



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ
POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS RESIDUALES DE CUERO
EN USOS INDUSTRIALES.

AUTOR: Carlos Eduardo Izurieta Guerrero.

TUTOR: Ing. Segundo Espín Lagos. Mg.

Ambato –Ecuador

2017

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS RESIDUALES DE CUERO EN USOS INDUSTRIALES”, elaborado por Carlos Eduardo Izurieta Guerrero, portador de la cédula de ciudadanía 1804613816, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

.....
Ing. Segundo Espín Lagos. Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Declaro que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS RESIDUALES DE CUERO EN USOS INDUSTRIALES”, en su totalidad, incluyendo ideas, criterios, análisis y conclusiones son de mi completa autoría, a excepción de las referencias bibliográficas que se encuentran en el trabajo experimental.

.....
Carlos Eduardo Izurieta Guerrero

C. I. 1804613816

AUTOR.

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte 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 ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

.....
Carlos Eduardo Izurieta Guerrero

C. I. 1804613816

AUTOR.

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Experimental realizado por el estudiante Carlos Eduardo Izurieta Guerrero de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRÍZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS RESIDUALES DE CUERO EN USOS INDUSTRIALES”

Ambato, Octubre de 2017.

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. Juan Paredes Salinas

.....
Ing. Mg. Henry Vaca Ortega.

DEDICATORIA

Este presente trabajo experimental va dedicado a:

Dios, a la Virgen Santísima, quienes me han bendecido con la inteligencia, salud, vida y me han guiado para poder culminar satisfactoriamente esta hermosa carrera que anhelaba desde niño y siempre darme la fuerza necesaria para cumplir mis sueños.

A mis padres Raúl y Rosy, que me han inculcado valores para llegar a ser un hombre de bien, quienes han estado en los momentos buenos y malos siempre apoyándome, dando lo mejor de ustedes para verme convertir en un profesional honesto y humilde.

A mi hermano Alex, amigo, compañero que dios me ha regalado quien siempre a pesar del camino duro de la vida ha estado ahí apoyándome.

A mis abuelitos Jorge y Elina, quienes son ejemplo de humildad trabajo y perseverancia quienes han sido mis segundos Padres.

A mis tíos quienes siempre han estado apoyándome en la vida.

A mis primos.

A mis grandes amigos del grupo juvenil “Comunión y Participación” con quienes caminamos en el servicio de Dios.

AGRADECIMIENTO

A Dios y la virgen santísima quienes guían y bendicen mi vida, para poder esforzarme, luchar y conseguir los ideales planteados.

A mis padres quienes son mi mayor bendición que dios me regaló gracias a sus consejos, valores y muestras de amor he podido cristalizar uno de mis sueños, son mi ejemplo y motor para luchar en la vida.

A mi hermano, que siempre ha estado apoyándome en los momentos buenos y malos de la vida para seguir adelante en busca de los sueños.

A mis abuelitos quienes han sabido inculcarme valores de humildad, sencillez, respeto, honestidad, para día a díairme convirtiéndome en una persona de bien.

A mis tíos quienes han sido como mis hermanos y han sido un apoyo fundamental.

A mi tutor Ing. Mg. Segundo Espín, quien ha dedicado su tiempo y conocimiento para guiarme en el proyecto de titulación.

A mis docentes de la carrera de Ingeniería Mecánica quienes durante estos años de formación académica han impartido sus conocimientos y sabiduría.

Al CIDFAE, quien brindo su aporte con las instalaciones y conocimientos impartidos para la ejecución del trabajo experimental.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
INDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO	XV
CAPITULO I.....	1
1. ANTECEDENTES	1
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN:	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	3
CAPITULO II	4
2. FUNDAMENTACIÓN	4
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1.1. Materiales Compuestos.....	4
2.1.2. Matriz.....	5
2.1.3. Refuerzo.....	6
2.1.4. Materiales compuestos reforzados con partículas	6
2.1.5. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos	7
2.1.6. Resinas	7
2.1.7. Curtido del cuero	8

2.1.8. Método de moldeo al vacío.....	12
2.1.9. Ensayos para análisis de propiedades mecánicas	13
2.1.10. Principio de funcionamiento de un SEM.....	16
2.2. HIPÓTESIS	19
2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	19
2.3.1. Variable Independiente	19
2.3.2. Variable Dependiente	19
2.3.3. Termino de Relación.....	19
CAPITULO III.....	20
3. METODOLOGÍA	20
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	20
3.1.1. Investigación Exploratoria.....	20
3.1.2. Investigación Descriptiva.	20
3.1.3. Investigación Correlacional.	20
3.1.4. Investigación Explicativa.....	21
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	21
3.2.1. Población	21
3.2.2. Muestra	21
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	23
3.3.1. Variable Independiente	23
3.3.2 Variable Dependiente	24
3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	24
3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	25
3.5.1 Plan de Procesamiento de la Información Recolectada.	25
3.5.2 Plan de Análisis de los Resultados	26
3.6 DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE CONFIGURACIÓN DE LAS PROBETAS.....	27
3.7 DESARROLLO PARA LA OBTENCIÓN DE PROBETAS.....	29
3.7.1. Obtención del particulado de cuero	29
3.7.2. Obtención de resina poliéster.....	29
3.7.3. Obtención del MEK.....	30
3.7.4. Obtención de cera y líquido desmoldante.....	30
3.7.5. Materiales para secado al vacío	31
3.7.6. Determinación de la densidad de la Matriz y Refuerzo.....	34
3.7.7. Construcción del molde para probetas.....	37

3.7.8. Fracciones volumétricas	38
3.7.9. Fabricación de probetas.	43
CAPITULO IV	49
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	49
4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS	49
4.1.1. Datos de ensayo a tracción.....	49
4.1.2. Datos de ensayo a Flexión	67
4.1.3. Datos de ensayo a Impacto	85
4.1.4. Análisis de Fractografía	104
4.1.5. Análisis de Toxicidad	112
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	113
4.2.1. Interpretación de resultados.	116
4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	117
4.3.1. Hipótesis Nula (Ho).....	117
4.3.2. Hipótesis Alternativa (H1).....	117
4.3.3. Decisión y conclusión.....	119
4.3.4. Verificación de la hipótesis con respecto a tracción.	119
4.3.5. Verificación de la hipótesis con respecto a flexión.	120
4.3.6. Verificación de la hipótesis con respecto a impacto.....	122
4.3.7. Comparación de propiedades mecánicas de materiales compuestos con matriz poliéster.	123
4.4. APLICACIONES INDUSTRIALES	124
4.4.1. Industria de la construcción de viviendas	125
4.4.2. Industria de materiales sintéticos.....	125
4.4.2. Mueblería.....	125
CAPITULO V	126
5.1. CONCLUSIONES.....	126
5.2. RECOMENDACIONES	126
MATERIALES DE REFERENCIA	128
Bibliografía.....	128
ANEXOS.	130
ANEXO 1: Norma para ensayos a tracción ASTM D3039-00.	131
ANEXO 2: Norma para ensayos a flexión ASTM D7264-07.....	144
ANEXO 3: Norma para ensayos a impacto ASTM D5628-96.	155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Sectores de aplicación de los materiales compuestos.....	5
Figura 2. 2. Carga a tracción aplicada a la matriz.....	5
Figura 2. 3. Diagrama de flujo del proceso de curtido por acción química vegetal ..	10
Figura 2. 4. Diagrama de flujo del curtido por proceso químico	11
Figura 2. 5. Sistema de moldeo al vacío	12
Figura 2. 6. Efectos de laminado manual al vacío	13
Figura 2. 7. Probetas para el ensayo a tracción	14
Figura 2. 8. Dimensionamiento de probeta para tracción	14
Figura 2. 9. Tipos de ensayos a flexión.....	15
Figura 2. 10. Ensayo de impacto.....	16
Figura 2. 11. Diagrama del principio de formación de imágenes en el SEM	17
Figura 2. 12. Fractura por clivaje.....	18
Figura 2. 13. Fractura dúctil.....	18
Figura 2. 14. Fractura por fatiga.....	18
Figura 3. 1. Esquema de recolección de información	25
Figura 3. 2. Esquema de procesamiento de la información recolectada	26
Figura 3. 3. Esquema del plan de análisis de los resultados.	26
Figura 3. 4. Diagrama del proceso de elaboración de las probetas	28
Figura 3. 5. Tipo de particulado de cuero	29
Figura 3. 6. Resina poliéster.....	30
Figura 3. 7. MEK (Peróxido de metil etil cetona).....	30
Figura 3. 8. Cera desmoldante, líquido desmoldante	31
Figura 3. 9. Peel Ply	31
Figura 3. 10. Bagging film perforate.....	32
Figura 3. 11. Breather.....	32
Figura 3. 12. Bagging film	33
Figura 3. 13. Cinta de vacío	33
Figura 3. 14. Bomba de vacío	34
Figura 3. 15. Sólido de resina poliéster.....	34
Figura 3. 16. Diferencia volumétrica de la resina poliéster	35
Figura 3. 17. Diferencia volumétrica del particulado fino de cuero	36
Figura 3. 18. Diferencia volumétrica del particulado grueso de cuero	37
Figura 3. 19. Molde de acero A36.....	37
Figura 3. 20. Distribución de las probetas en el molde.....	38
Figura 3. 21. Tratamiento de la superficie del molde	43

Figura 3. 22. Curado del molde de acero A36	44
Figura 3. 23. Pesaje del particulado de cuero.....	44
Figura 3. 24. Medición de la resina poliéster	45
Figura 3. 25. Combinación de resina poliéster catalizado y particulado de cuero.....	45
Figura 3. 26. Telas para el vacío	46
Figura 3. 27. Enfundado del material compuesto	46
Figura 3. 28. Exceso de resina poliéster.....	46
Figura 3. 29. Secado al vacío	47
Figura 3. 30. Plancha de resina poliéster con refuerzo particulado de cuero.....	47
Figura 3. 31. Probetas para tracción.....	48
Figura 3. 32. Probetas para flexión	48
Figura 3. 33. Probetas para impacto.....	48
Figura 4. 1. Análisis de resultados de los ensayos mecánicos	113
Figura 4. 2. Distribución t-student	116

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Propiedades mecánicas de las resinas poliéster y epoxy.....	8
Tabla 3. 1. Configuración de probetas a tracción	21
Tabla 3. 2. Configuración de probetas a flexión	22
Tabla 3. 3. Configuración de probetas a impacto.....	22
Tabla 3. 4. Estudio variable independiente	23
Tabla 3. 5. Estudio variable dependiente	24
Tabla 3. 6. Densidad promedio del particulado fino de cuero	36
Tabla 4. 1. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción 90% resina poliéster, 10% particulado fino de cuero	49
Tabla 4. 2. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción 80% resina poliéster, 20% particulado fino de cuero	52
Tabla 4. 3. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción 70% resina poliéster, 30% particulado fino de cuero	55
Tabla 4. 4. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción 90% resina poliéster, 10% particulado grueso de cuero	58
Tabla 4. 5. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción 80% resina poliéster, 20% particulado grueso de cuero	61
Tabla 4. 6. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción 70% resina poliéster, 30% particulado grueso de cuero	64
Tabla 4. 7. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión 90% resina poliéster, 10% particulado fino de cuero	67
Tabla 4. 8. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión 80% resina poliéster, 20% particulado fino de cuero	70
Tabla 4. 9. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión 70% resina poliéster, 30% particulado fino de cuero	73
Tabla 4. 10. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión 90% resina poliéster, 10% particulado grueso de cuero	76
Tabla 4. 11. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión 80% resina poliéster, 20% particulado grueso de cuero	79
Tabla 4. 12. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión 70% resina poliéster, 30% particulado grueso de cuero	82
Tabla 4. 13. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto 90% resina poliéster, 10% particulado fino de cuero	85
Tabla 4. 14. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto 80% resina poliéster, 20% particulado fino de cuero	89

Tabla 4. 15. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto 70% resina poliéster, 30% particulado fino de cuero	92
Tabla 4. 16. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto 90% resina poliéster, 10% particulado grueso de cuero	95
Tabla 4. 17. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto 80% resina poliéster, 20% particulado grueso de cuero	98
Tabla 4. 18. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto 70% resina poliéster, 30% particulado grueso de cuero	101
Tabla 4. 19. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de fractografía 90% resina poliéster, 10% particulado fino de cuero	104
Tabla 4. 20. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de fractografía 70% resina poliéster, 30% particulado fino de cuero	106
Tabla 4. 21. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de fractografía 90% resina poliéster, 10% particulado grueso de cuero	108
Tabla 4. 22. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de fractografía 70% resina poliéster, 30% particulado grueso de cuero	110
Tabla 4. 23. Niveles máximos permisibles de contaminantes	112
Tabla 4. 24. Resultados analíticos de ensayo cretib	113
Tabla 4. 25. Tabulación de los resultados de los ensayos de tracción, flexión e impacto	113
Tabla 4. 26. Interpretación de resultados de los ensayos mecánicos	115
Tabla 4. 27. Tabulación de resultados de esfuerzos de ruptura a tracción con respecto a las familias 6 y 3	118
Tabla 4. 28. Tabulación de resultados de esfuerzos de ruptura a flexión con respecto a las familias 6 y 3	120
Tabla 4. 29. Tabulación de resultados de resistencia al impacto con respecto a las familias 6 y 3	121
Tabla 4. 30. Comparación de propiedades mecánicas de materiales compuestos con matriz poliéster	122
Tabla 4. 31. Propiedades mecánicas de materiales para aplicaciones industriales ..	123

RESUMEN EJECUTIVO

“APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS RESIDUALES DE CUERO EN USOS INDUSTRIALES”

Autor: Carlos Eduardo Izurieta Guerrero.

Tutor: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos. Mg.

Las curtiembres mediante el proceso de curtido de la piel animal eliminan ciertas capas de piel durante el proceso de limado y raspado, producto de estos procesos se obtiene particulado fino y particulado grueso de cuero respectivamente, esto particulado generado se convierten en desecho, de tal manera nace la idea de fabricar un material compuesto de matriz polimérica (resina poliéster) reforzado con partículas residuales de cuero que sea amigable con el medio ambiente y que sea destinado para usos industriales.

Para la elaboración de las probetas fue empleado diferentes fracciones volumétricas tanto para el particulado fino como para el particulado grueso de cuero, mediante el proceso de estratificación al vacío, para ser ensayadas a tracción, flexión e impacto mediante las normas ASTM D3039, ASTM D7264, ASTM D5628, respectivamente, obteniéndose las propiedades mecánicas del material.

Mediante los ensayos de las probetas a tracción, flexión e impacto, se obtuvo que el material compuesto de matriz poliéster con refuerzo particulado grueso de cuero con la fracción volumétrica 70% matriz y 30% refuerzo presentó los mejores resultados, Esfuerzo de Ruptura a Tracción 5,5 MPa, Módulo de Elasticidad 154,1 MPa, Esfuerzo de Ruptura a Flexión 16,58 MPa, Módulo de Flexión 548,9 MPa, Resistencia al Impacto 1,09 J.

EXECUTIVE SUMMARY

"APPLICABILITY OF A COMPOSITE MATERIAL COMPOSED OF POLYMERIC MATRIX REINFORCED WITH RESIDUAL LEATHER PARTICLES IN INDUSTRIAL USES".

Author: Carlos Eduardo Izurieta Guerrero.

Tutor: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos. Mg.

Tanneries through the process of tanning of the animal skin remove certain layers of skin during the process of filing and scraping, product of these processes is obtained fine particulate and coarse leather particulate respectively, this generated particulate become waste, in such a way the idea was born to manufacture a polymeric matrix composite (polyester resin) reinforced with residual particles of leather that is friendly to the environment and intended for industrial uses.

For the preparation of the test pieces, different volumetric fractions were used for both fine particulate and coarse leather particulate, by means of the vacuum stratification process, to be tensile, flexural and impact tested by ASTM D3039, ASTM D7264, ASTM D5628, respectively, obtaining the mechanical properties of the material.

By means of the tensile, flexure and impact tests, it was obtained that the composite of polyester matrix with thick particulate reinforcement of leather with the volumetric fraction 70% matrix and 30% reinforcement presented the best results, Traction Rupture Effort 5, 5 MPa, Modulus of Elasticity 154.1 MPa, Bending Rupture at 16.58 MPa, Bending Modulus 548.9 MPa, Impact Resistance 1.09 J.

CAPITULO I.

1. ANTECEDENTES

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN:

APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS RESIDUALES DE CUERO EN USOS INDUSTRIALES.

1.2 ANTECEDENTES

En el campo de ingeniería de materiales, los materiales compuestos han ido tomando fuerza e importancia en aplicaciones de ingeniería, así obteniendo aplicaciones de relevancia en la Industria Carrocera, Aeronáutica, Marítima, entre otros.

El estudio y la generación de materiales compuestos con matriz polimérica reforzada con partículas, ha ido brindando excelentes resultados, de tal modo que el particulado tiene una importante incidencia con los diámetros de las partículas, constituyendo una clasificación para la aplicación en diferentes campos industriales de acuerdo a las características presentadas en el material compuesto.

En el país existen diversos estudios de materiales compuestos de matriz polimérica reforzada con partículas naturales, una de las investigaciones desarrolladas con material de cuero ha sido efectuada en el Perú en la Pontificia Universidad Católica con el tema “ESTUDIO DE MATERIALES COMPUESTOS DE CUERO RECUPERADO AGLOMERADOS CON RESINA POLIMÉRICA”, ejecutada por el Sr. Alejandro José Arias Fernández, destinada la aplicación a suela falsa de botas de seguridad industriales, en la presente investigación plantea la determinación de las propiedades mecánicas de dicho material compuesto ejecutado a base de recuperado de cuero, para la aplicación antes mencionada [1].

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los materiales compuestos a través del transcurso de los años, han ido evolucionando y ganando potencialidad en mercados globales en los últimos 40 años, ya que son materiales más livianos y resistentes, adaptándose y satisfaciendo requerimientos de forma efectiva en aplicaciones de ingeniería [2].

La generación de materiales compuestos con fibras naturales es de vital importancia en aplicaciones de ingeniería ya que presentan buenas propiedades mecánicas.

Las partículas grandes que conforma la parte dispersa del material presentan buenas propiedades mecánicas de dureza y resistencia.

Las partículas pequeñas que comprende de 10-100 nm de diámetro, la mayor parte de carga soporta la matriz, el objetivo del refuerzo es aumentar el grado de elasticidad, resistencia a la tracción y al impacto.

La industria del cuero en la provincia de Tungurahua se encuentra involucrada con procesos de tecnificación, de esta manera generando una considerable cantidad de residuos provenientes del proceso del curtido de pieles de animal, dichos residuos son desechados causando contaminación debido al desecho de estos residuos.

La ejecución de un material compuesto con el residuo del proceso de curtido del cuero es de trascendental importancia para reducir la contaminación y de esta manera generar un material compuesto que sea de aporte para aplicaciones industriales, para quien va dirigido dicho trabajo experimental.

