51.4 %	Número de probetas:	5		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	4.544		
RESULTADOS					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
31	1782,92	16,64	424,20	4,708	LAT
32	2428,24	20,64	425,39	5,822	LGT
33	2041,68	18,26	400,32	5,475	LGT
34	2276,77	18,96	389,78	5,838	LGM
35	2011,70	17,42	433,42	4,823	LAB
Promedio \bar{X}	2108,262	18,386	414,622	5,333	
Desviación estándar $S_n - 1$	250,193	1,532	18,592	0,540	
Coeficiente de variación CV	11,867	8,335	4,484	10,119	

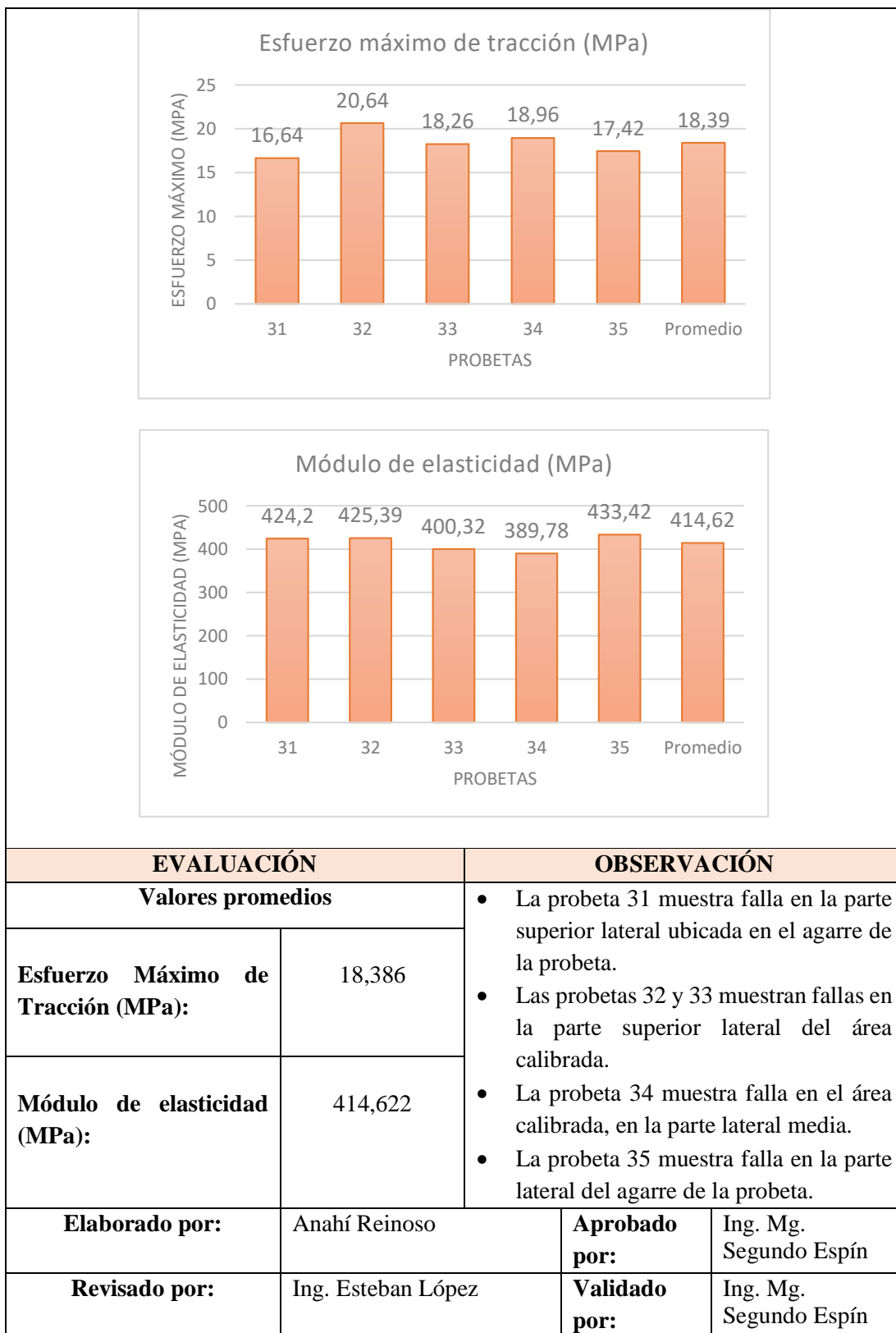
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1782,92	219,31	1782,92	16,64	2,05	16,64
2	2428,24	137,27	2428,24	20,64	1,17	20,64
3	2041,68	142,00	2041,68	18,26	1,27	18,26
4	2276,77	162,51	2276,77	18,96	1,35	18,96
5	2011,70	162,51	2011,70	17,42	1,41	17,42
Media	2108,262	164,720	2108,262	18,386	1,449	18,386
Desv. Std	250,193	32,633	250,193	1,532	0,347	1,532
Coef. V.	0,119	0,198	0,119	0,083	0,239	0,083
+3 Sigma	2858,840	262,618	2858,840	22,983	2,489	22,983



Fuente. La autora

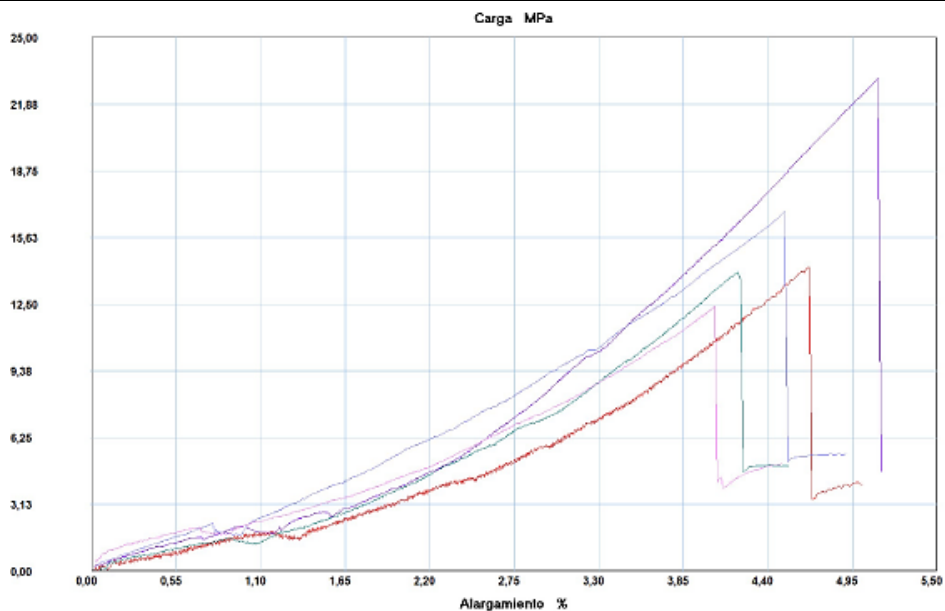
Tabla 21. Tabulación de datos del grupo 8 a tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	90%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	10%		
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	250*25*e	Tipo:	B		
Temperatura:	26.6 °C	Característica de la fibra:	Larga		
Humedad relativa:	59.6 %	Número de probetas:	5		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	4.7		
RESULTADOS					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
36	1704,03	14,24	304,84	4,67	LGB
37	1674,05	14,02	333,51	4,21	LAT
38	2687,00	23,09	451,32	5,12	LGM
39	2021,17	16,85	373,68	4,51	LAB
40	1478,40	12,40	305,59	4,06	LGT
Promedio \bar{X}	1912,930	16,119	353,787	4,511	
Desviación estándar $S_n - 1$	474,452	4,210	61,314	0,416	
Coefficiente de variación CV	24,802	26,119	17,331	9,214	

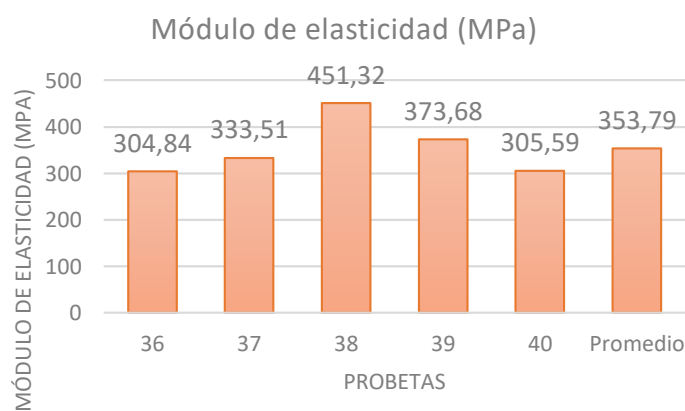
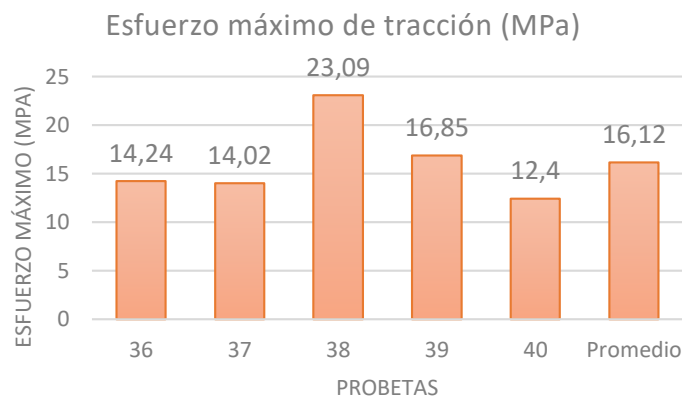
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1704,03	100,98	1704,03	14,24	0,84	14,24
2	1674,05	113,60	1674,05	14,02	0,95	14,02
3	2687,00	148,31	2687,00	23,09	1,27	23,09
4	2021,17	175,14	2021,17	16,85	1,46	16,85
5	1478,40	201,96	1478,40	12,40	1,69	12,40
Media	1912,930	147,998	1912,930	16,119	1,245	16,119
Desv. Std	474,452	41,960	474,452	4,210	0,352	4,210
Coef. V.	0,248	0,284	0,248	0,261	0,283	0,261
+3 Sigma	3336,287	273,878	3336,287	28,749	2,300	28,749

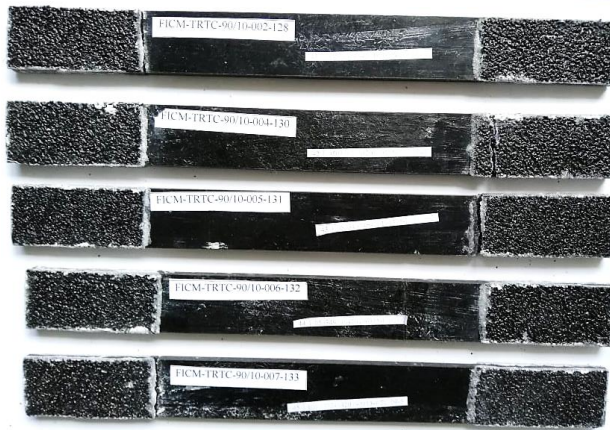


EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
Valores promedios		<ul style="list-style-type: none"> • La probeta 36 muestra falla en el área calibrada en la parte lateral de la probeta. • La probeta 37 muestra falla en la parte superior lateral ubicada en el agarre de la probeta. • La probeta 38 muestra falla en el área calibrada, en la parte lateral media. • La probeta 39 muestra falla en la parte lateral ubicada en el agarre de la probeta. • La probeta 40 muestra falla en la parte superior lateral del área calibrada. 	
Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa):	16,119		
Módulo de elasticidad (MPa):	353,787		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

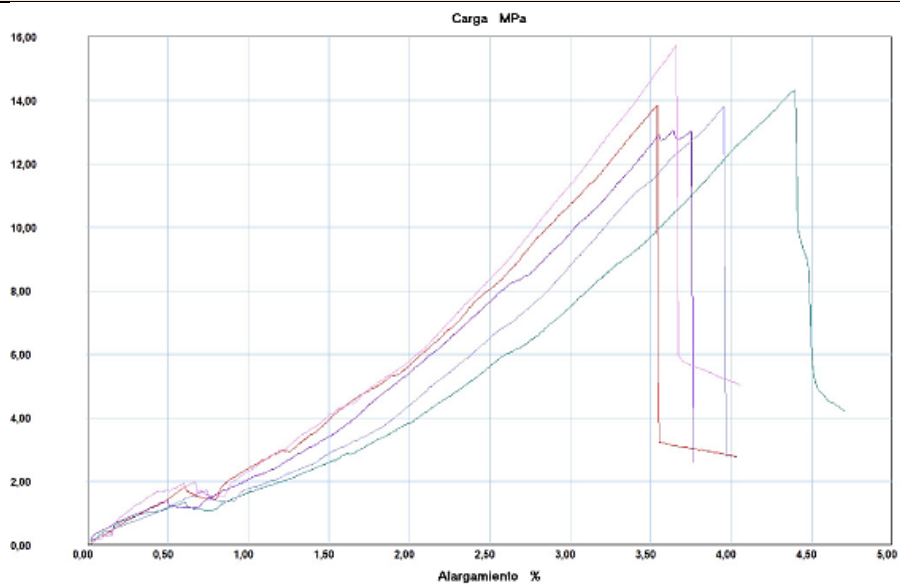
Fuente. La autora

Tabla 22. Tabulación de datos del grupo 9 a tracción

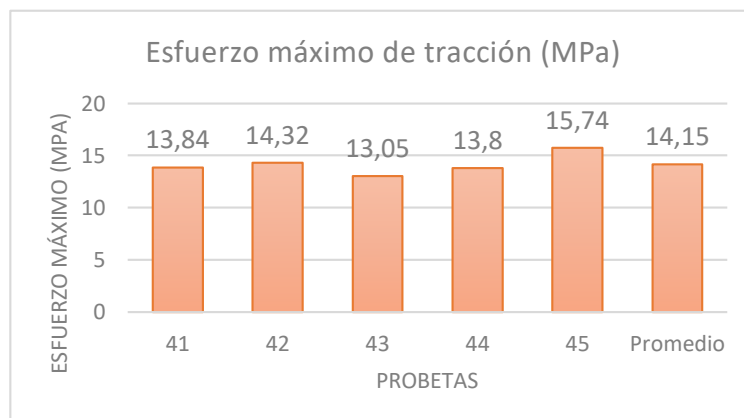
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	90%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	10%		
Orientación de la fibra:	Al azar	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	250*25*e	Tipo:	C		
Temperatura:	26.7 °C	Característica de la fibra:	Corta		
Humedad relativa:	48.9 %	Número de probetas:	5		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	5.428		
RESULTADOS					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de falla evaluado
41	1846,03	13,84	391,03	3,54	LAT
42	2068,50	14,32	325,63	4,40	LIB
43	1800,28	13,05	358,46	3,64	LAB
44	2014,86	13,80	349,02	3,96	LGB
45	1956,48	15,74	429,95	3,66	LAT
Promedio \bar{X}	1937,230	14,150	370,816	3,839	
Desviación estándar $S_n - 1$	112,585	0,997	40,542	0,349	
Coefficiente de variación CV	5,812	7,044	10,933	9,085	
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					

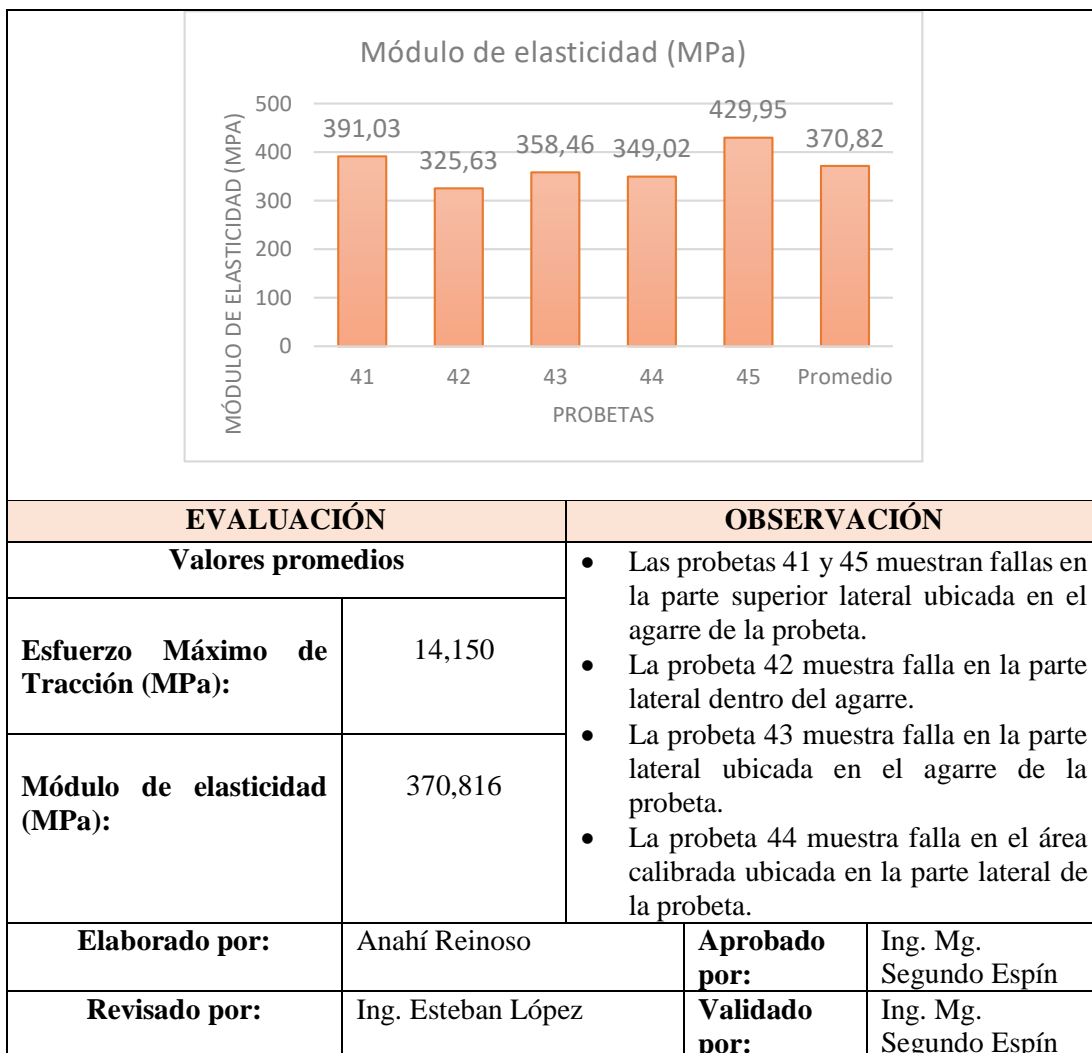


GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1846,03	171,98	1846,03	13,84	1,29	13,84
2	2068,50	162,51	2068,50	14,32	1,13	14,32
3	1800,28	170,40	1793,97	13,05	1,24	13,00
4	2014,86	156,20	2014,86	13,80	1,07	13,80
5	1956,48	211,43	1956,48	15,74	1,70	15,74
Media	1937,230	174,504	1935,968	14,150	1,284	14,141
Desv. Std	112,585	21,597	114,523	0,997	0,248	1,009
Coef. V.	0,058	0,124	0,059	0,070	0,194	0,071
+3 Sigma	2274,985	239,294	2279,536	17,140	2,029	17,169





Fuente. La autora

Codificación de fallas evaluado a Tracción

Según la Norma ASTM D3039 se presentan los siguientes tipos de fallas:



Tabla 23. Tipos de fallas a tracción

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Superior
G	Agarre	G	Zona calibrada	M	Medio
A	Angular	I	Dentro del agarre	B	Fondo
O	Otro	U	Desconocido	U	Desconocido

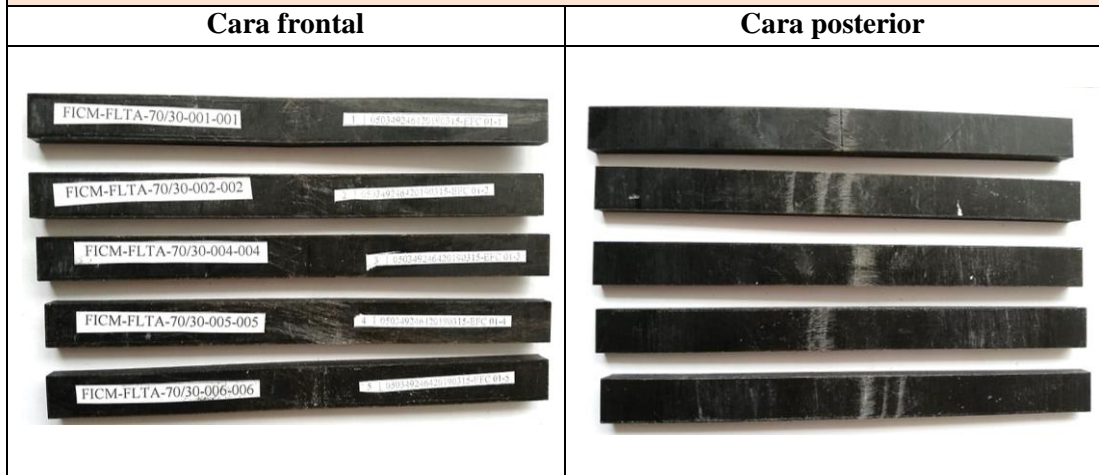
Fuente. La autora

3.1.2 TABULACIÓN DE DATOS DE PROBETAS ENSAYADAS A FLEXIÓN

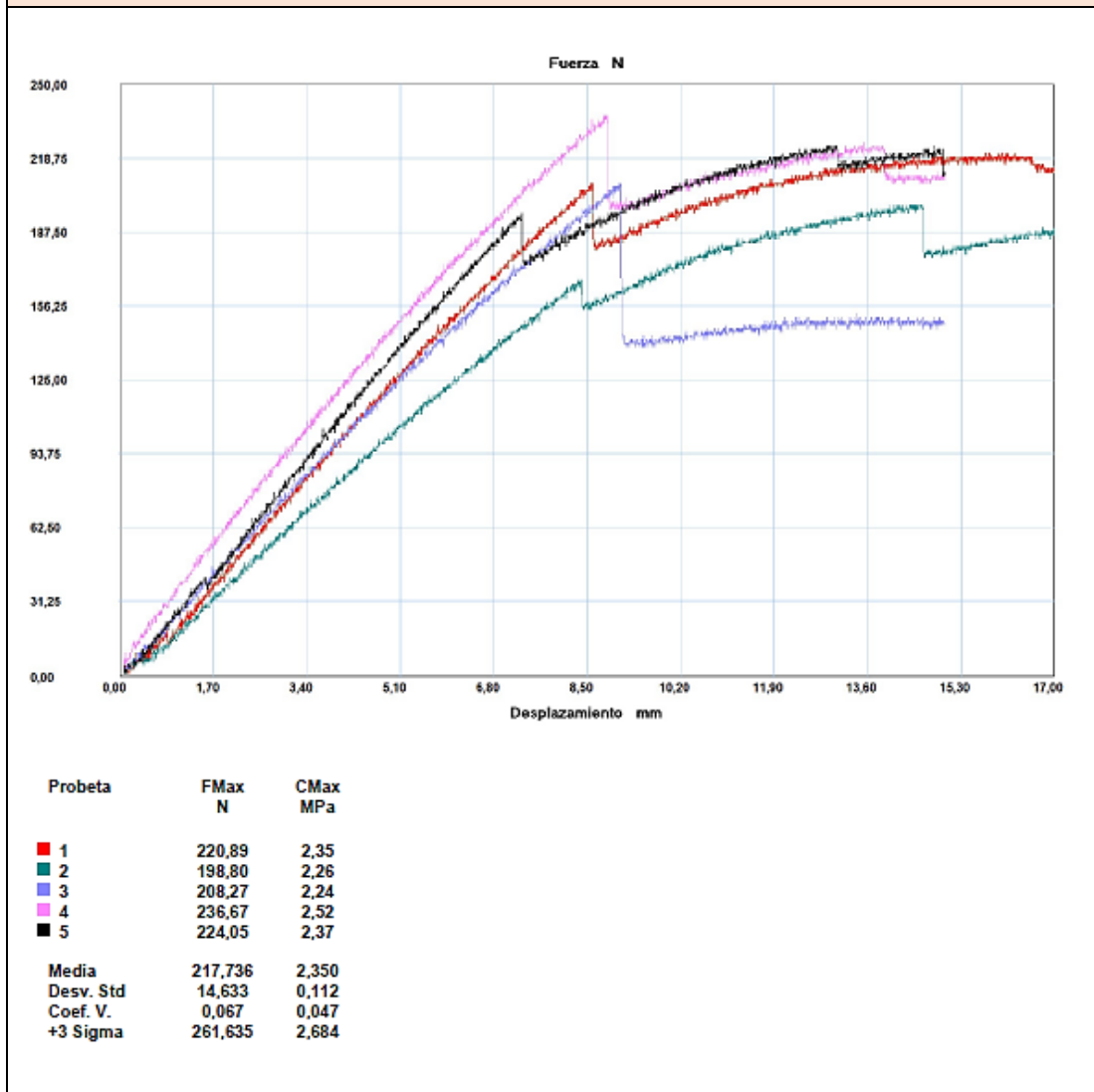
Tabla 24. Tabulación de datos del grupo 1 a flexión

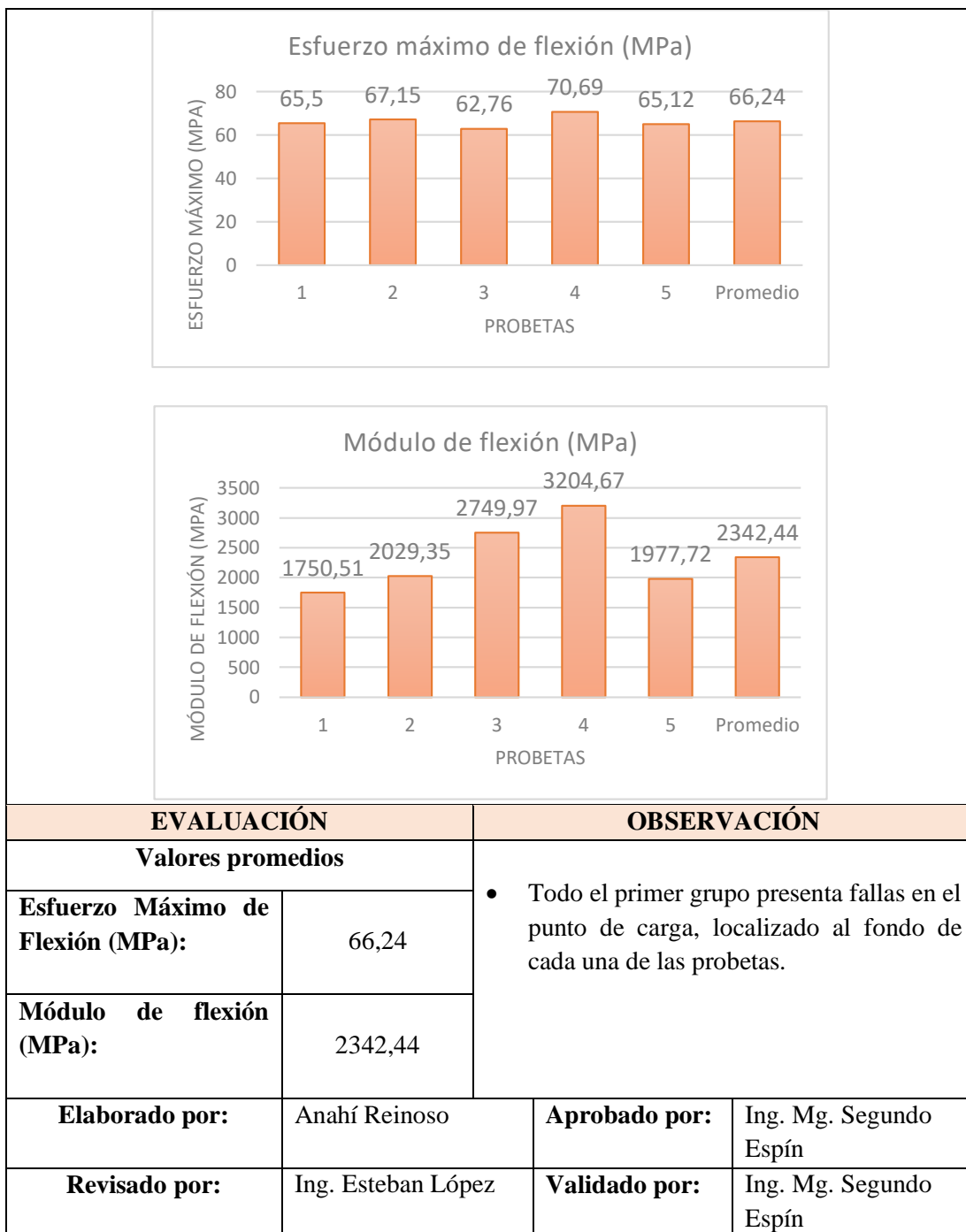
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264-15			
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%			
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	30%			
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Manual			
Dimensión (mm):	160*13*e	Tipo:	A			
Temperatura:	24.2 °C	Característica de la fibra:	Larga			
Humedad relativa:	53.5 %	Número de probetas:	5			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	6.0			
RESULTADOS						
Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo falla
1	220,89	14,808	65,50	1750,51	3,74	OAB
2	198,80	13,988	67,15	2029,35	3,31	OAB
3	208,27	9,084	62,76	2749,97	2,28	OAB
4	236,67	8,793	70,69	3204,67	2,21	OAB
5	224,05	12,863	65,12	1977,72	3,29	OAB
Promedio \bar{X}	217,736	11,91	66,24	2342,44	2,97	
Desviación estándar $S_n - 1$	14,633	2,80	2,94	610,53	0,68	
Coefficiente de variación CV	6,720	23,50	4,44	26,06	23,06	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO





GRÁFICAS





Fuente. La autora

Tabla 25. Tabulación de datos del grupo 2 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264-15			
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%			
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	30%			
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Manual			
Dimensión (mm):	160*13*e	Tipo:	B			
Temperatura:	24.5 °C	Característica de la fibra:	Larga			
Humedad relativa:	52.5 %	Número de probetas:	5			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	6.632			
RESULTADOS						
Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo falla
6	69,42	5,416	22,70	1718,17	1,32	OAB
7	47,33	2,106	15,17	2961,59	0,51	OAB
8	61,53	3,709	20,47	2304,91	0,89	OAB
9	52,07	2,601	16,57	2608,43	0,64	OAB
10	52,070	2,553	16,76	2695,44	0,62	OAB
Promedio \bar{X}	56,484	3,28	18,33	2457,71	0,80	
Desviación estándar $S_n - 1$	8,882	1,33	3,13	475,24	0,32	
Coefficiente de variación CV	15,725	40,70	17,08	19,34	40,77	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