El proceso del curtido del cuero se realiza por diferentes etapas, en una etapa se aplica un baño de sales de cromo, por consiguiente a continuación se efectúa un análisis cretib de las muestras para determinar el porcentaje de cromo existente en los residuos del cuero.

En las industrias la exigencia de materiales resistentes y livianos en el transcurso de los últimos años, han puesto en expectativa la incorporación de un material compuesto por matriz de resina poliéster reforzado con partículas residuales de cuero, este estudio se puede ejecutar de manera propicia, ya que se cuenta con los

conocimientos necesarios para el desarrollo, y con el asesoramiento de profesionales inmersos en el tema.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Determinar la aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas residuales de cuero.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Determinar la fracción volumétrica del material compuesto de matriz polimérica (Resina Poliéster) reforzado con partículas residuales de cuero.
- Determinar las propiedades mecánicas mediante ensayos a tracción, flexión e Impacto del material compuesto, según normas ASTM.
- Determinar la aplicación del material compuesto en función de las propiedades mecánicas.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Materiales Compuestos

Los materiales compuestos básicamente es la combinación de dos o más elementos que poseen diferentes características y propiedades, siendo elementos heterogéneos, es decir, que no tienen las mismas características en todo su espacio volumétrico, para generar un enlace y poseer nuevas propiedades mecánicas distintas de los elementos combinados, con destino a inquirir una nueva aplicación en los diferentes campos potencialmente enfocados en mejorar sus partes o elementos, ya sea en el campo marítimo, industrial, carroceros, aeronáutico, automovilístico, entre otros.

La elaboración de materiales compuestos, tiene por objetivo mejorar las propiedades mecánicas de los materiales, con el fin de obtener materiales livianos que sean capaces de remplazar materiales robustos y pesados, cumpliendo con las propiedades requeridas en los campos de aplicación.

Dentro de los materiales compuestos los refuerzos puede ser de origen fibroso, particulado, laminado, esto con el fin de poder generar una gran variedad de materiales compuestos de acuerdo a la necesidad generada en la industria.

Los materiales compuestos desde los años 90, vienen tomando fuerza ubicándose por encima del acero y los metales, generando conformidad y buenos resultados a lo largo de los últimos años el mundo de la industria se encuentra globalizada de materiales compuestos, de esta manera presentando los siguientes resultados:

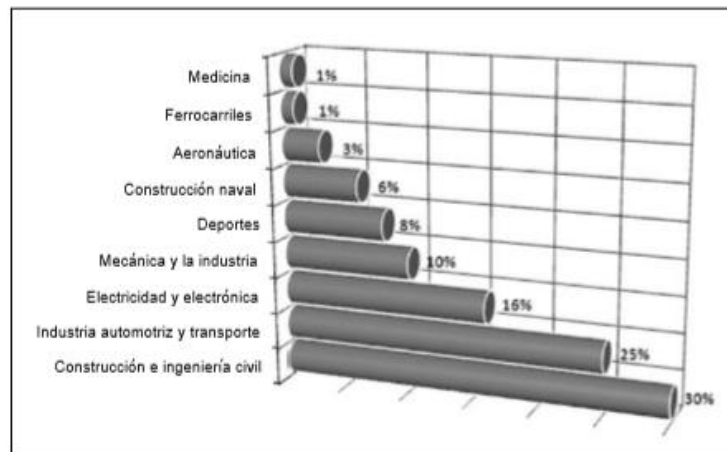


Figura 2.1. Sectores de aplicación de los materiales compuestos [3].

2.1.2. Matriz

La matriz es una parte esencial dentro de los materiales compuestos, el cual forma la fase continua, es decir, es el elemento adherente con el refuerzo, cuyas funciones de la matriz se considera como elemento protector para evitar daños en el refuerzo, definir las propiedades físicas y químicas, transmitir las cargas al refuerzo.

La matriz cumple una relación muy importante al ser sujeto a cargas mecánicas, el nuevo material compuesto al estar sometido bajo cargas de compresión, la matriz cumple una función muy importante, el soportar el esfuerzo ejercido, ya que es el elemento de fase continúa.

La matriz al ser sometida a cargas de tracción, presenta un comportamiento distinto, ya que la carga aplicada soporta el refuerzo, para aquello debe haber un buen enlace entre la matriz y el refuerzo, esto con el fin de obtener buenos resultados.



Figura 2.2. Carga a tracción aplicada a la matriz [4].

Las propiedades que debe poseer una matriz polimérica en un material compuesto se basa en que debe soportar al refuerzo en su dirección correcta, Transferir las cargas al refuerzo, evitar la generación de grietas a lo largo del material compuesto, cubrir para evitar daños en la manufactura [5].

2.1.3. Refuerzo

En los materiales compuestos el refuerzo o fase discontinua, ocupa una parte muy importante, ya que de ella dependen las propiedades mecánicas que presente el material como son la tenacidad, resistencia a las temperaturas, rigidez.

El refuerzo en los materiales compuestos presenta una clasificación como son: particulado, fibroso, estructural, estos tipos de refuerzos mencionados tienen la capacidad de generar nuevas propiedades mecánicas con el propósito de inmiscuirse en aplicaciones industriales, aeronáuticos, entre otras para satisfacer con los requerimientos exigidos en estos campos [6].

2.1.4. Materiales compuestos reforzados con partículas

El refuerzo particulado constituye en una clasificación de partículas, ya que se puede tener geometría muy variada, de esta manera existen partículas grandes y partículas pequeñas, estas son consideradas debido a que presentan diferentes características al momento de generar el enlace con una matriz polimérica, la función de las partículas es obstaculizar o impedir el movimiento de las dislocaciones, de esta manera quedando restringida la deformación plástica, con el propósito de mejorar el límite elástico, la resistencia a la tracción y la dureza, el refuerzo con partículas grandes presenta una característica de dureza y resistencia, ya que las partículas grandes tienen la capacidad de mejorar las propiedades mecánicas del material, las partículas deben ser de manera equiaxial en todas las direcciones, es decir que las partículas tengan aproximadamente el mismo tamaño, las partículas pequeñas cuyos diámetros están comprendidos entre 10 y 100 nm, debido a su tamaño tiene un nivel atómico molecular, este tipo de partículas tiene a presentar mayor efectividad en el refuerzo, para aquello deben tener una distribución uniforme en la matriz, esto para presentar mejores propiedades mecánicas del material, cabe señalar que a mayor cantidad de

partículas mejor será el resultado de las propiedades mecánicas del material generado [7].

2.1.5. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos

Las propiedades mecánicas que se encuentran inmersas en los materiales compuestos, son:

- Rigidez.
- Resistencia a la tracción, altas temperaturas.
- Tenacidad.

Cada una de estas propiedades varía en cuanto al tipo de refuerzo suministrado, los materiales compuestos poseen una baja densidad por lo tanto les convierte en materiales livianos, gozan de alta resistencia a la temperatura, al medio ambiente, a la corrosión, estas propiedades les convierte en materiales muy usados en los campos industriales ya que se requiere todas las características y propiedades antes mencionadas, es por tal conceptualización que los materiales compuestos han ido tomando fuerza e implantándose en lugar de los metales, ya que los metales poseen gran resistencia pero son demasiado pesados y generan problemas con la corrosión debido a los lugares expuestos y con la humedad del medio ambiente.

2.1.6. Resinas

Las resinas más utilizadas en la fabricación de materiales compuestos son la resina poliéster y la resina epóxica, cada una con diferentes propiedades físicas y químicas, estas resinas tienen la capacidad de convertirse en elementos sólidos duros y frágiles, mediante los enlaces químicos que generan, convirtiéndose en una red tridimensional fuerte, las propiedades mecánicas de las resinas dependen de las unidades moleculares existentes de los productos químicos usados, que forman la red de enlaces cruzados, es decir, el control de procesos de unión reticular [8].

2.1.6.1. Resina poliéster

La resina poliéster (termoestables), son provenientes de fracciones pesadas del petróleo, utilizadas como matriz para la construcción de equipos, tuberías

anticorrosivas, fabricación de materiales compuestos, una de las ventajas que poseen las resinas que son anticorrosivas, por lo tanto son de vital aporte para la industria, para que las resinas poliéster mejoren la resistencia mecánica se emplea o se le adiciona un elemento químico llamado catalizador, su función es brindar un secado más rápido y endurecimiento de la resina.

2.1.6.2. Resina epóxica

La resina epóxica es generada a base de una mezcla de compuestos químicos llamados epoclorohidrina y bisfenol-a, convirtiéndose en un elemento usado para usos de ingeniería en el campo aeronáutico, automovilístico, estructural, entre otros, la resina epóxica tiene la capacidad de convertirse en un material rígido o flexible, transparente o de color, al igual que la resina poliéster la resina epóxica emplea o se añade un elemento químico llamado catalizador, que cumple la función de endurecer a la resina y controlar el tiempo de secado, es decir, a mayor cantidad de catalizador menor será el tiempo de secado de la resina, es importante señalar que si el secado de la resina epóxica es mediante calor su resistencia aumenta que si le dejamos a temperatura ambiente [9].

2.1.6.3. Propiedades mecánicas de las resinas

Las propiedades mecánicas de las resinas poliéster y epóxica se presentan a continuación ya que son las más utilizadas en el campo ingenieril.

Tabla 2.1. Propiedades Mecánicas de las Resinas Poliéster y Epoxy [10].

Resina	Modulo Elástico (GPa)	Módulo de Poisson	Limite elástico (MPa)
BPA Poliéster	2.8	0.38	41.4
Epoxy 8552	4.7	0.38	100

2.1.7. Curtido del cuero

2.1.7.1. Proceso

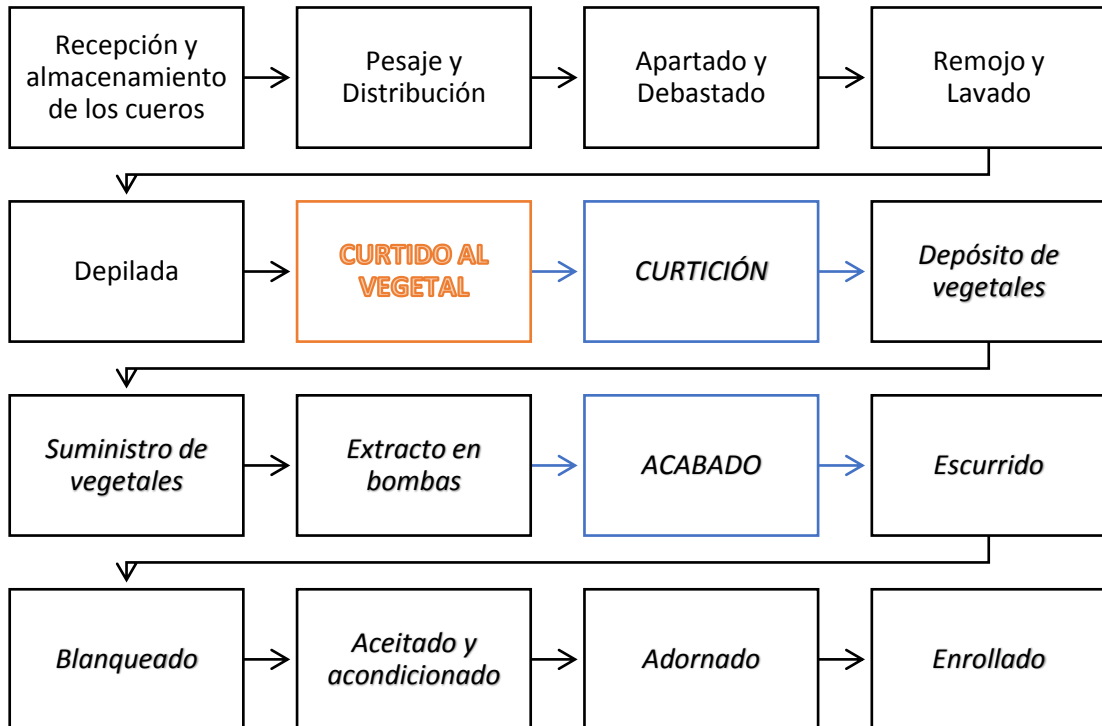
El curtido del cuero es el proceso químico mediante el cual se procede a la transformación de las pieles de los animales, el proceso del curtido del cuero consiste

en reforzar la estructura versátil del cuero creando unos enlaces péptidos, esto con el fin de poseer una transformación de las pieles en buenas condiciones, el cuero posee tres capas las cuales son: epidermis, dermis y la capa subcutánea. La epidermis está constituida por un 30 a 35% de proteínas, siendo la mayor cantidad colágeno, mientras que su diferencia está compuesta por agua y grasa, la dermis es la capa que se utiliza para la fabricación del cuero luego de eliminar el resto de capas que constituye, esta transformación es realizada mediante procesos químicos y mecánicos a los que son sometidos las pieles. El proceso del curtido del cuero se practica desde la prehistoria, dentro del procesado del cuero se usan ácidos, álcalis, sales encimas y agentes curtientes con fin de poder disolver las grasas no deseadas existentes en la piel del animal.

2.1.7.2. Curtido al vegetal

El proceso consiste en la acción química vegetal, las pieles son curtidas mediante ácido tánico, que es extraído de plantas vegetales ricas en tanino, este proceso es el más antiguo y aun es utilizado en países de bajos recursos donde se carece de procesos tecnológicos, este proceso de curtido tarda semanas o meses, se obtienen cueros gruesos debido a la falta de procesos tecnológicos y agentes químicos para poder tener un mejor cavado en el cuero, por lo tanto este tipo de cuero resultante es grueso, la aplicación va dirigida para suelas de zapatos, bolsos, correas, ya que estos artículos necesitan que el cuero sea firme y grueso de acuerdo al uso, a continuación se obtendrá un diagrama del proceso de curtido del cuero mediante acción química vegetal.

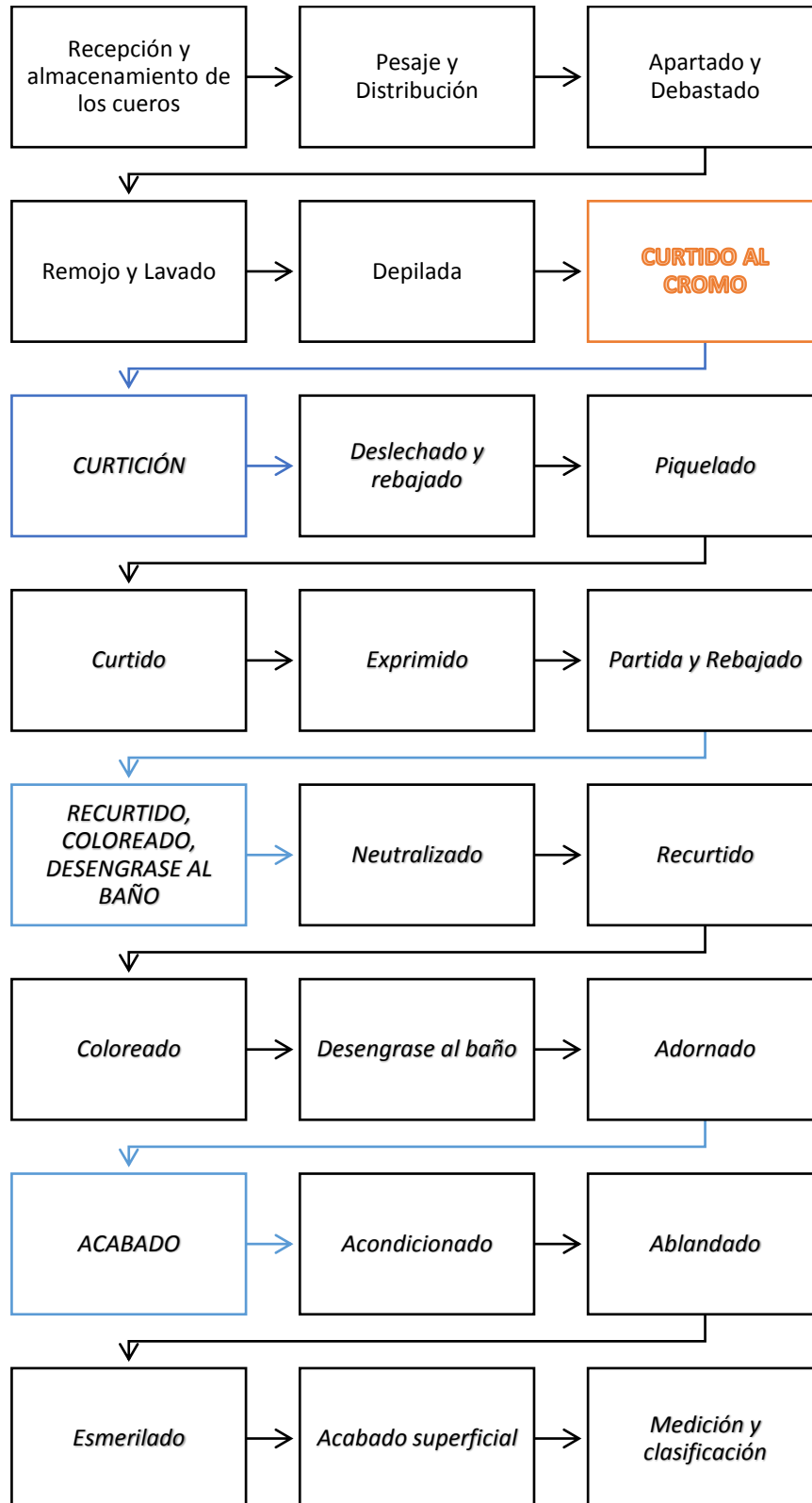
Figura 2.3. Diagrama de flujo del proceso de curtido mediante acción química vegetal [11].



2.1.7.3. Curtido por proceso químico

El proceso químico es puesto en marcha desde el siglo XIX, este proceso consiste en bañar las pieles en sulfato de cromo, obteniendo cueros delgados y flexibles para una posterior aplicación en guantes, billeteras, bolsos, calzado, chaquetas, etc. En este proceso se aplica procesos mecánicos automatizados, reduciendo el tiempo de curtido del cuero brindando mayor calidad del producto, es decir, calidad en resistencia, flexibilidad del cuero, estas características se genera mediante el uso de agentes curtientes los cuales son encargados de dar calidad al producto, a continuación el diagrama de flujo del curtido por proceso químico.

Figura 2.4. Diagrama de flujo del curtido por proceso químico [11].



2.1.8. Método de moldeo al vacío

Este método es utilizado para eliminar las burbujas de aire que se generan al momento de realizar laminados de materiales compuestos, mediante este método se obtiene mejor compactación de capas de los materiales, reduce la humedad, y principalmente tiene la capacidad de optimizar el porcentaje de matriz en el material compuesto, esto con el fin de mejorar las propiedades físicas y mecánicas en el material instituido, este método consiste principalmente en aplicar una presión determinada al laminado manual durante su ciclo de curado.