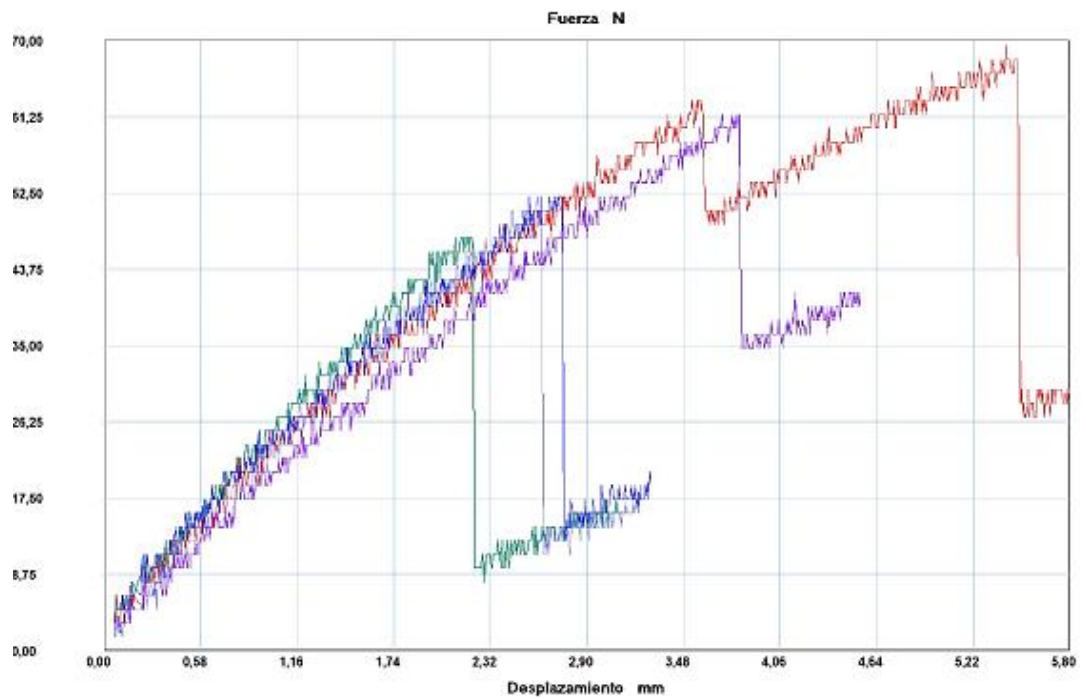
Cara frontal



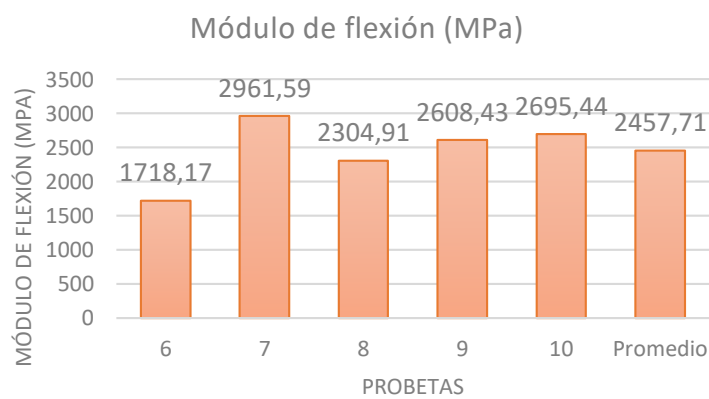
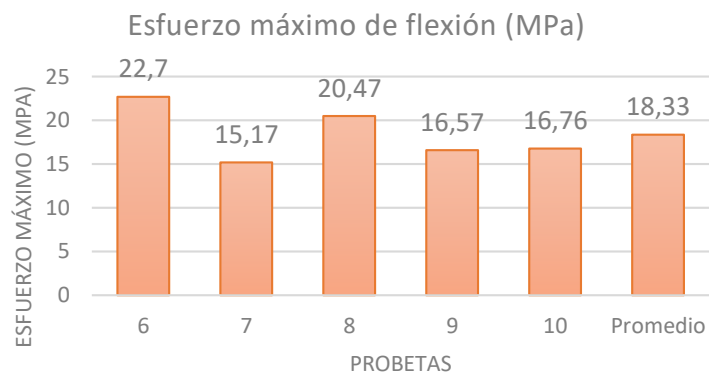
Cara posterior



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	CMax MPa
1	69,42	0,79
2	47,33	0,52
3	61,53	0,70
4	52,07	0,58
5	52,07	0,58
Media	56,484	0,633
Desv. Std	8,882	0,107
Coef. V.	0,157	0,169
+3 Sigma	83,130	0,954



EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
Valores promedios		<ul style="list-style-type: none"> • Todo el segundo grupo presenta fallas en el punto de carga, localizado al fondo de cada una de las probetas. 	
Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa):	18,33		
Módulo de flexión (MPa):	2457,71		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

Tabla 26. Tabulación de datos del grupo 3 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264-15			
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%			
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	30%			
Orientación de la fibra:	Al azar	Estratificación:	Manual			
Dimensión (mm):	160*13*e	Tipo:	C			
Temperatura:	24.8 °C	Característica de la fibra:	Corta			
Humedad relativa:	52.0 %	Número de probetas:	5			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	6.884			
RESULTADOS						
Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo falla
11	135,69	5,736	35,66	2281,48	1,56	OAB
12	118,33	5,216	27,15	1798,94	1,51	OAB
13	142,00	6,084	42,06	2719,85	1,55	OAB
14	100,98	7,030	37,77	2347,55	1,61	OAB
15	67,84	4,702	27,77	2738,11	1,01	OAB
Promedio \bar{X}	112,968	5,75	34,08	2377,19	1,45	
Desviación estándar $S_n - 1$	29,867	0,89	6,47	384,74	0,25	
Coefficiente de variación CV	26,438	15,38	18,99	16,18	16,94	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

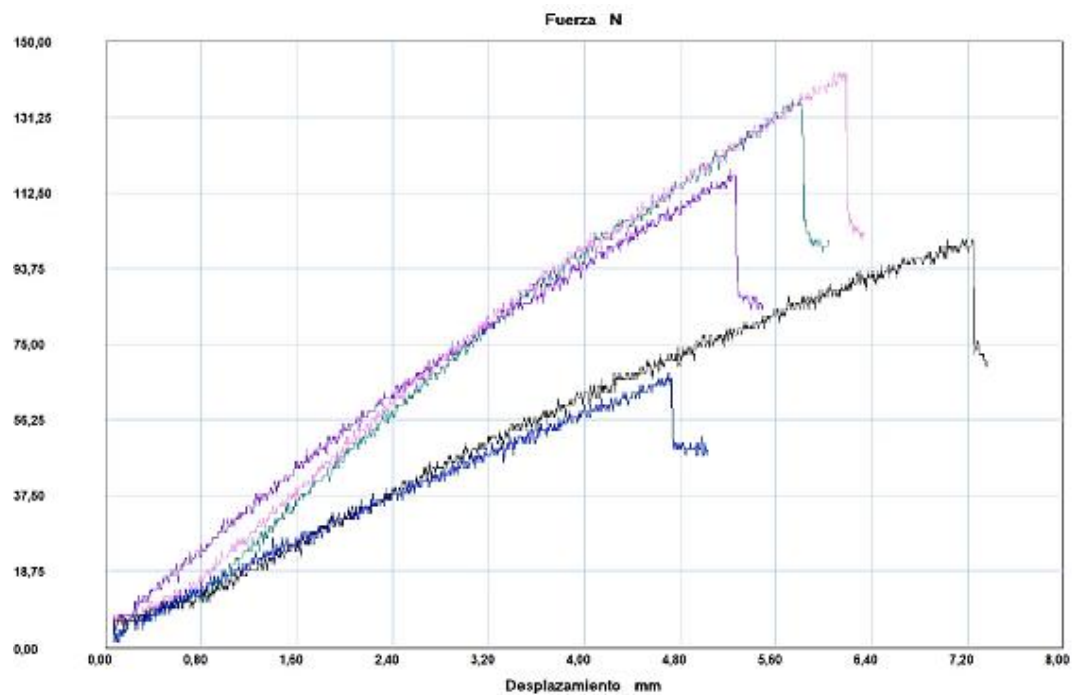
Cara frontal



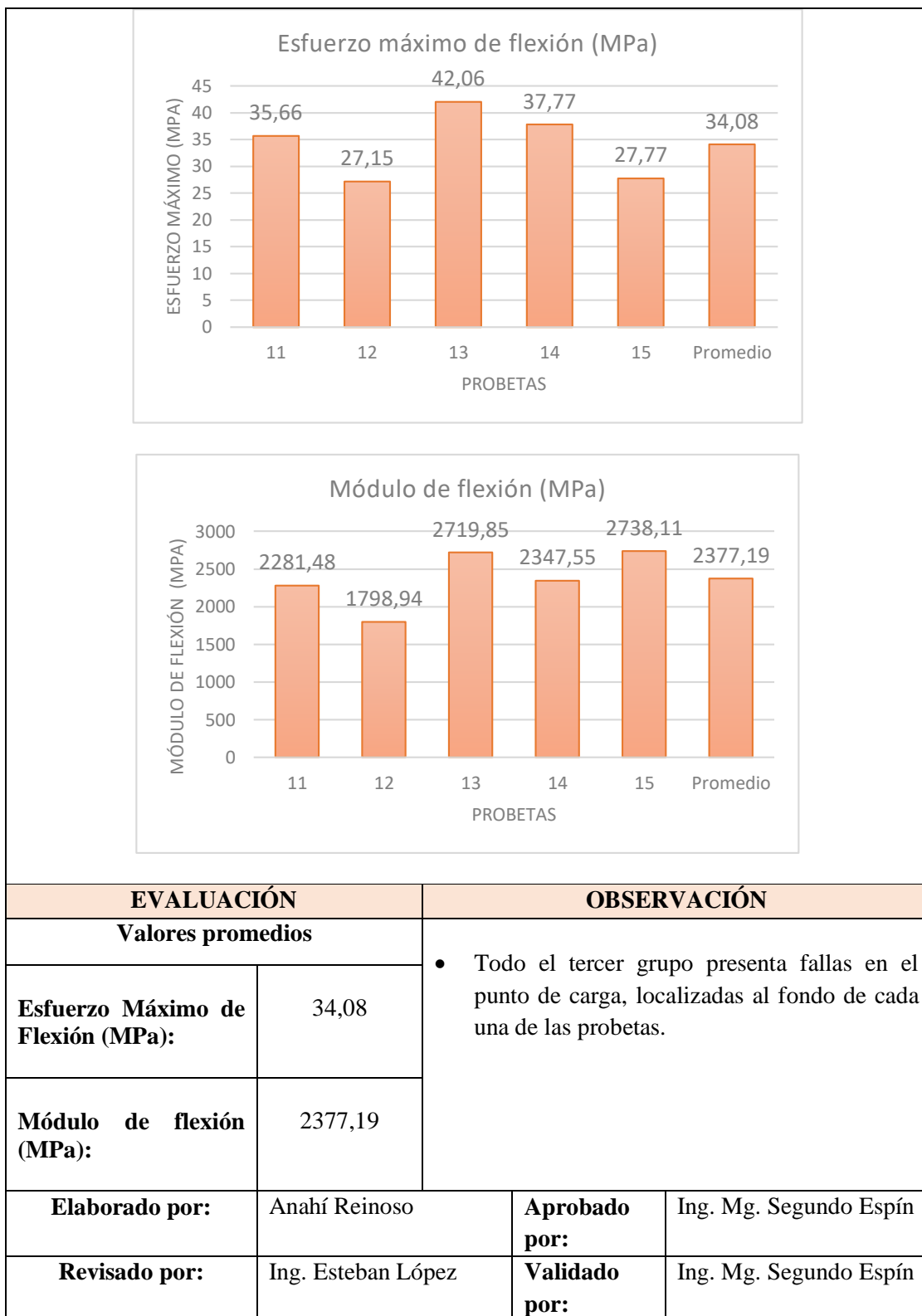
Cara posterior



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	CMax MPa
1	135,69	1,38
2	118,33	1,12
3	142,00	1,52
4	100,98	1,23
5	67,84	0,85
Media	112,968	1,220
Desv. Std	29,867	0,256
Coef. V.	0,264	0,210
+3 Sigma	202,569	1,988

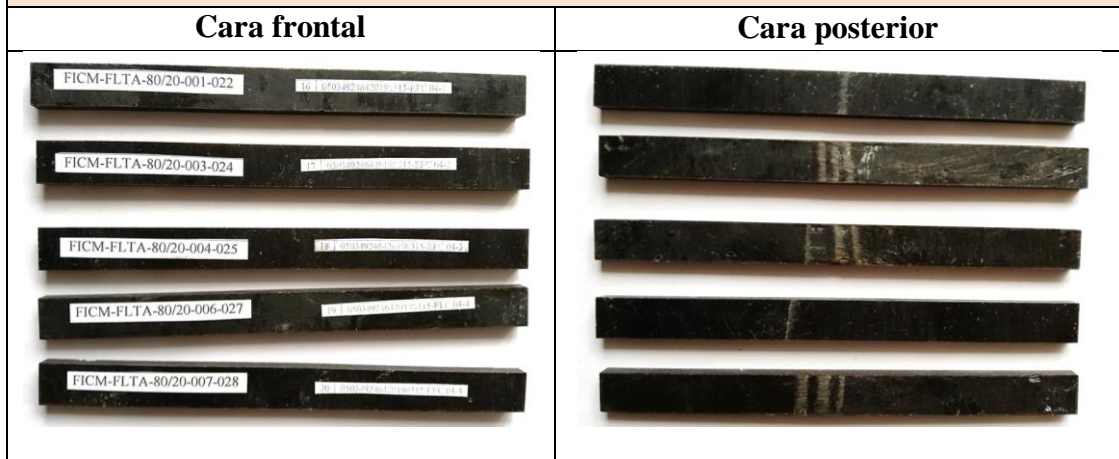


Fuente. La autora

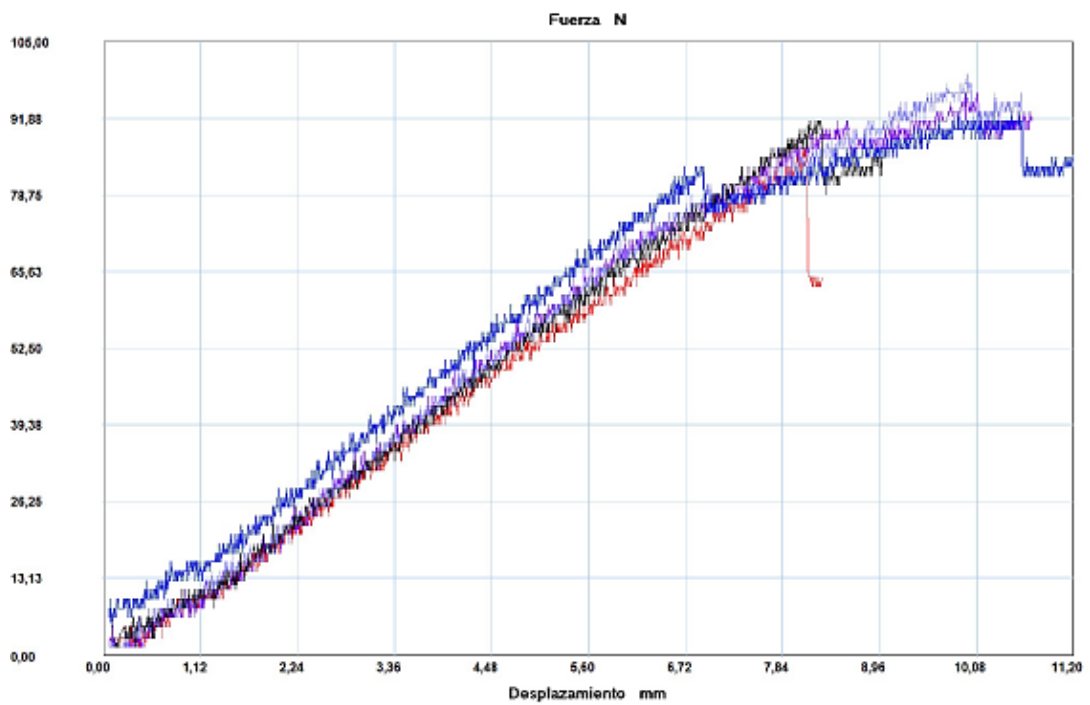
Tabla 27. Tabulación de datos del grupo 4 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264-15			
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	80%			
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	20%			
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Manual			
Dimensión (mm):	160*13*e	Tipo:	A			
Temperatura:	25.2 °C	Característica de la fibra:	Larga			
Humedad relativa:	51.0 %	Número de probetas:	5			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	5.314			
RESULTADOS						
Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo falla
16	86,78	8,074	43,82	2806,63	1,56	OAB
17	96,25	9,998	47,80	2453,99	1,95	OAB
18	99,40	9,969	49,29	2532,95	1,95	OAB
19	91,51	8,130	45,68	2883,99	1,58	OLB
20	93,09	9,871	46,13	2398,69	1,92	OAB
Promedio \bar{X}	93,406	9,21	46,544	2615,26	1,79	
Desviación estándar $S_n - 1$	4,786	1,01	2,09	217,10	0,20	
Coefficiente de variación CV	5,124	10,98	4,49	8,30	11,22	

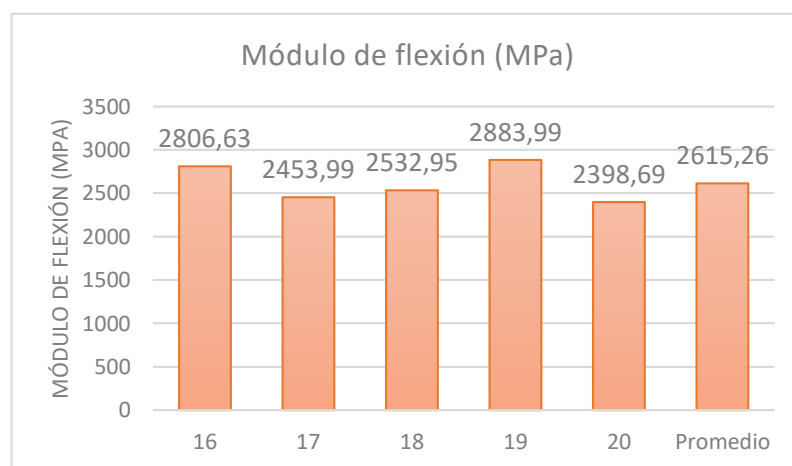
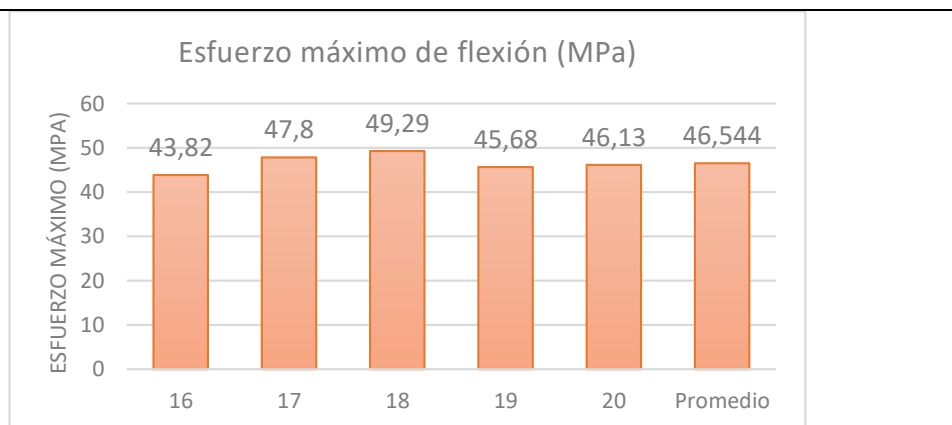
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	CMax MPa
■ 1	86,78	1,20
■ 2	96,25	1,32
■ 3	99,40	1,37
■ 4	91,51	1,27
■ 5	93,09	1,28
Media	93,406	1,288
Desv. Std	4,786	0,062
Coef. V.	0,051	0,048
+3 Sigma	107,763	1,474



EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
Valores promedios		<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 16, 17, 18 y 20 presentan fallas en el punto de carga, localizadas al fondo de cada una de las probetas. La probeta 19 presenta falla entre la carga y el punto de apoyo, localizada al fondo de la probeta. 	
Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa):	46,544		
Módulo de flexión (MPa):	2615,26		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

Tabla 28. Tabulación de datos del grupo 5 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264-15			
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	80%			
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	20%			
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Manual			
Dimensión (mm):	160*13*e	Tipo:	B			
Temperatura:	25.8 °C	Característica de la fibra:	Larga			
Humedad relativa:	49.9 %	Número de probetas:	5			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	5.386			
RESULTADOS						
Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo falla
21	71,00	4,977	35,09	3585,67	0,98	OAB
22	67,84	4,551	31,15	3442,49	0,90	OLB
23	78,89	7,506	38,01	2599,24	1,46	OLB
24	64,69	5,297	32,49	3107,10	1,05	OLB
25	71,00	4,498	32,70	3662,93	0,89	OAB
Promedio \bar{X}	70,684	5,37	33,89	3279,49	1,06	
Desviación estándar $S_n - 1$	5,281	1,24	2,71	435,83	0,23	
Coefficiente de variación CV	7,471	23,11	7,99	13,29	22,22	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

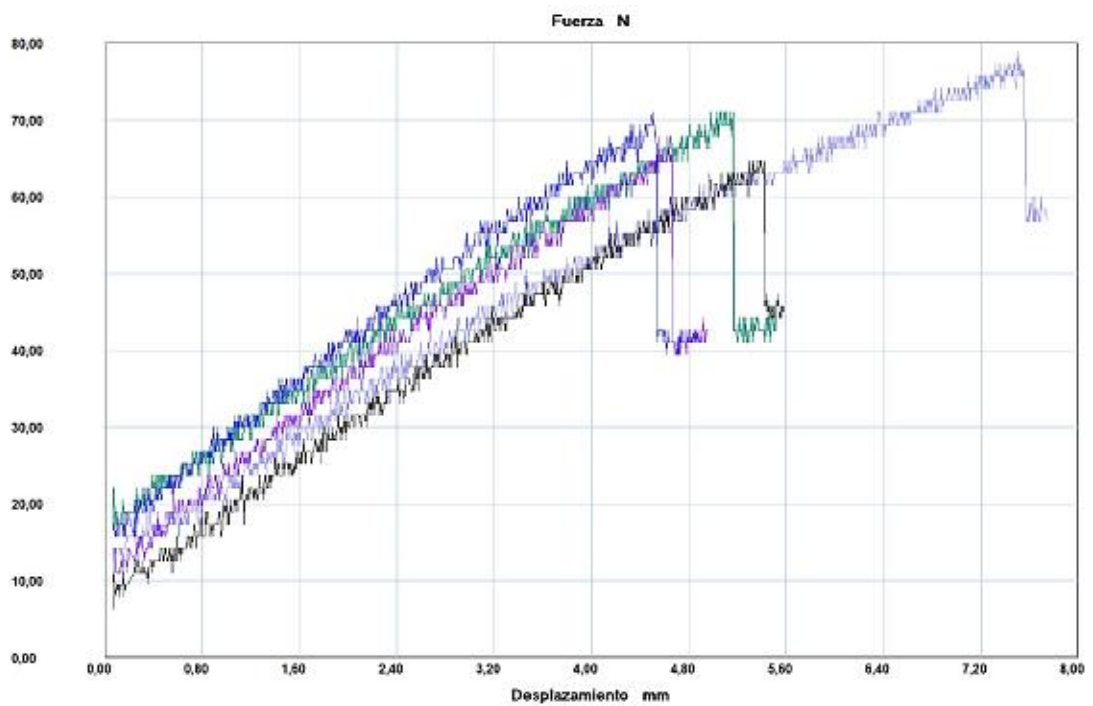
Cara frontal



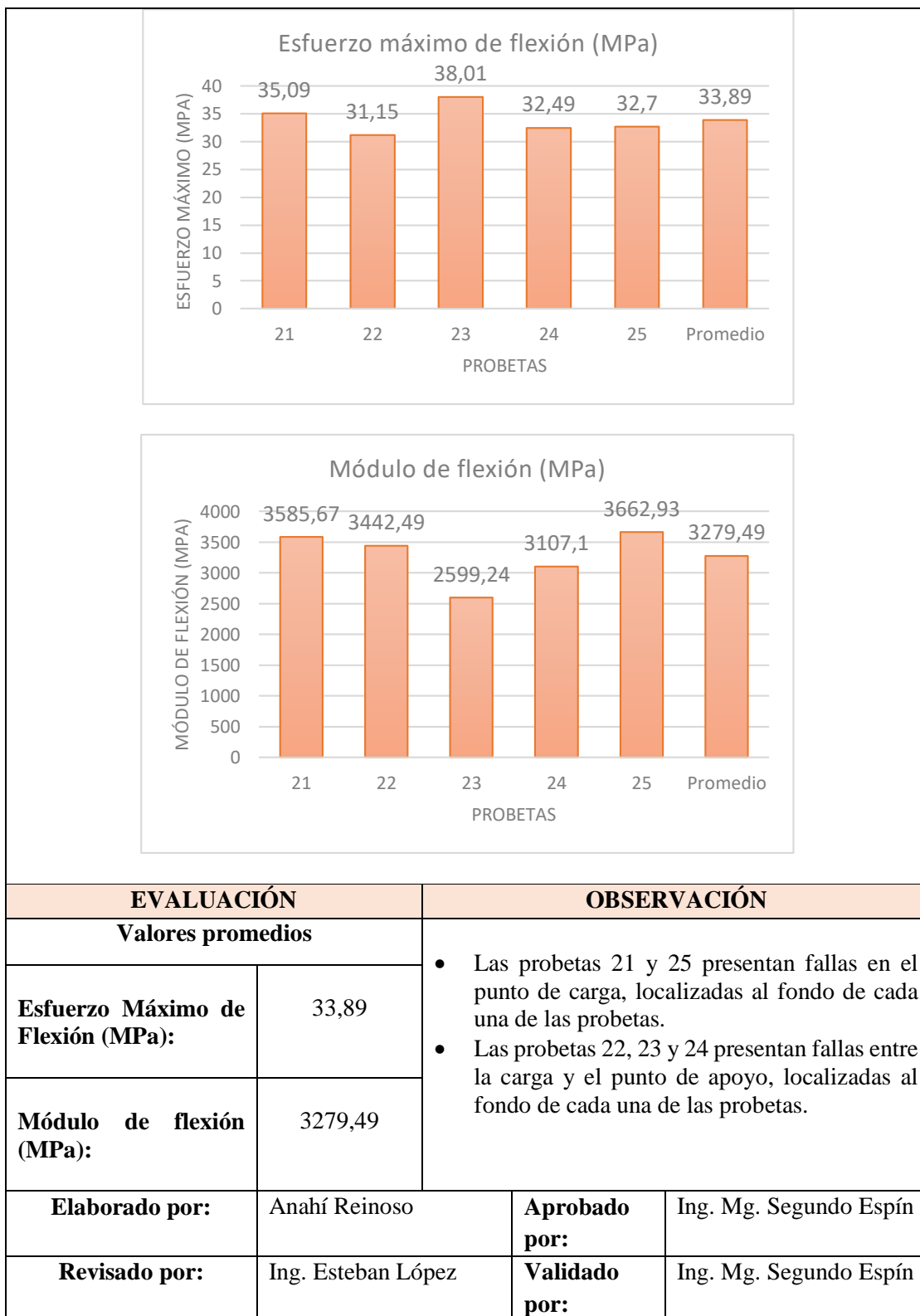
Cara posterior



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	CMax MPa
1	71,00	0,98
2	67,84	0,88
3	78,89	1,05
4	64,69	0,91
5	71,00	0,92
Media	70,684	0,950
Desv. Std	5,281	0,068
Coef. V.	0,075	0,072
+3 Sigma	86,527	1,155



Fuente. La autora

Tabla 29. Tabulación de datos del grupo 6 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264-15			
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	80%			
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	20%			
Orientación de la fibra:	Al azar	Estratificación:	Manual			
Dimensión (mm):	160*13*e	Tipo:	C			
Temperatura:	25.8 °C	Característica de la fibra:	Corta			
Humedad relativa:	49.4 %	Número de probetas:	5			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	5.828			
RESULTADOS						
Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo falla
26	61,53	5,295	26,51	2301,59	1,15	OLB
27	55,22	4,146	23,59	2602,55	0,91	OAB
28	63,11	4,900	27,32	2563,17	1,07	OAB
29	67,84	4,977	29,07	2740,06	1,06	OAB
30	59,96	4,990	28,97	2898,48	1,00	OAB
Promedio \bar{X}	61,532	4,86	27,09	2621,17	1,04	
Desviación estándar $S_n - 1$	4,599	0,43	2,24	221,85	0,09	
Coefficiente de variación CV	7,474	8,79	8,27	8,46	8,76	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

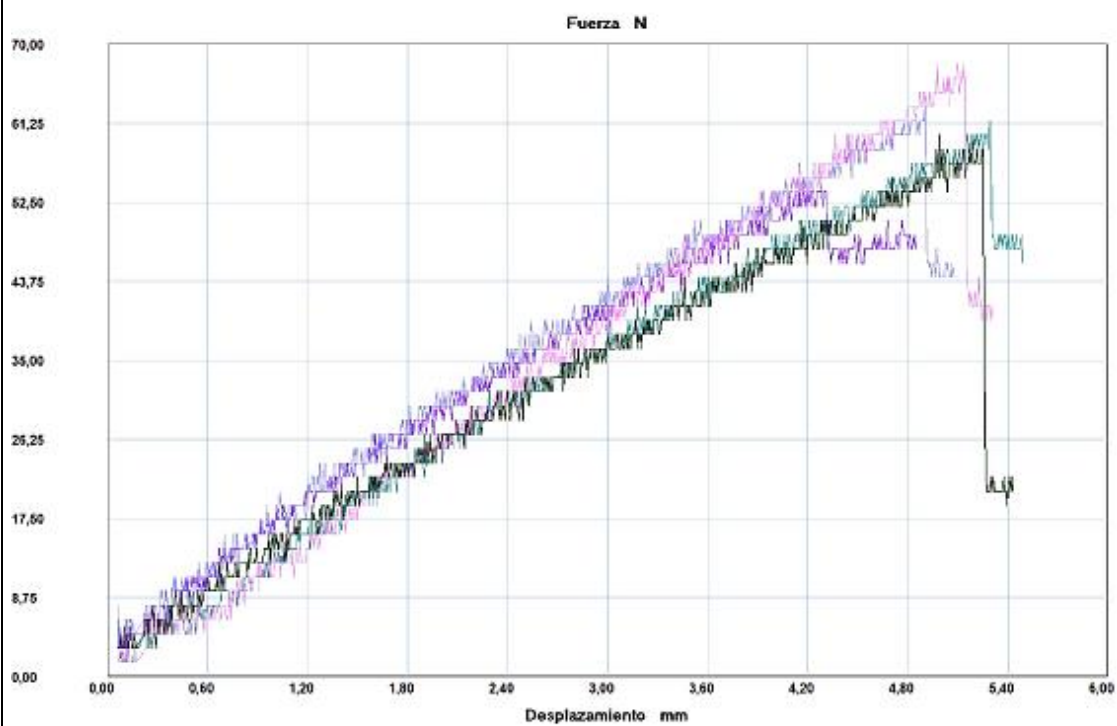
Cara frontal



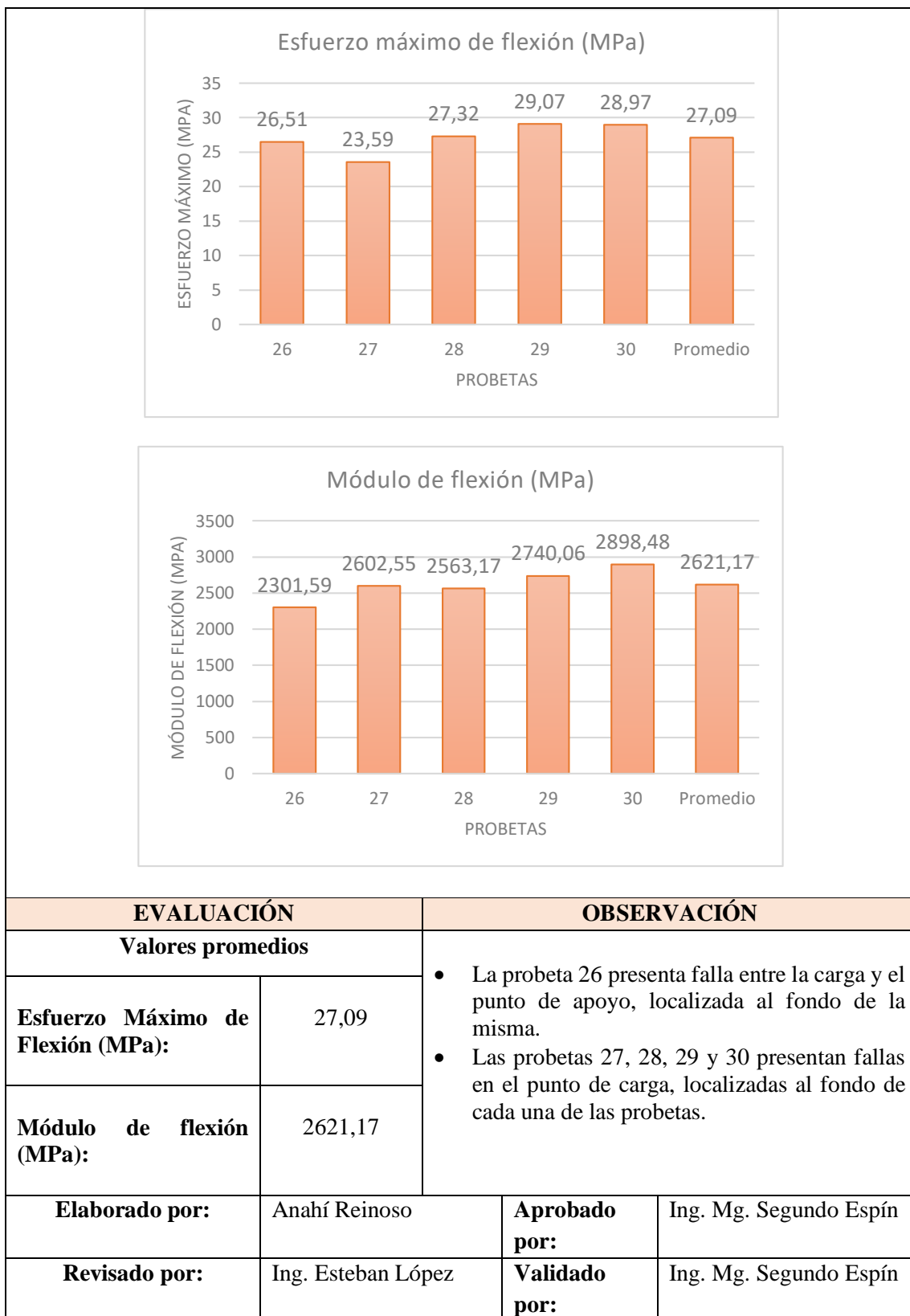
Cara posterior



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	CMax MPa
■ 1	61,53	0,82
■ 2	55,22	0,73
■ 3	63,11	0,85
■ 4	67,84	0,88
■ 5	59,96	0,83
Media	61,532	0,821
Desv. Std	4,599	0,054
Coef. V.	0,075	0,066
+3 Sigma	75,328	0,984

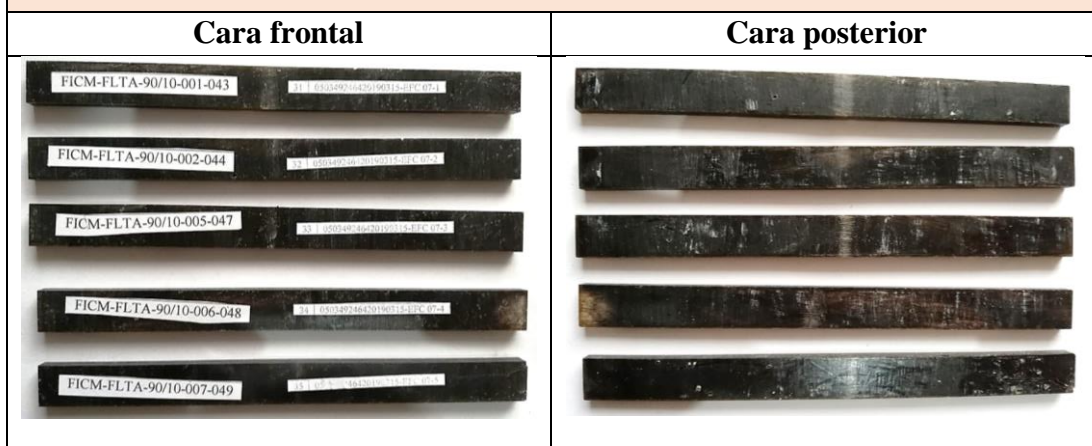


Fuente. La autora

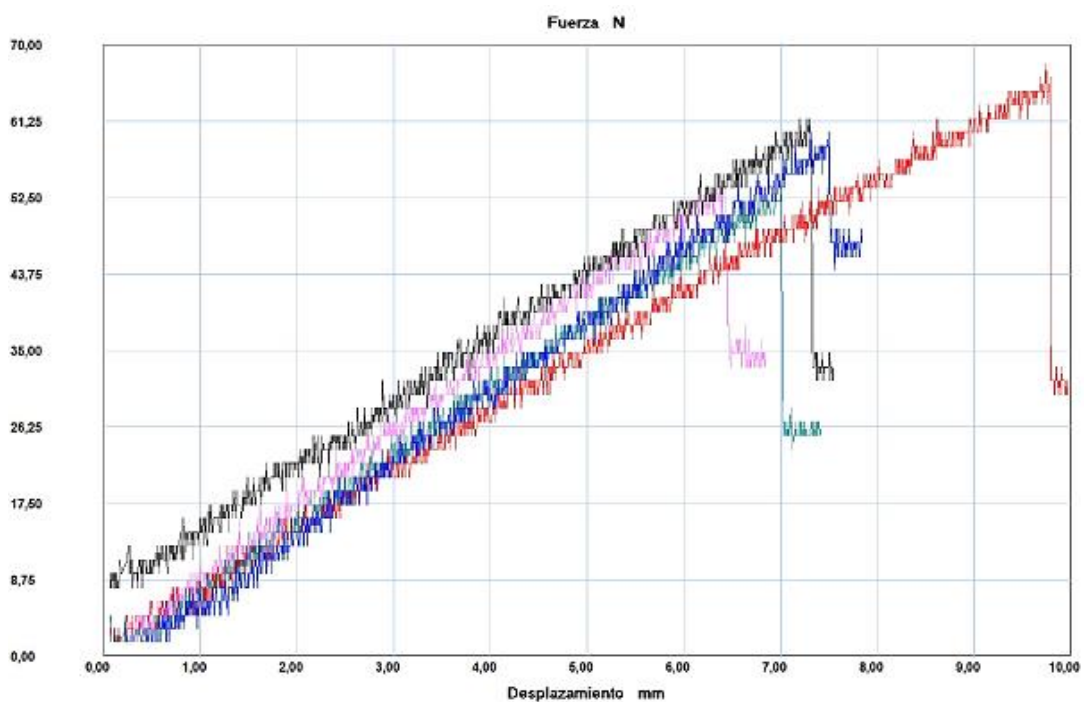
Tabla 30. Tabulación de datos del grupo 7 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264-15			
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	90%			
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	10%			
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Manual			
Dimensión (mm):	160*13*e	Tipo:	A			
Temperatura:	25.7 °C	Característica de la fibra:	Larga			
Humedad relativa:	49.4 %	Número de probetas:	5			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	4.73			
RESULTADOS						
Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo falla
31	67,84	9,738	46,28	2827,10	1,64	OLB
32	53,64	7,002	34,28	2820,79	1,22	OLB
33	53,64	6,171	32,20	2950,02	1,09	OLB
34	61,53	7,194	40,40	3276,93	1,23	OAB
35	59,96	7,306	37,11	2883,29	1,29	OAB
Promedio \bar{X}	59,322	7,48	38,05	2951,62	1,29	
Desviación estándar $S_n - 1$	5,967	1,34	5,53	189,16	0,21	
Coefficiente de variación CV	10,058	17,87	14,54	6,41	15,88	

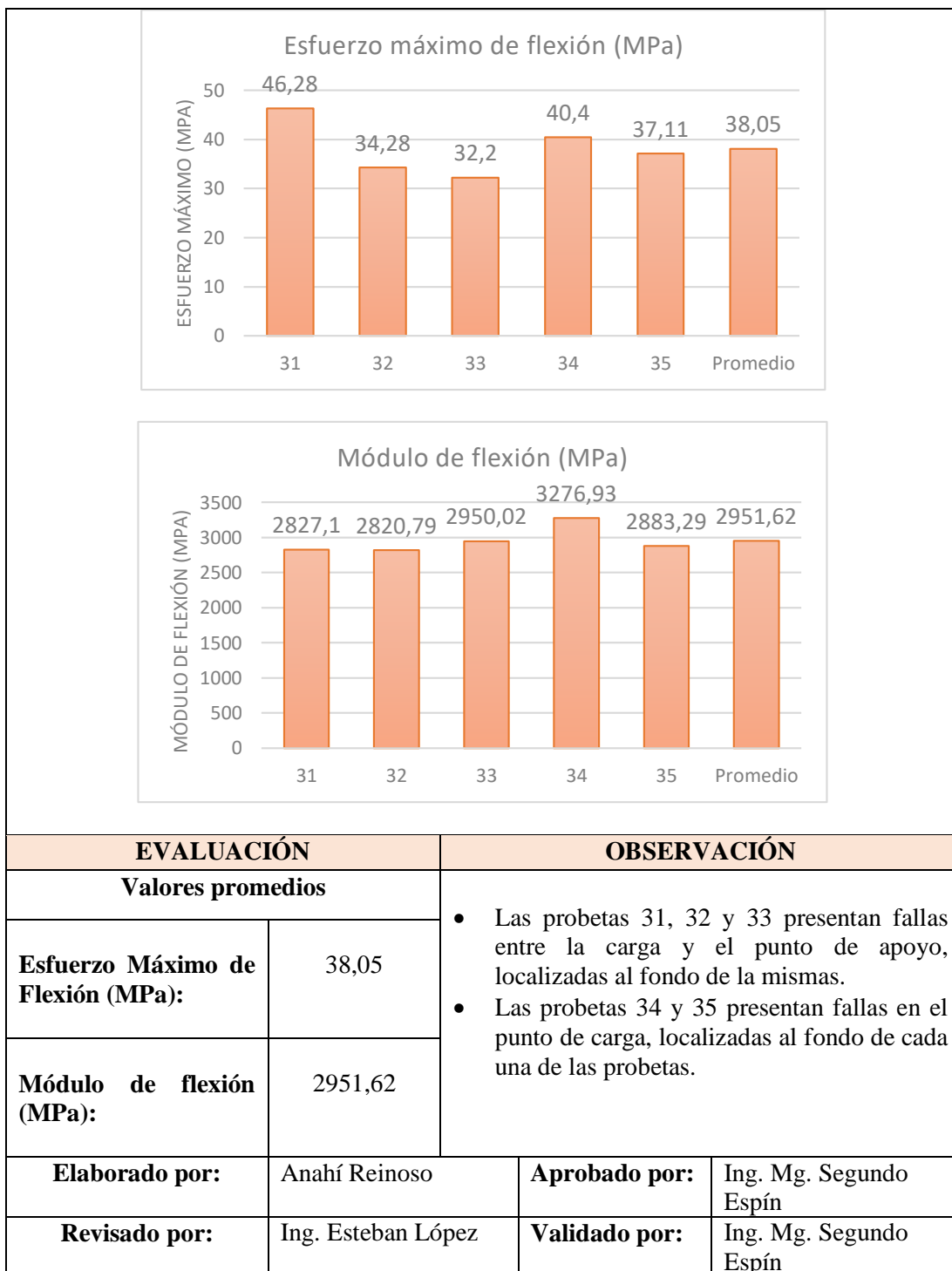
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	CMax MPa
1	67,84	1,11
2	53,64	0,85
3	53,64	0,81
4	61,53	0,98
5	59,96	0,93
Media	59,322	0,935
Desv. Std	5,967	0,118
Coef. V.	0,101	0,126
+3 Sigma	77,222	1,288

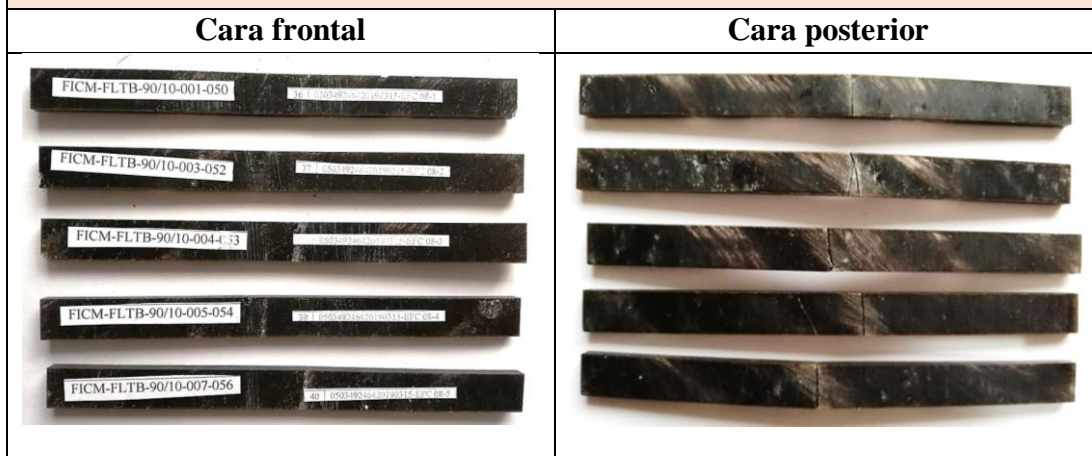


Fuente. La autora

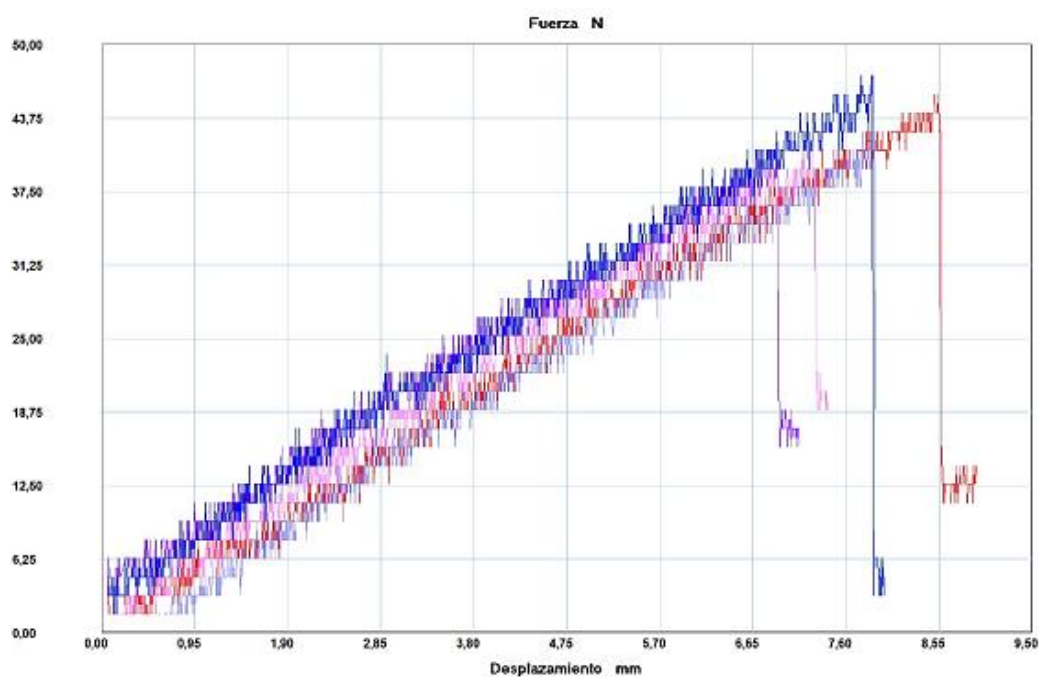
Tabla 31. Tabulación de datos del grupo 8 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264-15			
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	90%			
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	10%			
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Manual			
Dimensión (mm):	160*13*e	Tipo:	B			
Temperatura:	26.3 °C	Característica de la fibra:	Larga			
Humedad relativa:	48.1 %	Número de probetas:	5			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	4.414			
RESULTADOS						
Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo falla
36	45,76	8,501	33,85	2437,65	1,39	OLB
37	41,02	6,698	31,03	2895,02	1,07	OLB
38	42,60	7,760	31,01	2457,61	1,26	OAB
39	41,02	7,155	30,66	2665,21	1,15	OLB
40	47,33	7,753	35,03	2797,47	1,25	OAB
Promedio \bar{X}	43,546	7,57	32,316	2650,59	1,22	
Desviación estándar $S_n - 1$	2,867	0,68	1,99	202,56	0,12	
Coefficiente de variación CV	6,584	9,03	6,15	7,64	9,82	

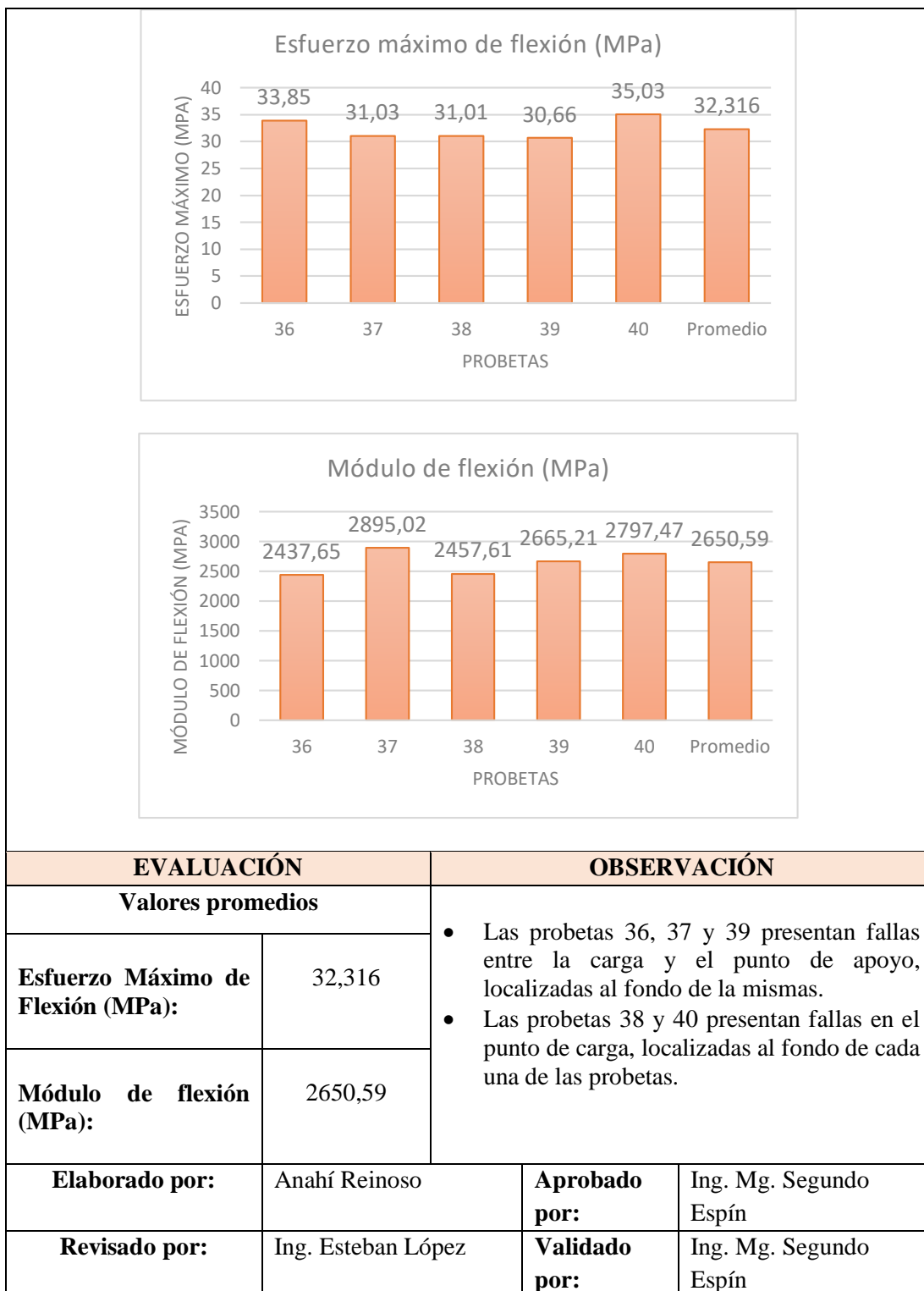
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



GRÁFICAS





Probeta	FMax N	CMax MPa
■ 1	45,76	0,79
■ 2	41,02	0,71
■ 3	42,60	0,72
■ 4	41,02	0,70
■ 5	47,33	0,80
Media	43,546	0,743
Desv. Std	2,867	0,049
Coef. V.	0,066	0,065
+3 Sigma	52,147	0,889



Fuente. La autora

Tabla 32. Tabulación de datos del grupo 9 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	21/03/2019	Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE 50KN					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264-15			
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	90%			
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	10%			
Orientación de la fibra:	Al azar	Estratificación:	Manual			
Dimensión (mm):	160*13*e	Tipo:	C			
Temperatura:	26.2 °C	Característica de la fibra:	Corta			
Humedad relativa:	48.3 %	Número de probetas:	5			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor promedio (mm):	5.794			
RESULTADOS						
Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo falla
41	67,84	5,075	31,18	2912,91	1,07	OAB
42	75,73	4,788	30,88	2950,24	1,05	OAB
43	58,68	4,198	26,84	3041,67	0,88	OLB
44	40,49	3,560	18,85	2518,42	0,75	OLB
45	48,91	3,392	22,55	3152,10	0,72	OAV
Promedio \bar{X}	58,330	4,20	26,06	2915,07	0,89	
Desviación estándar $S_n - 1$	14,145	0,74	5,35	240,20	0,16	
Coeficiente de variación CV	24,250	17,54	20,53	8,24	18,38	

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

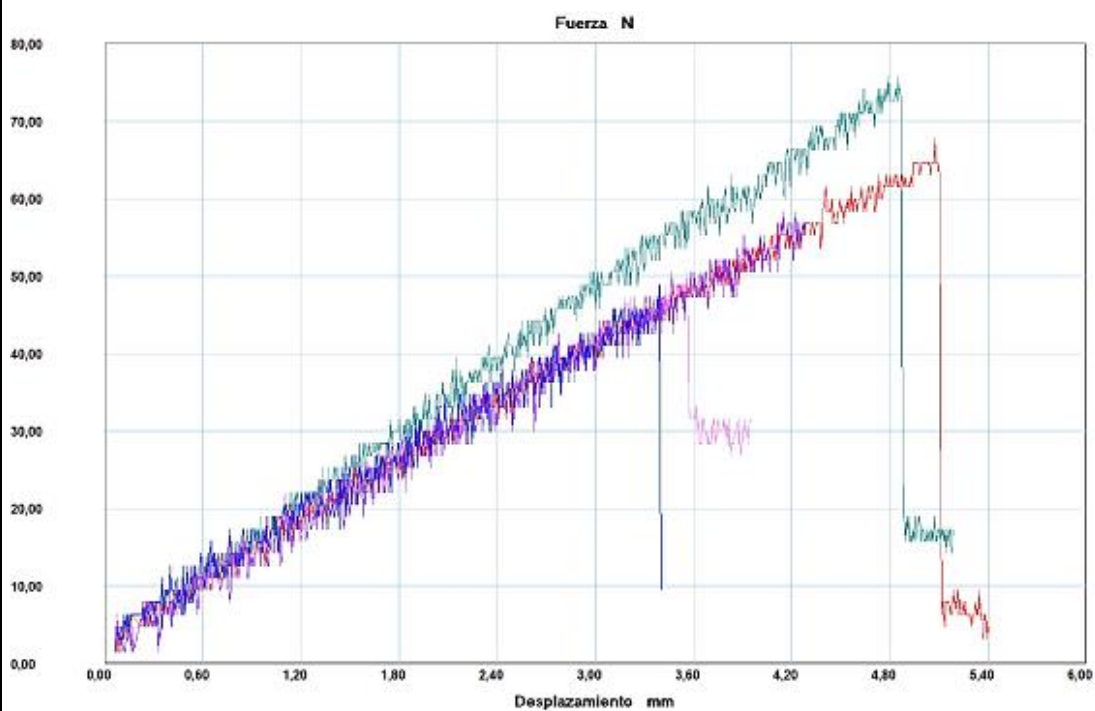
Cara frontal



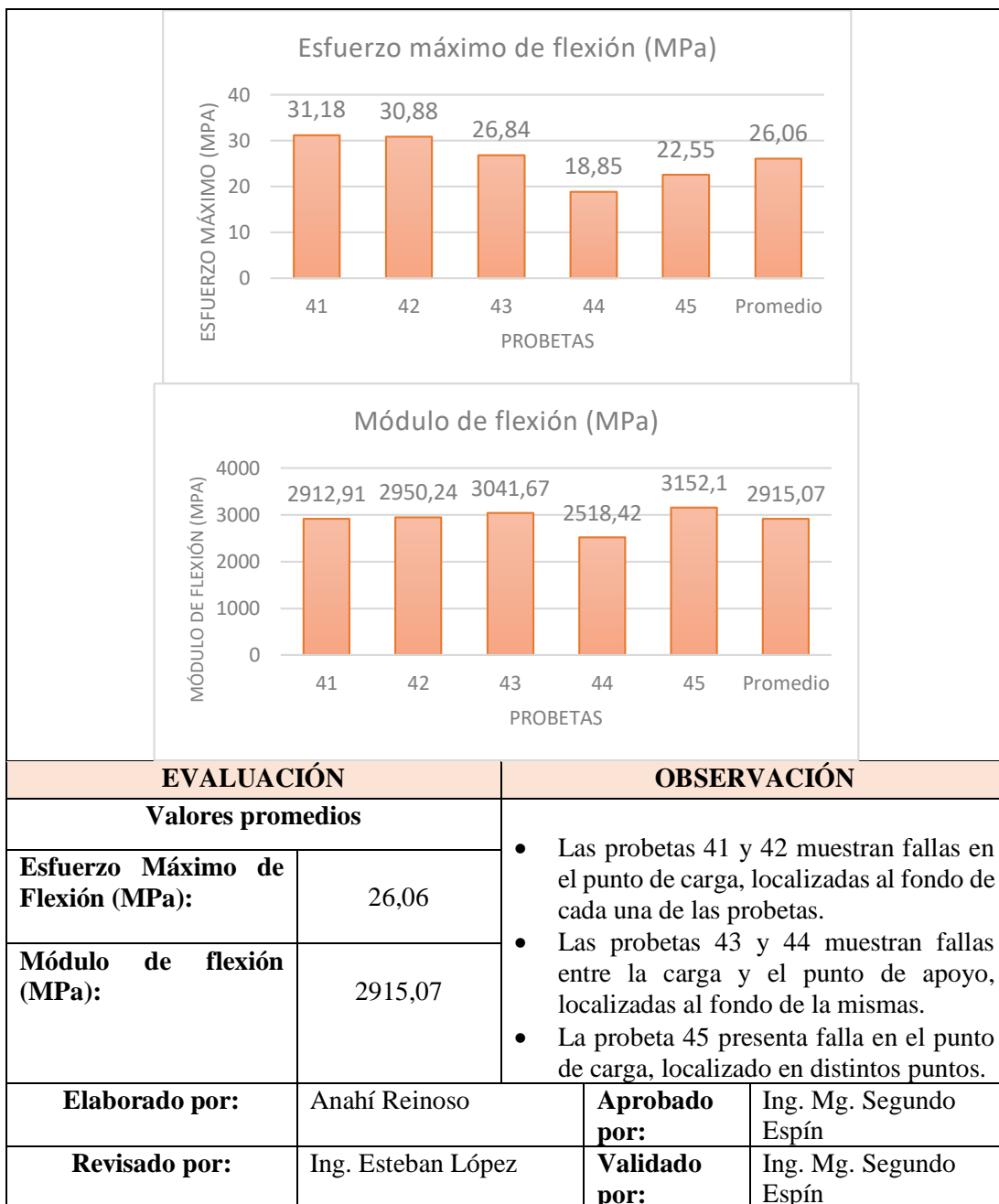
Cara posterior



GRÁFICAS



Probeta	FMax N	CMax MPa
1	67,84	0,94
2	75,73	0,96
3	58,38	0,80
4	50,49	0,70
5	48,91	0,68
Media	60,270	0,815
Desv. Std	11,452	0,130
Coef. V.	0,190	0,160
+3 Sigma	94,626	1,205



Fuente. La autora

Codificación de fallas evaluado a Flexión

Según la Norma ASTM D7264 se presentan los siguientes tipos de fallas:


Tabla 33. Tipos de fallas a flexión

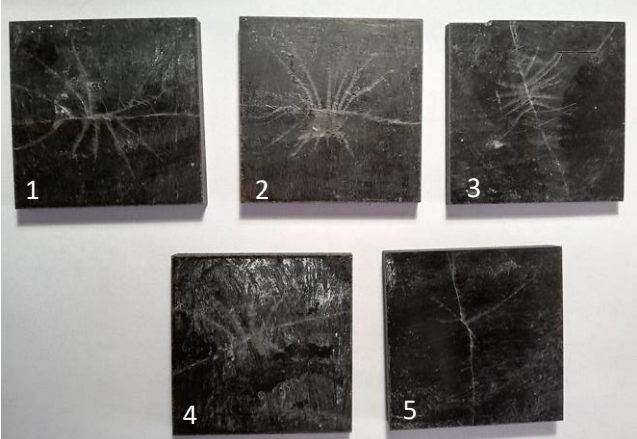
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entra la carga y el punto de apoyo	V	Varios
		U	No conocido	U	Desconocido