Figura 2.5. Sistema de moldeo al vacío.

(Fuente: El Autor).

El sistema de moldeo al vacío posee varios componentes que a continuación serán mencionados:

-Acople de vacío: es un elemento de vital importancia ya que sirve para la conexión entre el interior del laminado y la manguera de la bomba de vacío, contiene varios componentes estos son, placa base, arandela de estanqueidad, placa de cierre, el acople de vacío se debe colocar en un lugar propicio del enfundado, es decir junto al molde.

-Mangueras: Este elemento sirve para la unión entre la bomba y el acople de vacío, esta debe ser de acuerdo al suministro de aire que se requiera o que este en la capacidad de brindar la bomba de vacío.

Trampas de resina: son elementos que controla y evita que circule los excesos de resina hacia la bomba o sistema de vacío, ya que esto puede causar daño e inhabilitarle el sistema de vacío.

2.1.8.1. Laminado al vacío

El laminado al vacío consiste en insertar presión al laminado manual durante el proceso de curado, con el fin de eliminar el aire existente que se genera al momento de la combinación de materiales, esto antes de la cristalización del laminado para poseer una mejor compactación y así desarrollar mejores propiedades físicas y mecánicas en el material compuesto.

Para el método de laminado manual al vacío se requiere de materiales fungibles para una buena compactación, estos facilitan el desmolde, eliminan los excesos de resina, disminución de emisiones de elementos volátiles orgánicos al ambiente [12].

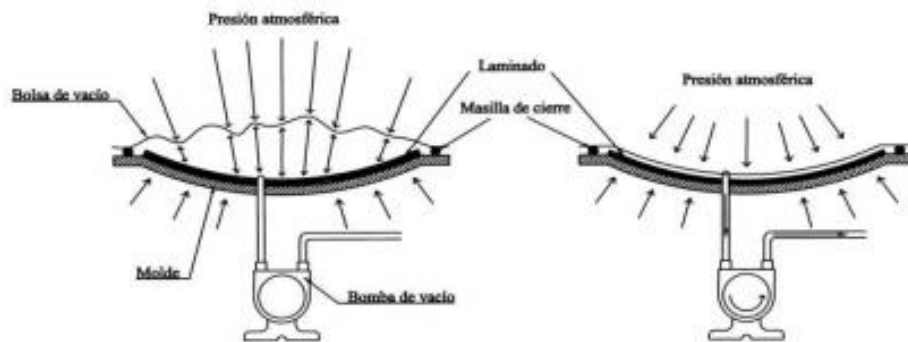


Figura 2.6. Efectos de laminado al vacío [13].

2.1.9. Ensayos para análisis de propiedades mecánicas

2.1.9.1. Ensayo a Tracción

El ensayo a tracción que se ejecuta a un material compuesto es el de mayor importancia dentro de los ensayos mecánicos, este ensayo permite determinar las características del material, sometiéndole a una fuerza uniaxial que transfiere al total de la sección de la probeta, hasta generar una rotura traduciéndose en fallo del material, los resultados del ensayo de tracción se presenta en curvas de tensión-deformación, mediante esta gráfica se obtiene los resultados óptimos de las probetas

analizadas para posteriores conclusiones sobre el tipo de material que se está determinando las propiedades mecánicas.

Para realizar los ensayos a tracción se realiza con normas de guía establecidas en base al tipo de ensayo, para tracción se emplea la norma ASTM D3039, en la cual explica el procedimiento para realizar el ensayo, el dimensionamiento de las probetas para ejecutar el ensayo entre otros requerimientos para cumplir con satisfacción el ensayo y bajo una normativa que regulariza y brinda fiabilidad de los resultados obtenidos.

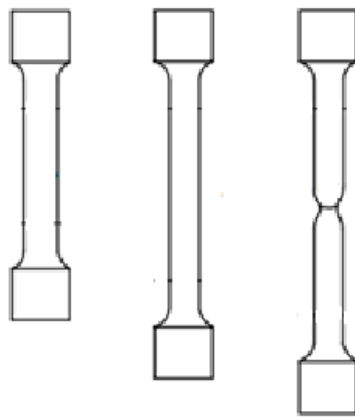


Figura 2.7. Probetas para el ensayo de tracción [14].

El dimensionamiento de la probeta para el ensayo a tracción mediante la norma ASTM D3039 se muestra a continuación:

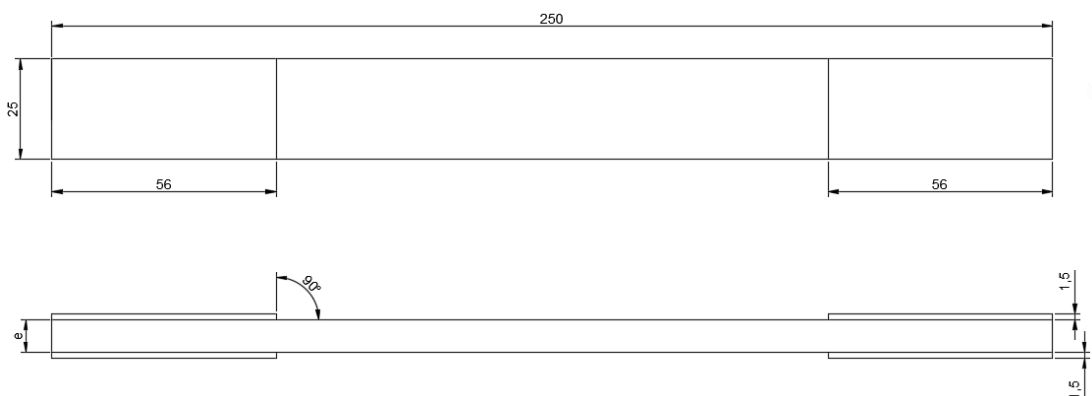


Figura 2.8. Dimensionamiento probeta para tracción ASTM D3039.

2.1.9.2. Ensayo a Flexión

El ensayo a flexión es el complemento del ensayo a compresión, mediante este ensayo se determina algunas propiedades mecánicas como son: resistencia mecánica, rigidez intrínseca, ductilidad, se aplicado a materiales frágiles, existe 2 tipos de ensayos los conocidos en 3 puntos o en 4 puntos.

La ejecución del ensayo a flexión en 3 puntos en un material consiste en aplicar una carga vertical a la probeta, mediante análisis en la parte superior de la probeta se generan esfuerzos a compresión, mientras que en la parte inferior se generan esfuerzos a tracción.

El ensayo de 4 puntos consiste en aplicar 2 cargas verticalmente sobre la probeta del material, obteniéndose la misma caracterización de los esfuerzos producidos en la probeta, cabe señalar que mediante el ensayo de flexión en 4 puntos el módulo de ruptura es menor que en el de 3 puntos.

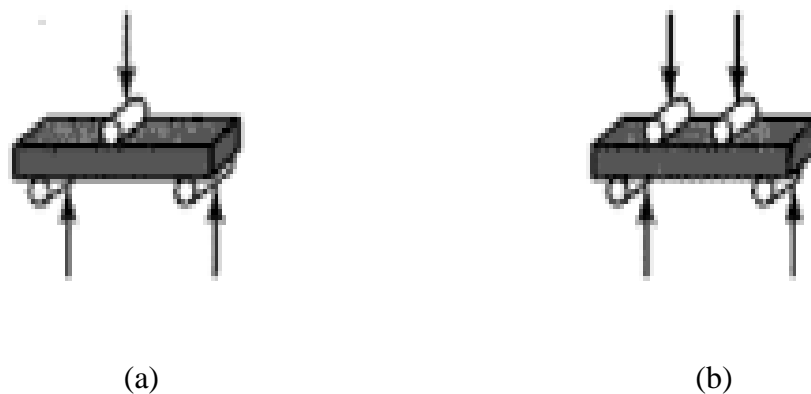


Figura 2.9. (a) Ensayo a flexión en 3 puntos. (b) ensayo a flexión en 4 puntos [15].

2.1.9.3. Ensayo de Impacto

El ensayo de impacto tiene como objetivo determinar la tenacidad, es decir la resistencia de cuyo material a un golpe, para aquello se aplica el ensayo por caída del dardo, la máquina para ejecutar dicho ensayo consta principalmente de un mecanismo de sujeción y regulación de la altura, en el cual va incorporado un dardo, que cumple la función de golpear al material desde una determinada altura, la energía potencial se transforma en energía cinética, una vez traspasado por el material,

obteniéndose la energía máxima de impacto, que se determina mediante la siguiente ecuación matemática:

$$MFE = hwf \tag{2.1} \quad \text{Ec.}$$

Donde:

MFE = Energía de falla media (J)

h = altura de falla media (mm)

w = masa de falla media (Kg)

f = factor de conversión en joules

A continuación se detalla el ensayo de impacto para determinar la resistencia al impacto de las probetas [16].



Figura 2.10. Ensayo de Impacto.

(Fuente: El Autor).

2.1.10. Principio de funcionamiento de un SEM

El microscopio electrónico de barrido presenta imágenes y contrastes que son generados mediante emisiones de electrones secundarios de la muestra, ya que estos son de baja energía, que también son utilizados para el estudio topográfico superficial, debido al contraste que generan, estos electrones secundarios de la

muestra se pone en contacto con un haz de electrones de alta energía, cabe señalar que la muestra también emite rayos X, los cuales sirven para determinar la composición del material, todas las señales que se efectúan mediante estos electrones y el haz incidente es captado por un detector apropiado, mediante los electrones que se generan por la interacción del haz incidente y de la muestra son detectados para generar una señal eléctrica, que esta es regulada la intensidad de un haz de electrones que es absorbida por una pantalla de tubo de rayos catódicos, la cual mediante un barrido sincronizado del haz incidente en la superficie de la muestra y el haz incidente en la pantalla de un tubo de rayos catódicos, se genera una imagen de la muestra. Los SEM tienen alcances muy altos de hasta 2400 X.

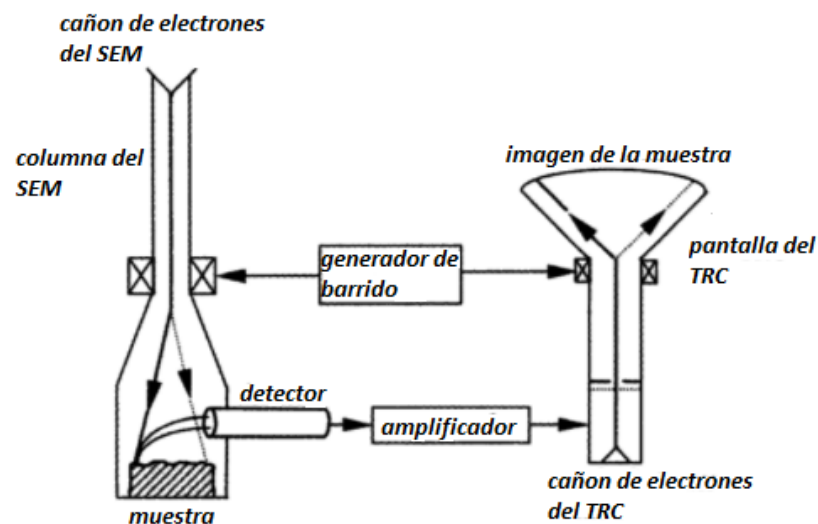


Figura 2.11. Diagrama del principio de formación de imágenes en el SEM [17].

2.1.10.1. Fractografía por microscopio electrónico de barrido (SEM)

El microscopio electrónico de barrido (SEM), tiene unas excelentes ventajas ya que tiene la capacidad muy amplia de realizar análisis con una resolución muy alta, que esta posee una calidad o visualización tridimensional, de esta manera pudiendo desarrollar estudios muy avanzados y precisos al momento de observar fallos o microestructuras de metales, materiales compuestos, etc.

Una de las funciones que posee el SEM, es la capacidad de realizar microanálisis para determinar la presencia de elementos microscópicos de aceros o aleaciones de forma cuantitativa o cualitativa, esto con el fin de ampliar estudios de elementos, su

comportamiento y sobre todo el tipo de fractura, dentro de ellos tenemos, los de clivaje, estos se presenta en una fractura frágil, los de coalescencia de micro vacíos, estos se presenta en una fractura dúctil y los de estrías de fatiga, se presentan por medio de la fractura por fatiga, los tipos de fractura antes mencionado son los más comunes que se pueden desarrollar [17].

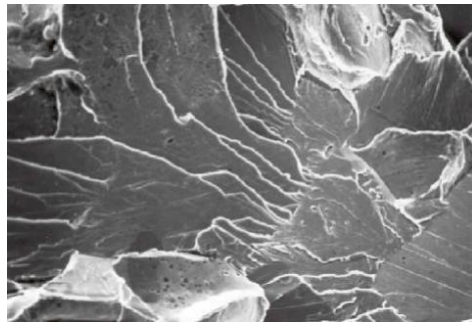


Figura 2.12. Fractura por clivaje [18].

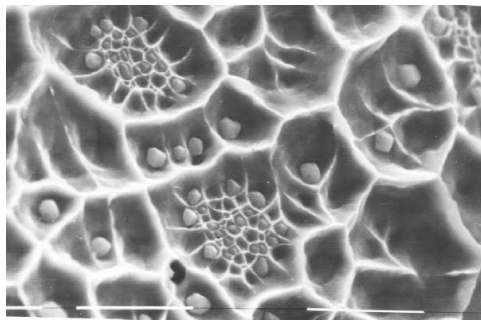


Figura 2.13. Fractura Dúctil [18].

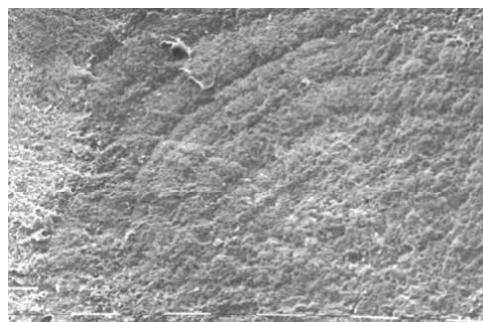


Figura 2.14. Fractura por fatiga [18].

2.2. HIPÓTESIS

El particulado grueso de cuero utilizado como refuerzo, en un material compuesto con matriz polimérica, mejorará los resultados en los ensayos de tracción, flexión e impacto que el particulado fino de cuero.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. Variable Independiente

Material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas residuales de cuero.

2.3.2. Variable Dependiente

Propiedades mecánicas.

2.3.3. Termino de Relación

Mejorará

CAPITULO III.

3. METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación que se desarrolló en el presente trabajo experimental, se detallan a continuación:

3.1.1. Investigación Exploratoria.

Se desarrolló el presente trabajo experimental, debido a la inexistencia de investigaciones realizadas en base a materiales compuestos generadas con partículas residuales de cuero, ya que en ingeniería de materiales es importante poseer el estudio y el comportamiento generado a base de resina y partículas de cuero.

3.1.2. Investigación Descriptiva.

Para determinar las propiedades mecánicas del material compuesto se realizó los ensayos mecánicos: tracción, flexión, e impacto, para organizar una buena tabulación de resultados obtenidos por el material.

3.1.3. Investigación Correlacional.

La investigación correlacional es la relación que existe entre las variables propuestas y analizadas en el presente trabajo experimental, ya que la variable independiente consiste en la aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas residuales de cuero, y la variable dependiente está relacionado con las propiedades mecánicas del material.

3.1.4. Investigación Explicativa.

Se realizó el estudio de este material compuesto ya que no existía un estudio previo sobre materiales con particulado de cuero, de esta manera se obtuvo las propiedades mecánicas de este material compuesto, para proveer la aplicación respectiva en el campo industrial.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La POBLACIÓN, está comprendido por varias probetas, obtenidas mediante particulado fino y particulado grueso, por consiguiente la variación de las cantidades volumétricas de resina poliéster es de vital importancia dentro de la población, para generar los ensayos mecánicos antes mencionados y determinar las características del material.

3.2.2. Muestra

La MUESTRA, consistió en generar probetas variando fracciones volumétricas de resina poliéster, con los 2 tipos de refuerzo particulado residual de cuero, obteniendo diferentes casos para el análisis, cada ensayo se realiza con 5 probetas, que es lo mínimo bajo investigaciones, según se detalla en las siguientes tablas.

Tabla 3.1. Configuración de Probetas a Tracción.

(Fuente: El Autor).

ENSAYO A TRACCIÓN					
Nº	Tamaño de Partícula	Fracción Volumétrica de Matriz	Fracción Volumétrica de Refuerzo	Método de Fabricación	Probetas a Ensayar
1	Fino	90%	10%	Estratificación al vacío.	5
2	Fino	80%	20%	Estratificación al vacío.	5
3	Fino	70%	30%	Estratificación al vacío.	5
4	Grueso	90%	10%	Estratificación	5

				al vacío.	
5	Grueso	80%	20%	Estratificación al vacío.	5
6	Grueso	70%	30%	Estratificación al vacío.	5
TOTAL					30

Tabla 3.2. Configuración de Probetas a Flexión.

(Fuente: El Autor).

ENSAYO A FLEXIÓN					
Nº	Tamaño de Partícula	Fracción Volumétrica de Matriz	Fracción Volumétrica de Refuerzo	Método de Fabricación	Probetas a Ensayar
1	Fino	90%	10%	Estratificación al vacío.	5
2	Fino	80%	20%	Estratificación al vacío.	5
3	Fino	70%	30%	Estratificación al vacío.	5
4	Grueso	90%	10%	Estratificación al vacío.	5
5	Grueso	80%	20%	Estratificación al vacío.	5
6	Grueso	70%	30%	Estratificación al vacío.	5
TOTAL					30

Tabla 3.3. Configuración de Probetas a Impacto.

(Fuente: El Autor).

ENSAYO A IMPACTO					
Nº	Tamaño de Partícula	Fracción Volumétrica de Matriz	Fracción Volumétrica de Refuerzo	Método de Fabricación	Probetas a Ensayar
1	Fino	90%	10%	Estratificación al vacío.	5
2	Fino	80%	20%	Estratificación al vacío.	5
3	Fino	70%	30%	Estratificación al vacío.	5
4	Grueso	90%	10%	Estratificación al vacío.	5
5	Grueso	80%	20%	Estratificación al vacío.	5

6	Grueso	70%	30%	Estratificación al vacío.	5
TOTAL					30

La caracterización de las probetas para los diferentes ensayos mecánicos, se realizó bajo tres fracciones volumétricas y dos tipos de particulado, obteniendo un total de 90 probetas para los tres ensayos mencionados en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En la operacionalización de variables se evaluó la variable independiente y variable dependiente que formaron el estudio.

3.3.1. Variable Independiente

Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas residuales de cuero.

Tabla 3.4. Estudio Variable Independiente

(Fuente: El Autor).