Fuente. La autora

3.1.3 TABULACIÓN DE DATOS DE PROBETAS ENSAYADAS A IMPACTO



Tabla 34. Tabulación de datos del grupo 1 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	28/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la FICM				
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo				
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO					
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	30%		
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	58*58*e	Tipo:	A		
Geometría del dardo:	FE	Característica de la fibra:	Larga		
Masa del dardo (Kg):	0.2198	Número de probetas:	5		
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al impacto MEF (J)	Tipo de falla
1	800	0,2198	0,00980665	1,724	A
2	820	0,2198	0,00980665	1,768	B
3	760	0,2198	0,00980665	1,638	A
4	500	0,2198	0,00980665	1,078	A
5	300	0,2198	0,00980665	0,647	A
Promedio \bar{X}	636	-	-	1,371	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Cara Frontal					
					

Cara Posterior			
			
EVALUACIÓN Y OBSERVACIÓN			
Energía promedio absorbida (J)	1,371 J		
Inicio de la falla:	Las probetas 1,3,4 y 5 poseen grietas o fisuras en una sola superficie y la probeta 2 presenta grietas que penetran a través de todo el espesor, además en la probeta 1 y 2 se generaron grietas en dirección de la fibra a 0°.		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

Tabla 35. Tabulación de datos del grupo 2 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	28/03/2019	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales de la FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo		
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	30%
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Manual
Dimensión (mm):	58*58*e	Tipo:	B
Geometría del dardo:	FE	Característica de la fibra:	Larga
Masa del dardo (Kg):	0.2198	Número de probetas:	5

RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al impacto MEF (J)	Tipo de falla
6	300	0,2198	0,00980665	0,647	A
7	250	0,2198	0,00980665	0,539	A
8	200	0,2198	0,00980665	0,431	A
9	500	0,2198	0,00980665	1,078	A
10	800	0,2198	0,00980665	1,724	A
Promedio \bar{X}	410	-	-	0,884	-

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

Cara Frontal



Cara Posterior




EVALUACIÓN Y OBSERVACIÓN

Energía promedio absorbida (J)	0,884 J		
Inicio de la falla:	Todas las probetas poseen grietas en una sola superficie, además, la falla empezó en la matriz y el refuerzo ayudó a distribuir el impacto en dirección de la fibra en este caso a 45°.		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

Tabla 36. Tabulación de datos del grupo 3 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	28/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la FICM				
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo				
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO					
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	30%		
Orientación de la fibra:	Al azar	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	58*58*e	Tipo:	C		
Geometría del dardo:	FE	Característica de la fibra:	Corta		
Masa del dardo (Kg):	0.2198	Número de probetas:	5		
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al impacto MEF (J)	Tipo de falla
11	300	0,2198	0,00980665	0,647	A
12	200	0,2198	0,00980665	0,431	A
13	400	0,2198	0,00980665	0,862	A
14	150	0,2198	0,00980665	0,323	A
15	800	0,2198	0,00980665	1,724	A
Promedio \bar{X}	370	-	-	0,798	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Cara Frontal					
					

Cara Posterior			
			
EVALUACIÓN Y OBSERVACIÓN			
Energía promedio absorbida (J)	0,798 J		
Inicio de la falla:	Todo el grupo de probetas presenta grietas en una sola superficie, este grupo posee fibra corta colocada al azar, en este caso las fisuras se distribuyeron homogéneamente al momento del impacto, por lo que no se destruyó ninguna de ellas.		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

Tabla 37. Tabulación de datos del grupo 4 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	28/03/2019	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales de la FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo		
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	80%
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	20%
Orientación de fibra:	0°	Estratificación:	Manual
Dimensión (mm):	58*58*e	Tipo:	A
Geometría del dardo:	FE	Característica de la fibra:	Larga
Masa del dardo (Kg):	0.2198	Número de probetas:	5

RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al impacto MEF (J)	Tipo de falla
16	200	0,2198	0,00980665	0,431	A
17	150	0,2198	0,00980665	0,323	A
18	500	0,2198	0,00980665	1,078	A
19	800	0,2198	0,00980665	1,724	B
20	700	0,2198	0,00980665	1,509	B
Promedio \bar{X}	470	-	-	1,013	-

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

Cara Frontal



Cara Posterior




EVALUACIÓN Y OBSERVACIÓN

Energía promedio absorbida (J)	1,013 J		
Inicio de la falla:	De la 16 a la 18 presentan grietas en una sola superficie, la 19 y 20 presentan grietas que penetran todo el espesor, en todo el grupo 4 las grietas se encuentran en dirección de la fibra a 0°.		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

Tabla 38. Tabulación de datos del grupo 5 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	28/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la FICM				
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo				
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO					
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	80%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	20%		
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	58*58*e	Tipo:	B		
Geometría del dardo:	FE	Característica de la fibra:	Larga		
Masa del dardo (Kg):	0.2198	Número de probetas:	5		
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coeficiente	Resistencia al impacto MEF (J)	Tipo de falla
21	200	0,2198	0,00980665	0,431	A
22	150	0,2198	0,00980665	0,323	A
23	120	0,2198	0,00980665	0,259	A
24	600	0,2198	0,00980665	1,293	A
25	700	0,2198	0,00980665	1,509	B
Promedio \bar{X}	354	-	-	0,763	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Cara Frontal					
					

Cara Posterior			
EVALUACIÓN Y OBSERVACIÓN			
Energía promedio absorbida (J)	0,763 J		
Inicio de la falla:	De la 21 a la 24 presentan grietas en una sola superficie, la 25 las grietas penetran por el espesor, en todo el grupo 5 de probetas las grietas se generan en dirección de la fibra a 45°.		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

Tabla 39. Tabulación de datos del grupo 6 a impacto

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	28/03/2019	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales de la FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo		
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	80%
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	20%
Orientación de la fibra:	Al azar	Estratificación:	Manual
Dimensión (mm):	58*58*e	Tipo:	C
Geometría del dardo:	FE	Característica de la fibra:	Corta
Masa del dardo (Kg):	0.2198	Número de probetas:	5

RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al impacto MEF (J)	Tipo de falla
26	200	0,2198	0,00980665	0,431	A
27	300	0,2198	0,00980665	0,647	A
28	400	0,2198	0,00980665	0,862	A
29	800	0,2198	0,00980665	1,724	A
30	1200	0,2198	0,00980665	2,587	A
Promedio \bar{X}	580	-	-	1,250	-

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

Cara Frontal



Cara Posterior





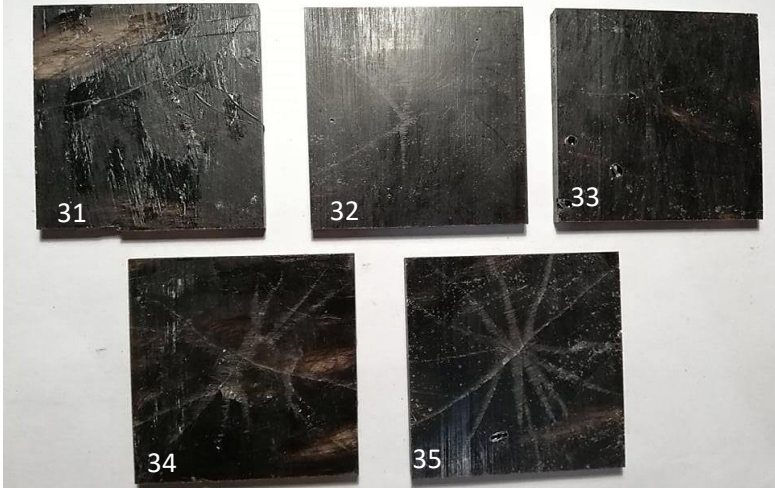
EVALUACIÓN Y OBSERVACIÓN

Energía promedio absorbida (J)	1,250 J		
Inicio de la falla:	Todo el grupo 6 presentan grietas en una sola superficie, no existe ruptura en ninguna de ellas, a pesar que la altura a la cual fue ensayada la probeta 30 es la mayor de todos los grupos, lo cual indica que posee una excelente resistencia al impacto.		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora



Tabla 40. Tabulación de datos del grupo 7 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	28/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la FICM				
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo				
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO					
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	90%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	10%		
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	58*58*e	Tipo:	A		
Geometría del dardo:	FE	Característica de la fibra:	Larga		
Masa del dardo (Kg):	0.2198	Número de probetas:	5		
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al impacto MEF (J)	Tipo de falla
31	200	0,2198	0,00980665	0,431	A
32	120	0,2198	0,00980665	0,259	A
33	100	0,2198	0,00980665	0,216	A
34	600	0,2198	0,00980665	1,293	B
35	500	0,2198	0,00980665	1,078	A
Promedio \bar{X}	304	-	-	0,655	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Cara Frontal					
					

Cara Posterior			
			
EVALUACIÓN Y OBSERVACIÓN			
Energía promedio absorbida (J)	0,655 J		
Inicio de la falla:	Todo el grupo 7 presenta grietas en una sola superficie, excepto la 34 que presenta grietas que penetran todo el espesor, pero no se provocó la ruptura en ninguna de ellas.		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

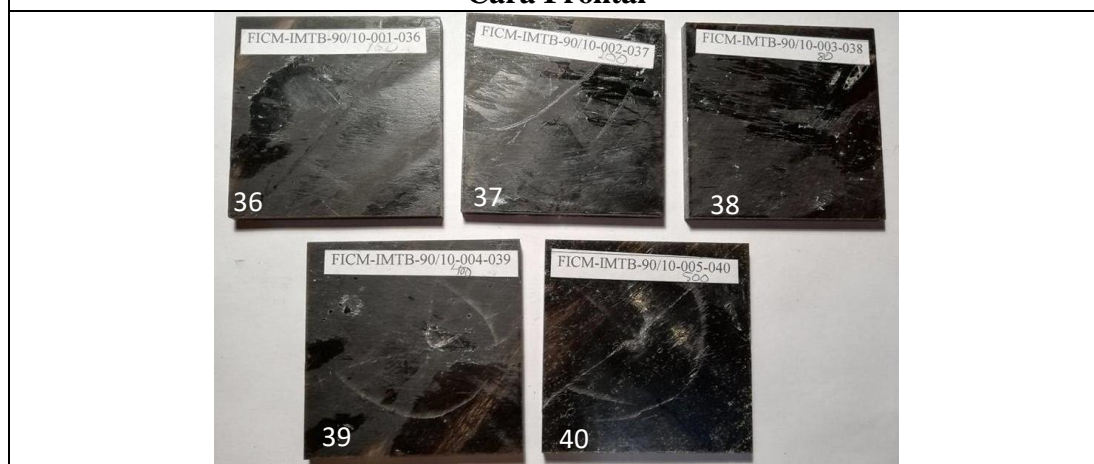
Tabla 41. Tabulación de datos del grupo 8 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	28/03/2019	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales de la FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo		
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	90%
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	10%
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Manual
Dimensión (mm):	58*58*e	Tipo:	B
Geometría del dardo:	FE	Característica de la fibra:	Larga
Masa del dardo (Kg):	0.2198	Número de probetas:	5

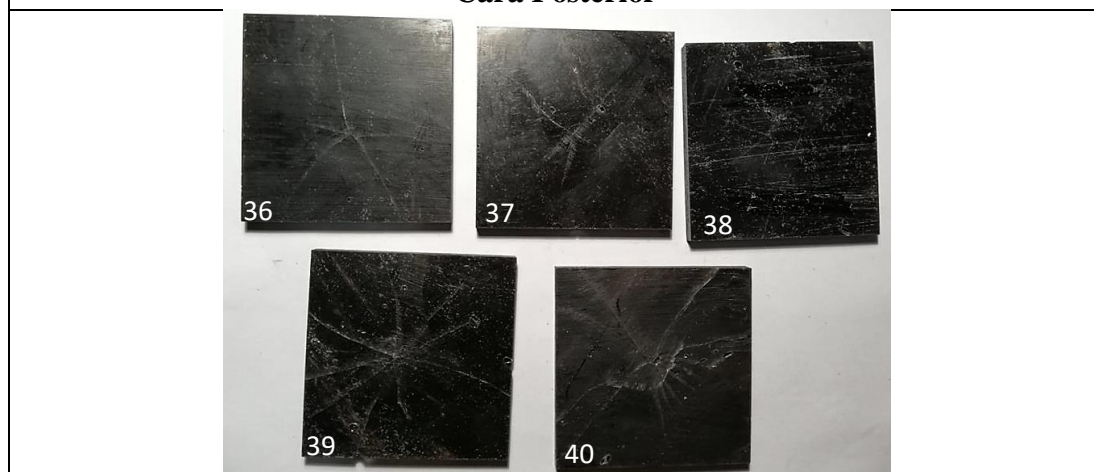
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al impacto MEF (J)	Tipo de falla
36	150	0,2198	0,00980665	0,323	A
37	100	0,2198	0,00980665	0,216	A
38	80	0,2198	0,00980665	0,172	A
39	500	0,2198	0,00980665	1,078	A
40	400	0,2198	0,00980665	0,862	B
Promedio	246	-	-	0,530	-

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO

Cara Frontal



Cara Posterior







EVALUACIÓN Y OBSERVACIÓN

Energía promedio absorbida (J)	0,530 J		
Inicio de la falla:	De la 36 a la 39 presentan grietas en una sola superficie, la 40 presenta grietas que penetran por el espesor en dirección de la fibra a 45°, en ninguna de las probetas se generó ruptura.		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

Tabla 42. Tabulación de datos del grupo 9 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	28/03/2019	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales de la FICM				
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo				
PARÁMETROS DE ENSAYO A IMPACTO					
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628		
Matriz:	Resina poliéster	Fracción volumétrica:	90%		
Refuerzo:	Fibra de cabello humano	Fracción volumétrica:	10%		
Orientación de la fibra:	Al azar	Estratificación:	Manual		
Dimensión (mm):	58*58*e	Tipo:	C		
Geometría del dardo:	FE	Característica de la fibra:	Corta		
Masa del dardo (Kg):	0.2198	Número de probetas:	5		
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	Resistencia al impacto MEF (J)	Tipo de falla
41	200	0,2198	0,00980665	0,431	A
42	150	0,2198	0,00980665	0,323	A
43	800	0,2198	0,00980665	1,724	A
44	1000	0,2198	0,00980665	2,156	A
45	900	0,2198	0,00980665	1,940	A
Promedio \bar{X}	610	-	-	1,315	-
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO					
Cara Frontal					
					

Cara Posterior			
			
EVALUACIÓN Y OBSERVACIÓN			
Energía promedio absorbida (J)	1,315 J		
Inicio de la falla:	Todo el grupo 9 de probetas presenta fallas tipo A, fisuras en una sola superficie, ninguna de las probetas sufrió ruptura, a pesar que la 44 y 45 fueron ensayadas a una elevada altura.		
Elaborado por:	Anahí Reinoso	Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
Revisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Validado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente. La autora

Nomenclatura de los tipos de fallas para ensayos de impacto

En la siguiente tabla se muestra los tipos de falla según la Norma ASTM D5628.

Tabla 43. Tipos de fallas a impacto

Fallas en ensayo de impacto	
Falla tipo A	Grietas en una sola superficie, la placa sería capaz de retener agua.
Falla tipo B	Grietas que penetran en todo el espesor, el agua posiblemente sería capaz de penetrar a través de la placa.
Falla tipo C	Quebradizo, la placa es partida en varias piezas.
Falla tipo D	Falla dúctil, la placa es penetrada pero no se parte en varias partes.

Fuente. La autora

3.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Conforme los resultados conseguidos de los ensayos elaborados, luego de tabularlos correctamente, se realizó una compilación de valores promedios por cada grupo de 5 probetas, según la configuración del material compuesto. Los parámetros analizados fueron: el esfuerzo máximo (MPa) y el módulo de elasticidad (MPa) para ensayos de tracción y flexión, y la energía de impacto (J) para impacto.

Tabla 44. Caracterización de los grupos de probetas

Probetas	Caracterización
Grupo 1	Probeta con 70% resina poliéster y 30% fibra de cabello, ubicada a 0°.
Grupo 2	Probeta con 70% resina poliéster y 30% fibra de cabello, ubicada a 45°.
Grupo 3	Probeta con 70% resina poliéster y 30% fibra de cabello, ubicada a al azar.
Grupo 4	Probeta con 80% resina poliéster y 20% fibra de cabello, ubicada a 0°.
Grupo 5	Probeta con 80% resina poliéster y 20% fibra de cabello, ubicada a 45°.
Grupo 6	Probeta con 80% resina poliéster y 20% fibra de cabello, ubicada a al azar.
Grupo 7	Probeta con 90% resina poliéster y 10% fibra de cabello, ubicada a 0°.
Grupo 8	Probeta con 90% resina poliéster y 10% fibra de cabello, ubicada a 45°.
Grupo 9	Probeta con 90% resina poliéster y 10% fibra de cabello, ubicada a al azar.

Fuente: La autora

3.2.1 Valores promedios del esfuerzo máximo (MPa) de los grupos de probetas ensayadas a tracción ASTM D 3039 y flexión ASTM D 7264.

En la tabla 45, se puede observar los resultados sobresalientes adquiridos de los ensayos realizados, donde se obtiene un valor de 28.472 MPa para el esfuerzo máximo de tracción perteneciente al grupo 1, con su disposición a 0° y formada de 70% de resina y 30% de fibra y para el esfuerzo máximo de flexión se consigue 66.24 MPa, de igual forma perteneciente al grupo 1, con la misma configuración.

Tabla 45. Comparación de esfuerzos máximos (MPa) a tracción y flexión

Grupos	Disposición de la fibra	Fracción volumétrica		Ensayo a tracción	Ensayo a flexión
		Fracción matriz	Fracción refuerzo	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)
1	0°	70 %	30%	28,472	66,24
2	45°	70 %	30%	11,161	18,33
3	Al azar	70 %	30%	15,749	34,08
4	0°	80 %	20%	22,548	46,54
5	45°	80 %	20%	16,193	33,89
6	Al azar	80 %	20%	13,411	27,09
7	0°	90 %	10%	18,386	38,05
8	45°	90 %	10%	16,119	32,32
9	Al azar	90 %	10%	14,150	26,06

Fuente. La autora

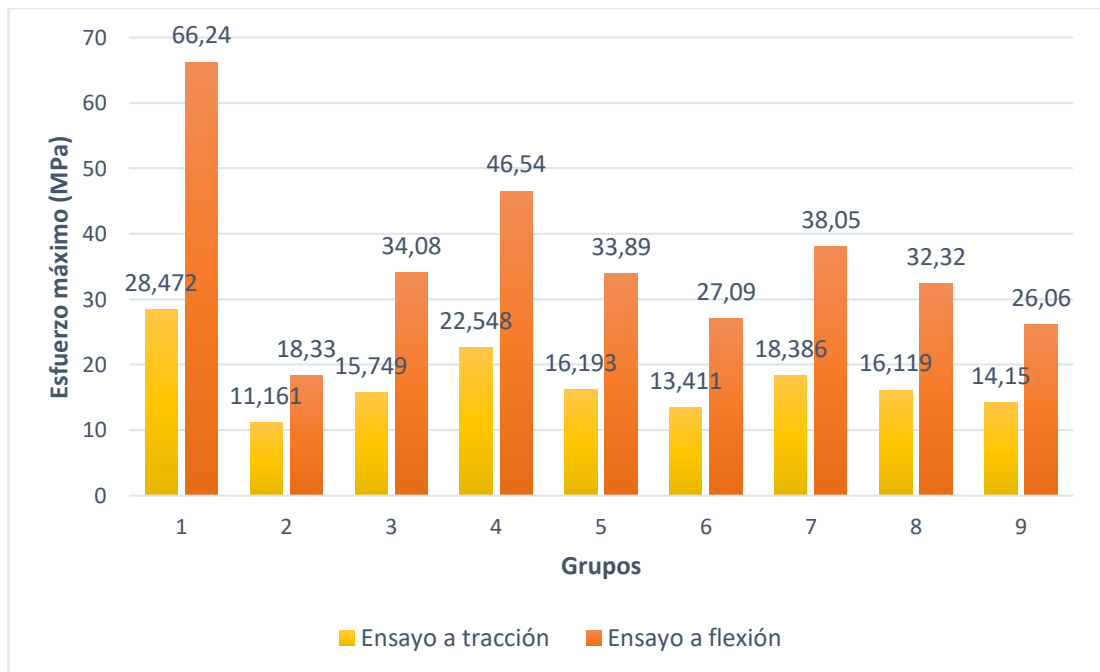


Figura 58. Comparación de esfuerzos promedios máximos a tracción y flexión

Fuente. La autora

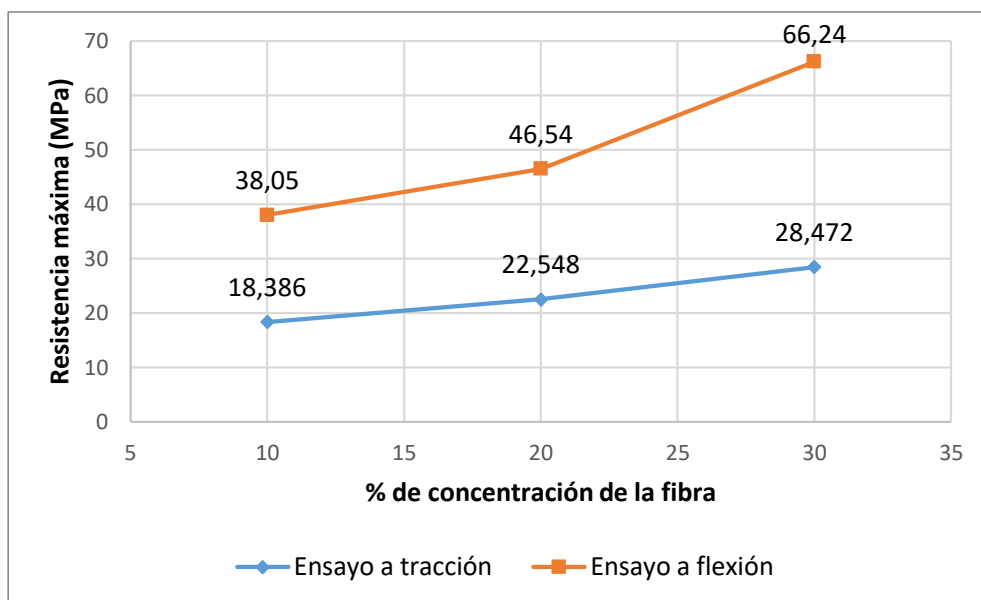


Figura 59. Curva de resistencia máxima vs Concentración volumétrica
Fuente. La autora

3.2.2 Valores promedios del módulo de elasticidad (MPa) de los grupos de probetas ensayadas a tracción ASTM D 3039 y flexión ASTM D 7264.

En la tabla 46, se puede observar los resultados sobresalientes adquiridos de los ensayos realizados, donde se obtiene un valor de 492.306 MPa para el módulo de elasticidad de tracción perteneciente al grupo 4 con su disposición a 0° y formada de 80% de resina y 20% de fibra y para el ensayo a flexión se obtiene 3279.49 MPa, perteneciente al grupo 5 con su disposición a 45° y constituida por 80% de resina y 20% de fibra.

Tabla 46. Comparación de módulos de elasticidad (MPa) a tracción y flexión

Grupos	Disposición de la fibra	Fracción volumétrica		Ensayo a tracción	Ensayo a flexión
		Fracción matriz	Fracción refuerzo	Módulo de elasticidad (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
1	0°	70 %	30%	478,206	2342,44
2	45°	70 %	30%	312,018	2457,71
3	Al azar	70 %	30%	284,932	2377,19
4	0°	80 %	20%	492,306	2615,26
5	45°	80 %	20%	354,282	3279,49
6	Al azar	80 %	20%	312,877	2621,17
7	0°	90 %	10%	414,622	2951,62
8	45°	90 %	10%	353,787	2650,59
9	Al azar	90 %	10%	370,816	2915,07

Fuente. La autora

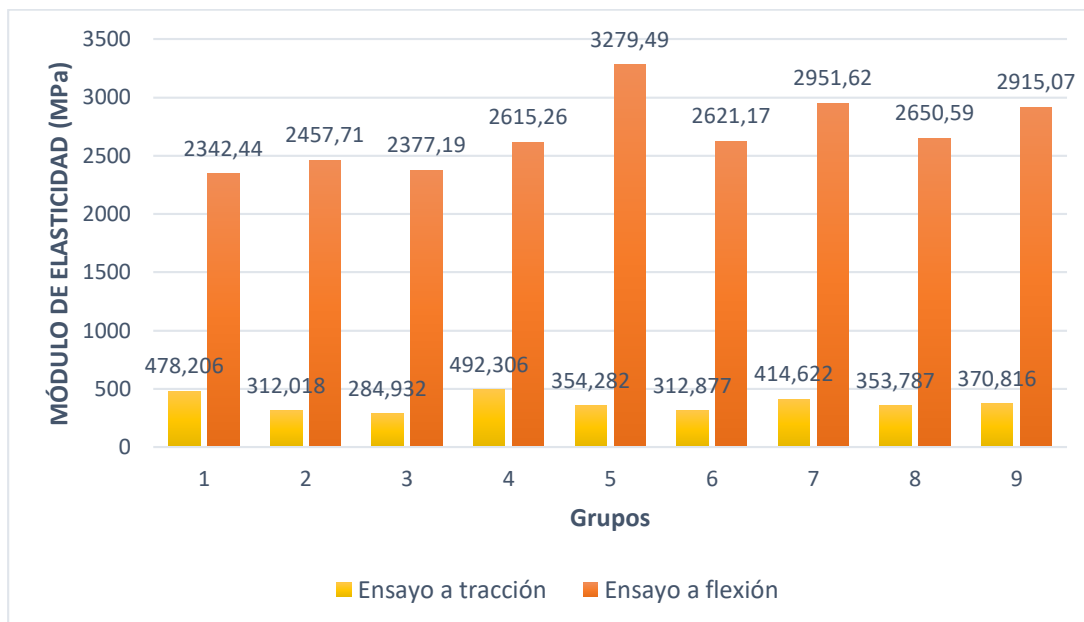


Figura 60. Comparación de módulos de elasticidad promedios a tracción y flexión
Fuente. La autora

3.2.3 Valores promedios de la energía obtenida de los ensayos de impacto MEF (J) NORMA ASTM D 5628.

En la tabla 47, podemos observar el valor que presenta el mejor resultado con 1.371 J de energía de impacto, perteneciente al primero grupo, con una disposición de la fibra a 0° y constituida por el 70% de resina y 30% de fibra.

Tabla 47. Comparación de la energía de impacto MEF (J)

Grupos	Disposición de la fibra	Fracción volumétrica		Ensayo a impacto
		Fracción matriz	Fracción refuerzo	Energía de impacto MEF (J)
1	0°	70 %	30%	1,371
2	45°	70 %	30%	0,884
3	Al azar	70 %	30%	0,798
4	0°	80 %	20%	1,013
5	45°	80 %	20%	0,763
6	Al azar	80 %	20%	1,250
7	0°	90 %	10%	0,655
8	45°	90 %	10%	0,530
9	Al azar	90 %	10%	1,315

Fuente. La autora

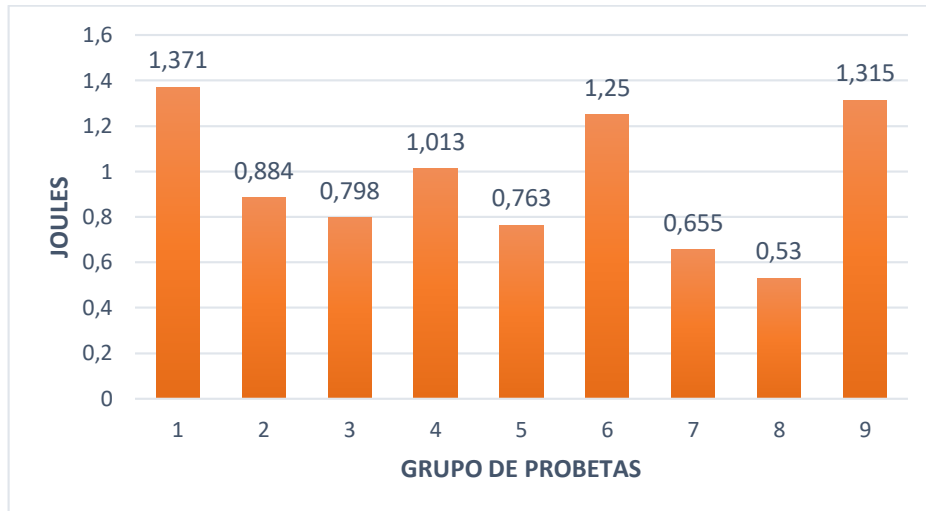


Figura 61. Comparación de la energía máxima de ruptura MEF (J) de los grupos de probetas ensayadas a impacto
Fuente. La autora

3.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Para el presente trabajo experimental se verificó la hipótesis mediante el método estadístico de la t-Student aplicado a los distintos grupos de probetas con su diferente fracción volumétrica y disposición de la fibra.

Hipótesis Alternativa (Ha)

El compuesto de resina poliéster con fibra de cabello humano constituida por una fracción volumétrica del 70% de matriz y 30% de refuerzo y configuración de fibra longitudinal a 0° (Grupo 1), posee diferente resistencia mecánica que el material compuesto por una fracción volumétrica del 80% de matriz y 20% de refuerzo y configuración de fibra longitudinal a 0° (Grupo 4).

Hipótesis Nula (Ho)

El compuesto de resina poliéster con fibra de cabello humano constituida por una fracción volumétrica del 70% de matriz y 30% de refuerzo y configuración de fibra longitudinal a 0° (Grupo 1), posee igual resistencia mecánica que el material compuesto por una fracción volumétrica del 80% de matriz y 20% de refuerzo y configuración de fibra longitudinal a 0° (Grupo 4).

PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN

Evidencia muestral

En la tabla 48, se indican los valores de esfuerzos máximos obtenidos de los ensayos realizados a tracción, pertenecientes al grupo 1 con disposición a 0° y constituida de 70% de resina y 30% de fibra y el grupo 4 con disposición a 0° y constituida de 80% de resina y 20% de fibra, en ambos casos la fibra utilizada es longitudinal.