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Ítems	Técnicas o instrumentos
El material compuesto generado con refuerzo de partículas de cuero es transcendental para la industria como para el medio ambiente ya que se reduce la contaminación en las curtiembres de la localidad, y reutilizando los residuos de cuero	Material compuesto	Fracciones volumétricas	90% matriz, 10% refuerzo	Molde
			80% matriz, 20% refuerzo	
			70% matriz, 30% refuerzo	

para aplicaciones industriales específicas.	Partículas residuales	Diámetro fino	0,6-2,3 mm	Tamizado
	de cuero	Diámetro Grueso	0,6-4,8 mm	

3.3.2 Variable Dependiente

Propiedades mecánicas.

Tabla 3.5. Estudio Variable Dependiente

(Fuente: El Autor).

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Las propiedades mecánicas de un material compuesto es la particularidad que presenta, para ser empleado en el lugar apropiado donde cumpla con los requerimientos que este posee, también son las fuerzas externas que forman parte del material.	Ensayos	Tracción Flexión Impacto	¿Qué propiedades brindarán estos ensayos?	Normas ASTM

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para una correcta recolección de información y un posterior análisis del mismo fue importante plantearnos las siguientes preguntas:

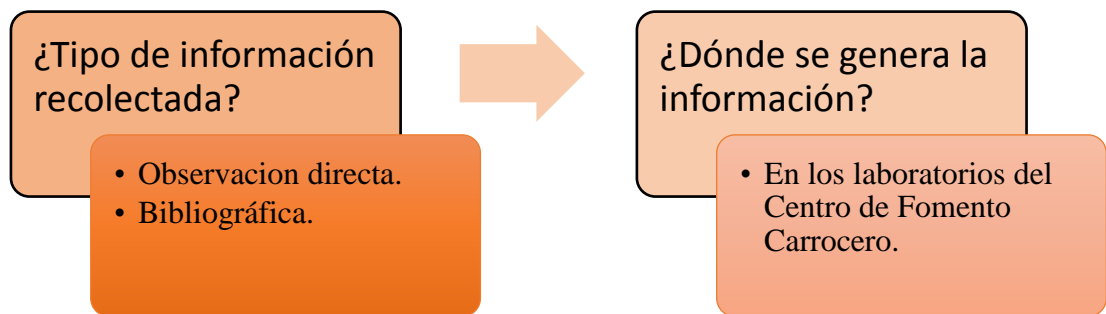


Figura 3.1. Esquema de recolección de información

(Fuente: El Autor).

La información requerida para el presente trabajo se obtuvo del resultado de los ensayos realizados en las máquinas del Centro de Fomento Carrocero, por observación directa, para poder representar esa información en diagramas, tablas, pasteles, etc., de esta manera se obtuvo una interpretación adecuada de los resultados arrojados por los ensayos realizados a las probetas del material compuesto.

La información proporcionada de los libros nos facilitó para la interpretación técnica de la información recolectada y puesta en marcha para la caracterización y cumplimiento de los objetivos planteados.

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 Plan de Procesamiento de la Información Recolectada.

Para el procesamiento de la información recolectada es de vital importancia presentar un esquema del trato de la información.

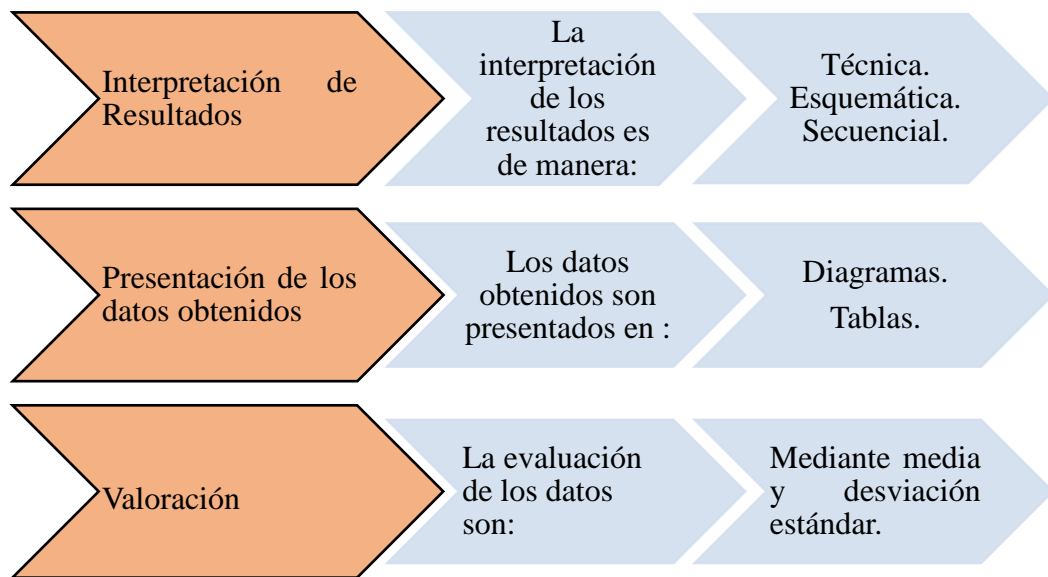


Figura 3.2. Esquema de procesamiento de la información recolectada.

(Fuente: El Autor).

3.5.2 Plan de Análisis de los Resultados

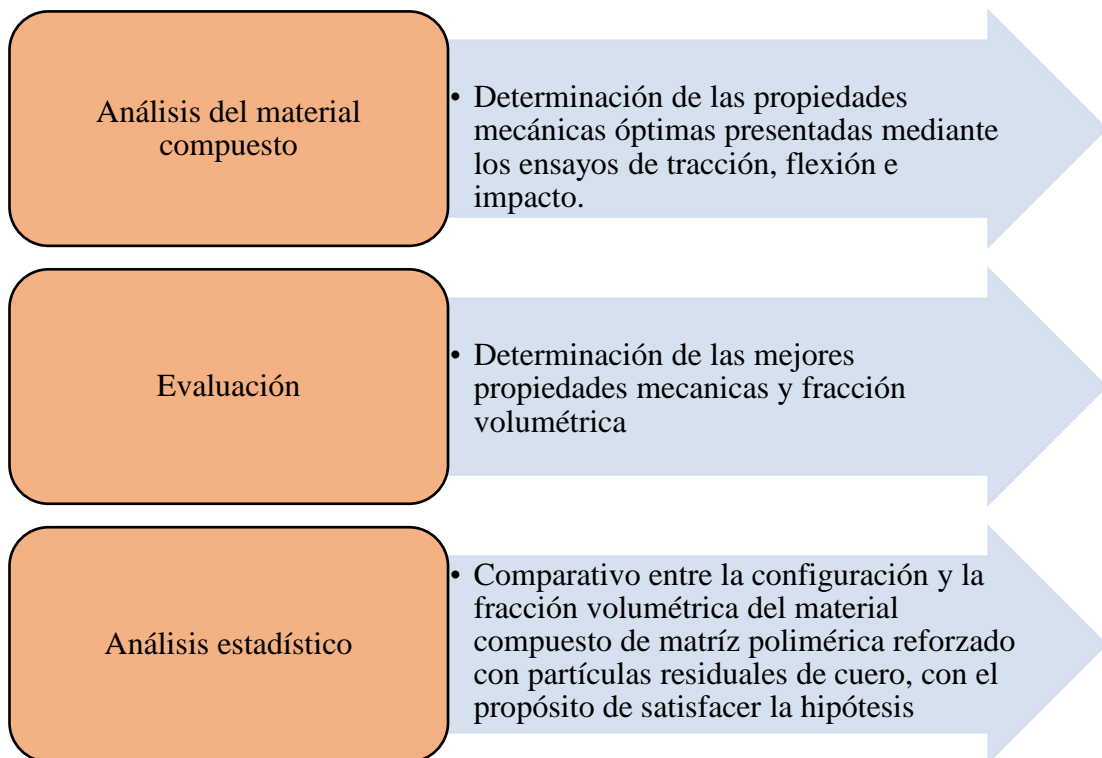
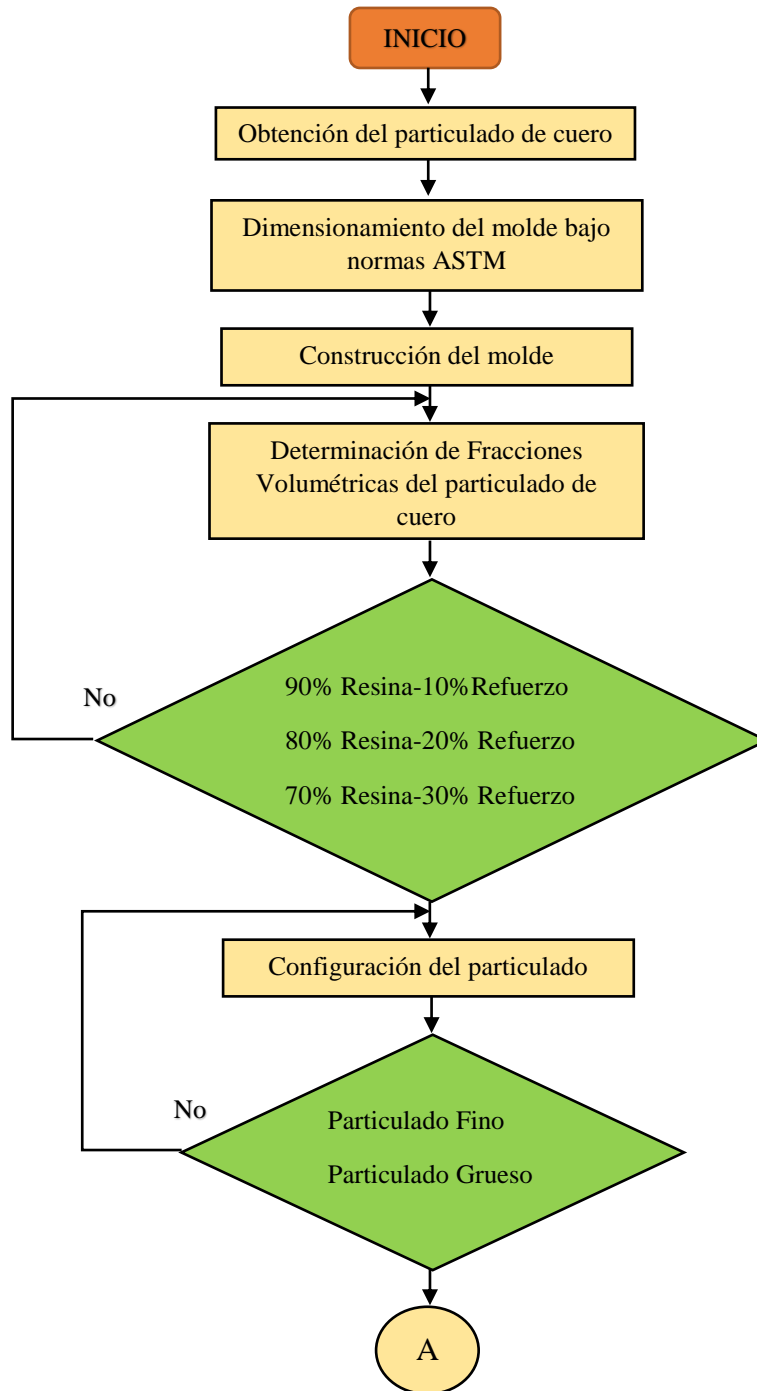


Figura 3.3. Esquema del plan de análisis de los resultados.

(Fuente: El Autor).

3.6 DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE CONFIGURACIÓN DE LAS PROBETAS.



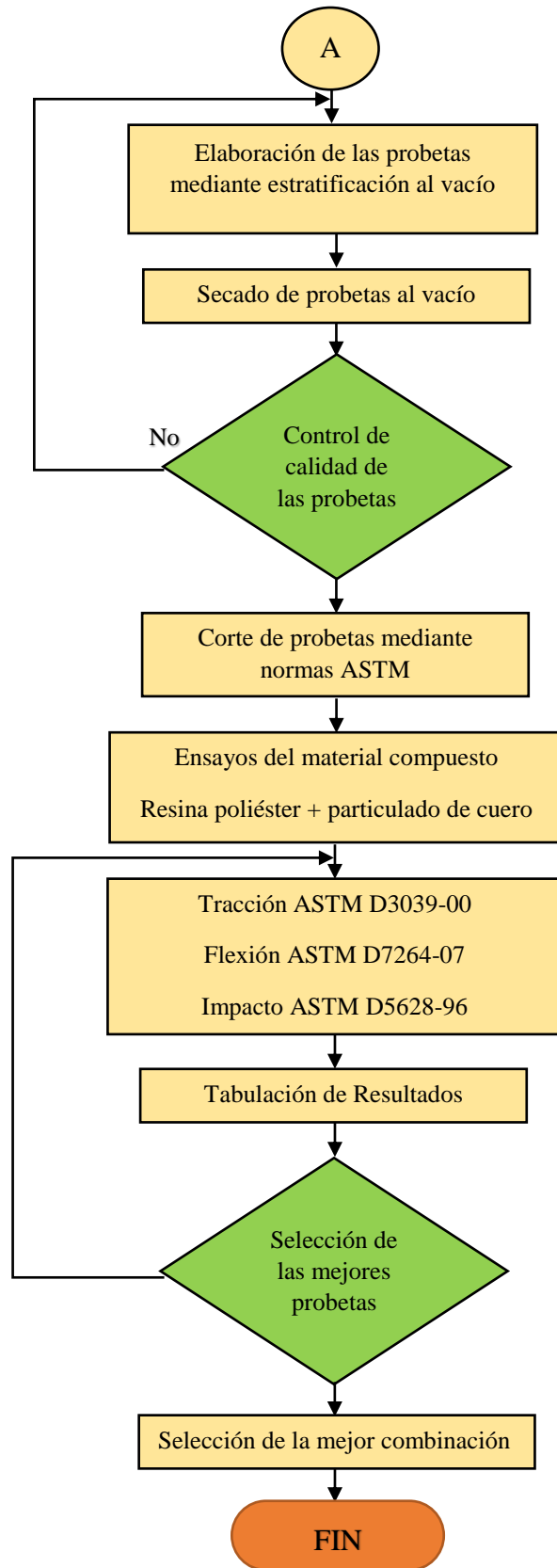


Figura 3.4. Diagrama del proceso de configuración de las probetas.

(Fuente: El Autor).

3.7 DESARROLLO PARA LA OBTENCIÓN DE PROBETAS

3.7.1. Obtención del particulado de cuero

El particulado del cuero se obtiene en las curtiembres, mediante el proceso de limado y lijado después del proceso de curtido, estos procesos se realizan para obtener el cuero libre de grasa animal y poder satisfacer las necesidades de los artículos destinatarios, convirtiéndose el particulado de cuero de un desecho en producto para la industria, mediante la elaboración de material compuesto.



(a)

(b)

Figura 3.5. (a) Particulado fino de cuero, (b) Particulado grueso de cuero.

(Fuente: El Autor).

3.7.2. Obtención de resina poliéster

La resina poliéster se obtuvo en Pintulac, empresa situada en la ciudad de Ambato, sector Huachi Chico, la resina cumple la función de matriz en el material compuesto, por sus altas propiedades de resistencia y evitando la corrosión de metales que estén en contacto con la misma y teniendo múltiples aplicaciones en la industria, esta resina poliéster ya viene preparada con cobalto el cual cumple la función de acelerador.



Figura 3.6. Resina Poliéster.

(Fuente: El Autor).

3.7.3. Obtención del MEK

El MEK (Peróxido de Metil Etil Cetona), o también llamado catalizador que cumple la función de reaccionar químicamente con la resina poliéster, se adquirió en Pintulac igual que la resina poliéster.

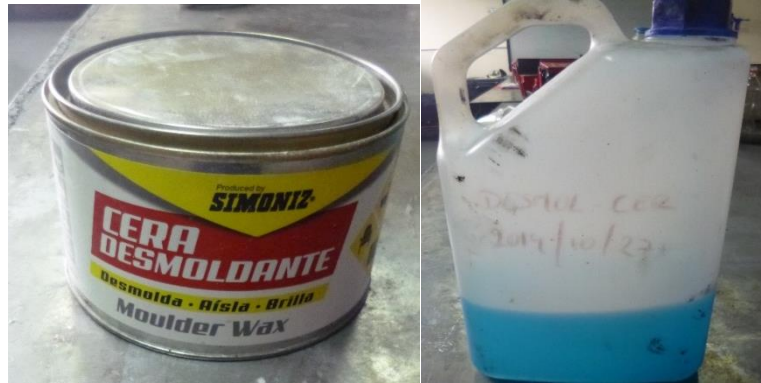


Figura 3.7. MEK (Peróxido de Metil Etil Cetona).

(Fuente: El Autor)

3.7.4. Obtención de cera y líquido desmoldante

La cera desmoldante se adquirió en Pintulac al igual que el líquido desmoldante, estos químicos cumplen la función de desmontaje de piezas con facilidad, es decir que no permite que se peguen entre molde y pieza evitando posibles rupturas.



(a)

(b)

Figura 3.8. (a) Cera Desmoldante, (b) Líquido desmoldante.

(Fuente: El Autor).

3.7.5. Materiales para secado al vacío

3.7.5.1. Peel Ply

Es la tela de pelado, es decir no se adhiere al tomar contacto con la resina, se adquirió mediante la donación del CIDFAE, ubicado en la ciudad de Ambato, sector Izamba.



Figura 3.9. Peel Ply.

(Fuente: El Autor).

3.7.5.2. Bagging Film Perforate

El plástico perforado sirve para regular la absorción de la resina mediante la bomba de vacío, este material se adquirió mediante la donación del CIDFAE.



Figura 3.10. Bagging Film Perforate.

(Fuente: El Autor).

3.7.5.3. Breather

El breather es una tela que sirve para absorber la resina excedente, este material se adquirió mediante la donación del CIDFAE.



Figura 3.11. Breather

(Fuente: El Autor).

3.7.5.4. Bagging film

La película de vacío es un plástico grueso que sirve para el forrado y contención del aire en el procesado al vacío de Composites, este material se adquirió en sikaflex, ubicado en la ciudad de Ambato, en el sector el recreo.



Figura 3.12. Bagging film.

(Fuente: El Autor).

3.7.5.5. Cinta de Vacío

La cinta resistente al calor sirve para la adhesión en el enfundado, para el proceso de vacío, sin dejar escapar el aire atrapado dentro del molde del composite, este material se adquirió en sikaflex, ubicado en la ciudad de Ambato, en el sector el recreo.



Figura 3.13. Cinta de Vacío.

(Fuente: El Autor).

3.7.5.6. Bomba de vacío

La bomba de vacío es de 2,75 CFM, motor de ¼ Hp, marca VIOT, propiedad del CIDFAE.



Figura 3.14. Bomba de vacío.

(Fuente: El Autor).