Tabla 48. Datos para analizar el esfuerzo máximo a tracción

Muestra	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	
	Grupo 1 (X)	Grupo 4 (Y)
1	27,96	22,21
2	28,85	23,16
3	29,06	22,94
4	28,04	20,93
5	28,44	23,49
Media aritmética	28,472	22,548
Desviación estándar $S_n - 1$	0,484	1,018

Fuente. La autora

Margen de error (α)

$$\alpha = 0.05$$

Para el cálculo de la desviación estándar del grupo 1 (X) de probetas ensayadas a tracción, se usó la siguiente ecuación del libro “Introducción a la Estadística Inferencial” del autor Jorge Arturo Barrientos Valerio [23]:

X = Primer valor con mejor característica del grupo 1 de probetas ensayadas a tracción

\bar{X} = Media aritmética del grupo 1 (X)

Y = Segundo valor con mejor característica del grupo 4 de probetas ensayadas a tracción

\bar{Y} = Media aritmética del grupo 4 (Y)

$$S_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)} \quad (\text{Ec 3.1})$$

Donde:

S_X = Desviación estándar del grupo 1 (X)

n = Tamaño de la muestra del grupo 1 (X)

Tabla 49. Valores del grupo 1 a tracción

X	X - \bar{X}	(X - \bar{X}) ²
27,96	-0,512	0,2621
28,85	0,378	0,1429
29,06	0,588	0,3457
28,04	-0,432	0,1866
28,44	-0,032	0,001024
$\bar{X} = 28,472$		$\Sigma = 0,9384$

Fuente. La autora

$$S_X = \sqrt{\left(\frac{1}{5-1}\right)(0,9384)}$$

$$S_X = 0,484$$

Para el cálculo de la desviación estándar del grupo 4 (Y) de probetas ensayadas a tracción se usó la siguiente ecuación del libro “Introducción a la Estadística Inferencial” del autor Jorge Arturo Barrientos Valerio [23]:

$$S_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 / (m - 1)} \quad (\text{Ec 3.2})$$

Donde:

S_Y = Desviación estándar de grupo 4 (Y)

m = Tamaño de la muestra de grupo 4 (Y)

Tabla 50. Valores del grupo 4 a tracción

Y	Y - \bar{Y}	(Y - \bar{Y}) ²
22,21	-0,338	0,1142
23,16	0,612	0,3745
22,94	0,392	0,1537
20,93	-1,618	2,6179
23,49	0,942	0,8874
$\bar{Y} = 22,548$		$\Sigma = 4,1477$

Fuente. La autora

$$S_y = \sqrt{\left(\frac{1}{5-1}\right)(4,1477)}$$

$$S_y = 1,018$$

Aplicación del método estadístico t-Student, con la finalidad de adquirir el valor estadístico, para lo cual se aplicó la ecuación 3.3.

$$t_c = \frac{\bar{x} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)S_x^2 + (m-1)S_y^2}{n+m-2} * \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m}\right)}} \quad (\text{Ec 3.3})$$

t_c = Valor estadístico calculado

$$t_c = \frac{28.472 - 22.548}{\sqrt{\frac{(5-1) * 0.484^2 + (5-1) * 1.018^2}{5+5-2} * \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)}} \\ t_c = 11,752$$

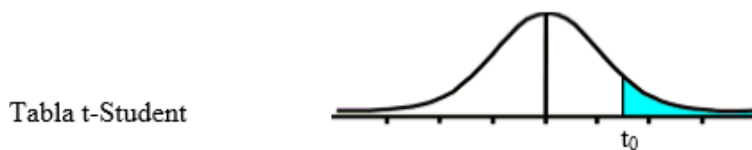
Grados de libertad (gl)

Se aplica la ecuación 3.4 para conocer los grados de libertad:

$$gl = n + m - 2 \quad (\text{Ec 3.4})$$

$$gl = 5 + 5 - 2 = 8$$

En la siguiente figura se indica la distribución t-Student.



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693

Figura 62. Tabla t-Student para ensayos a tracción [24].

t_α = Valor crítico adquirido de la figura 62, de la distribución de la t-Student

Si $t_c > t_\alpha$ se acepta H_a

$$11,752 > 1,8595$$

En este caso se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

PARA ENSAYOS A FLEXIÓN

Evidencia muestral

En la tabla 51 se indican los valores de esfuerzos máximos obtenidos de los ensayos realizados a flexión, pertenecientes al grupo 1 y al grupo 4 con la fracción volumétrica y la disposición de la fibra nombrada anteriormente.

Tabla 51. Datos para analizar el esfuerzo máximo a flexión

Muestra	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	
	Grupo 1 (X)	Grupo 4 (Y)
1	65,50	43,82
2	67,15	47,80
3	62,76	49,29
4	70,69	45,68
5	65,12	46,13
Media aritmética \bar{X}	66,24	46,544
Desviación estándar $S_n - 1$	2,94	2,09

Fuente. La autora

Margen de error (α)

$$\alpha = 0.05$$

Para el cálculo de la desviación estándar del grupo 1 (X) de probetas ensayadas a flexión, se usó la siguiente ecuación del libro “Introducción a la Estadística Inferencial” del autor Jorge Arturo Barrientos Valerio [23]:

X = Primer valor con mejor característica del grupo 1 de probetas ensayadas a flexión

\bar{X} = Media aritmética del grupo 1 (X)

Y = Segundo valor con mejor característica del grupo 4 de probetas ensayadas a flexión

\bar{Y} = Media aritmética del grupo 4 (Y)

$$S_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)} \quad (\text{Ec 3.1})$$

Donde:

S_X = Desviación estándar del grupo 1 (X)

n = Tamaño de la muestra del grupo 1 (X)

Tabla 52. Valores del grupo 1 a flexión

X	X - \bar{X}	(X - \bar{X}) ²
65,50	-0,744	0,5535
67,15	0,906	0,8208
62,76	-3,484	12,1383
70,69	4,446	19,7669
65,12	-1,124	1,2634
$\bar{X} = 66,24$		$\Sigma = 34,543$

Fuente. La autora

$$S_X = \sqrt{\left(\frac{1}{5 - 1}\right)(34,543)}$$

$$S_X = 2,94$$

Para el cálculo de la desviación estándar del grupo 4 (Y) de probetas ensayadas a flexión, se usó la siguiente ecuación del libro “Introducción a la Estadística Inferencial” del autor Jorge Arturo Barrientos Valerio [23]:

$$S_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 / (m - 1)} \quad (\text{Ec 3.2})$$

Donde:

S_Y = Desviación estándar de grupo 4 (Y)

m = Tamaño de la muestra de grupo 4 (Y)

Tabla 53. Valores del grupo 4 a flexión

Y	Y - \bar{Y}	(Y - \bar{Y}) ²
43,82	-2,724	7,4202
47,80	1,256	1,5775
49,29	2,746	7,5405
45,68	-0,864	0,7465
46,13	-0,414	0,1714
$\bar{Y} = 46,544$		$\Sigma = 17,456$

Fuente. La autora

$$S_y = \sqrt{\left(\frac{1}{5-1}\right)(17,456)}$$

$$S_y = 2,09$$

Aplicación del método estadístico t-Student, con la finalidad de adquirir el valor estadístico, para lo cual se aplicó la fórmula [24].

$$t_c = \frac{\bar{x} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)S_x^2 + (m-1)S_y^2}{n+m-2} * \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m}\right)}} \quad (\text{Ec 3.3})$$

t_c = Valor estadístico calculado

$$t_c = \frac{66.24 - 46.54}{\sqrt{\frac{(5-1) * 2.94^2 + (5-1) * 2.09^2}{5+5-2} * \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)}} \\ t_c = 12,21$$

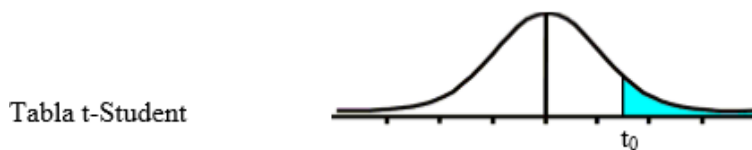
Grados de libertad (gl)

Se aplica la siguiente ecuación para conocer los grados de libertad:

$$gl = n + m - 2 \quad (\text{Ec 3.4})$$

$$gl = 5 + 5 - 2 = 8$$

En la siguiente figura se indica la distribución t-Student.



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693

Figura 63. Tabla t-Student para ensayos a flexión [24].

t_α = Valor crítico adquirido de la figura 63, de la distribución de la t-Student

Si $t_c > t_{\alpha}$ se acepta H_a

$$12,21 > 1,8595$$

En este caso se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

Con los resultados de la prueba estadística a tracción y flexión se determinó que el mejor compuesto es el constituido por una fracción volumétrica del 70% de matriz y 30% de refuerzo con una configuración de fibra longitudinal a 0° (Grupo 1), además, posee diferente resistencia mecánica, presenta un mayor esfuerzo máximo a la tracción y flexión que el material compuesto por una fracción volumétrica del 80% de matriz y 20% de refuerzo y configuración de fibra longitudinal a 0° (Grupo 4), por lo tanto, el estudio del material compuesto de resina poliéster con fibra de cabello humano permitió identificar la mejor combinación que brinde las propiedades mecánicas más aptas para su posible aplicación industrial.

3.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES

En la tabla 54, se presenta las propiedades mecánicas de varios materiales compuestos reforzados con fibras naturales, en la misma se observa que la combinación de resina poliéster reforzada con fibra de cabello humano ofrece mejor resistencia a tracción y flexión que otros materiales compuestos de distintos tipos de fibras como: hoja de tuna, coco, particulado de cuero, cascarilla de arroz, entre otras.

Tabla 54. Comparación de resistencia a tracción y flexión de materiales compuestos

Material Compuesto	Propiedades Mecánicas				Fuente
	Resistencia a la tracción (MPa)	Espesor promedio (mm)	Resistencia a la flexión (MPa)	Espesor promedio (mm)	
Resina poliéster más fibra de cabello humano	28,472	6,00	66,24	6,00	Autora
Resina poliéster más fibra de hoja de tuna	9,56	4,86	24,25	6,5	[5]
Resina poliéster más particulado de cuero	5,5	2,89	16,58	2,46	[9]

Resina poliéster más fibra de coco	21,88	5,00	1,32	6,0	[15]
Resina poliéster más cascarilla de arroz	10,45	6,29	0,67	5,70	[25]

Fuente: La autora

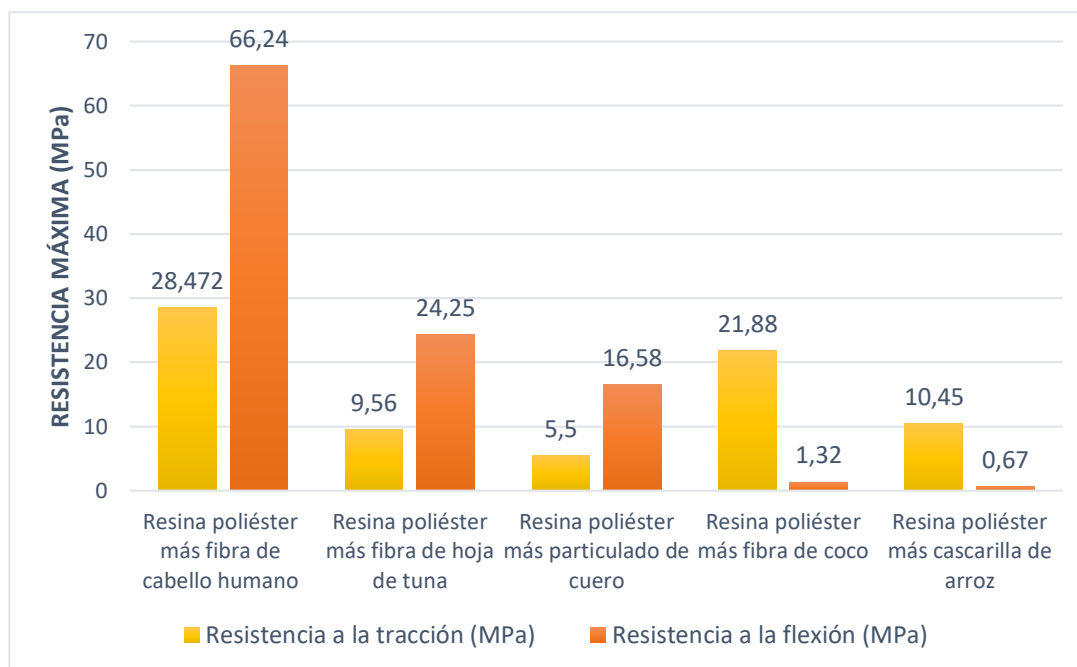


Figura 64. Gráfica comparativa de la resistencia máxima a tracción y flexión de distintos materiales compuestos

Fuente: La autora

El material compuesto de resina poliéster reforzado con fibra de cabello humano supera la resistencia a tracción con un valor 28,472 MPa y resistencia a la flexión de 66,24 MPa a otros materiales compuestos reforzados con diferentes tipos de fibras como: fibra de hoja de tuna (tracción = 9,56 MPa, flexión = 24,25 MPa), fibra de coco (tracción = 21,88 MPa, flexión = 1,32 MPa), resina poliéster más particulado de cuero (tracción = 5,5 MPa, flexión = 16,58 MPa) y resina poliéster más cascarilla de arroz (tracción = 10,45 MPa, flexión = 0,67 MPa).

3.5 POSIBLES APLICACIONES INDUSTRIALES

- **Industria Automotriz**

La principal finalidad de la elaboración de estos materiales compuestos es la de reducir costos y favorecer de manera significativa con el medio ambiente.

Se puede aplicar en partes de carrocerías, en ciertos elementos que no estén sometidos a grandes esfuerzos como los porta espejos de autos y basureros de buses.

Tabla 55. Propiedades mecánicas a tracción y flexión de materiales usados en la industria carrocera [6]

Material	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)
Pranna Poliéster	12,56	-
Textil a base de vinilo	5,73	-

- **Industria de la construcción**

El material compuesto de resina poliéster con fibra de cabello humano presenta mejores propiedades mecánicas si las comparamos con ciertos materiales aplicados industrialmente, lo que indica que es aplicable para distintas áreas:

Tabla 56. Resistencia a la tracción y flexión de la madera [6].

Material	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)
Madera	18	30

En el área de la mueblería se podría sustituir ciertos elementos elaborados con madera que presentan una resistencia a tracción de 18 MPa y a flexión de 30 MPa, en donde si la comparamos con la fibra de cabello, se incrementa notablemente su resistencia a la tracción a 28,472 MPa y a la flexión de 66,254 MPa, afirmando así que posee mejor resistencia, por lo que se puede elaborar tableros para mesas, armarios, diferentes tipos de muebles, escritorios, marcos de porta retratos, estantería de libros, etc.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- De las distintas configuraciones analizadas, las probetas fabricadas a compresión con una fracción volumétrica del 30% de refuerzo y 70% de matriz, presentaron las mejores propiedades mecánicas tanto a tracción, flexión e impacto.
- Para la obtención de la densidad de la fibra de cabello humano, se empleó el método gravimétrico, obteniendo el valor de 1,448 g/cm³.
- El primer grupo de probetas con el 70% de resina poliéster y 30% de fibra longitudinal de cabello, con orientación a 0°, presentó un valor promedio de 28,472 MPa de esfuerzo máximo a tracción y 478,206 MPa de módulo de elasticidad, con lo que se puede considerar que posee las propiedades mecánicas a tracción más idóneas.
- Mediante los ensayos a flexión se determinó que el grupo 1, constituido por el 30% de refuerzo y 70% de matriz y orientación a 0°, mostró las mejores propiedades mecánicas a flexión con 66,24 MPa de esfuerzo máximo promedio y 2342,44 MPa de módulo de elasticidad.
- El grupo 1, de probetas ensayadas a impacto, formadas por una fracción volumétrica del 70% de resina poliéster y 30% de fibra y ubicadas a 0°, presentó el valor promedio más alto de energía absorbida de 1,371 J, por lo que posee mejores propiedades mecánicas a impacto en comparación a los grupos restantes.

- De manera general, los resultados adquiridos del grupo de probetas del tipo A, con fibra longitudinal, orientación a 0° y fracción volumétrica del 70% de matriz y 30% de refuerzo, sobresalió en todos los ensayos mecánicos elaborados, con un esfuerzo máximo de: 28,472 MPa a tracción, 66,24 MPa a flexión y una energía absorbida de 1,371 J mediante el método de la caída del dardo, lo que determinó que el nuevo material compuesto es atractivo industrialmente.

4.2 RECOMENDACIONES

- Debido a que el refuerzo posee grasa e impurezas se debe lavar la fibra con estireno, para poder obtener una correcta adherencia entre la fibra y la matriz.
- Para las placas elaboradas con fibra corta, tamizar la misma para eliminar todo tipo de impurezas.
- Procurar que las fibras posean longitudes similares para la elaboración de las distintas probetas.
- Realizar la limpieza del molde antes de colocar la cera desmoldante, de manera que se elimina impurezas y se obtiene una superficie adecuada para trabajar.
- Encerar correctamente el molde para una fácil extracción del material compuesto.
- Utilizar el equipo de protección personal, debido a que al estar expuesta a la resina poliéster y a otros compuestos químicos, entre ellos el estireno, cobalto y peróxido, podrían afectar a la salud o producir lesiones en la piel.
- Medir minuciosamente la cantidad de catalizador peróxido, cobalto y estireno antes de realizar la mezcla con la matriz polimérica, para evitar un proceso de gelificación anticipado.

- Para las probetas con orientación a 45° de refuerzo utilizar un instrumento de medición para una distribución más acertada.
- Al instante de colocar la resina poliéster sobre la fibra realizarlo de manera uniforme, para evitar la generación de burbujas que podría afectar los resultados.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] J. Taborda, L. Cañas y J. Tristancho, "Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzada con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio", *DYNA*, pp. 35-41, 2017.

[2] P. Divakara Rao, C. Udaya Kiran and K. Eshwara Prasad, "Effect of fiber loading and void content on tensile properties of keratin based randomly oriented human hair fiber composites", *International Journal of Composite Materials*, pp. 136-143, 2017.

[3] R. Loza y G. Pila, "Fabricación de un retrovisor para el vehículo Suzuki Forsa con material compuesto de matriz polimérica de poliéster y refuerzo natural de cabuya", Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2017.

[4] P. Potón and V. Guerrero, "Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster reforzados con Fibra de Abacá mediante Estratificación manual", *Revista Tecnológica ESPOL*, Vol. 23, pp. 47-54, 2010.

[5] D. Vargas, "Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de tuna en usos industriales", Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.

[6] M. Balladares, "Aplicabilidad de un material compuesto con matriz polimérica reforzado con fibras de planta de mora (*rubus glaucus*) en partes interiores de carrocerías de la industria carrocera de Tungurahua", Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.

[7] A. Besednjak, *Materiales compuestos*. Barcelona: Edicions UPC, 2005.

- [8] S. Poveda, "Materiales Compuestos", *Ocw.upm.es*, 2017. [En línea]. Disponible en: http://ocw.upm.es/expresion-grafica-en-la-ingenieria/ingenieria-grafica-metodologias-de-diseno-para-royectos/Teoria/LECTURA_COMPLEMENTARIA/MATERIALES/materialescompuestos.pdf.
- [9] C. Izurieta, "Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas residuales de cuero en usos industriales", Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [10] F. Stupenengo, *Materiales Compuestos*, Buenos Aires-Argentina, 2011, p. 27.
- [11] J. D. Trejos Taborda, "Propiedades mecánicas de una matriz poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio", Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2014.
- [12] A. Gil, "Resinas de poliéster", *Eafit.edu.co*, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/Documents/guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>.
- [13] J. G. Paredes, "Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y cabuya como material alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en guardachoques para buses", Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2012.
- [14] W. Callister, *Materials Science and Engineering*, Séptima ed, John Wiley & Sons, 2007, pp. 577-619.
- [15] G. Mazón, "Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales", Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2012.
- [16] V. H. Guerrero, J. Dávila, S. Galeas, P. Pontón, N. Rosas, V. Sotomayor y C. Valdivieso, *Nuevos Materiales, Aplicaciones estructurales e industriales*, Quito: Imprefepp, 2011.
- [17] S. Velásquez, G. Pelaéz y D. Giraldo, "Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño

de nuevos productos", *Dialnet.unirioja.es*, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5767279.pdf>.

[18] A. Verma, V. Singh and S. Verma, "Human Hair: A Biodegradable Composite Fiber – A Review", *International Journal of Waste*, vol 5, pp. 1-5, 2016.

[19] C. Robbins, *CHEMICAL AND PHYSICAL BEHAVIOR OF HUMAN HAIR*, Cuarta ed. [S.l.]: SPRINGER, 2016, pp. 1-58.

[20] O. Redondo, "Caracterización de laminados de fibra de carbono-epoxi reforzados con oxido de grafeno", Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2014.

[21] C. Pazmiño, "Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de hoja de yucca elephantipes para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales", Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.

[22] S. Espín, J. Guamanquispe, C. Acosta, A. Jara, G. León and M. Sevilla, "Caracterización del material compuesto de resina poliéster con partículas de caucho reciclado y su aplicabilidad en carrocerías", *Revista electrónica Ciencia Digital*, pp. 47-61, 2018.

[23] J. Barrientos, *Introducción a la Estadística Inferencial*, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia, pp. 99-103.

[24] "Tabla de la t-Student", 2019. [En línea]. Disponible en: http://cms.dm.uba.ar/academico/materias/1ercuat2015/probabilidades_y_estadistica_C/tabla_tstudent.pdf.

[25] E. Lalaleo, "Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz para determinar las propiedades mecánicas en aplicaciones industriales.", Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.

ANEXOS

ANEXO 1. Ficha técnica de la resina poliéster.

ANEXO 2. Norma para ensayo a tracción ASTM D 3039-00.

ANEXO 3. Norma para ensayo a flexión ASTM D 7264-07.

ANEXO 4. Norma para ensayo a impacto ASTM D 5628-10.

ANEXO 5. Informe técnico de ensayos a tracción y flexión.

Anexo 1. Ficha Técnica de la resina poliéster


FICHA TÉCNICA (RESINA POLIÉSTER)

POL® 33000

Resina poliéster ortoftálica de propósito general
APLICACIONES

- Sistemas reforzados de mediana exigencia mecánica y química.
- Diseñada para la producción de mármol sintético, tanto para piezas moldeadas como para placas planas.
- Laminación manual, vaciados con carga y aplicaciones de propósito general.

RECOMENDACIONES DE USO

Para curado a temperatura ambiente entre 20 y 25°C (no se recomienda trabajar por debajo de 15°C) se sugiere la siguiente formulación:

Partes en peso	
POL® 33000	100
Estireno ⁽¹⁾	-
Octoato de Cobalto (12% Co)	0.1 a 0.3
MEK Peróxido (9 % oxígeno activo)	1.0 a 2.5

(1) La cantidad exacta de Estireno depende de la viscosidad final deseada según la aplicación, sin embargo no se recomienda que sea mayor a 25 partes.

En la siguiente tabla se presentan las variaciones del tiempo de gel a partir de diferentes porcentajes de cobalto en el sistema de catalización y a diferentes temperaturas.

Octoato de Co al 12% (partes en peso)	TIEMPO DE GEL (min)		
	Temperatura °C		
	15 °C	25 °C	35 °C
0.10%	33	15	7
0.15%	23	10	5
0.25%	16	8	4

(1) El sistema de catalización utilizado para la determinación de los tiempos de gel fue: la variación de % de Cobalto registrada en la tabla con 1 g de MEK Peróxido por 100 g de resina.

La temperatura ambiente, la cantidad de Octoato de Cobalto y de catalizador controlan el tiempo de gel de la resina **POL® 33000**. El curado debe realizarse a temperaturas superiores a 15°C, que es la temperatura mínima de activación de la reacción de reticulación. Catalizaciones por debajo de ésta temperatura afectan notablemente las propiedades mecánicas de los laminados.

Con el curado a temperatura ambiente se obtienen laminados satisfactorios para muchas aplicaciones, aunque la resistencia mecánica final se logra unos días después de fabricado el producto.

Cuando se requieren óptimas propiedades y buen desempeño a largo plazo, el laminado se debe poscurar durante un período de tres (3) horas a 80°C o por más tiempo a menor temperatura.

FORMA DE APLICACIÓN DEL PRODUCTO

La resina **POL® 33000** es apropiada para la laminación manual, o moldeo a máquina, y para la aplicación de sistemas cargados y encapsulados. Los laminados obtenidos tienen mediana resistencia mecánica.

La resina se suministra al 70% en sólidos y puede ser modificada por el usuario con la adición de Estireno monómero hasta un 25% máximo, según su aplicación particular.

Las propiedades físicas y de funcionalidad de los productos terminados están influenciados por variables que dependen directamente del transformador de la resina como son: tipo de carga y relación de resina/carga, nivel de catalización, tiempos de gel y velocidades de curado, condiciones de ambiente de trabajo, tiempos y sistemas para desmolde, espesor y área de las placas, espesor y configuración de piezas, etc.

A la resina **POL® 33000** se le puede agregar un agente tixotrópico para ser aplicada en superficies verticales. El empleo de estos y sus cantidades deben ser consultados con el personal técnico de andercol s.a.


ESPECIFICACIONES DE LA RESINA LÍQUIDA

Propiedad	Unidad	Valor MIN	Valor MAX	Método
Apariencia	Verdosa transparente			ASTM D2090
Viscosidad Brookfield ⁽¹⁾	cP @ 25°C	1500	2500	ASTM D2196
Sólidos	% nvm	68	72	ASTM D1259
Tiempo de gel ⁽²⁾	min @ 25°C	7	10	ASTM D2471
Tiempo de máxima exotermia ⁽²⁾	min @ 25°C	15	25	ASTM D2471
Temperatura de máxima exotermia ⁽²⁾	°C	130	150	ASTM D2471
Estabilidad	meses		6	

- (1) La medida de viscosidad fue realizada con viscosímetro RVF, aguja 3, 10 rpm, 1 min
 (2) Sistema de catalización a 25°C, 100 g de POL 33000, más 0.25 mL de Octoato Cobalto al 12%, más 1.0 mL de MEK-P.

PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA
(Reforzada) ^(1, 2,3)

Propiedad	Método	Sistema Internacional		Sistema Ingles	
		Unidad	Valor	Unidad	Valor
Tensión					
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	MPa	63	psi	9,137.37
Módulo	ASTM D638	GPa	9.13	Kpsi	1,324.95
Deformación	ASTM D638	%	1.33	%	1.33
Flexión					
Esfuerzo de flexión	ASTM D790	MPa	165	Psi	23,931.23
Módulo	ASTM D790	GPa	8.54	Psi	1,238.62
Deformación	ASTM D790	%	2.38	%	2.38

- (1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.
 (2) Estructura de refuerzo: 2 capas de Mat 450 g/m².
 (3) Contenido de fibra de vidrio: 23.7%

PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA
(Sin reforzar)⁽¹⁾

Propiedad	Método	Sistema Internacional		Sistema Ingles	
		Unidad	Valor	Unidad	Valor
Tensión					
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	Mpa	45	psi	6526.70
Módulo	ASTM D638	Gpa	3.60	Kpsi	522.13
Deformación	ASTM D638	%	2.40	%	2.40
Flexión					
Esfuerzo de flexión	ASTM D790	Mpa	113	psi	16389.26
Módulo	ASTM D790	Gpa	3.77	Kpsi	546.80
Deformación	ASTM D790	%	3.52	%	3.52
Otras propiedades					
Contracción volumétrica		%	5.46	%	5.46
HDT	ASTM D648	°C	60	°F	140
Dureza	ASTM D2583	Barcol	42	Barcol	42
Absorción de agua	ASTM D570	%	0.10	%	0.10

- (1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.

SEGURIDAD Y MANEJO

La información detallada para el manejo seguro de este material se encuentra en la respectiva Hoja de Seguridad de Materiales.

La resina **POL® 33000** está clasificada como "líquido inflamable" según código NFPA 30 (división 3.3.25.2), por tener un punto de inflamación de 31°C en crisol cerrado. Debe mantenerse alejado de llamas abiertas.

La resina **POL® 33000** tiene un tiempo de vida equivalente a seis meses desde el momento de su fabricación, siempre y cuando el producto esté almacenado a condiciones de temperatura y humedad adecuadas. Se recomienda almacenarlo en un lugar fresco a una temperatura menor de 25°C para obtener la máxima estabilidad. Esta resina se suministra en tambores metálicos de 230 kg.

CERTIFICACIONES

Andercol s.a. esta certificado bajo los requisitos de las normas **ISO 9001** e **ISO 14001**, en el diseño, fabricación, venta y servicio técnico para resinas de poliéster insaturado en la planta de Medellín.

Andercol s.a. hace parte del programa de **Responsabilidad Integral®** contribuyendo al desarrollo sostenible a través de su compromiso social y ambiental, así lo certifica **Responsabilidad Integral®** Colombia.



LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDADES

La información y recomendaciones que aparecen en esta publicación son, a nuestro entender enteramente confiables. Las sugerencias ofrecidas para usos o aplicaciones son solamente la opinión de andercol s.a. Los consumidores deberán hacer sus propias pruebas para determinar el comportamiento de estos productos en sus objetivos específicos. andercol s.a. no da garantías de tipo alguno exceptuando las que se ajustan a las especificaciones estándar del producto. Andercol s.a. se reserva el derecho de modificar esta literatura técnica sin previo aviso.

INFORMACIÓN DEL CONTACTO

andercol s.a.

Dirección: Carrera 64C No. 95-84

Medellín, Colombia

Teléfono: 57 (4) 470 0700

Página Web: www.andercol.com.co

Fax: 57 (4) 267 8135

Apartado Aéreo: 2065

**Anexo 2. Norma
para ensayo a
tracción ASTM
D3039**



Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 3039/D 3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

^{ε1} NOTE—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

1.1 This test method determines the in-plane tensile properties of polymer matrix composite materials reinforced by high-modulus fibers. The composite material forms are limited to continuous fiber or discontinuous fiber-reinforced composites in which the laminate is balanced and symmetric with respect to the test direction.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement²
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins³
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics³
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials⁴
- D 3878 Terminology for Composite Materials⁴
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵

E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶

E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶

E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵

E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D 883 defines terms relating to plastics. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other standards.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

NOTE—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3039 – 71T. Last previous edition D 3039 – 95a.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.03.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.



dimensions, shown within square brackets: $[M]$ for mass, $[L]$ for length, $[T]$ for time, $[Θ]$ for thermodynamic temperature, and $[nd]$ for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.1 *nominal value, n*—a value, existing in name only, assigned to a measurable property for the purpose of convenient designation. Tolerances may be applied to a nominal value to define an acceptable range for the property.

3.2.2 *transition region, n*—a strain region of a stress-strain or strain-strain curve over which a significant change in the slope of the curve occurs within a small strain range.

3.2.3 *transition strain, $\epsilon^{transition}$ [nd], n*—the strain value at the mid range of the transition region between the two essentially linear portions of a bilinear stress-strain or strain-strain curve.

3.2.3.1 *Discussion*—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during loading, such as seen in plots of either longitudinal stress versus longitudinal strain or transverse strain versus long longitudinal strain. There are varying physical reasons for the existence of a transition region. Common examples include: matrix cracking under tensile loading and ply delamination.

3.3 Symbols:

3.3.1 A —minimum cross-sectional area of a coupon.

3.3.2 B_y —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3 B_z —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about z axis of the specimen (about the wide direction).

3.3.4 CV —coefficient of variation statistic of a sample population for a given property (in percent).

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

3.3.6 F^{tu} —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F^{su} —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

3.3.10 L_{min} —minimum required bonded tab length.

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

3.3.13 P^f —load carried by test coupon at failure.

3.3.14 P^{max} —maximum load carried by test coupon before failure.

3.3.15 s_{n-1} —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16 w —coupon width.

3.3.17 x_i —test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

3.3.18 \bar{x} —mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

3.3.19 δ —extensional displacement.

3.3.20 ϵ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21 ϵ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

5. Significance and Use

5.1 This test method is designed to produce tensile property data for material specifications, research and development, quality assurance, and structural design and analysis. Factors that influence the tensile response and should therefore be reported include the following: material, methods of material preparation and lay-up, specimen stacking sequence, specimen preparation, specimen conditioning, environment of testing, specimen alignment and gripping, speed of testing, time at temperature, void content, and volume percent reinforcement. Properties, in the test direction, which may be obtained from this test method include the following:

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

6.1 *Material and Specimen Preparation*—Poor material fabrication practices, lack of control of fiber alignment, and damage induced by improper coupon machining are known causes of high material data scatter in composites.

6.2 *Gripping*—A high percentage of grip-induced failures, especially when combined with high material data scatter, is an indicator of specimen gripping problems. Specimen gripping methods are discussed further in 7.2.4, 8.2, and 11.5.

6.3 *System Alignment*—Excessive bending will cause premature failure, as well as highly inaccurate modulus of elasticity determination. Every effort should be made to eliminate excess bending from the test system. Bending may occur as a result of misaligned grips or from specimens themselves if improperly installed in the grips or out-of-tolerance caused by poor specimen preparation. If there is any doubt as to the alignment inherent in a given test machine, then the alignment should be checked as discussed in 7.2.5.

6.4 *Edge Effects in Angle Ply Laminates*—Premature failure and lower stiffnesses are observed as a result of edge softening in laminates containing off-axis plies. Because of this, the strength and modulus for angle ply laminates can be drastically underestimated. For quasi-isotropic laminates containing significant 0° plies, the effect is not as significant.

7. Apparatus

7.1 *Micrometers*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be

used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of $\pm 2.5 \mu\text{m}$ [$\pm 0.0001 \text{ in.}$] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of $\pm 25 \mu\text{m}$ [$\pm 0.001 \text{ in.}$] is adequate for width measurement.

7.2 *Testing Machine*—The testing machine shall be in conformance with Practices E 4 and shall satisfy the following requirements:

7.2.1 *Testing Machine Heads*—The testing machine shall have both an essentially stationary head and a movable head.

7.2.2 *Drive Mechanism*—The testing machine drive mechanism shall be capable of imparting to the movable head a controlled velocity with respect to the stationary head. The velocity of the movable head shall be capable of being regulated as specified in 11.3.

7.2.3 *Load Indicator*—The testing machine load-sensing device shall be capable of indicating the total load being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy over the load range(s) of interest of within $\pm 1 \%$ of the indicated value. The load range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

NOTE 1—Obtaining precision load data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate load are being determined, place extreme requirements on the load cell and its calibration. For some equipment, a special calibration may be required. For some combinations of material and load cell, simultaneous precision measurement of both elastic modulus and ultimate strength may not be possible and measurement of modulus and strength may have to be performed in separate tests using a different load cell range for each test.

7.2.4 *Grips*—Each head of the testing machine shall carry one grip for holding the test specimen so that the direction of load applied to the specimen is coincident with the longitudinal axis of the specimen. The grips shall apply sufficient lateral pressure to prevent slippage between the grip face and the coupon. If tabs are used the grips should be long enough that they overhang the beveled portion of the tab by approximately 10 to 15 mm [0.5 in.]. It is highly desirable to use grips that are rotationally self-aligning to minimize bending stresses in the coupon.

NOTE 2—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in untabbed coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with either hydraulic grips or an emery cloth interface, or both.

7.2.5 *System Alignment*—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E 1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E 1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (B_y) and width plane (B_z) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

7.2.5.2 When evaluating system alignment, it is advisable to perform the alignment check with the same coupon inserted in each of the four possible installation permutations (described relative to the initial position): initial (top-front facing observer), rotated back to front only (top back facing observer), rotated end for end only (bottom front facing observer), and rotated both front to back and end to end (bottom back facing observer). These four data sets provide an indication of whether the bending is due to the system itself or to tolerance in the alignment check coupon or gaging.

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1-3 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon and the total percent bending, B_{total} . Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation load range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the

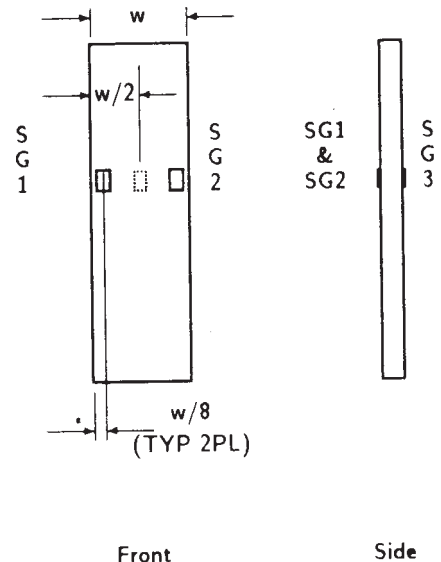


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels ($>1000 \mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_y = \frac{\epsilon_{ave} - \epsilon_3}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{4/3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (2)$$

where:

B_y = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;

B_z = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;

ϵ_1 , ϵ_2 , and ϵ_3 = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

ϵ_{ave} = $(|\epsilon_1 + |\epsilon_2|)/2 + |\epsilon_3|/2$.

The total bending component is:

$$B_{total} = |B_y| + |B_z| \quad (3)$$

7.3 Strain-Indicating Device—Load-strain data, if required, shall be determined by means of either a strain transducer or an extensometer. Attachment of the strain-indicating device to the coupon shall not cause damage to the specimen surface. If Poisson's ratio is to be determined, the specimen shall be instrumented to measure strain in both longitudinal and lateral directions. If the modulus of elasticity is to be determined, the longitudinal strain should be simultaneously measured on opposite faces of the specimen to allow for a correction as a result of any bending of the specimen (see 11.6 for further guidance).

7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].⁷ Gage calibration certification shall comply with Test Methods E 251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.⁸

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E 1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process.

⁷ A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

⁸ Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54–65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153–154.

The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350 Ω or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

7.3.1.3 Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

7.3.1.4 Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 11.

7.3.2 Extensometers—For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E 83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E 83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

NOTE 3—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

7.4 Conditioning Chamber—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vaporlevel-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required relative vapor level to within $\pm 3\%$. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.5 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the gage section of the test specimen at the required test environment during the mechanical test.

8. Sampling and Test Specimens

8.1 *Sampling*—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

NOTE 4—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

8.2 *Geometry*—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 <i>General Requirements</i>	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 <i>Specific Recommendations</i>	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 <i>Detailed Examples</i>	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 *General Requirements:*

8.2.1.1 *Shape, Dimensions, and Tolerances*—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 *Use of Tabs*—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of load into the specimen and the prevention of premature failure as a result of a significant discontinuity. Therefore, determine the need to use tabs, and specification of the major tab design parameters, by the end

result: acceptable failure mode and location. If acceptable failure modes occur with reasonable frequency, then there is no reason to change a given gripping method (see 11.10).

8.2.2 *Specific Recommendations:*

8.2.2.1 *Width, Thickness, and Length*—Select the specimen width and thickness to promote failure in the gage section and assure that the specimen contains a sufficient number of fibers in the cross section to be statistically representative of the bulk material. The specimen length should normally be substantially longer than the minimum requirement to minimize bending stresses caused by minor grip eccentricities. Keep the gage section as far from the grips as reasonably possible and provide a significant amount of material under stress and therefore produce a more statistically significant result. The minimum requirements for specimen design shown in Table 1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 *Gripping/Use of Tabs*—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 *Tab Geometry*—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated nonwedge grips are used with care, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 *Friction Tabs*—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the load into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed ^A
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^A See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^A

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

^A Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

must be able to withstand significant compressive loads. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.⁹

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]_ns laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 Bonded Tab Length—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

$$L_{\min} = F^{tu}h/2F^{su} \quad (4)$$

where:

- L_{\min} = minimum required bonded tab length, mm [in.];
- F^{tu} = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
- h = coupon thickness, mm [in.]; and
- F^{su} = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

8.2.2.7 Bonded Tab Adhesive—Any high-elongation (tough) adhesive system that meets the environmental requirements may be used when bonding tabs to the material under test. A uniform bondline of minimum thickness is desirable to reduce undesirable stresses in the assembly.

8.2.3 Detailed Examples—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Dimensionally toleranced specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in Fig. 2 (SI) and Fig. 3 (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed, but satisfy the requirements of Table 1 for all of the recommended configurations of Table 2. For a specific configuration, the tolerances on Fig. 2 and Fig. 3 might be able to be relaxed.

8.3 Specimen Preparation:

8.3.1 Panel Fabrication—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured

properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

8.3.2 Machining Methods—Specimen preparation is extremely important for this specimen. Mold the specimens individually to avoid edge and cutting effects or cut from them plates. If they are cut from plates, take precautions to avoid notches, undercuts, rough or uneven surfaces, or delaminations caused by inappropriate machining methods. Obtain final dimensions by water-lubricated precision sawing, milling, or grinding. The use of diamond tooling has been found to be extremely effective for many material systems. Edges should be flat and parallel within the specified tolerances.

8.3.3 Labeling—Label the coupons so that they will be distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

9. Calibration

9.1 The accuracy of all measuring equipment shall have certified calibrations that are current at the time of use of the equipment.

10. Conditioning

10.1 Standard Conditioning Procedure—Unless a different environment is specified as part of the experiment, condition the test specimens in accordance with Procedure C of Test Method D 5229/D 5229M and store and test at standard laboratory atmosphere (23 ± 3°C [73 ± 5°F] and 50 ± 10 % relative humidity).

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

NOTE 5—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

11.2 General Instructions:

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

⁹ E-Z Flex Metalite K224 cloth, Grit 120-J, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:
NO DECIMAL .X .XX
 ±.3 ±.1 ±.3
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

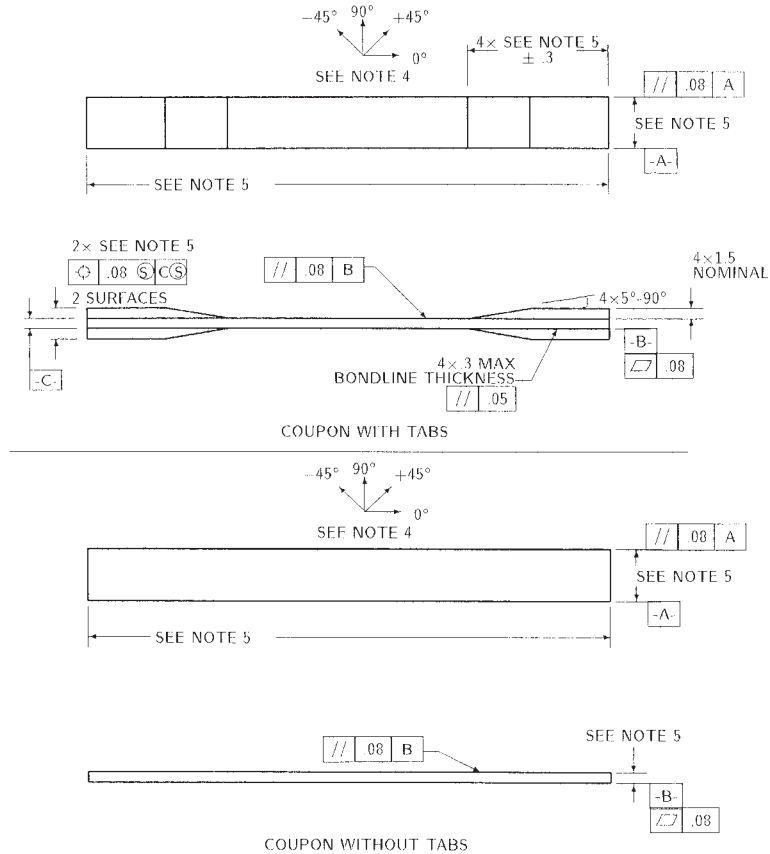


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as $A = w \times h$, at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of mm^2 (in.^2).

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as mea-

sured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min^{-1} .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min [0.05 in./min].

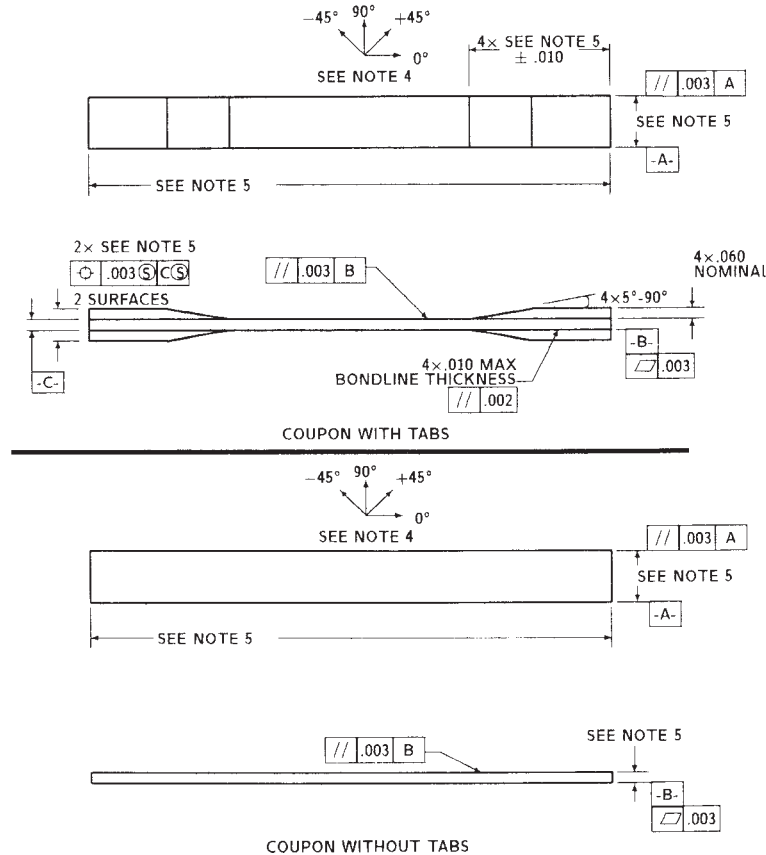
NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64 $\sqrt{\text{ }}$ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
5. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
6. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

NOTE 7—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using

untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

11.6 *Transducer Installation*—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\mu\epsilon^A$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 ^B	3000	2000

^A 1000 $\mu\epsilon$ = 0.001 absolute strain.

^B This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 % averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (5)$$

where:

- ϵ_f = indicated strain from front transducer, $\mu\epsilon$;
- ϵ_b = indicated strain from back transducer, $\mu\epsilon$; and
- B_y = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the load to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record load versus strain (or transducer displacement) continuously or at frequent regular intervals. If a transition region or initial ply failures are noted, record the load, strain, and mode of damage at such points. If the specimen is to be failed, record the maximum load, the failure load, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

NOTE 8—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes load versus head displacement data and load versus time data.

11.9 *Failure Mode*—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of load introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 6 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 7.

$$F^{tu} = P^{\max}/A \quad (6)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (7)$$

where:

- F^{tu} = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- P^{\max} = maximum load before failure, N [lbf];
- σ_i = tensile stress at i th data point, MPa [psi];
- P_i = load at i th data point, N [lbf]; and
- A = average cross-sectional area from 11.2.3, mm² [in.²].

12.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 8 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (8)$$

where:

- ϵ_i = tensile strain at i th data point, $\mu\epsilon$;
- δ_i = extensometer displacement at i th data point, mm [in.]; and
- L_g = extensometer gage length, mm [in.].

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

NOTE 9—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

12.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 9. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

12.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{\text{chord}} = \Delta\sigma/\Delta\epsilon \quad (9)$$

where:

- E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

12.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used,

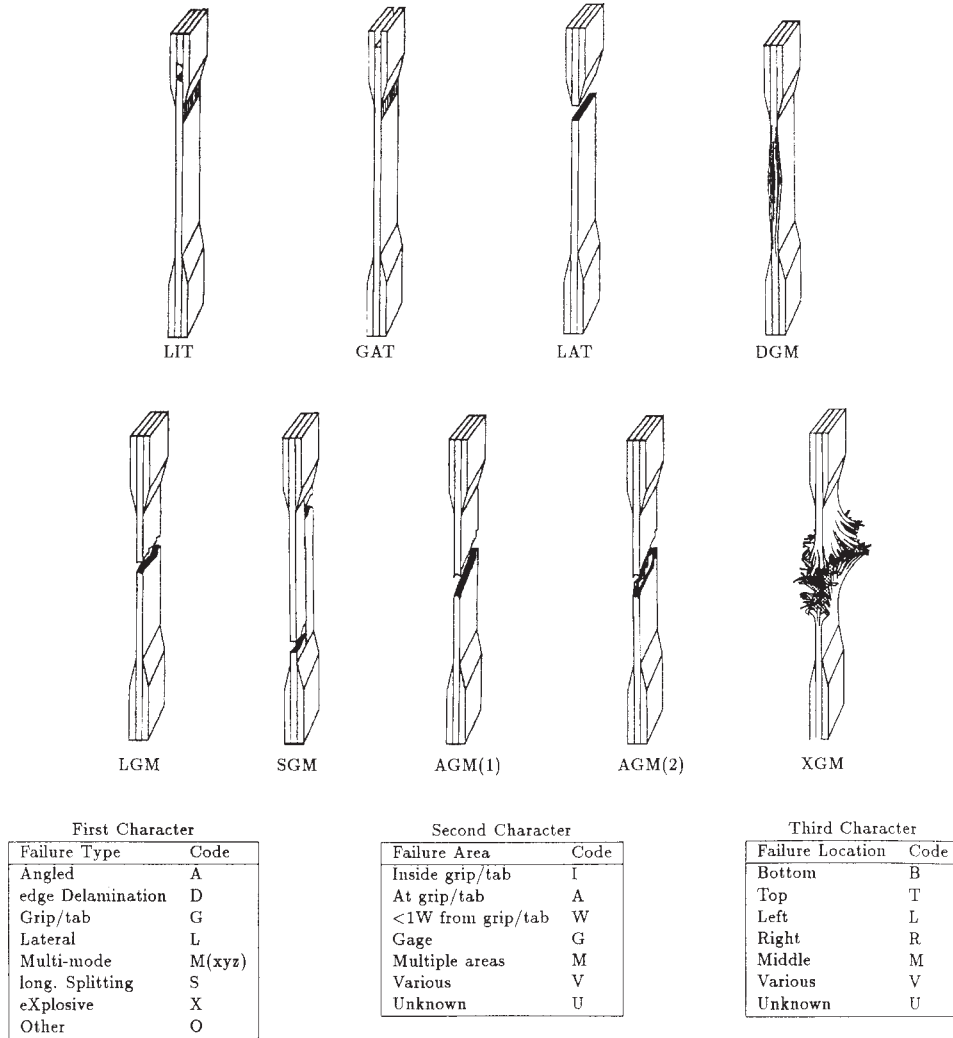


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 10—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

12.4 Poisson's Ratio:

NOTE 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load), ϵ_t , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load), ϵ_l , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use

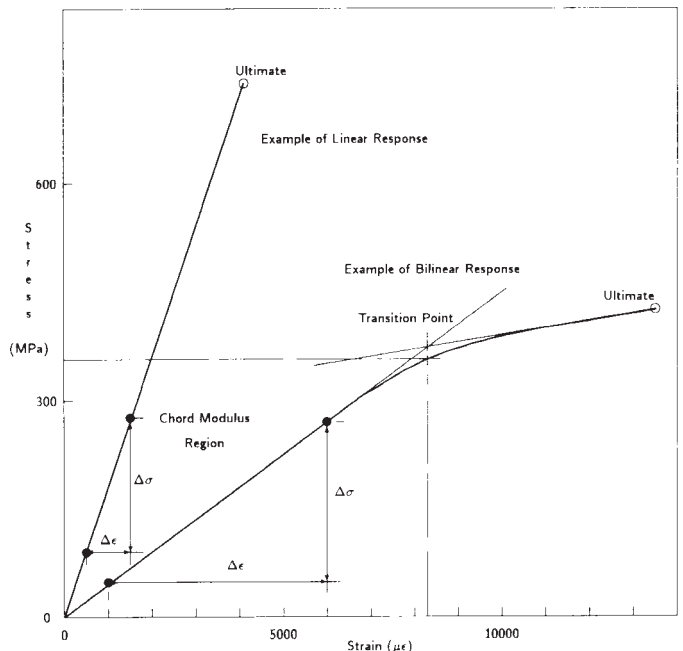


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 10 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = -\Delta\epsilon_t/\Delta\epsilon_l \quad (10)$$

where:

- ν = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_t$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and
- $\Delta\epsilon_l$ = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

12.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

12.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i)/n \quad (11)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)/(n-1)} \quad (12)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1}/\bar{x} \quad (13)$$

where:

- \bar{x} = sample mean (average);
- s_{n-1} = sample standard deviation;
- CV = sample coefficient of variation, in percent;
- n = number of specimens; and
- x_i = measured or derived property.

13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

- 13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.
- 13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.
- 13.1.3 The name(s) of the test operator(s).

13.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

13.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

13.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

13.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

13.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

13.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

13.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load before failure.

13.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

13.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

13.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

14.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D 3039/D 3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of loading and displacement/strain measurement, speed of loading, alignment of test specimen with applied load, parallelism of the grips, grip pressure, and type of load control (displacement, strain, or load).

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the

natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.¹⁰ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

A	IM-6/3501-6 uni-tape (0)n
B	IM-6/3501-6 uni-tape (90)n
C	IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n
F	Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)- warp aligned
G	Carbon/epoxy fabric (66108 carbon/Ciba R 6376

TABLE 4 Precision Statistics

Material	\bar{x}	$s \bar{x}$	S_r	S_R	$S_r/\bar{x}, \%$	$S_R/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_r/X and S_R/X represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

¹⁰ International Harmonization of Composite Materials—Phase I: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S/X , %	Average of S_R/X , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, mate-

rial and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

**Anexo 3. Norma
para ensayo a
flexión ASTM
D7264**



Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 7264/D 7264M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method determines the flexural stiffness and strength properties of polymer matrix composites.

1.1.1 *Procedure A*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Procedure B*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of one-half of the support span.

NOTE 1—Unlike Test Method D 6272, which allows loading at both one-third and one-half of the support span, in order to standardize geometry and simplify calculations this standard permits loading at only one-half the support span.

1.2 For comparison purposes, tests may be conducted according to either test procedure, provided that the same procedure is used for all tests, since the two procedures generally give slightly different property values.

1.3 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

- D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
- D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

- D 3878 Terminology for Composite Materials
 - D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
 - D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation
 - D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending
 - D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials
 - E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
 - E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
 - E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials
 - E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
 - E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
 - E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics
 - E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases
 - E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases
- 2.2 *Other Documents*:
- ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³
 - ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines the terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other documents.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D 7264/D 7264M – 06.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard’s Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 flexural strength, n —the maximum stress at the outer surface of a flexure test specimen corresponding to the peak applied force prior to flexural failure.

3.2.2 flexural modulus, n —the ratio of stress range to corresponding strain range for a test specimen loaded in flexure.

3.3 Symbols:

- b = specimen width
- CV = sample coefficient of variation, in percent
- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity
- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity
- h = specimen thickness
- L = support span
- m = slope of the secant of the load-deflection curve
- n = number of specimens
- P = applied force
- s_{n-1} = sample standard deviation
- x_i = measured or derived property
- \bar{x} = sample mean
- δ = mid-span deflection of the specimen
- ϵ = strain at the outer surface at mid-span of the specimen
- σ = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:

4.1.1 Procedure A—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 Procedure B—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).

4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

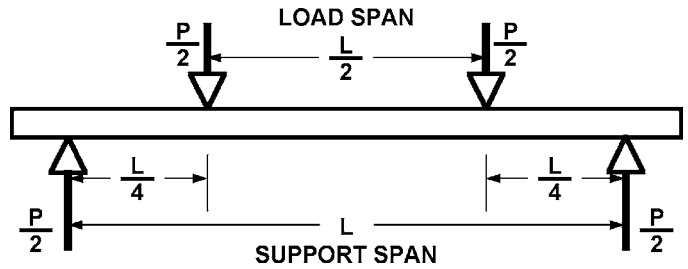


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D 2344/D 2344M.

5. Significance and Use

5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).

5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D 2344/D 2344M.

5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.

5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental conditions to determine which are design drivers and may require further testing.

5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

6. Interferences

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended); such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning and/or testing environments, and rate of straining. When evaluating several datasets these parameters should be equivalent for all data in the comparison.

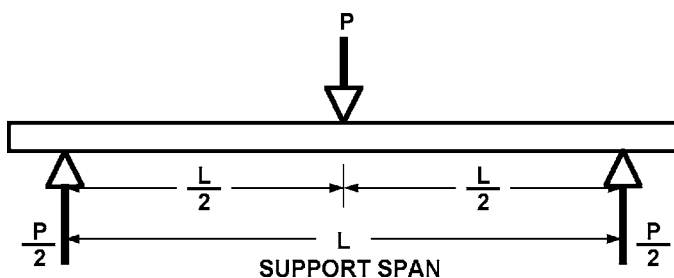


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the $\pm 45^\circ$ direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

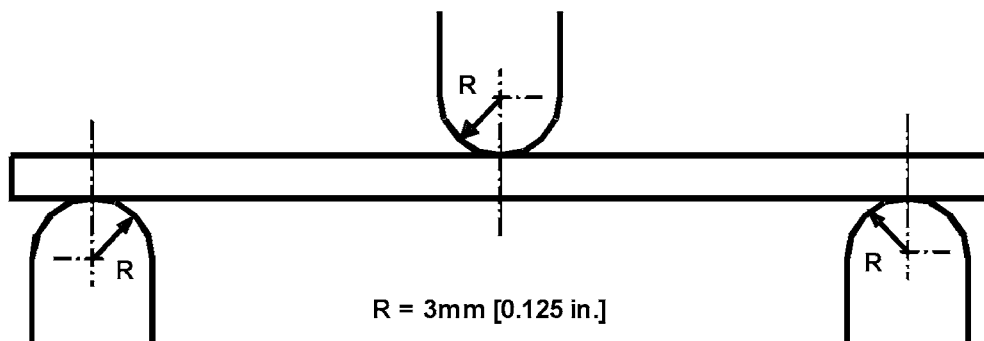
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of

uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

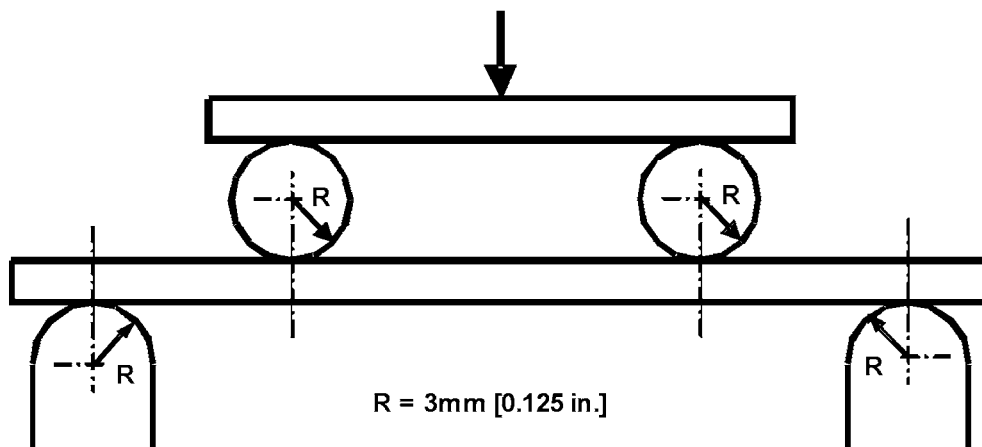
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed $\pm 1\%$ of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces of radius 3.00 mm [0.125 in.] as shown in Fig. 3, with a hardness of 60 to 62 HRC, as specified in Test Methods E 18, and shall have finely



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



Four-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Rolling Loading Noses

FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

ground surfaces free of indentation and burrs with all sharp edges relieved. Loading noses and supports may be arranged in a fixed, rotatable or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

7.3 *Micrometers*—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.02 mm [± 0.001 in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.1 mm [± 0.004 in.] is adequate for length measurement.

7.4 *Deflection Measurement*—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of ± 1 % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 *Conditioning Chamber*—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 1^\circ\text{C}$ [$\pm 2^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 3 % relative humidity, as outlined in Test Method [D 5229/D 5229M](#). Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 *Environmental Test Chamber*—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature

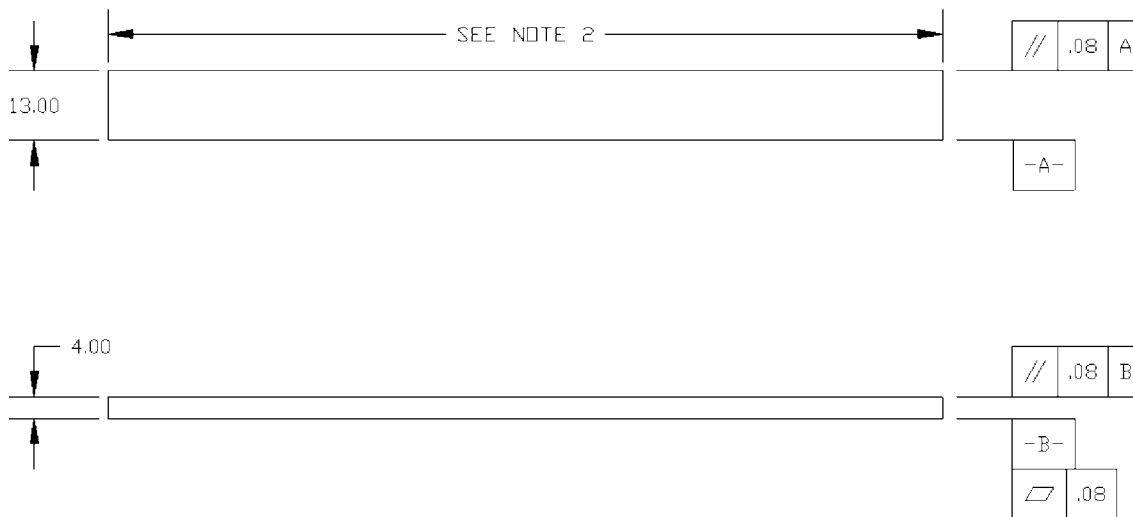
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

8.1 *Specimen Preparation*—Guide [D 5687/D 5687M](#) provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

8.2 *Specimen Size* is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see [Notes 2 and 3](#)). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See [Figs. 4 and 5](#) for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide [D 6856](#). If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

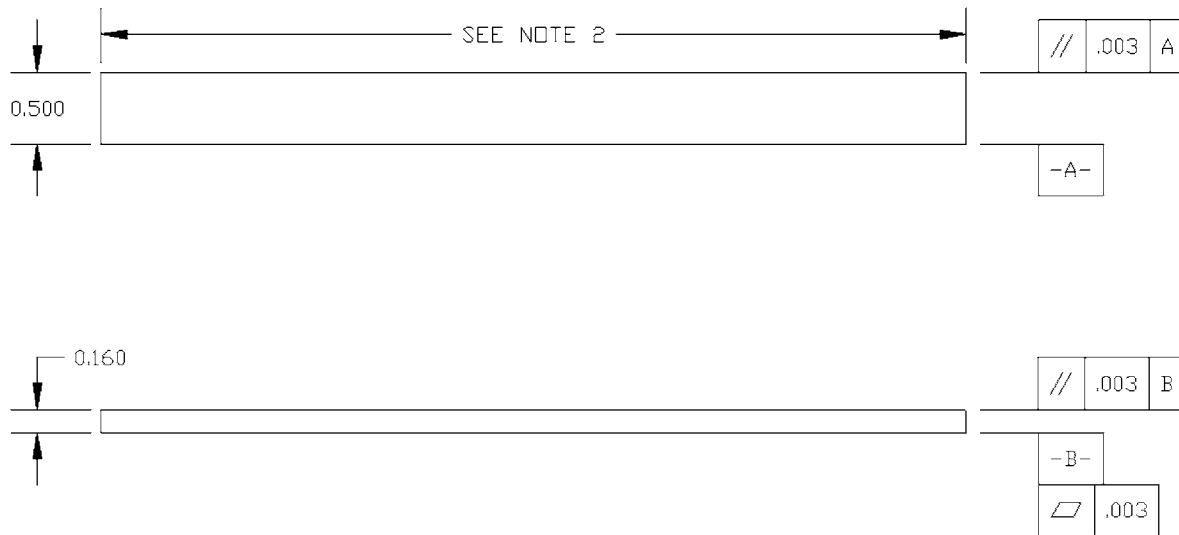


NOTE 1—Drawing interpretation per [ANSI Y14.5-1999](#) and [ANSI B46.1-1995](#).