3.7.6. Determinación de la densidad de la Matriz y Refuerzo

3.7.6.1. Densidad de la Matriz (Resina poliéster)

La densidad de la resina poliéster que cumple la función de matriz del material, se determinó mediante el método de gravimetría, el proceso consistió en realizar un cuerpo solido de resina poliéster combinado con MEK, se toma la masa del sólido de resina mediante una balanza electrónica, posteriormente para ser sumergido en un volumen inicial de agua destilada, para obtener diferencia volumétrica y calcular la densidad mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Ec.

(3.1)



Figura 3.15. Masa sólido de resina poliéster.

(Fuente: El Autor).



Figura 3.16. Cálculo de volumen de la resina poliéster.

(Fuente: El Autor).

Datos:

$$m = 14 \text{ g.}$$

$$v = 11.75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Con los datos conocidos reemplazamos en la Ec. (3.1), obteniendo la densidad de 1,2 g/cm³ correspondiente a la resina poliéster, el método se realizó bajo condiciones normales, temperatura ambiente (18°C).

3.7.6.2. Densidad del refuerzo (particulado fino de cuero)

Para determinar la densidad del particulado fino de cuero, se realizó por el proceso de gravimetría, obteniendo diferencias volumétricas esto sumergiendo el particulado fino de cuero en agua destilada, mediante el uso de un vaso de precipitación marca Boeco de 250 ml, para luego proceder a realizar los cálculos para determinar la densidad con la ecuación 3.1, este proceso se realizó con 3 tipos de muestras, en los cuales se varió la masa del particulado manteniendo constante el volumen del agua destilada.



Figura 3.17. Cálculo del volumen del particulado fino de cuero.

(Fuente: El Autor).

La densidad promedio del particulado de cuero es de $0,67 \text{ g/cm}^3$, que se puede observar en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Densidad promedio del particulado fino de cuero.

(Fuente: El Autor).

DENSIDAD DEL PARTICULADO FINO DE CUERO					
Muestra	Masa (g)	$V_o \text{ (cm}^3\text{)}$	$V_f \text{ (cm}^3\text{)}$	$\Delta V \text{ (cm}^3\text{)}$	$\delta = m/v \text{ (g/cm}^3\text{)}$
1	8	150	162	12	0,67
2	8,5	150	162,6	12,6	0,67
3	9	150	163,5	13,5	0,67
Densidad Promedio					0,67

3.7.6.3. Densidad del refuerzo (particulado grueso de cuero)

Para determinar la densidad del particulado grueso de cuero se realizó el método de gravimetría, bajo el mismo procedimiento del particulado fino de cuero se pudo determinar la misma densidad ya que la procedencia del refuerzo viene del mismo proceso de curtido.



Figura 3.18. Cálculo del volumen del particulado grueso de cuero.

(Fuente: El Autor).

3.7.7. Construcción del molde para probetas.

El molde fue construido en acero A36, en los talleres Valle, ubicado en el cantón Cevallos, Barrio Primero de Mayo, la materia prima fue adquirida en DIPAC agencia Ambato, fue diseñado bajo los requerimientos de las normas ASTM para tracción, flexión e impacto, teniendo un espacio total de trabajo de 27,3 cm*25,2cm*0,3cm, como se puede observar en la figura 3.19, teniendo un volumen de 206,388 cm³.



Figura 3.19. Molde de Acero A36.

(Fuente: El Autor).

El molde tiene una distribución de 15 probetas, 5 para tracción, 5 para flexión y 5 para impacto, como se detalla a continuación en la figura 3.20

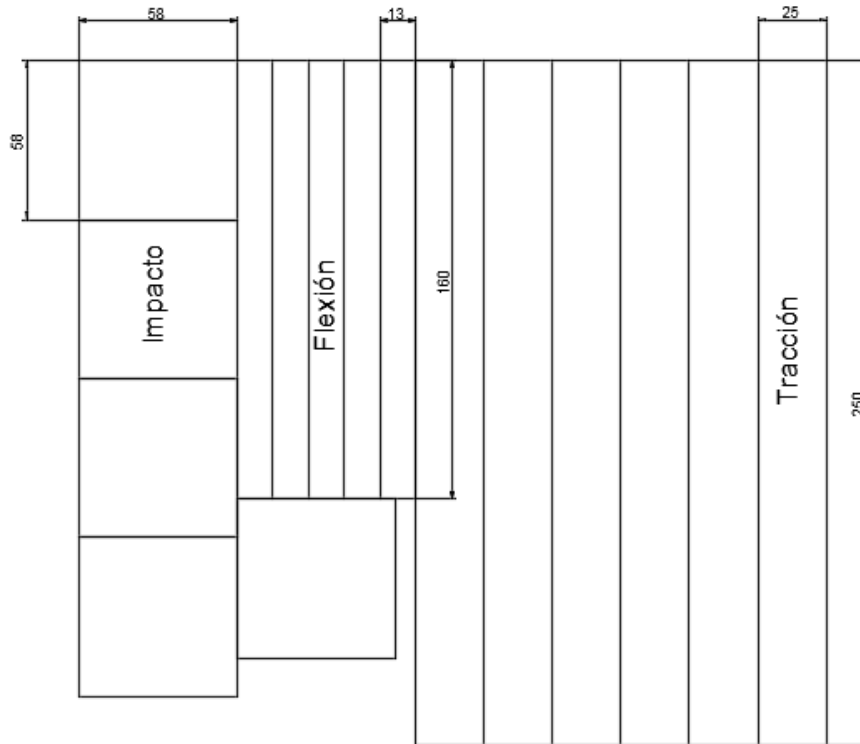


Figura 3.20. Distribución de las probetas en el molde.

(Fuente: El Autor).

3.7.8. Fracciones volumétricas

3.7.8.1. Particulado Fino

Las fracciones volumétricas del primer caso expuestas para la generación de las probetas son las siguientes:

90% Matriz (Resina Poliéster), 10% Refuerzo (Particulado fino de cuero)

80% Matriz (Resina Poliéster), 20% Refuerzo (Particulado fino de cuero)

70% Matriz (Resina Poliéster), 30% Refuerzo (Particulado fino de cuero)

3.7.8.1.a. Cálculos para la fracción volumétrica 90% Matriz, 10% Refuerzo

Para efectuar los cálculos necesitamos datos previos determinados entre ellos la densidad de la matriz, densidad del refuerzo, volumen del molde, estos especificados en los literales 3.7.6.1, 3.7.6.2, 3.7.7, respectivamente.

Datos:

$$\delta_{matriz} = 1,2 \frac{g}{cm^3}$$

$$\delta_{refuerzo} = 0,67 \frac{g}{cm^3}$$

$$V_{molde} = 206,388 \text{ cm}^3$$

$$\text{Fracción Volumétrica de la matriz } (f_m) = 0,90$$

$$\text{Fracción Volumétrica del refuerzo } (f_r) = 0,10$$

Desarrollo de los cálculos:

Cálculos de la matriz

$$V_m = V_{molde} * f_m$$

$$V_m = 206,388 \text{ cm}^3 * 0,90$$

$$V_m = 185,75 \text{ cm}^3$$

$$m_m = \delta_{matriz} * V_m$$

$$m_m = 1,2 \frac{g}{cm^3} * 185,75 \text{ cm}^3$$

$$m_m = 222,9 \text{ g}$$

Donde:

$$V_m = \text{volumen de la matriz}$$

$$m_m = \text{masa de la matriz}$$

Cálculos del refuerzo

$$V_r = V_{molde} * f_r$$

$$V_r = 206,388 \text{ cm}^3 * 0,10$$

$$V_r = 20,64 \text{ cm}^3$$

$$m_r = \delta_{refuerzo} * V_r$$

$$m_r = 0,67 \frac{g}{cm^3} * 20,64 \text{ cm}^3$$

$$m_r = 13,83 \text{ g}$$

Cálculo del MECK

$$185,75 \text{ cm}^3 \longleftrightarrow 100\%$$

$$MECK \longleftrightarrow 5\%$$

$$MECK = 9,29 \text{ cm}^3$$

Donde:

$V_r = \text{volumen del refuerzo}$

$m_r = \text{masa del refuerzo}$

3.7.8.1. b. Cálculos para la fracción volumétrica 80% Matriz, 20% Refuerzo

Datos:

$$\delta_{matriz} = 1,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\delta_{refuerzo} = 0,67 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$V_{molde} = 206,388 \text{ cm}^3$$

$$\text{Fracción Volumétrica de la matriz } (f_m) = 0,80$$

$$\text{Fracción Volumétrica del refuerzo } (f_r) = 0,20$$

Desarrollo de los cálculos:

Cálculos de la matriz

$$V_m = V_{molde} * f_m$$

$$V_m = 206,388 \text{ cm}^3 * 0,80$$

$$V_m = 165,11 \text{ cm}^3$$

$$m_m = \delta_{matriz} * V_m$$

$$m_m = 1,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 165,11 \text{ cm}^3$$

$$m_m = 198,13 \text{ g}$$

Donde:

$V_m = \text{volumen de la matriz}$

$m_m = \text{masa de la matriz}$

Cálculos del refuerzo

$$V_r = V_{molde} * f_r$$

$$V_r = 206,388 \text{cm}^3 * 0,20$$

$$V_r = 41,28 \text{cm}^3$$

$$m_r = \delta_{refuerzo} * V_r$$

$$m_r = 0,67 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 41,28 \text{cm}^3$$

$$m_r = 27,66 \text{ g}$$

Cálculo del MECK

$$165,11 \text{ cm}^3 \longleftrightarrow 100\%$$

$$MECK \longleftrightarrow 5\%$$

$$MECK = 8,25 \text{ cm}^3$$

Donde:

$V_r = \text{volumen del refuerzo}$

$m_r = \text{masa del refuerzo}$

3.7.8.1. c. Cálculos para la fracción volumétrica 70% Matriz, 30% Refuerzo

Datos:

$$\delta_{matriz} = 1,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\delta_{refuerzo} = 0,67 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$V_{molde} = 206,388 \text{ cm}^3$$

$$\text{Fracción Volumétrica de la matriz } (f_m) = 0,70$$

Fracción Volumétrica del refuerzo (f_r) = 0,30

Desarrollo de los cálculos:

Cálculos de la matriz

$$V_m = V_{molde} * f_m$$

$$V_m = 206,388cm^3 * 0,70$$

$$V_m = 144,47cm^3$$

$$m_m = \delta_{matriz} * V_m$$

$$m_m = 1,2 \frac{g}{cm^3} * 144,47cm^3$$

$$m_m = 173,36 g$$

Donde:

V_m = volumen de la matriz

m_m = masa de la matriz

Cálculos del refuerzo

$$V_r = V_{molde} * f_r$$

$$V_r = 206,388cm^3 * 0,30$$

$$V_r = 61,92cm^3$$

$$m_r = \delta_{refuerzo} * V_r$$

$$m_r = 0,67 \frac{g}{cm^3} * 61,92cm^3$$

$$m_r = 41,48 g$$

Cálculo del MECK

$$144,47 cm^3 \longleftrightarrow 100\%$$

$$MECK \longleftrightarrow 5\%$$

$$MECK = 7,22 cm^3$$

Donde:

$V_r = \text{volumen del refuerzo}$

$m_r = \text{masa del refuerzo}$

3.7.8.2. Particulado Grueso

Las fracciones volumétricas del segundo caso expuestas para la generación de las probetas son las siguientes:

90% Matriz (Resina Poliéster), 10% Refuerzo (Particulado grueso de cuero)

80% Matriz (Resina Poliéster), 20% Refuerzo (Particulado grueso de cuero)

70% Matriz (Resina Poliéster), 30% Refuerzo (Particulado grueso de cuero)

Nota: Para el particulado grueso por poseer la misma densidad que el particulado fino, y las mismas fracciones volumétricas, se procede a efectuar las probetas bajo los mismos cálculos antes realizados correspondientes al particulado fino.

3.7.9. Fabricación de probetas.

3.7.9.1. Tratamiento superficie del molde

La superficie del molde fue cubierta con una película adhesiva de color blanco, esto con el fin de eliminar una parte de aire existente en la combinación del material compuesto y tener una superficie lisa y brillante para un mejor acabado del material.



Figura 3.21. Tratamiento de la superficie del molde.

(Fuente: El Autor).

3.7.9.2. Curado del molde

El curado del molde se realizó durante 30 minutos, efectuando 5 ciclos de 5 min cada uno para posteriormente aplicar el líquido desmoldante y dejar secar durante 10 min, como se observa en la figura 3.22.



Figura 3.22. Curado del molde de acero A36.

(Fuente: El Autor).

3.7.9.3. Preparación de fracciones volumétricas

Se realizó el pesado del particulado de cuero mediante una balanza digital electrónica marca CAMRY, este valor de acuerdo a la fracción volumétrica requerida, luego se determinó el volumen de la resina poliéster necesario previo cálculos antes realizados, en un vaso de precipitación de 400 ml, marca BOECO, a la resina poliéster se aplicó el catalizador MECK, mediante un porcentaje determinado mediante cálculos, esto con el fin de la solidificación del material.



Figura 3.23. Pesaje del particulado de cuero.

(Fuente: El Autor).



Figura 3.24. Medición de resina poliéster.

(Fuente: El Autor).

3.7.9.4. Laminado del material

El laminado del material consistió en realizar la mezcla de la resina poliéster catalizado y el particulado de cuero, de esta manera obteniendo un nuevo compuesto, para que mediante un proceso posterior se tenga como resultado un nuevo material compuesto, como se observa en la figura 3.25.



Figura 3.25. Combinación de resina poliéster catalizado y particulado de cuero.

(Fuente: El Autor).

3.7.9.5. Enfundado al vacío

Luego de realizar el laminado de la resina poliéster y el particulado de cuero se procedió a realizar el enfundado del material al vacío, esto con el propósito de eliminar el aire existente en la combinación generada, este proceso se realizó aplicando varias telas especiales como son: Peel ply, bagging film perforate y breather, respectivamente, estas películas tienen la misión de absorber los excesos

de resina existente y poder brindar un tipo de acabado particular en una cara de las láminas del material.



Figura 3.26. Películas de tela para vacío.

(Fuente: El Autor).

Una vez puesto las películas mencionadas se procede a colocar en una mesa de aluminio la cinta resistente al calor para poder frotar encima el bagging film, realizando un corte en el bagging film para poner los acoples que conectan a la manguera de la bomba de vacío para poder extraer el aire existente en el laminado.



Figura 3.27. Enfundado del material compuesto.

(Fuente: El Autor).



Figura 3.28. Exceso de resina poliéster.

(Fuente: El Autor).

3.7.9.6. Secado al vacío

Después del proceso de enfundado y de eliminación de aire del laminado del material, se desconectó la bomba de vacío, y se procedió a sustituir la manguera de la bomba de vacío por un manómetro, este para medir la presión existente en el enfundado, debiendo mantenerse constante para el secado, esta presión se obtuvo de -18 inHg, convirtiéndose en una depresión, de esta manera evitando tener fugas de aire en el enfundado, se dejó secar el laminado durante 18 horas.

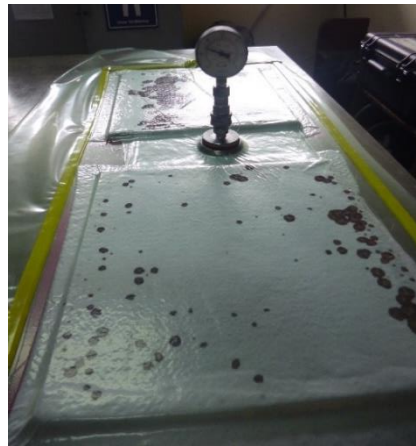


Figura 3.29. Secado al vacío.

(Fuente: El Autor).

3.7.9.7. Desmoldado

Después del tiempo estimado del secado, se procedió al desmolde del laminado, retirando las películas de tela y teniendo como resultado el material compuesto de resina poliéster con refuerzo particulado de cuero.



Figura 3.30. Plancha de resina poliéster con refuerzo de particulado de cuero.

(Fuente: El Autor).

3.7.9.7. Probetas bajo normas ASTM.

El corte de las probetas se realizó mediante laser, con un dimensionamiento bajo referencia de las normas ASTM para tracción, flexión e impacto.

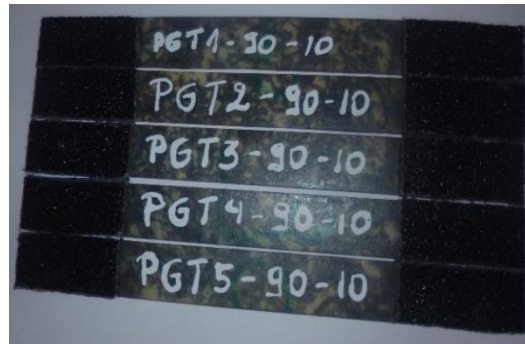


Figura 3.31. Probetas para tracción.

(Fuente: El Autor).



Figura 3.32. Probetas para Flexión.

(Fuente: El Autor).



Figura 3.33. Probetas para Impacto.

(Fuente: El Autor).

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1. Datos de ensayo a tracción

La tabulación de resultados de los ensayos a tracción a las cuales fueron sometidas las probetas, a continuación se presenta las siguientes tablas con los resultados del comportamiento del material compuesto.

Tabla 4.1. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 90% Resina poliéster, 10% Particulado fino de cuero.

(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Ensayo de Tracción			
Datos Informativos:			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.		
Fecha:	Ambato, 23-Junio-2017.		
Tipo de máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.		
Norma:	ASTM D3039-00 ^{e1}		
Realizó:	Revisó:	Aprobó:	
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.	Ing. Segundo Espín. Mg.	
Parámetros de Ensayo:			
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	90%
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	10%
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al Vacío
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	250 mm*25 mm*e
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor Promedio:	3,03 mm

Temperatura:	21 °C	Humedad Relativa:	58 %
---------------------	-------	--------------------------	------

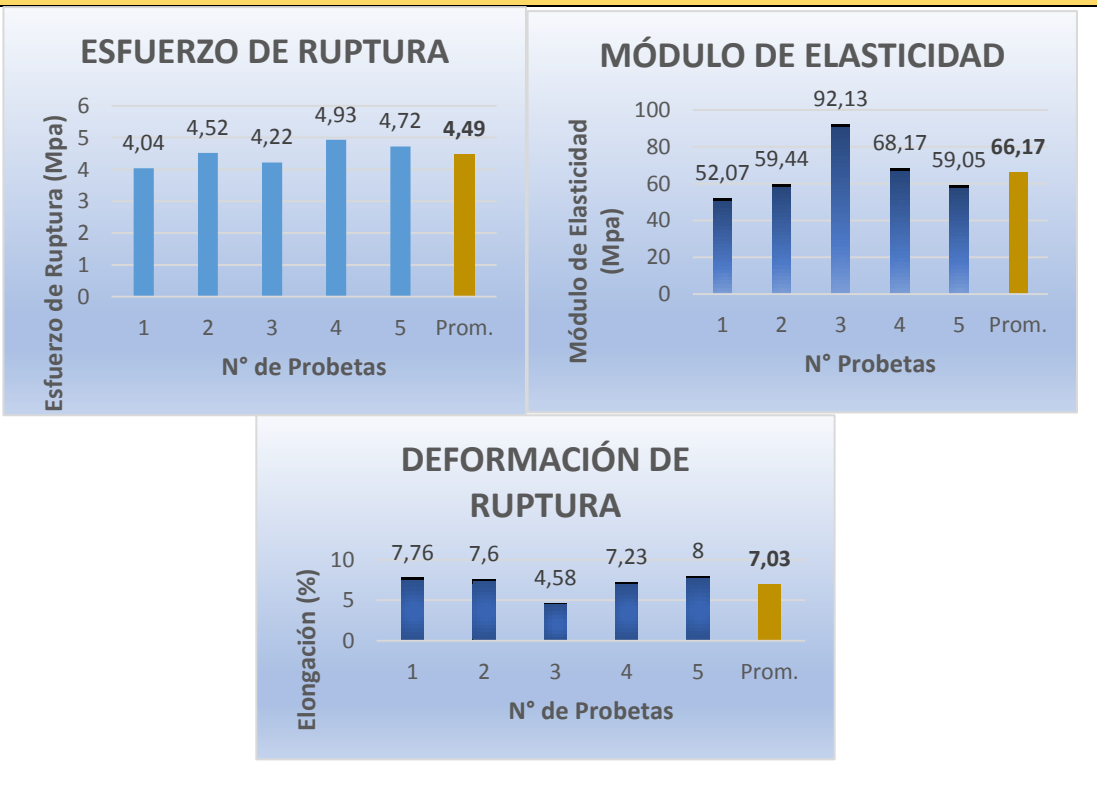
Tabulación de Resultados:

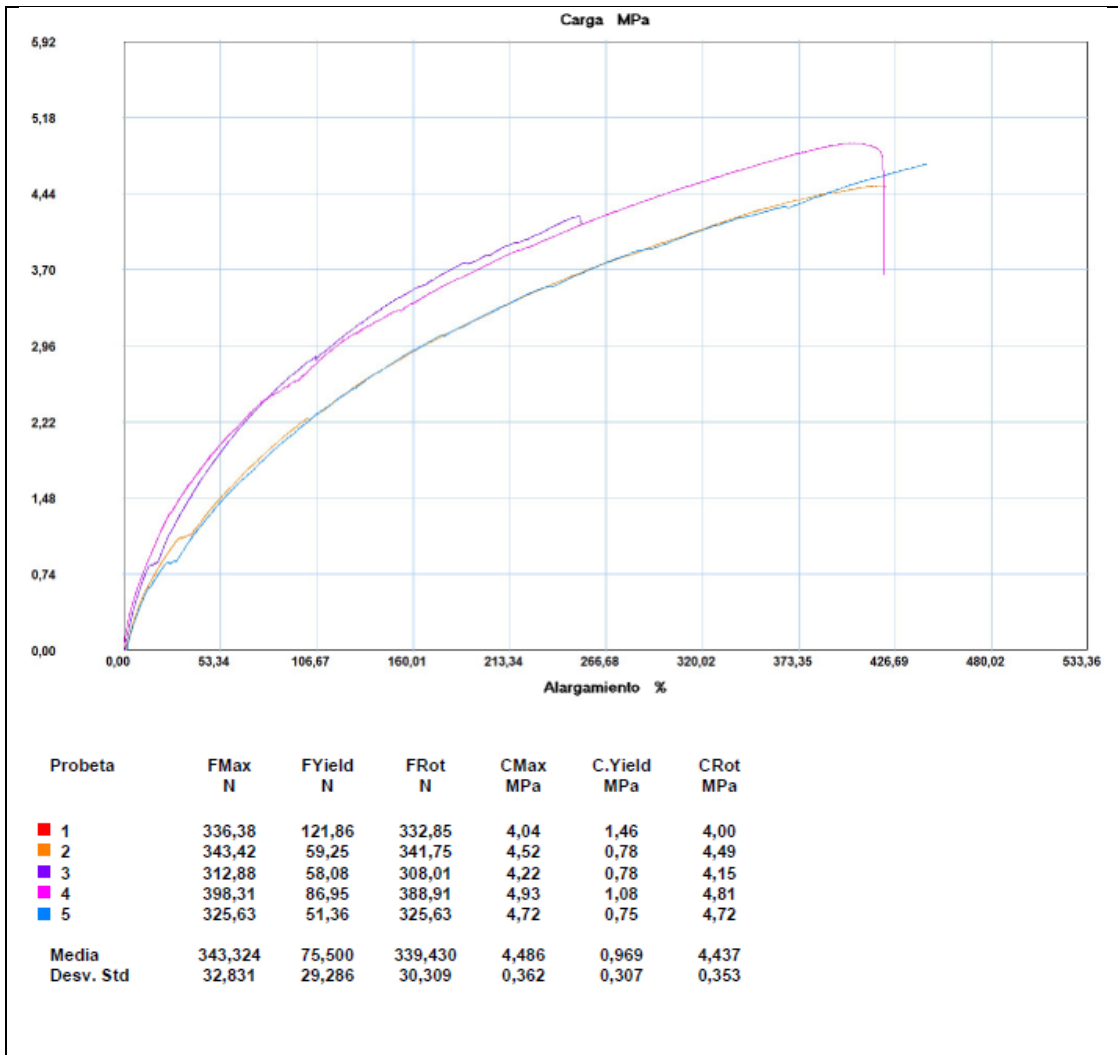
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de Falla
1	336,38	4,04	52,07	7,76	LAT
2	343,42	4,52	59,44	7,60	LAT
3	312,88	4,22	92,13	4,58	LAT
4	398,31	4,93	68,17	7,23	LAT
5	325,63	4,72	59,05	8,00	LAT
Promedio \bar{X}	343,32	4,49	66,17	7,03	-
Desviación estándar	32,83	0,36	15,59	1,40	-

Fotografías del Ensayo:



Gráficas de Resultados:





Observaciones:



- Las probetas de 1 a la 5, presentan fallos en la parte lateral, junto al agarre.
- La denominación LAT, significa ruptura en la parte lateral izquierda superior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.

Evaluación:

Esfuerzo de ruptura promedio	4,49 MPa
Módulo de elasticidad promedio	66,17 MPa
Espesor real promedio	3,03 mm

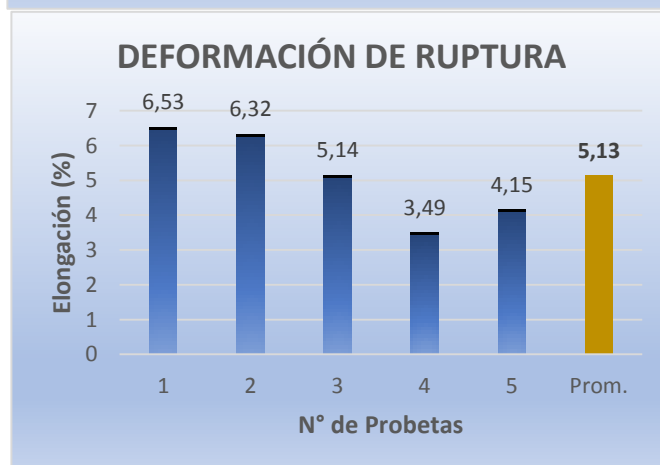
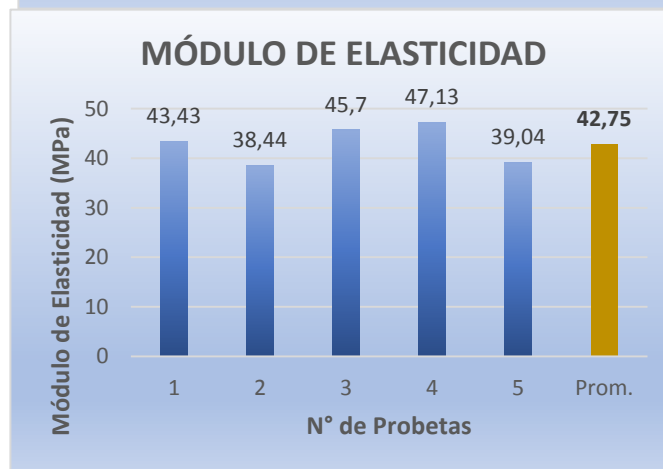
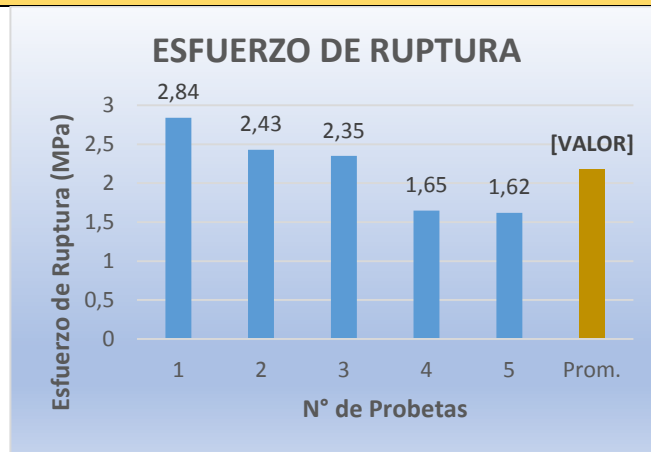
Tabla 4.2. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 80% Resina poliéster, 20% Particulado fino de cuero.

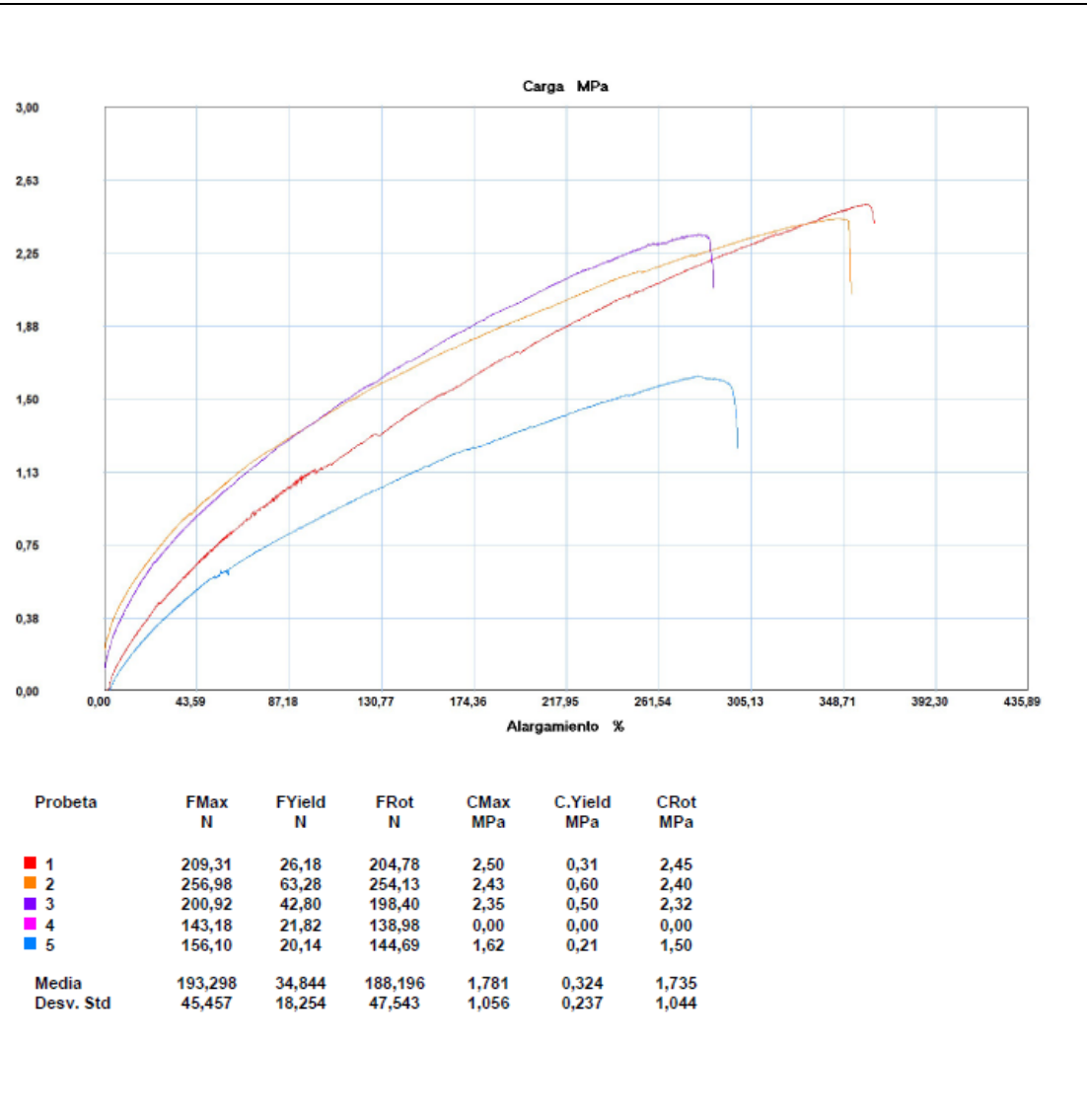
(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Tracción					
Datos Informativos:					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.				
Fecha:	Ambato, 23-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:	ASTM D3039-00 ^{e1}				
Realizó:	Revisó:	Aprobó:			
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.	Ing. Segundo Espín. Mg.			
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	80%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	20%		
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	250 mm*25 mm*e		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor Promedio:	3,61 mm		
Temperatura:	19 °C	Humedad Relativa:	56 %		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de Falla
1	209,31	2,84	43,43	6,53	LGM
2	256,98	2,43	38,44	6,32	LAT
3	200,92	2,35	45,70	5,14	LAT
4	143,18	1,65	47,13	3,49	LAT
5	156,10	1,62	39,04	4,15	LAT
Promedio \bar{X}	193,30	2,18	42,75	5,13	-
Desviación estándar	45,46	0,53	3,90	1,33	-
Fotografías del Ensayo:					



Gráficas de Resultados:





Observaciones:



- La probeta 1 presentan fallos en la zona central.
- Las probetas 2-5 presentan fallos en la zona lateral junto al agarre.
- La denominación LGM, significa ruptura a la izquierda de la zona central de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.
- La denominación LAT, significa ruptura en la parte lateral izquierda superior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.

Evaluación:

Esfuerzo de ruptura promedio	2,18 MPa
Módulo de elasticidad promedio	42,75 MPa
Espesor real promedio	3,61 mm

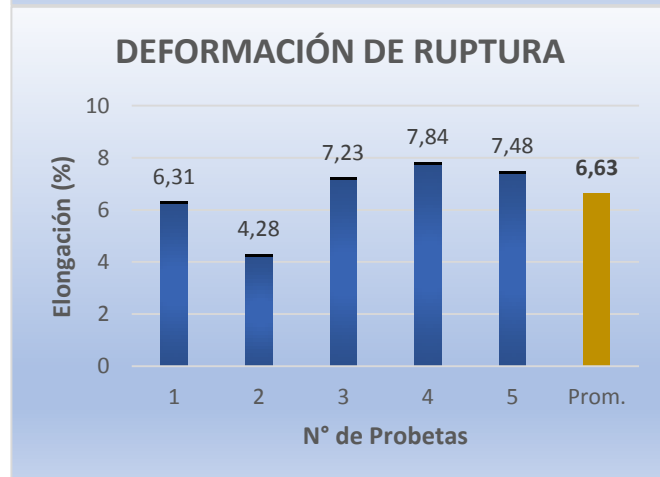
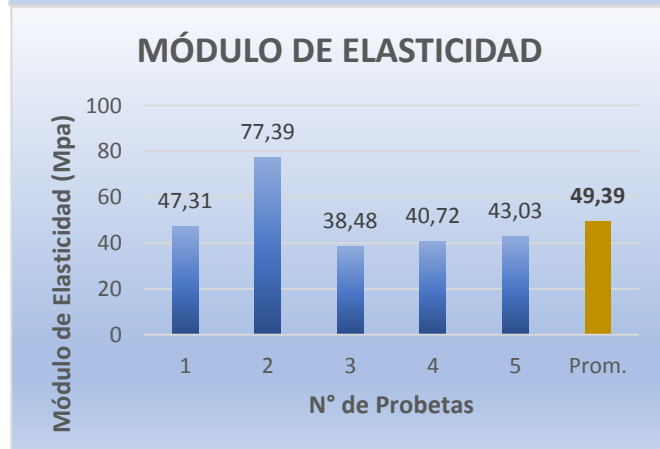
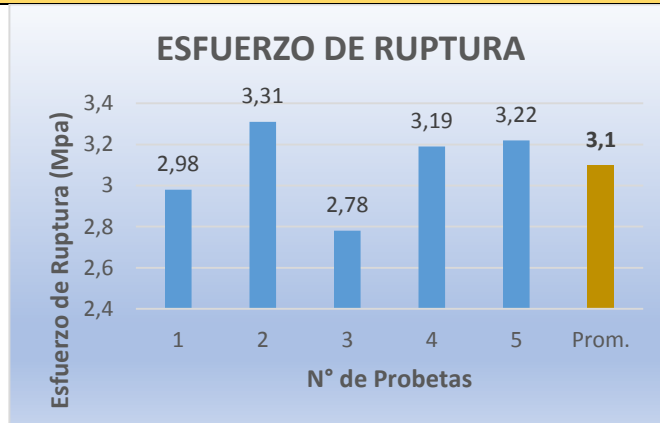
Tabla 4.3. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 70% Resina poliéster, 30% Particulado fino de cuero.