NOTE 2—See [8.2](#) and [11.3](#) of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

9. Number of Test Specimens

9.1 Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning but before testing, measure and record the specimen width and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a

rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

11.7 *Failure Modes*—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

11.7.1 *Failure Identification Codes*—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

12. Validation

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) should be reexamined.

13. Calculation

NOTE 5—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 *Maximum Flexural Stress, Procedure A*—When a beam of homogenous, elastic material is tested in flexure as a

beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{1}$$

where:

- σ = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.⁴ Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to ½ the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \tag{2}$$

where:

- σ = stress at the outer surface in the load span region, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and

⁴ For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2.

13.3 *Flexural Strength*—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure. (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the peak applied force.

13.4 *Flexural Stress at a Given Strain*—The maximum flexural stress at any given strain may be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6.

13.5 *Maximum Strain, Procedure A*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (3)$$

where:

- ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.6 *Maximum Strain, Procedure B*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{4.36\delta h}{L^2} \quad (4)$$

where:

- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.7 Flexural Modulus of Elasticity:

13.7.1 *Flexural Chord Modulus of Elasticity*—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
- $\Delta\sigma$ = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.⁵ For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 *For Procedure A:*

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.],
- h = thickness of beam, mm [in.] and
- m = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 *For Procedure B:*

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^3 m}{bh^3} \quad (7)$$

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - nx^2 \right)}{n-1}}$$

$$CV = 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

where:

- \bar{x} = average value or sample mean,
- x_i = value of single measured or derived property,
- n = number of specimens,
- s_{n-1} = estimated standard deviation,
- CV = coefficient of variation in percentage.

⁵ For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

14. Report

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.

14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.

14.1.3 The name(s) of the test operator(s).

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

14.1.5 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

14.1.6 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

14.1.13 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

14.1.26 Individual flexural strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load prior to failure.

14.1.27 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

14.1.29 Individual values of flexural chord modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If an alternate definition of flexural modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

A1.2 *Measurement of Span:*

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

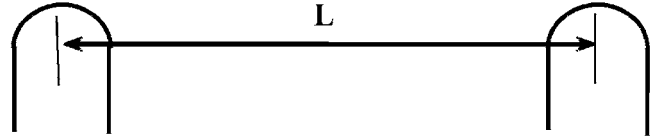


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

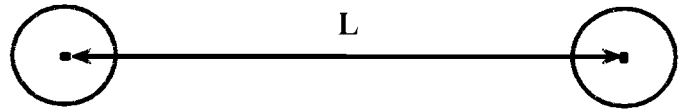


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

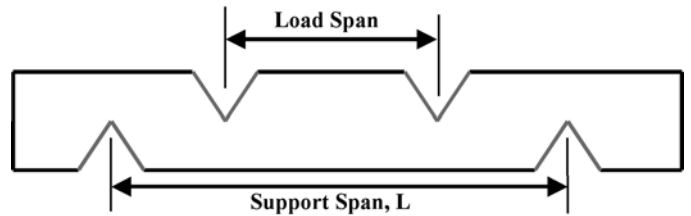


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41AM single-user license only, copying and networking prohibited.

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

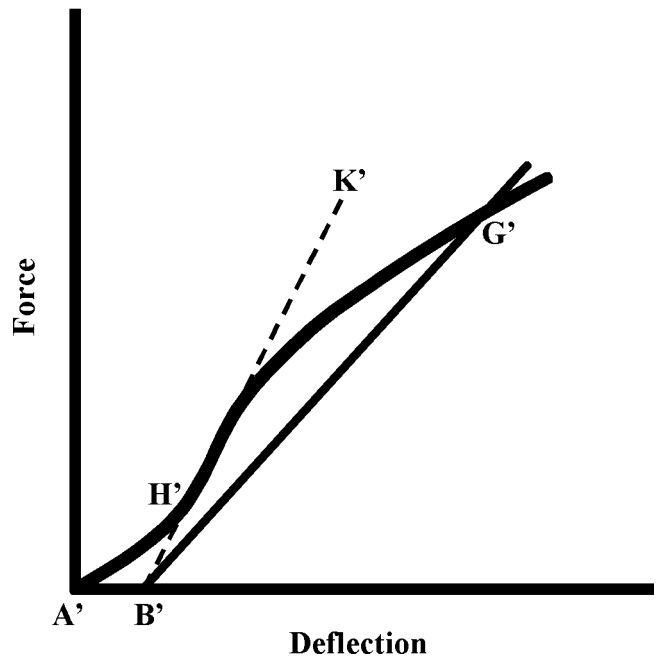


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

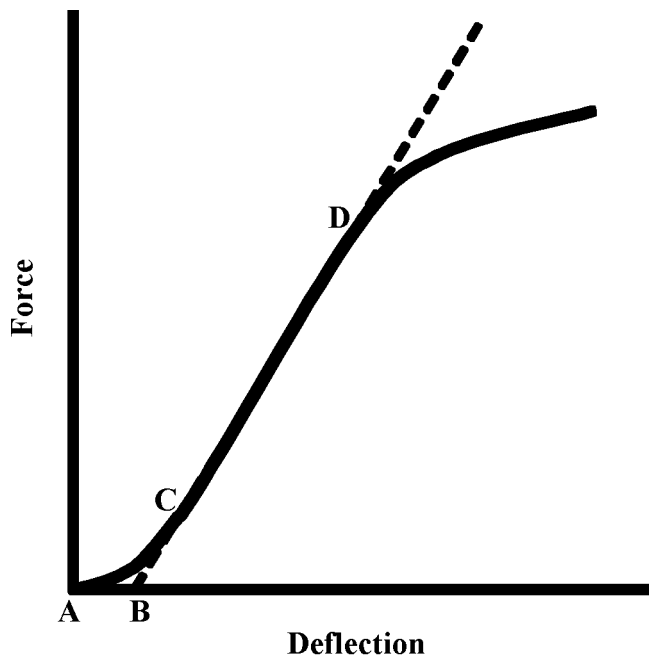


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41AM single-user license only, copying and networking prohibited.

 **D 7264/D 7264M – 07**

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited. /

**Anexo 4. Norma
para ensayo a
impacto ASTM
D5628**



Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)¹

This standard is issued under the fixed designation D5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the threshold value of impact-failure energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup), based on testing many specimens.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific hazard statements are given in Section 8.

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics
- D1709 Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method
- D2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight)
- D3763 Test Method for High Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors

- D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials
 - D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens
 - D6779 Classification System for Polyamide Molding and Extrusion Materials (PA)
 - E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- ### 2.2 ISO Standards:³
- ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing
 - ISO 6603-1 Plastics—Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D883 and D1600.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *failure (of test specimen)*—the presence of any crack or split, created by the impact of the falling tup, that can be seen by the naked eye under normal laboratory lighting conditions.

3.2.2 *mean-failure energy (mean-impact resistance)*—the energy required to produce 50 % failures, equal to the product of the constant drop height and the mean-failure mass, or, to the product of the constant mass and the mean-failure height.

3.2.3 *mean-failure height (impact-failure height)*—the height at which a standard mass, when dropped on test specimens, will cause 50 % failures.

NOTE 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for example, is difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye can confirm the onset of crack formation.

3.2.4 *mean-failure mass (impact-failure mass)*—the mass of the dart (tup) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved July 1, 2010. Published July 2010. Originally approved in 1994. Last previous edition approved in 2007 as D5628 - 07. DOI: 10.1520/D5628-10.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

3.2.5 *tup*—a dart with a hemispherical nose. See 7.2 and Fig. 1.

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (*tup*) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass is dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass is dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass \times height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁴ Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different *tup* and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore are likely to be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach can produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC should be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter *tup* used in Geometry FB minimizes problems with *tup* penetration and sticking in failed specimens of some ductile materials.

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D1709. They have been

⁴ The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and *tup* must be somewhat arbitrary. Although a choice of *tup* geometries is available, knowledge of the final or intended end-use application shall be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Table 1 of Classification System D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials is expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and *tup* shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

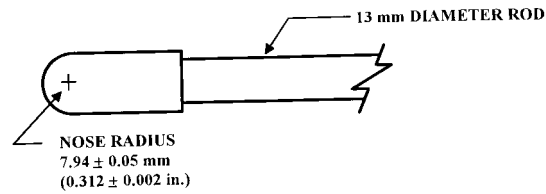


FIG. 1 (a)

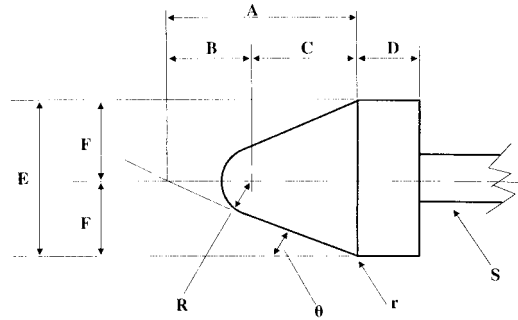


FIG. 1 (b)

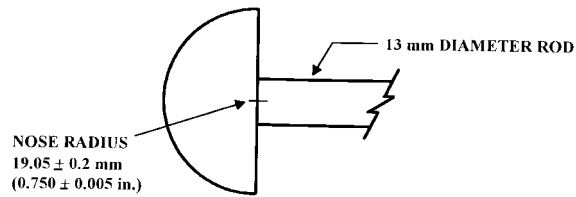


FIG. 1 (c)

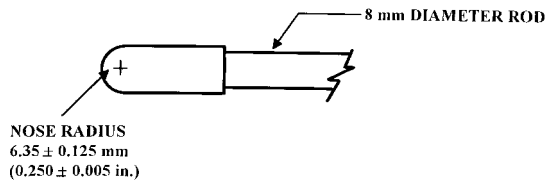


FIG. 1 (d)

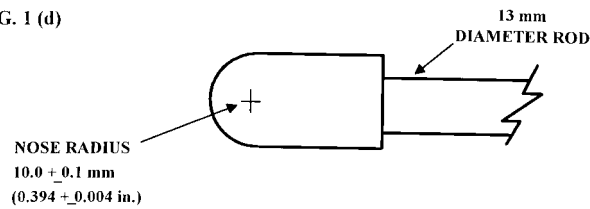


FIG. 1 (e)

Dimensions of Conical Dart (Not to scale.)—Fig. 1(b)

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be ±2 %.

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	27.2	1.07
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	6.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	6.35 ± 0.05	0.250 ± 0.002
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) ^A	6.4	0.25
θ	25 ± 1°	25 ± 1°

^A Larger diameter shafts shall be used.

FIG. 1 Tup Geometries for Geometries FA (1a), FB (1b), FC (1c), FD (1d), and FE (1e)

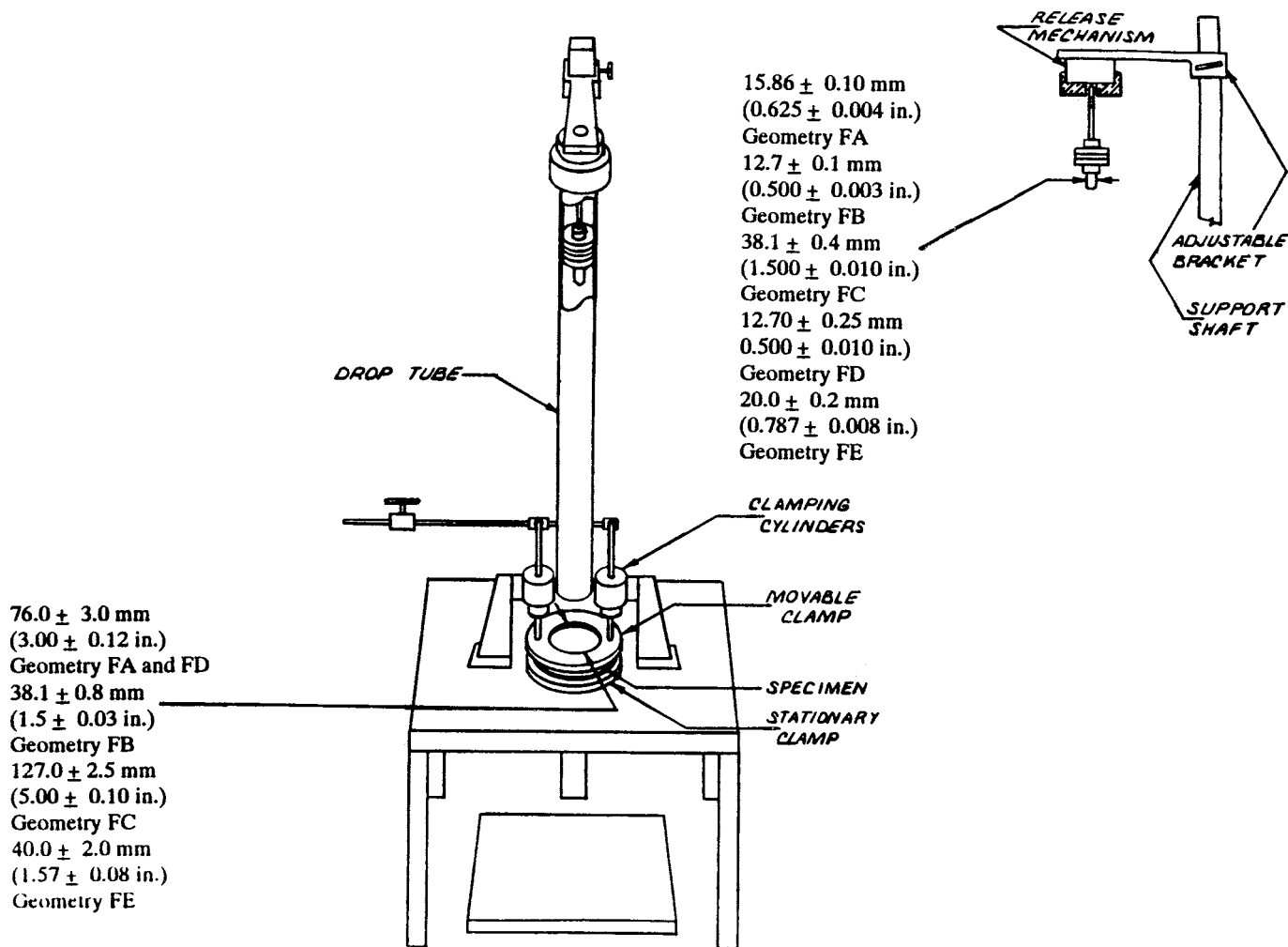


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.). For Geometry FC, the inside diameter should be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be 40 ± 2 mm (1.57 ± 0.08 in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops are ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

7.2 *Tup*:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a 15.86 ± 0.10-mm (0.625 ± 0.004-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(a) and Table 1).

7.2.2 The tup used in Geometry FB shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The head shall have a diameter of 12.7 ± 0.1 mm (0.500 ± 0.003 in.) with a conical (50° included angle) configuration such that the conical surface is tangent to the hemispherical nose. A 6.4-mm (0.25-in.) diameter shaft is satisfactory (see Fig. 1(b) and Table 1).

7.2.3 The tup used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of 38.1 ± 0.4 mm (1.5 ± 0.015 in.). A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal

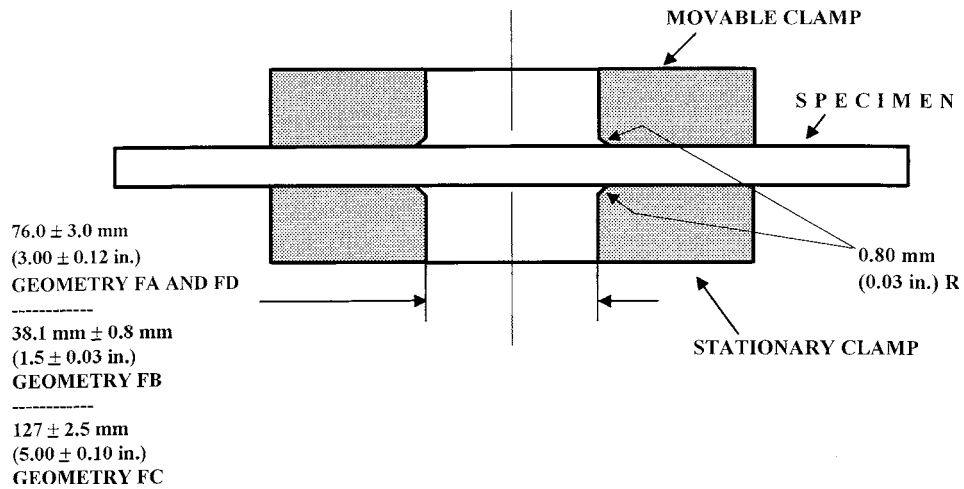


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

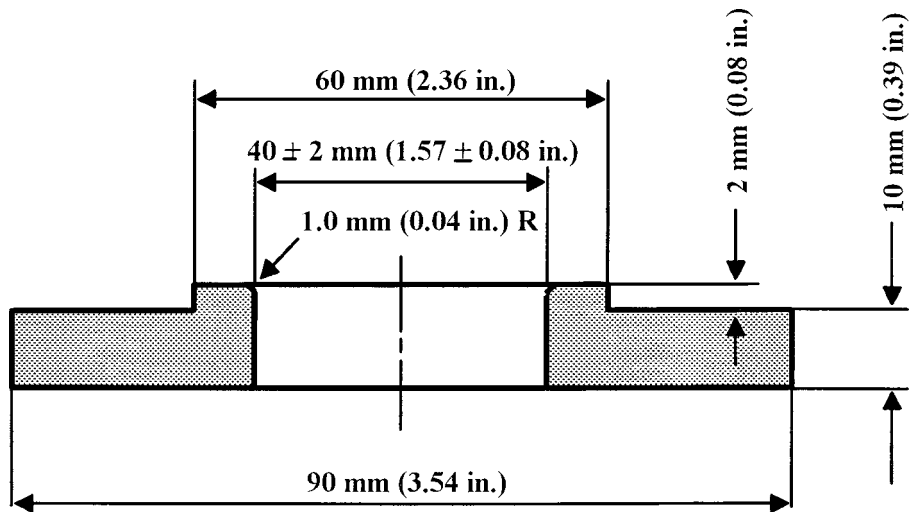


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Tup Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	15.86 ± 0.10 (0.625 ± 0.004)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FB	12.7 ± 0.1 (0.500 ± 0.003)	38.1 ± 0.8 (1.5 ± 0.03)
FC	38.1 ± 0.4 (1.5 ± 0.010)	127.0 ± 2.5 (5.00 ± 0.10)
FD	12.70 ± 0.25 (0.500 ± 0.010)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FE	20.0 ± 0.2 (0.787 ± 0.008)	40.0 ± 2.0 (1.57 ± 0.08)

axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25-mm (0.500 ± 0.010-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8

mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 ± 0.2-mm (0.787 ± 0.008-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 Masses—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 (2.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

7.4 *Micrometer*, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods [D5947](#) for descriptions of suitable micrometers.

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of ± 1 %.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method [D2444](#) shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section [14](#).

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See [Table 2](#) for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with [ISO 6603-1](#) the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens should be used to determine the appropriate starting point of the test. For compliance with [ISO 6603-1](#) a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large ([1](#)).

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice [D618](#), for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice [D618](#), unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with [ISO 291](#), unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as polyamides, the material specifications (for example, Classification System [D6779](#)) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice [D618](#), unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method [D618](#).

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in [10.3](#).

12.2 Mark the specimens and condition as specified in [11.1](#).

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact. In the case of injection molded specimens, it is not necessary to measure each specimen. It is sufficient to

measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 0.008 m (26.0 ± 0.3 in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking is difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, confirms the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification, or a definition agreed upon by supplier and user, shall take precedence over the definition stated in 3.2.1.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to s , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times s is satisfactory (see section 13.4).

NOTE 6—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as X , to indicate a failure and a different symbol, such as O , to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be

examined. The specimen shall be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior can vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

w = mean-failure mass, kg,

h = mean-failure height, mm,

d_w = increment of tup weight, kg,

d_h = increment of tup height, mm,

N = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,

w_o = smallest mass at which an event occurred, kg

h_o = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),

$A = \sum_{i=0}^k in_i$,

$i = 0, 1, 2, \dots, k$ (counting index, starts at h_o or w_o),

n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,

$w_i = w_o + id_w$, and

$h_i = h_o + id_h$.

In calculating w or h , the negative sign is used when the events are failures. The positive sign is used when the events are non-failures. Refer to the example in Appendix X1.

13.3 *Mean-Failure Energy*—Compute the mean-failure energy as follows: $MFE = hwf$

where:

MFE = mean-failure energy, J,

h = mean-failure height or constant height as applicable, mm

w = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and

f = factor for conversion to joules.

Use $f = 9.80665 \times 10^{-3}$ if $h = \text{mm}$ and $w = \text{kg}$.

13.4 *Estimated Standard Deviation of the Sample*—If desired for record purposes, the estimated standard deviation of the sample for either variable mass or variable height can be calculated as follows:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

s_w = estimated standard deviation, mass, kg

s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$. If the value is <0.3 , use Table I from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

$$S_{\bar{w}} = G s_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_{\bar{h}} = G s_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

$S_{\bar{h}}$ = estimated standard deviation of the mean height, mm,

s_w = estimated standard deviation of the mean mass, kg,
and

G = factor that is a function of s/d (see Appendix X2).

A sample computation of s_w is found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of G at other levels of s/d , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_{\bar{h}} w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_w h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

S_{MFE} = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^A	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ^A	11.8	14.9	42.2

^A Data generated in three laboratories.

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r = 2.83 V_r$.

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin⁵ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet. (**Warning**—The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.)

15.2 *Concept of r and R* —If V_r and V_R have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, <i>J</i>	Values Expressed as Percent of the Mean	
		<i>V_r</i>	<i>r</i>
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
r = 2.83 *V_r*.

means from testing multiple individual specimens (Bruceton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the *r* value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				<i>n_x</i>	<i>n_o</i>	<i>i</i>	<i>n_i</i>	<i>in₁</i>	<i>i²n₁</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X	X				X		X							4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O	X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0	
6.00	O		O							O							O		O	0	5					
Totals																					9 (<i>N_g</i>)	11 (<i>N_o</i>)		9 (<i>N</i>)	6 (<i>A</i>)	8 (<i>B</i>)

$$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$$

$$w = w_o + d(A/N - 0.5)$$

$$= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$$

$$= 7.17 \text{ kg}$$

$$s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$$

$$= 1.620 (1.00) [((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029]$$

$$= 0.77 \text{ kg}$$

$$s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$$

$$s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>s/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 07) that may impact the use of this standard. (July 1, 2010)

- (1) Revised 11.1 and 11.2 for consistency with Practice D618.
- (2) Revised 12.4 to allow measurement of only one specimen for injection molded specimens.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).

Anexo 5. Informe técnico de los ensayos a tracción y flexión



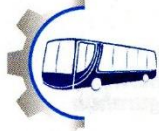
RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 050349246420190315-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Anahi Raquel Reinoso Arias.	
Dirección: José María Urbina y Velazco Ibarra.	
Núm. de cédula / RUC: 0503492464	Teléfono: 0998902721
E-mail: anahi_reinoso1996@hotmail.com	
DATOS INFORMATIVOS	
Laboratorio: Resistencia de Materiales	
Designación del material: Materiales compuestos, matriz poliéster reforzada con fibra de cabello humano.	
Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polimérica.	

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Característica	Orientación	Probetas a Ensayar
1	050349246420190315-ETC 01	70% Resina y 30 % de Fibra natural	0°	5
2	050349246420190315-ETC 02	70% Resina y 30 % de Fibra natural	45°	5
3	050349246420190315-ETC 03	70% Resina y 30 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
4	050349246420190315-ETC 04	80% Resina y 20 % de Fibra natural	0°	5
5	050349246420190315-ETC 05	80% Resina y 20 % de Fibra natural	45°	5
6	050349246420190315-ETC 06	80% Resina y 20 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
7	050349246420190315-ETC 07	90% Resina y 10 % de Fibra natural	0°	5
8	050349246420190315-ETC 08	90% Resina y 10 % de Fibra natural	45°	5
9	050349246420190315-ETC 09	90% Resina y 10 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
10	050349246420190315-ETC 10	100% Resina y 0 % de Fibra natural	-	5
Total				50

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



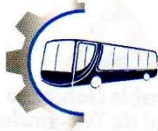
ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	050349246420190315-ETC 01-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
2	050349246420190315-ETC 01-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
3	050349246420190315-ETC 01-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
4	050349246420190315-ETC 01-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
5	050349246420190315-ETC 01-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
6	050349246420190315-ETC 02-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
7	050349246420190315-ETC 02-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
8	050349246420190315-ETC 02-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
9	050349246420190315-ETC 02-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
10	050349246420190315-ETC 02-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
11	050349246420190315-ETC 03-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
12	050349246420190315-ETC 03-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
13	050349246420190315-ETC 03-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
14	050349246420190315-ETC 03-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
15	050349246420190315-ETC 03-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
16	050349246420190315-ETC 04-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
17	050349246420190315-ETC 04-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
18	050349246420190315-ETC 04-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
19	050349246420190315-ETC 04-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
20	050349246420190315-ETC 04-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
21	050349246420190315-ETC 05-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
22	050349246420190315-ETC 05-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
23	050349246420190315-ETC 05-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
24	050349246420190315-ETC 05-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
25	050349246420190315-ETC 05-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
26	050349246420190315-ETC 06-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
27	050349246420190315-ETC 06-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
28	050349246420190315-ETC 06-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
29	050349246420190315-ETC 06-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
30	050349246420190315-ETC 06-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
31	050349246420190315-ETC 07-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
32	050349246420190315-ETC 07-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
33	050349246420190315-ETC 07-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
34	050349246420190315-ETC 07-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
35	050349246420190315-ETC 07-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
36	050349246420190315-ETC 08-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
37	050349246420190315-ETC 08-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
38	050349246420190315-ETC 08-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
39	050349246420190315-ETC 08-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
40	050349246420190315-ETC 08-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
41	050349246420190315-ETC 09-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
42	050349246420190315-ETC 09-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
43	050349246420190315-ETC 09-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
44	050349246420190315-ETC 09-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
45	050349246420190315-ETC 09-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
46	050349246420190315-ETC 10-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
47	050349246420190315-ETC 10-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
48	050349246420190315-ETC 10-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
49	050349246420190315-ETC 10-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
50	050349246420190315-ETC 10-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019



DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 050349246420190315-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_023

Empresa / Cliente: Anahi Raquel Reinoso Arias.

RUC/C.I.: 0503492464 **Ciudad:** Latacunga.

Dirección: José María Urbina y Velazco Ibarra.

Teléfono: 0998902721 **Correo:** anahi_reinoso1996@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglata, Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D3039/ D3039 M- 17: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.

Tipo de ensayo: Cuantitativo **Tipo de probeta:** Plana

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50KN.

Modelo: MTE-50. **Serie:** 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min **Precarga:** 0,01 N

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/03/21 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2019/03/22

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *materiales compuestos, matriz poliéster reforzada con fibra de cabello humano*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Característica	Orientación	Probetas a Ensayar
1	050349246420190315-ETC 01	70% Resina y 30 % de Fibra natural	0°	5
2	050349246420190315-ETC 02	70% Resina y 30 % de Fibra natural	45°	5
3	050349246420190315-ETC 03	70% Resina y 30 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
4	050349246420190315-ETC 04	80% Resina y 20 % de Fibra natural	0°	5

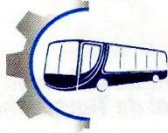
Nota: La fabricación y configuración de las probetas es declarada por el cliente.

Observaciones: Ninguna.

Elaborado por:	Aprobado por:	
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López E. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 28 de marzo de 2019

N° de Factura: 001-002-000006688



N°	Identificación del grupo	Característica	Orientación	Probetas a Ensayar
5	050349246420190315-ETC 05	80% Resina y 20 % de Fibra natural	45°	5
6	050349246420190315-ETC 06	80% Resina y 20 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
7	050349246420190315-ETC 07	90% Resina y 10 % de Fibra natural	0°	5
8	050349246420190315-ETC 08	90% Resina y 10 % de Fibra natural	45°	5
9	050349246420190315-ETC 09	90% Resina y 10 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
10	050349246420190315-ETC 10	100% Resina y 0 % de Fibra natural	-	5
Total				50

Tabla 1. Características de los grupos de probetas.

N°	Identificación del grupo	Característica	Orientación	Probetas a Ensayar
1	050349246420190315-ETC 05	80% Resina y 20 % de Fibra natural	45°	5
2	050349246420190315-ETC 06	80% Resina y 20 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
3	050349246420190315-ETC 07	90% Resina y 10 % de Fibra natural	0°	5
4	050349246420190315-ETC 08	90% Resina y 10 % de Fibra natural	45°	5
5	050349246420190315-ETC 09	90% Resina y 10 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
6	050349246420190315-ETC 10	100% Resina y 0 % de Fibra natural	-	5

Nota: La fabricación y construcción de las probetas se describen en el Anexo Operaciones: Ninguna.