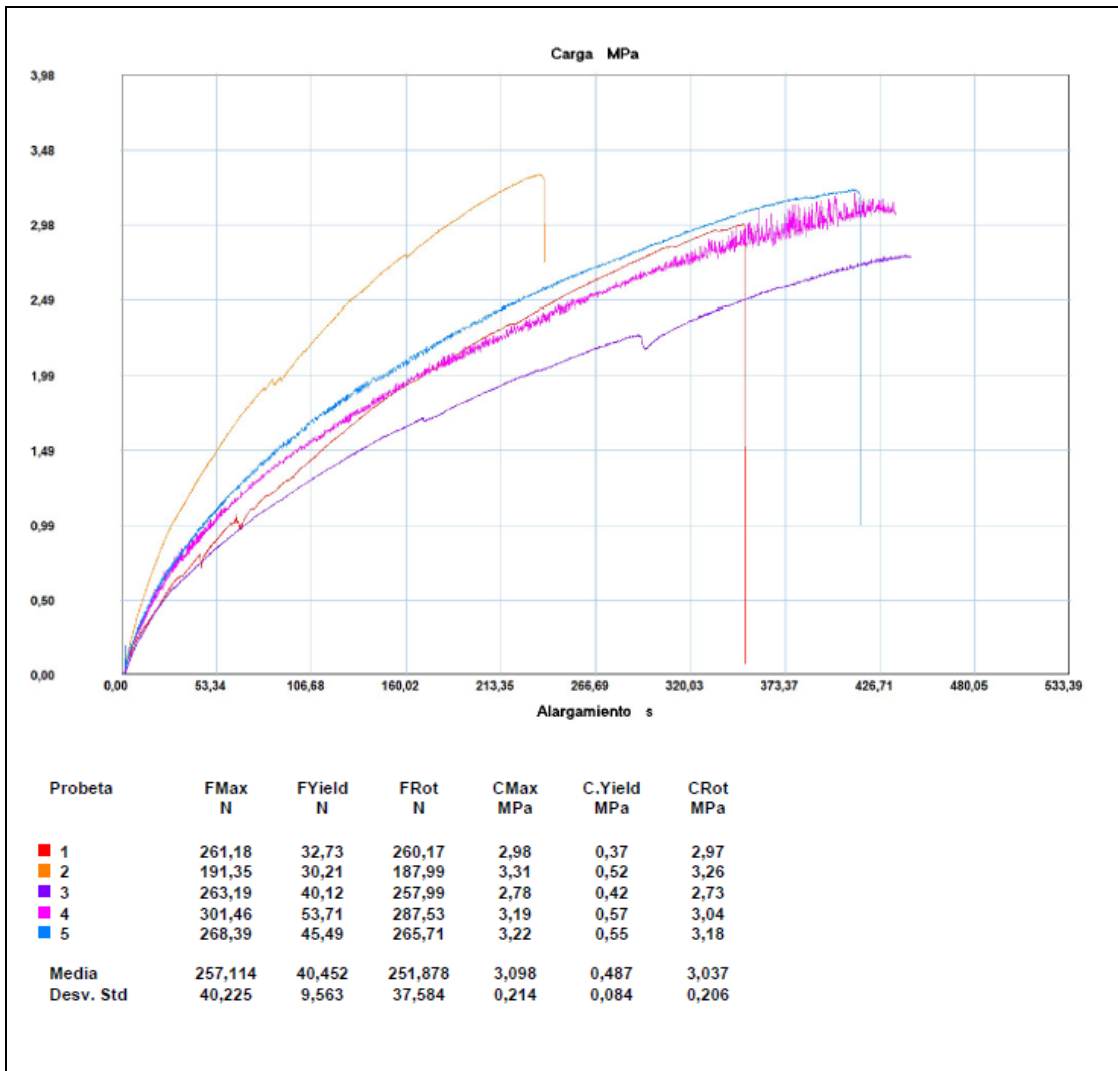
(Fuente: El Autor).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Tracción					
Datos Informativos:					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.				
Fecha:	Ambato, 23-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:	ASTM D3039-00 ^{e1}				
Realizó:	Revisó:	Aprobó:			
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.	Ing. Segundo Espín. Mg.			
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	30%		
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	250 mm*25 mm*e		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor Promedio:	3,29 mm		
Temperatura:	19 °C	Humedad Relativa:	56 %		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de Falla
1	261,18	2,98	47,31	6,31	LGM
2	191,35	3,31	77,39	4,28	LGM
3	263,19	2,78	38,48	7,23	LGM
4	301,46	3,19	40,72	7,84	LAT
5	268,39	3,22	43,03	7,48	LGM
Promedio \bar{X}	257,11	3,10	49,39	6,63	-
Desviación estándar	40,22	0,21	16,00	1,43	-
Fotografías del Ensayo:					



Gráficas de Resultados:





Observaciones:



- Las probetas 1, 2, 3, 5 presentan fallos a la izquierda de la zona central.
- La probeta 4 presenta fallo en la zona lateral izquierda superior.
- La denominación LGM, significa ruptura a la izquierda de la zona central de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.
- La denominación LAT, significa ruptura en la parte lateral izquierda superior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.

Evaluación:

Esfuerzo de ruptura promedio	3,10 MPa
Módulo de elasticidad promedio	49,39 MPa
Espesor real promedio	3,29 mm

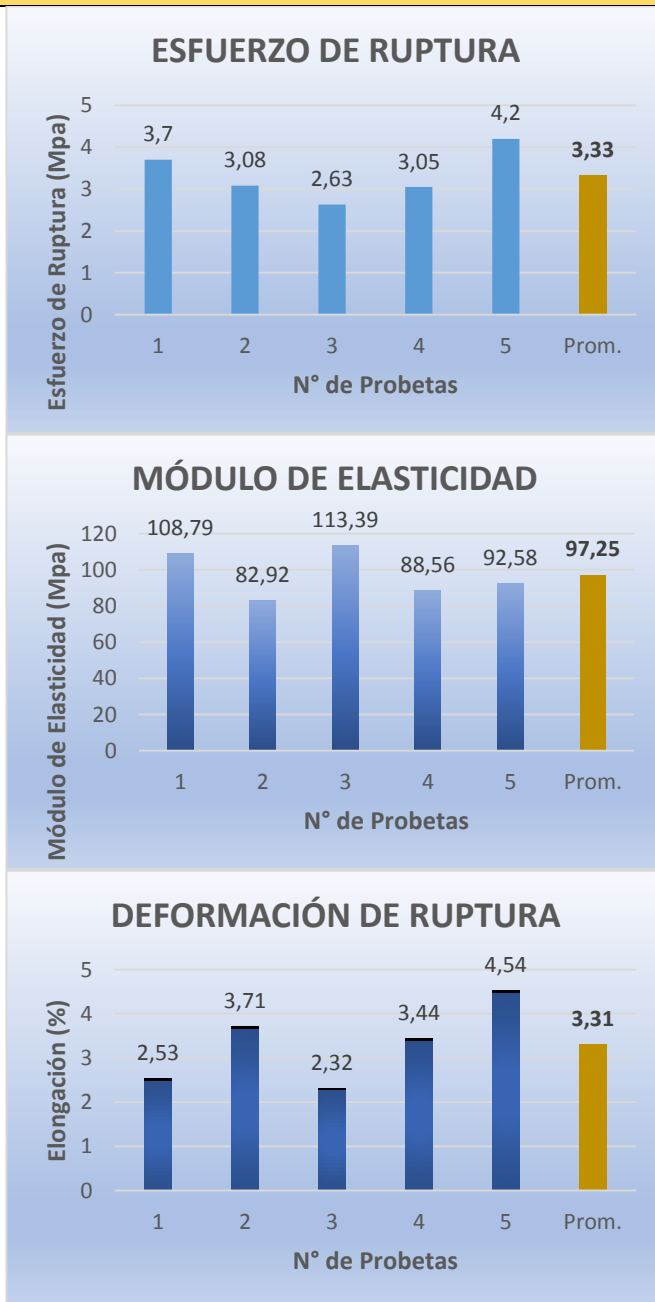
Tabla 4.4. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 90% Resina poliéster, 10% Particulado grueso de cuero.

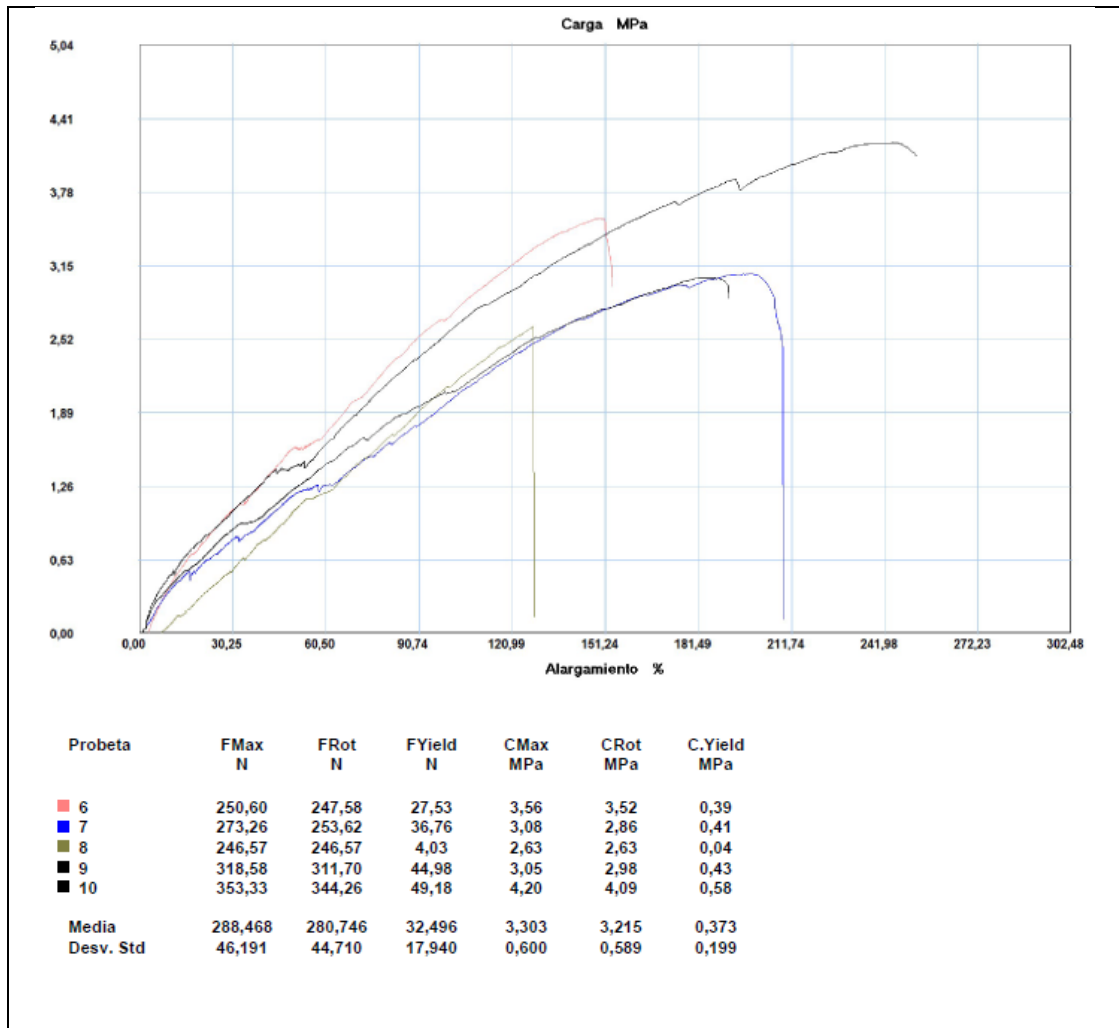
(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Tracción					
Datos Informativos:					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.				
Fecha:	Ambato, 23-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:	ASTM D3039-00 ^{e1}				
Realizó:	Revisó:		Aprobó:		
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.		Ing. Segundo Espín. Mg.		
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	90%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	10%		
Tamaño de Partícula:	Grueso	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	250 mm*25 mm*e		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor Promedio:	3,57 mm		
Temperatura:	22 °C	Humedad Relativa:	58 %		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de Falla
1	250,6	3,70	108,79	2,53	AGM
2	273,26	3,08	82,92	3,71	AGM
3	246,57	2,63	113,39	2,32	LAT
4	318,58	3,05	88,56	3,44	AGM
5	353,33	4,20	92,58	4,54	LAT
Promedio \bar{X}	288,47	3,33	97,25	3,31	-
Desviación estándar	46,19	0,62	13,20	0,91	-
Fotografías del Ensayo:					



Gráficas de Resultados:





Observaciones:



- Las probetas 1, 2, 4, presentan ruptura en la zona central.
- Las probetas 3, 5, presentan ruptura en la zona lateral izquierda superior.
- La denominación AGM, significa ruptura por apretón en la zona de calibración, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.
- La denominación LAT, significa ruptura en la parte lateral izquierda superior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.

Evaluación:

Esfuerzo de ruptura promedio	3,33 MPa
Módulo de elasticidad promedio	97,25 MPa
Espesor real promedio	3,57 mm

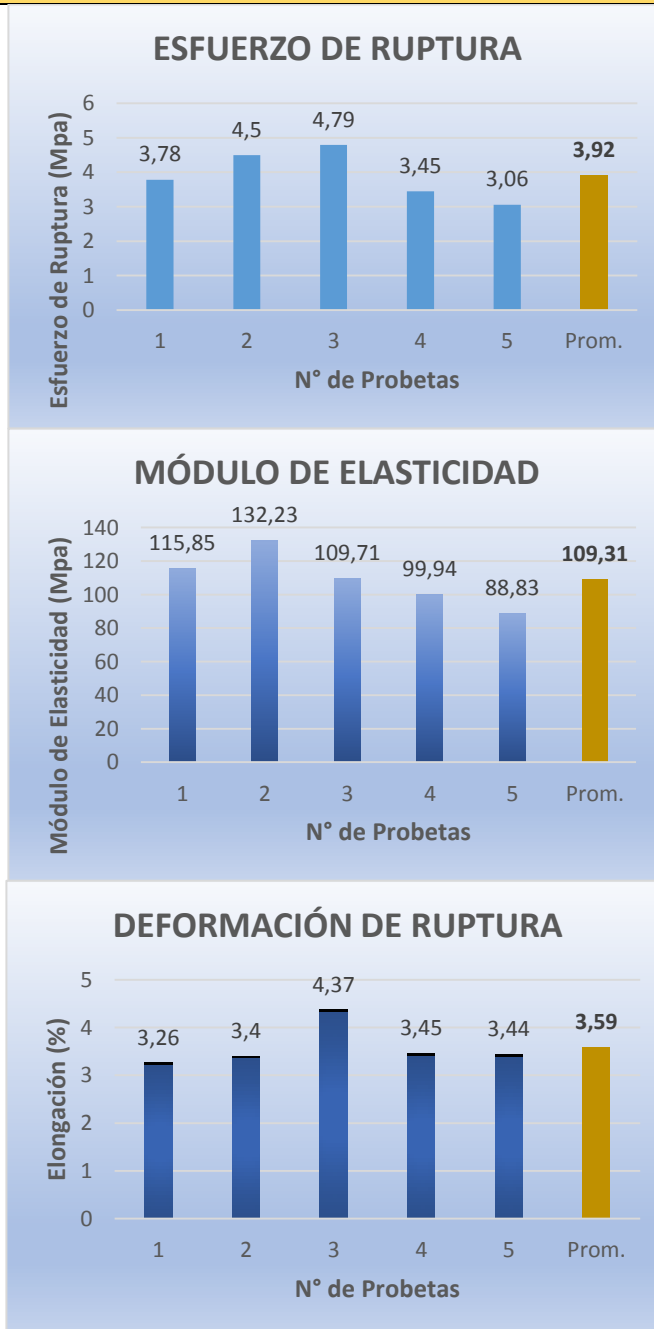
Tabla 4.5. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 80% Resina poliéster, 20% Particulado grueso de cuero.

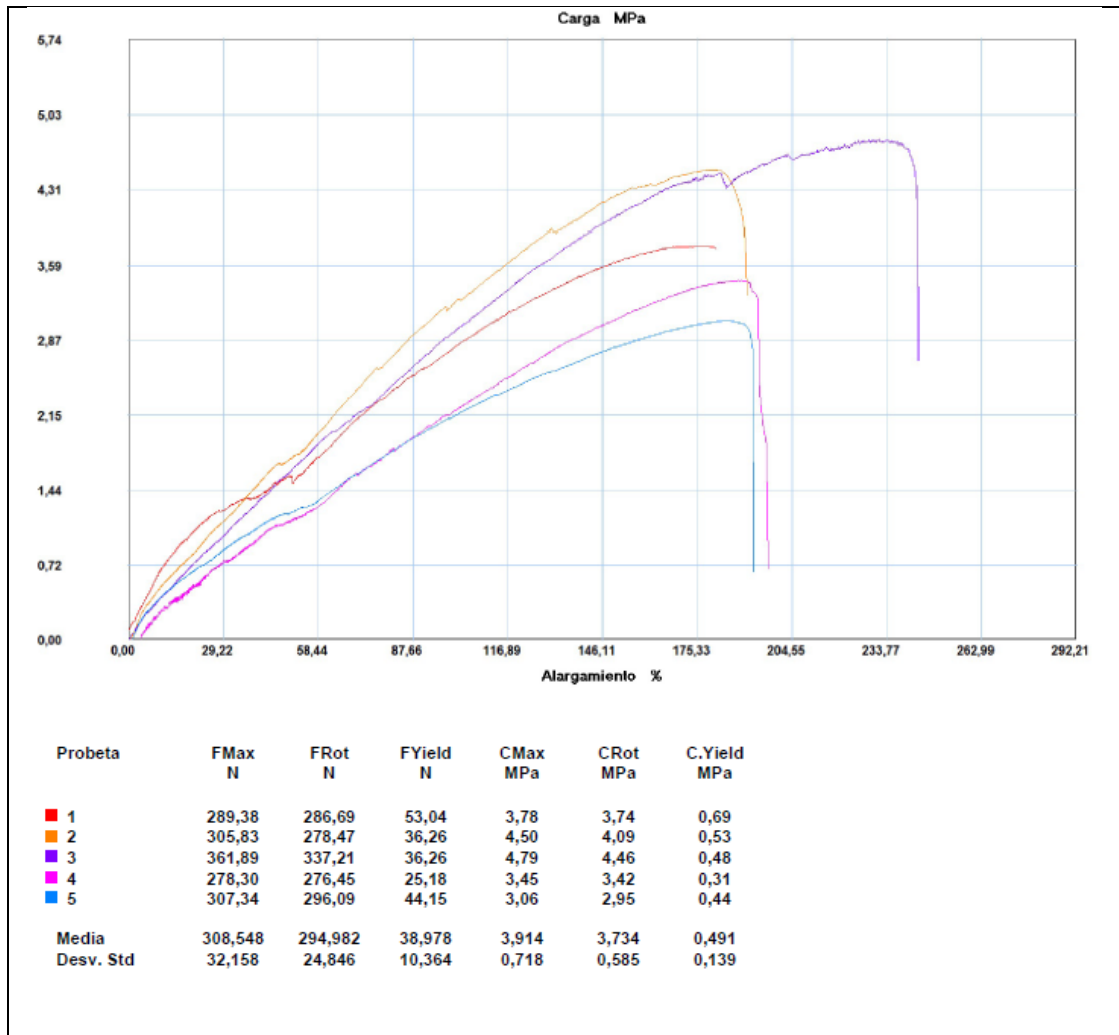
(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Tracción					
Datos Informativos:					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.				
Fecha:	Ambato, 23-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:	ASTM D3039-00 ^{e1}				
Realizó:	Revisó:		Aprobó:		
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.		Ing. Segundo Espín. Mg.		
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	80%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	20%		
Tamaño de Partícula:	Grueso	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	250 mm*25 mm*e		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor Promedio:	3,26 mm		
Temperatura:	22 °C	Humedad Relativa:	58 %		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de Falla
1	289,38	3,78	115,85	3,26	AGM
2	305,83	4,5	132,23	3,40	LAT
3	361,89	4,79	109,71	4,37	LAT
4	278,30	3,45	99,94	3,45	LAT
5	307,34	3,06	88,83	3,44	AGM
Promedio \bar{X}	308,55	3,92	109,31	3,59	-
Desviación estándar	32,16	0,72	16,40	0,44	-
Fotografías del Ensayo:					



Gráficas de Resultados:





Observaciones:



- Las probetas 1, 5, presentan ruptura por apretón en la zona de calibración.
- Las probetas 2, 3, 4, presentan ruptura en la zona lateral izquierda superior.
- La denominación AGM, significa ruptura por apretón en la zona de calibración, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.
- La denominación LAT, significa ruptura en la parte lateral izquierda superior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.