Elaborado por:

Revisado por:

Aprobado por:

Elaborado por:

Revisado por:

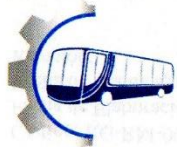
Aprobado por:



Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
1	050349246420190315-ETC 01-1	22,5	57,9	25,89	7,27	5263,56	27,96	516,91	5,41	OOU
2	050349246420190315-ETC 01-2	22,5	57,9	25,78	6,13	4559,86	28,85	502,32	5,74	LAT
3	050349246420190315-ETC 01-3	22,5	57,9	25,88	6,64	4993,76	29,06	496,19	5,86	LGB
4	050349246420190315-ETC 01-4	22,5	57,9	25,92	6,68	4854,91	28,04	451,64	6,21	OOU
5	050349246420190315-ETC 01-5	22,5	57,9	25,93	7,18	5295,12	28,44	423,97	6,71	LAB
Promedio \bar{X}						4993,442	28,472	478,206	5,986	
Desviación estándar S_{n-1}						304,614	0,484	38,891	0,495	
Coeficiente de variación CV						6,100	1,700	8,133	8,262	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
6	050349246420190315-ETC 02-1	23,2	57,7	25,98	6,04	1860,23	11,85	285,14	4,16	LGB
7	050349246420190315-ETC 02-2	23,2	57,7	25,59	5,68	1506,80	10,37	338,13	3,07	LAT
8	050349246420190315-ETC 02-3	23,2	57,7	25,78	6,63	2109,53	12,34	374,86	3,29	LGB
9	050349246420190315-ETC 02-4	23,2	57,7	25,74	6,32	1931,23	11,87	337,18	3,52	LGT
10	050349246420190315-ETC 02-5	23,2	57,7	26,14	6,37	1560,45	9,37	224,78	4,17	LIB
Promedio \bar{X}						1793,648	11,161	312,018	3,641	
Desviación estándar S_{n-1}						254,856	1,246	58,303	0,503	
Coeficiente de variación CV						14,209	11,168	18,686	13,817	



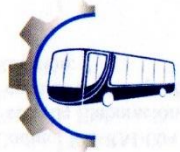
Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
11	050349246420190315-ETC 03-1	23,5	57,3	25,47	8,26	3677,87	17,48	297,14	5,88	LAB
12	050349246420190315-ETC 03-2	23,5	57,3	25,55	6,96	2160,02	12,15	252,31	4,81	LAB
13	050349246420190315-ETC 03-3	23,5	57,3	25,47	7,47	3141,41	16,51	282,72	5,84	LGB
14	050349246420190315-ETC 03-4	23,5	57,3	25,43	7,79	2934,72	14,81	278,51	5,32	LAT
15	050349246420190315-ETC 03-5	23,5	57,3	25,35	6,01	2710,67	17,79	313,98	5,67	LAT
Promedio \bar{X}						2924,938	15,749	284,932	5,505	
Desviación estándar S_{n-1}						557,869	2,324	22,929	0,445	
Coeficiente de variación CV						19,073	14,758	8,047	8,090	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
16	050349246420190315-ETC 04-1	23,9	55,5	25,52	5,48	3106,70	22,21	481,79	4,61	LGM
17	050349246420190315-ETC 04-2	23,9	55,5	25,37	5,41	3179,28	23,16	502,47	4,61	LGM
18	050349246420190315-ETC 04-3	23,9	55,5	25,45	4,66	2720,14	22,94	479,33	4,79	LGT
19	050349246420190315-ETC 04-4	23,9	55,5	25,55	5,18	2770,63	20,93	503,33	4,16	LGT
20	050349246420190315-ETC 04-5	23,9	55,5	25,53	4,92	2950,50	23,49	494,61	4,75	LAT
Promedio \bar{X}						2945,450	22,548	492,306	4,583	
Desviación estándar S_{n-1}						201,265	1,016	11,281	0,250	
Coeficiente de variación CV						6,833	4,508	2,291	5,450	



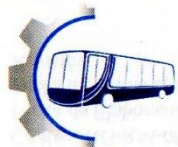
Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
21	050349246420190315-ETC 05-1	24,4	54,6	25,66	5,23	2227,86	16,60	360,04	4,594	LAB
22	050349246420190315-ETC 05-2	24,4	54,6	25,49	5,27	2207,35	16,43	356,44	4,474	LGM
23	050349246420190315-ETC 05-3	24,4	54,6	26,02	5,19	2246,80	16,64	347,70	4,858	LAB
24	050349246420190315-ETC 05-4	24,4	54,6	26,09	5,24	2210,51	16,17	388,76	4,907	LGM
25	050349246420190315-ETC 05-5	24,4	54,6	26,11	5,29	2089,02	15,12	318,47	4,482	LGB
Promedio \bar{X}						2196,308	16,193	354,282	4,663	
Desviación estándar S_{n-1}						62,007	0,625	25,262	0,207	
Coeficiente de variación CV						2,823	3,861	7,130	4,432	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
26	050349246420190315-ETC 06-1	25,0	53,3	25,43	7,27	2332,00	12,61	309,80	4,07	LAT
27	050349246420190315-ETC 06-2	25,0	53,3	25,42	7,59	2420,36	12,54	313,36	4,00	LAB
28	050349246420190315-ETC 06-3	25,0	53,3	25,23	6,82	2743,91	15,95	317,82	5,02	LAB
29	050349246420190315-ETC 06-4	25,0	53,3	25,35	8,27	2481,89	11,84	237,44	4,99	LAB
30	050349246420190315-ETC 06-5	25,0	53,3	25,32	6,38	2279,93	14,11	385,97	3,66	LAT
Promedio \bar{X}						2451,618	13,411	312,877	4,347	
Desviación estándar S_{n-1}						181,048	1,642	52,599	0,618	
Coeficiente de variación CV						7,385	12,241	16,811	14,219	



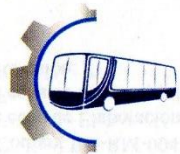
Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

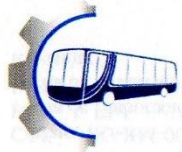
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
31	050349246420190315-ETC 07-1	25,8	51,4	25,03	4,28	1782,92	16,64	424,20	4,708	LAT
32	050349246420190315-ETC 07-2	25,8	51,4	25,14	4,68	2428,24	20,64	425,39	5,822	LGT
33	050349246420190315-ETC 07-3	25,8	51,4	25,12	4,45	2041,68	18,26	400,32	5,475	LGT
34	050349246420190315-ETC 07-4	25,8	51,4	25,33	4,74	2276,77	18,96	389,78	5,838	LGM
35	050349246420190315-ETC 07-5	25,8	51,4	25,27	4,57	2011,70	17,42	433,42	4,823	LAB
Promedio \bar{X}						2108,262	18,386	414,622	5,333	
Desviación estándar S_{n-1}						250,193	1,532	18,592	0,540	
Coeficiente de variación CV						11,867	8,335	4,484	10,119	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
36	050349246420190315-ETC 08-1	26,6	49,6	25,36	4,72	1704,03	14,24	304,84	4,67	LGB
37	050349246420190315-ETC 08-2	26,6	49,6	25,29	4,72	1674,05	14,02	333,51	4,21	LAT
38	050349246420190315-ETC 08-3	26,6	49,6	25,19	4,62	2687,00	23,09	451,32	5,12	LGM
39	050349246420190315-ETC 08-4	26,6	49,6	25,36	4,73	2021,17	16,85	373,68	4,51	LAB
40	050349246420190315-ETC 08-5	26,6	49,6	25,32	4,71	1478,40	12,40	305,59	4,06	LGT
Promedio \bar{X}						1912,930	16,119	353,787	4,511	
Desviación estándar S_{n-1}						474,452	4,210	61,314	0,416	
Coeficiente de variación CV						24,802	26,119	17,331	9,214	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
41	050349246420190315-ETC 09-1	26,7	48,9	25,21	5,29	1846,03	13,84	391,03	3,54	LAT
42	050349246420190315-ETC 09-2	26,7	48,9	25,21	5,73	2068,50	14,32	325,63	4,40	LIIB
43	050349246420190315-ETC 09-3	26,7	48,9	25,27	5,46	1800,28	13,05	358,46	3,64	LAB
44	050349246420190315-ETC 09-4	26,7	48,9	25,21	5,79	2014,86	13,80	349,02	3,96	LGB
45	050349246420190315-ETC 09-5	26,7	48,9	25,53	4,87	1956,48	15,74	429,95	3,66	LAT
Promedio \bar{X}						1937,230	14,150	370,816	3,839	
Desviación estándar S_{n-1}						112,585	0,997	40,542	0,349	
Coeficiente de variación CV						5,812	7,044	10,933	9,085	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
46	050349246420190315-ETC 10-1	22,8	57,9	25,59	4,22	2085,86	19,32	539,16	3,58	LGT
47	050349246420190315-ETC 10-2	22,8	57,9	25,33	4,09	2022,75	19,52	517,67	3,77	LAB
48	050349246420190315-ETC 10-3	22,8	57,9	25,02	4,09	2628,63	25,69	501,13	5,13	LAB
49	050349246420190315-ETC 10-4	22,8	57,9	25,66	4,39	2554,47	22,68	471,20	4,81	LAT
50	050349246420190315-ETC 10-5	22,8	57,9	25,21	4,06	1953,32	19,08	472,28	4,04	LVV
Promedio \bar{X}						2249,006	21,258	500,290	4,267	
Desviación estándar S_{n-1}						317,278	2,878	29,342	0,671	
Coeficiente de variación CV						14,107	13,539	5,865	15,723	



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero

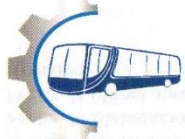


Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura:

Tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer caracter	Tipo de falla	Segundo caracter	Área de la falla	Tercer caracter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	U	Desconocido
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio

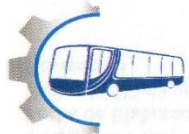


HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 050349246420190315-ETC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Anahi Raquel Reinoso Arias.	
Dirección: José María Urbina y Velazco Ibarra.	
Núm. de cédula / RUC: 0503492464	Teléfono: 0998902721
E-mail: anahi_reinoso1996@hotmail.com	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Materiales compuestos, matriz poliéster reforzada con fibra de cabello humano.
Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polímero.

Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	050349246420190315-ETC 01-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
2	050349246420190315-ETC 01-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
3	050349246420190315-ETC 01-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
4	050349246420190315-ETC 01-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
5	050349246420190315-ETC 01-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	



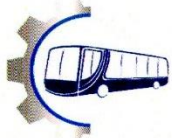
Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
6	050349246420190315-ETC 02-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
7	050349246420190315-ETC 02-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
8	050349246420190315-ETC 02-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
9	050349246420190315-ETC 02-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
10	050349246420190315-ETC 02-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
11	050349246420190315-ETC 03-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
12	050349246420190315-ETC 03-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
13	050349246420190315-ETC 03-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
14	050349246420190315-ETC 03-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
15	050349246420190315-ETC 03-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
16	050349246420190315-ETC 04-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
17	050349246420190315-ETC 04-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
18	050349246420190315-ETC 04-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
19	050349246420190315-ETC 04-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
20	050349246420190315-ETC 04-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	



Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
21	050349246420190315-ETC 05-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
22	050349246420190315-ETC 05-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
23	050349246420190315-ETC 05-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
24	050349246420190315-ETC 05-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
25	050349246420190315-ETC 05-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
26	050349246420190315-ETC 06-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
27	050349246420190315-ETC 06-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
28	050349246420190315-ETC 06-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
29	050349246420190315-ETC 06-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
30	050349246420190315-ETC 06-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
31	050349246420190315-ETC 07-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
32	050349246420190315-ETC 07-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
33	050349246420190315-ETC 07-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
34	050349246420190315-ETC 07-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
35	050349246420190315-ETC 07-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	



Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
36	050349246420190315-ETC 08-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
37	050349246420190315-ETC 08-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
38	050349246420190315-ETC 08-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
39	050349246420190315-ETC 08-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
40	050349246420190315-ETC 08-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
41	050349246420190315-ETC 09-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
42	050349246420190315-ETC 09-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
43	050349246420190315-ETC 09-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
44	050349246420190315-ETC 09-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
45	050349246420190315-ETC 09-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
46	050349246420190315-ETC 10-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
47	050349246420190315-ETC 10-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
48	050349246420190315-ETC 10-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
49	050349246420190315-ETC 10-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
50	050349246420190315-ETC 10-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	



Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

	
Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
	
Cliente	



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 050349246420190315-EFC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Anahi Raquel Reinoso Arias.	
Dirección: José María Urbina y Velazco Ibarra.	
Núm. de cédula / RUC: 0503492464	Teléfono: 0998902721
E-mail: anahi_reinoso1996@hotmail.com	
DATOS INFORMATIVOS	
Laboratorio: Resistencia de Materiales	
Designación del material: Materiales compuestos, matriz poliéster reforzada con fibra de cabello humano.	
Método de ensayo: ASTM D7264/ D7264 M-15: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.	

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Característica	Orientación	Probetas a Ensayar
1	050349246420190315-EFC 01	70% Resina y 30 % de Fibra natural	0°	5
2	050349246420190315-EFC 02	70% Resina y 30 % de Fibra natural	45°	5
3	050349246420190315-EFC 03	70% Resina y 30 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
4	050349246420190315-EFC 04	80% Resina y 20 % de Fibra natural	0°	5
5	050349246420190315-EFC 05	80% Resina y 20 % de Fibra natural	45°	5
6	050349246420190315-EFC 06	80% Resina y 20 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
7	050349246420190315-EFC 07	90% Resina y 10 % de Fibra natural	0°	5
8	050349246420190315-EFC 08	90% Resina y 10 % de Fibra natural	45°	5
9	050349246420190315-EFC 09	90% Resina y 10 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
10	050349246420190315-EFC 10	100% Resina y 0 % de Fibra natural	-	5
Total				50

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	050349246420190315-EFC 01-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
2	050349246420190315-EFC 01-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
3	050349246420190315-EFC 01-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
4	050349246420190315-EFC 01-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
5	050349246420190315-EFC 01-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
6	050349246420190315-EFC 02-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
7	050349246420190315-EFC 02-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
8	050349246420190315-EFC 02-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
9	050349246420190315-EFC 02-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
10	050349246420190315-EFC 02-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
11	050349246420190315-EFC 03-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
12	050349246420190315-EFC 03-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
13	050349246420190315-EFC 03-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
14	050349246420190315-EFC 03-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
15	050349246420190315-EFC 03-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
16	050349246420190315-EFC 04-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
17	050349246420190315-EFC 04-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
18	050349246420190315-EFC 04-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
19	050349246420190315-EFC 04-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
20	050349246420190315-EFC 04-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
21	050349246420190315-EFC 05-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
22	050349246420190315-EFC 05-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
23	050349246420190315-EFC 05-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
24	050349246420190315-EFC 05-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
25	050349246420190315-EFC 05-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
26	050349246420190315-EFC 06-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
27	050349246420190315-EFC 06-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
28	050349246420190315-EFC 06-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
29	050349246420190315-EFC 06-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
30	050349246420190315-EFC 06-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
31	050349246420190315-EFC 07-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
32	050349246420190315-EFC 07-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
33	050349246420190315-EFC 07-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
34	050349246420190315-EFC 07-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
35	050349246420190315-EFC 07-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
36	050349246420190315-EFC 08-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
37	050349246420190315-EFC 08-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
38	050349246420190315-EFC 08-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
39	050349246420190315-EFC 08-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
40	050349246420190315-EFC 08-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
41	050349246420190315-EFC 09-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
42	050349246420190315-EFC 09-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
43	050349246420190315-EFC 09-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
44	050349246420190315-EFC 09-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
45	050349246420190315-EFC 09-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
46	050349246420190315-EFC 10-1	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
47	050349246420190315-EFC 10-2	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
48	050349246420190315-EFC 10-3	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
49	050349246420190315-EFC 10-4	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019
50	050349246420190315-EFC 10-5	Cumple con los criterios dimensionales	15/03/2019



DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

	
Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 Cliente	

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 050349246420190315-EFC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_023

Empresa / Cliente: Anahí Raquel Reinoso Arias.

RUC/C.I.: 0503492464

Ciudad: Latacunga.

Dirección: José María Urbina y Velazco Ibarra.

Teléfono: 0998902721

Correo: anahi_reinoso1996@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D7264/ D7264 M-15: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Procedimiento: A

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN

Modelo: MTE 50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min. **Precarga:** 100 N. **Distancia entre apoyos:** 128 mm

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/03/21 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2019/03/21

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *materiales compuestos, matriz poliéster reforzada con fibra de cabello humano*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Característica	Orientación	Probetas a Ensayar
1	050349246420190315-ETC 01	70% Resina y 30 % de Fibra natural	0°	5
2	050349246420190315-ETC 02	70% Resina y 30 % de Fibra natural	45°	5
3	050349246420190315-ETC 03	70% Resina y 30 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
4	050349246420190315-ETC 04	80% Resina y 20 % de Fibra natural	0°	5

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.

Observaciones: Ninguna.

		
Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



Lugar y Fecha de emisión de Informe: Ambato, 28 de marzo de 2019

N°. Factura: 001-002-000006688



N°	Identificación del grupo	Característica	Orientación	Probetas a Ensayar
5	050349246420190315-ETC 05	80% Resina y 20 % de Fibra natural	45°	5
6	050349246420190315-ETC 06	80% Resina y 20 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
7	050349246420190315-ETC 07	90% Resina y 10 % de Fibra natural	0°	5
8	050349246420190315-ETC 08	90% Resina y 10 % de Fibra natural	45°	5
9	050349246420190315-ETC 09	90% Resina y 10 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
10	050349246420190315-ETC 10	100% Resina y 0 % de Fibra natural	-	5
Total				50

N°	Identificación del grupo	Característica	Orientación	Probetas a Ensayar
5	050349246420190315-ETC 05	80% Resina y 20 % de Fibra natural	45°	5
6	050349246420190315-ETC 06	80% Resina y 20 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
7	050349246420190315-ETC 07	90% Resina y 10 % de Fibra natural	0°	5
8	050349246420190315-ETC 08	90% Resina y 10 % de Fibra natural	45°	5
9	050349246420190315-ETC 09	90% Resina y 10 % de Fibra natural	Entrecruzada/al azar	5
10	050349246420190315-ETC 10	100% Resina y 0 % de Fibra natural	-	5

APROBADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR
Ing. Fernando Galindo M.	Ing. Fernando Galindo M.	Ing. Fernando Galindo M.
Analista Técnico Área de Inspección	Analista Técnico Área de Inspección	Analista Técnico Área de Inspección



Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
1	050349246420190315-EFC 01-1	24,2	53,5	13,60	6,9	220,89	14,808	65,50	1750,51	3,74	OAB
2	050349246420190315-EFC 01-2	24,2	53,5	13,62	6,46	198,80	13,988	67,15	2029,35	3,31	OAB
3	050349246420190315-EFC 01-3	24,2	53,5	13,54	6,86	208,27	9,084	62,76	2749,97	2,28	OAB
4	050349246420190315-EFC 01-4	24,2	53,5	13,70	6,85	236,67	8,793	70,69	3204,67	2,21	OAB
5	050349246420190315-EFC 01-5	24,2	53,5	13,52	6,99	224,05	12,863	65,12	1977,72	3,29	OAB
Promedio \bar{X}						217,736	11,91	66,24	2342,44	2,97	
Desviación estándar S_{n-1}						14,633	2,80	2,94	610,53	0,68	
Coeficiente de variación CV						6,720	23,50	4,44	26,06	23,06	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
6	050349246420190315-EFC 02-1	24,5	52,5	13,24	6,66	69,42	5,416	22,70	1718,17	1,32	OAB
7	050349246420190315-EFC 02-2	24,5	52,5	13,59	6,64	47,33	2,106	15,17	2961,59	0,51	OAB
8	050349246420190315-EFC 02-3	24,5	52,5	13,49	6,54	61,53	3,709	20,47	2304,91	0,89	OAB
9	050349246420190315-EFC 02-4	24,5	52,5	13,56	6,67	52,07	2,601	16,57	2608,43	0,64	OAB
10	050349246420190315-EFC 02-5	24,5	52,5	13,49	6,65	52,070	2,553	16,76	2695,44	0,62	OAB
Promedio \bar{X}						56,484	3,28	18,33	2457,71	0,80	
Desviación estándar S_{n-1}						8,882	1,33	3,13	475,24	0,32	
Coeficiente de variación CV						15,725	40,70	17,08	19,34	40,77	



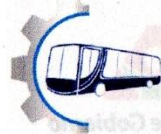
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
11	050349246420190315-EFC 03-1	24,8	52,0	13,20	7,44	135,69	5,736	35,66	2281,48	1,56	OAB
12	050349246420190315-EFC 03-2	24,8	52,0	13,41	7,90	118,33	5,216	27,15	1798,94	1,51	OAB
13	050349246420190315-EFC 03-3	24,8	52,0	13,46	6,94	142,00	6,084	42,06	2719,85	1,55	OAB
14	050349246420190315-EFC 03-4	24,8	52,0	13,14	6,25	100,98	7,030	37,77	2347,55	1,61	OAB
15	050349246420190315-EFC 03-5	24,8	52,0	13,52	5,89	67,84	4,702	27,77	2738,11	1,01	OAB
Promedio \bar{X}						112,968	5,75	34,08	2377,19	1,45	
Desviación estándar S_{n-1}						29,867	0,89	6,47	384,74	0,25	
Coeficiente de variación CV						26,438	15,38	18,99	16,18	16,94	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
16	050349246420190315-EFC 04-1	25,2	51	13,64	5,28	86,78	8,074	43,82	2806,63	1,56	OAB
17	050349246420190315-EFC 04-2	25,2	51	13,66	5,32	96,25	9,998	47,80	2453,99	1,95	OAB
18	050349246420190315-EFC 04-3	25,2	51	13,63	5,33	99,40	9,969	49,29	2532,95	1,95	OAB
19	050349246420190315-EFC 04-4	25,2	51	13,59	5,32	91,51	8,130	45,68	2883,99	1,58	OLB
20	050349246420190315-EFC 04-5	25,2	51	13,69	5,32	93,09	9,871	46,13	2398,69	1,92	OAB
Promedio \bar{X}						93,406	9,21	46,54	2615,25	1,79	
Desviación estándar S_{n-1}						4,786	1,01	2,09	217,10	0,20	
Coeficiente de variación CV						5,124	10,98	4,49	8,30	11,22	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
21	050349246420190315-EFC 05-1	25,8	49,9	13,47	5,37	71,00	4,977	35,09	3585,67	0,98	OAB
22	050349246420190315-EFC 05-2	25,8	49,9	14,18	5,43	67,84	4,551	31,15	3442,49	0,90	OLB
23	050349246420190315-EFC 05-3	25,8	49,9	14,08	5,32	78,89	7,506	38,01	2599,24	1,46	OLB
24	050349246420190315-EFC 05-4	25,8	49,9	13,16	5,39	64,69	5,297	32,49	3107,10	1,05	OLB
25	050349246420190315-EFC 05-5	25,8	49,9	14,19	5,42	71,00	4,498	32,70	3662,93	0,89	OAB
Promedio \bar{X}						70,684	5,37	33,89	3279,49	1,06	
Desviación estándar S_{n-1}						5,281	1,24	2,71	435,83	0,23	
Coeficiente de variación CV						7,471	23,11	7,99	13,29	22,22	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
26	050349246420190315-EFC 06-1	25,8	49,4	12,63	5,94	61,53	5,295	26,51	2301,59	1,15	OLB
27	050349246420190315-EFC 06-2	25,8	49,4	12,61	5,97	55,22	4,146	23,59	2602,55	0,91	OAB
28	050349246420190315-EFC 06-3	25,8	49,4	12,57	5,94	63,11	4,900	27,32	2563,17	1,07	OAB
29	050349246420190315-EFC 06-4	25,8	49,4	13,23	5,82	67,84	4,977	29,07	2740,06	1,06	OAB
30	050349246420190315-EFC 06-5	25,8	49,4	13,28	5,47	59,96	4,990	28,97	2898,48	1,00	OAB
Promedio \bar{X}						61,532	4,86	27,09	2621,17	1,04	
Desviación estándar S_{n-1}						4,599	0,43	2,24	221,85	0,09	
Coeficiente de variación CV						7,474	8,79	8,27	8,46	8,76	



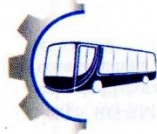
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
31	050349246420190315-EFC 07-1	25,7	49,4	13,36	4,59	67,84	9,738	46,28	2827,10	1,64	OLB
32	050349246420190315-EFC 07-2	25,7	49,4	13,37	4,74	53,64	7,002	34,28	2820,79	1,22	OLB
33	050349246420190315-EFC 07-3	25,7	49,4	13,71	4,83	53,64	6,171	32,20	2950,02	1,09	OLB
34	050349246420190315-EFC 07-4	25,7	49,4	13,35	4,68	61,53	7,194	40,40	3276,93	1,23	OAB
35	050349246420190315-EFC 07-5	25,7	49,4	13,41	4,81	59,96	7,306	37,11	2883,29	1,29	OAB
Promedio \bar{X}						59,322	7,48	38,05	2951,62	1,29	
Desviación estándar S_{n-1}						5,967	1,34	5,53	189,16	0,21	
Coeficiente de variación CV						10,058	17,87	14,54	6,41	15,88	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
36	050349246420190315-EFC 08-1	26,3	48,1	13,05	4,46	45,76	8,501	33,85	2437,65	1,39	OLB
37	050349246420190315-EFC 08-2	26,3	48,1	13,29	4,37	41,02	6,698	31,03	2895,02	1,07	OLB
38	050349246420190315-EFC 08-3	26,3	48,1	13,38	4,44	42,6	7,76	31,01	2457,61	1,26	OAB
39	050349246420190315-EFC 08-4	26,3	48,1	13,33	4,39	41,02	7,155	30,66	2665,21	1,15	OLB
40	050349246420190315-EFC 08-5	26,3	48,1	13,34	4,41	47,33	7,753	35,03	2797,47	1,25	OAB
Promedio \bar{X}						43,546	7,57	32,31	2650,59	1,22	
Desviación estándar S_{n-1}						2,867	0,68	1,99	202,56	0,12	
Coeficiente de variación CV						6,584	9,03	6,15	7,64	9,82	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
41	050349246420190315-EFC 09-1	26,2	48,3	12,59	5,76	67,84	5,075	31,18	2912,91	1,07	OAB
42	050349246420190315-EFC 09-2	26,2	48,3	13,21	5,97	75,73	4,788	30,88	2950,24	1,05	OAB
43	050349246420190315-EFC 09-3	26,2	48,3	12,74	5,74	58,68	4,198	26,84	3041,67	0,88	OLB
44	050349246420190315-EFC 09-4	26,2	48,3	12,52	5,74	40,49	3,560	18,85	2518,42	0,75	OLB
45	050349246420190315-EFC 09-5	26,2	48,3	12,55	5,76	48,91	3,392	22,55	3152,10	0,72	OAV
Promedio \bar{X}						58,330	4,20	26,06	2915,07	0,89	
Desviación estándar S_{n-1}						14,145	0,74	5,35	240,20	0,16	
Coeficiente de variación CV						24,250	17,54	20,53	8,24	18,38	

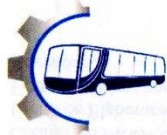
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
46	050349246420190315-EFC 10-1	26,2	48,1	13,23	3,97	53,64	13,615	49,39	2495,22	1,98	OUV
47	050349246420190315-EFC 10-2	26,2	48,1	13,14	4,02	58,38	13,129	52,79	2731,04	1,93	OUV
48	050349246420190315-EFC 10-3	26,2	48,1	13,52	4,04	53,64	11,647	46,67	2708,47	1,72	OUV
49	050349246420190315-EFC 10-4	26,2	48,1	13,26	4,11	56,80	11,825	48,69	2735,57	1,78	OUV
50	050349246420190315-EFC 10-5	26,2	48,1	13,18	4,16	63,11	13,736	53,12	2538,71	2,09	OUV
Promedio \bar{X}						57,114	12,79	50,13	2641,80	1,90	
Desviación estándar S_{n-1}						3,930	0,99	2,77	115,45	0,15	
Coeficiente de variación CV						6,882	7,75	5,52	4,37	7,90	



Nomenclatura de tipo de falla evaluado:

El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D7264-2015.

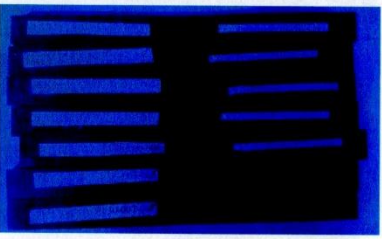
Primer carácter		Segundo carácter	Área de falla	Tercer carácter	Ubicación de falla
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
		U	No conocido	R	Derecha
				M	Medio
				U	Desconocido
				L	Izquierda
				T	Parte superior



HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

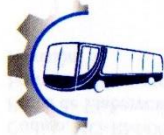
Informe N°: 050349246420190315-EFC	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Anahi Raquel Reinoso Arias.	
Dirección: José María Urbina y Velazco Ibarra.	
Núm. de cédula / RUC: 0503492464	Teléfono: 0998902721
E-mail: anahi_reinoso1996@hotmail.com	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Materiales compuestos, matriz poliéster reforzada con fibra de cabello humano.
Método de ensayo: ASTM D7264/ D7264 M-15: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

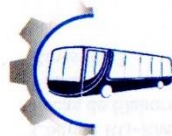
N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	050349246420190315-EFC 01-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
2	050349246420190315-EFC 01-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
3	050349246420190315-EFC 01-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
4	050349246420190315-EFC 01-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
5	050349246420190315-EFC 01-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	



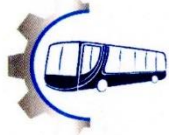
Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
6	050349246420190315-EFC 02-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
7	050349246420190315-EFC 02-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
8	050349246420190315-EFC 02-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
9	050349246420190315-EFC 02-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
10	050349246420190315-EFC 02-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
11	050349246420190315-EFC 03-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
12	050349246420190315-EFC 03-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
13	050349246420190315-EFC 03-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
14	050349246420190315-EFC 03-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
15	050349246420190315-EFC 03-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
16	050349246420190315-EFC 04-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
17	050349246420190315-EFC 04-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
18	050349246420190315-EFC 04-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
19	050349246420190315-EFC 04-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
20	050349246420190315-EFC 04-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	



Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
21	050349246420190315-EFC 05-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
22	050349246420190315-EFC 05-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
23	050349246420190315-EFC 05-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
24	050349246420190315-EFC 05-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
25	050349246420190315-EFC 05-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
26	050349246420190315-EFC 06-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
27	050349246420190315-EFC 06-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
28	050349246420190315-EFC 06-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
29	050349246420190315-EFC 06-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
30	050349246420190315-EFC 06-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
31	050349246420190315-EFC 07-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
32	050349246420190315-EFC 07-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
33	050349246420190315-EFC 07-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
34	050349246420190315-EFC 07-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
35	050349246420190315-EFC 07-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	



Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
36	050349246420190315-EFC 08-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
37	050349246420190315-EFC 08-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
38	050349246420190315-EFC 08-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
39	050349246420190315-EFC 08-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
40	050349246420190315-EFC 08-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
41	050349246420190315-EFC 09-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
42	050349246420190315-EFC 09-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
43	050349246420190315-EFC 09-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
44	050349246420190315-EFC 09-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
45	050349246420190315-EFC 09-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
46	050349246420190315-EFC 10-1	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
47	050349246420190315-EFC 10-2	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
48	050349246420190315-EFC 10-3	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
49	050349246420190315-EFC 10-4	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	
50	050349246420190315-EFC 10-5	15/03/2019	29/03/2019	Cliente	Se entrega al cliente.	



Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Chacón	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	