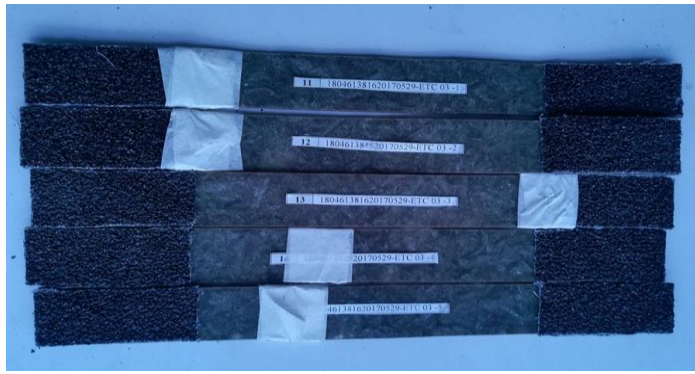
Evaluación:

Esfuerzo de ruptura promedio	3,92 MPa
Módulo de elasticidad promedio	109,31 MPa
Espesor real promedio	3,26 mm

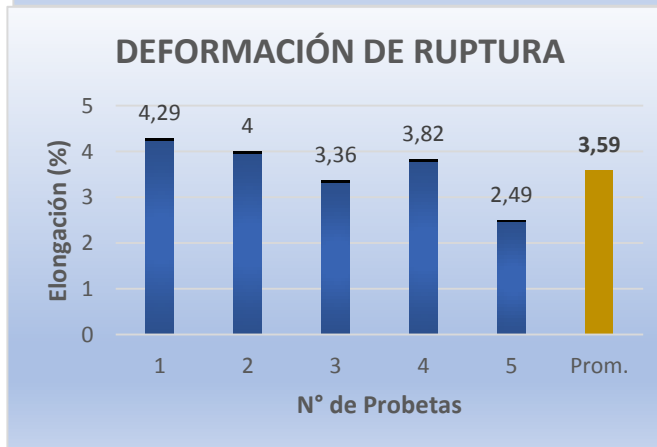
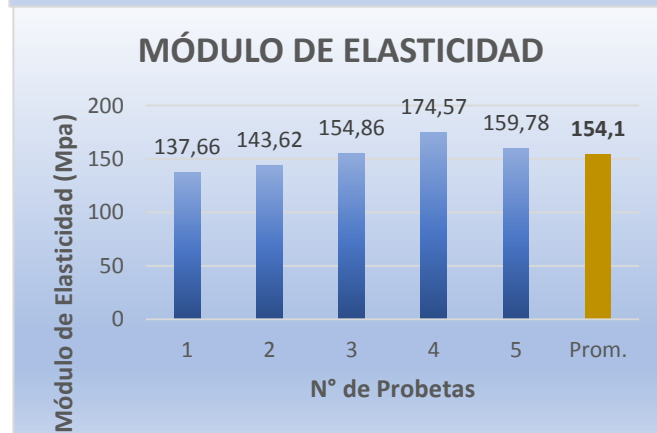
Tabla 4.6. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a tracción, 70% Resina poliéster, 30% Particulado grueso de cuero.

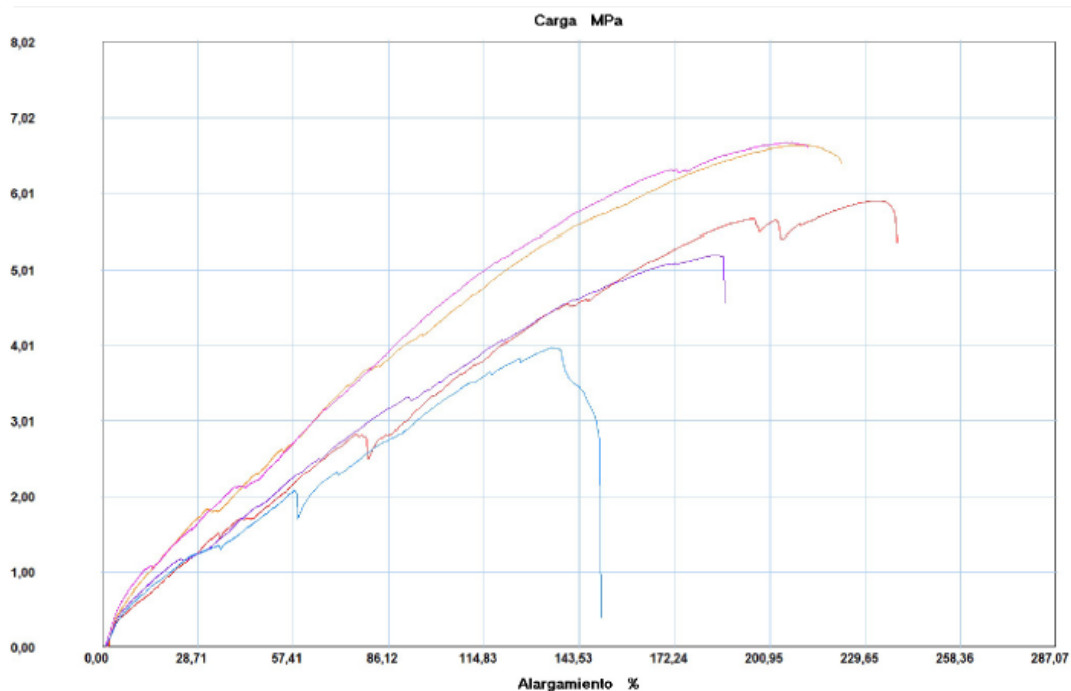
(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Tracción					
Datos Informativos:					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.				
Fecha:	Ambato, 23-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:	ASTM D3039-00 ^{e1}				
Realizó:	Revisó:		Aprobó:		
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.		Ing. Segundo Espín. Mg.		
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	30%		
Tamaño de Partícula:	Grueso	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	250 mm*25 mm*e		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor Promedio:	2,89 mm		
Temperatura:	22 °C	Humedad Relativa:	58 %		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de Falla
1	420,47	5,91	137,66	4,29	AGM
2	422,32	5,75	143,62	4,00	AGM
3	368,1	5,21	154,86	3,36	AGM
4	398,48	6,67	174,57	3,82	LAT
5	320,6	3,97	159,78	2,49	AGM
Promedio \bar{X}	385,99	5,50	154,10	3,59	-
Desviación estándar	42,60	1,00	14,42	0,70	-
Fotografías del Ensayo:					



Gráficas de Resultados:





Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
1	420,47	408,21	46,16	5,91	5,74	0,65
2	422,32	407,04	56,40	6,64	6,40	0,89
3	368,10	366,76	49,01	5,21	5,19	0,69
4	398,48	394,12	57,41	6,68	6,61	0,96
5	320,60	315,23	48,68	3,97	3,91	0,60
Media	385,994	378,272	51,532	5,684	5,569	0,759
Desv. Std	42,605	38,993	5,040	1,131	1,085	0,157

Observaciones:

- Las probetas 1, 2, 3, 5, presentan ruptura por apretón en la zona de calibración.
- La probeta 4, presentan ruptura en la zona lateral izquierda superior.
- La denominación AGM, significa ruptura por apretón en la zona de calibración, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.
- La denominación LAT, significa ruptura en la parte lateral izquierda superior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D3039.

Evaluación:



Esfuerzo de ruptura promedio	5,50 MPa
Módulo de elasticidad promedio	154,10 MPa
Espesor real promedio	2,89 mm

4.1.2. Datos de ensayo a Flexión

La tabulación de resultados de los ensayos a flexión a las cuales fueron sometidas las probetas, mediante la norma ASTM D7264-07, se presenta a continuación las siguientes tablas con los resultados del comportamiento del material compuesto.

Tabla 4.7. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 90% Resina poliéster, 10% Particulado fino de cuero.

(Fuente: El Autor).

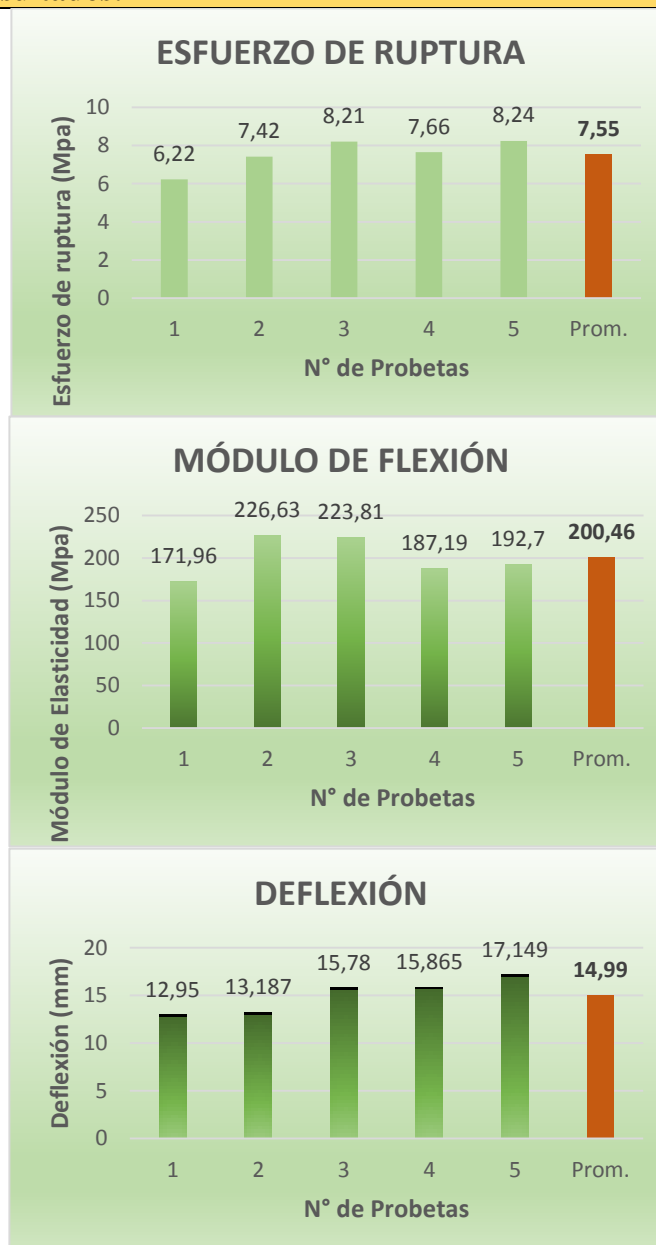
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Flexión					
Datos Informativos:					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.				
Fecha:	Ambato, 25-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:	ASTM D7264-07.				
Realizó:	Revisó:	Aprobó:			
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.	Ing. Segundo Espín. Mg.			
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	90%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	10%		
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	160 mm*13 mm*e		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor Promedio:	2,70 mm		
Temperatura:	17 °C	Humedad Relativa:	80 %		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	5,87	6,22	171,96	12,950	OAB
2	5,54	7,42	226,63	13,187	OAB
3	5,37	8,21	223,81	15,780	OAB
4	6,21	7,66	187,19	15,865	OAB
5	6,21	8,24	192,70	17,149	OAB

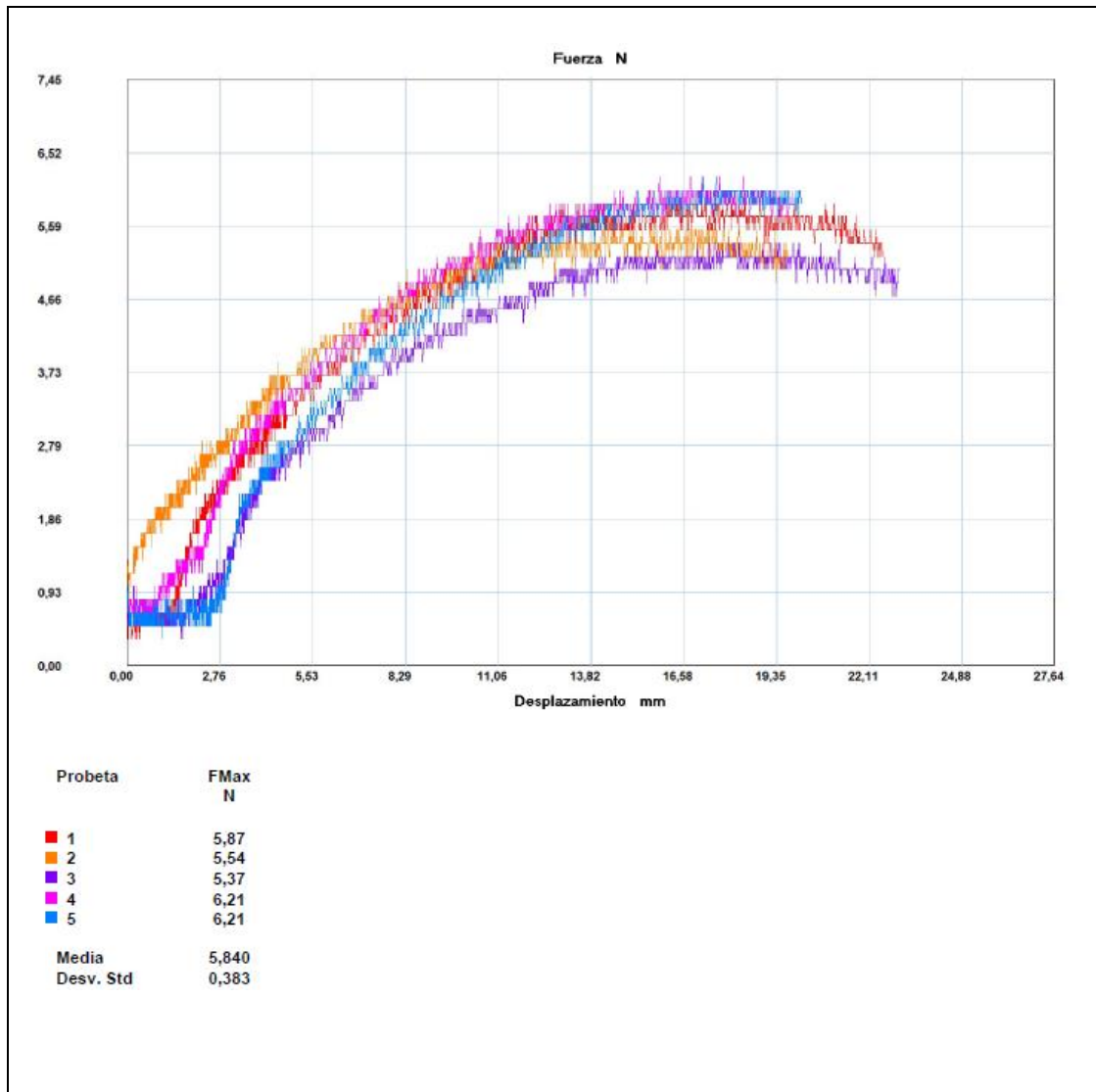
Promedio \bar{X}	5,84	7,55	200,46	14,99	-
Desviación estándar	0,38	0,82	23,87	1,83	-

Fotografías del Ensayo:



Gráficas de Resultados:





Observaciones:



- Las probetas de 1 a la 5, presentaron fallos en el punto de carga, localizado al posterior de la probeta.
- La denominación OAB, determina fallo en el punto de carga, localizado al posterior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D7264.

Evaluación:

Esfuerzo de Ruptura Promedio	7,55 MPa
Módulo de Flexión Promedio	200,46 MPa
Espesor real Promedio	3,03 mm
Deflexión Promedio	14,99 mm

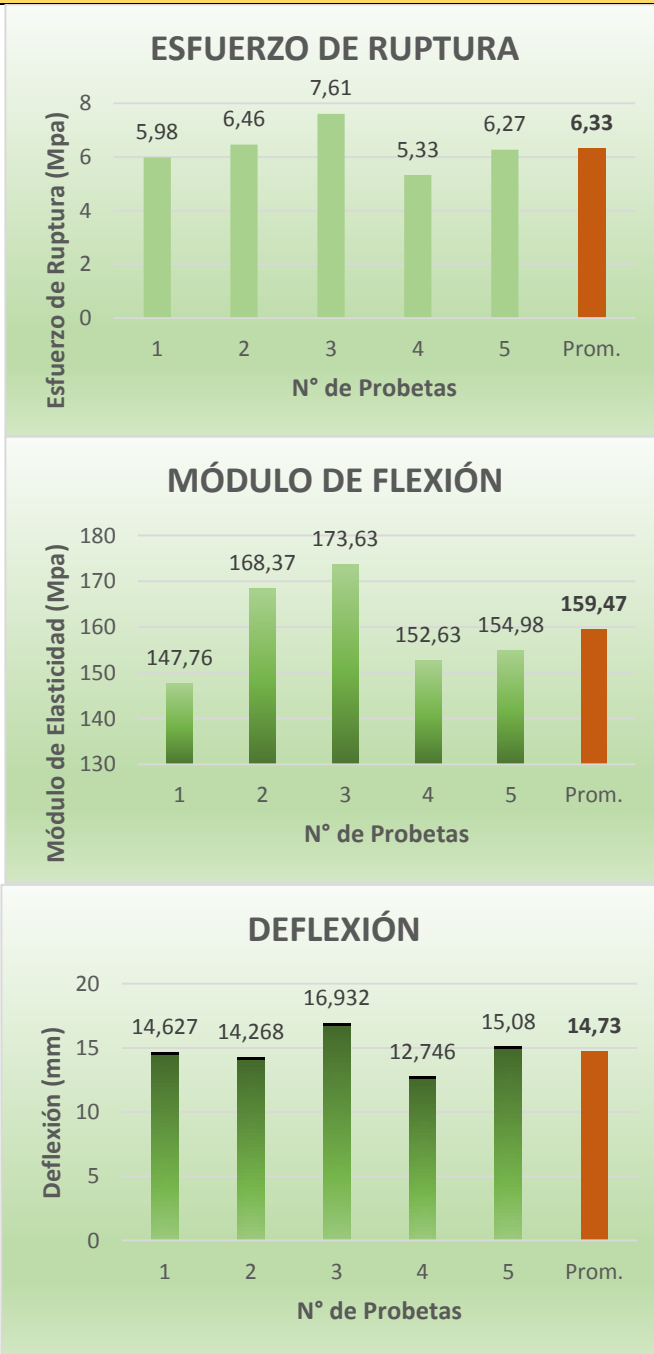
Tabla 4.8. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 80% Resina poliéster, 20% Particulado fino de cuero.

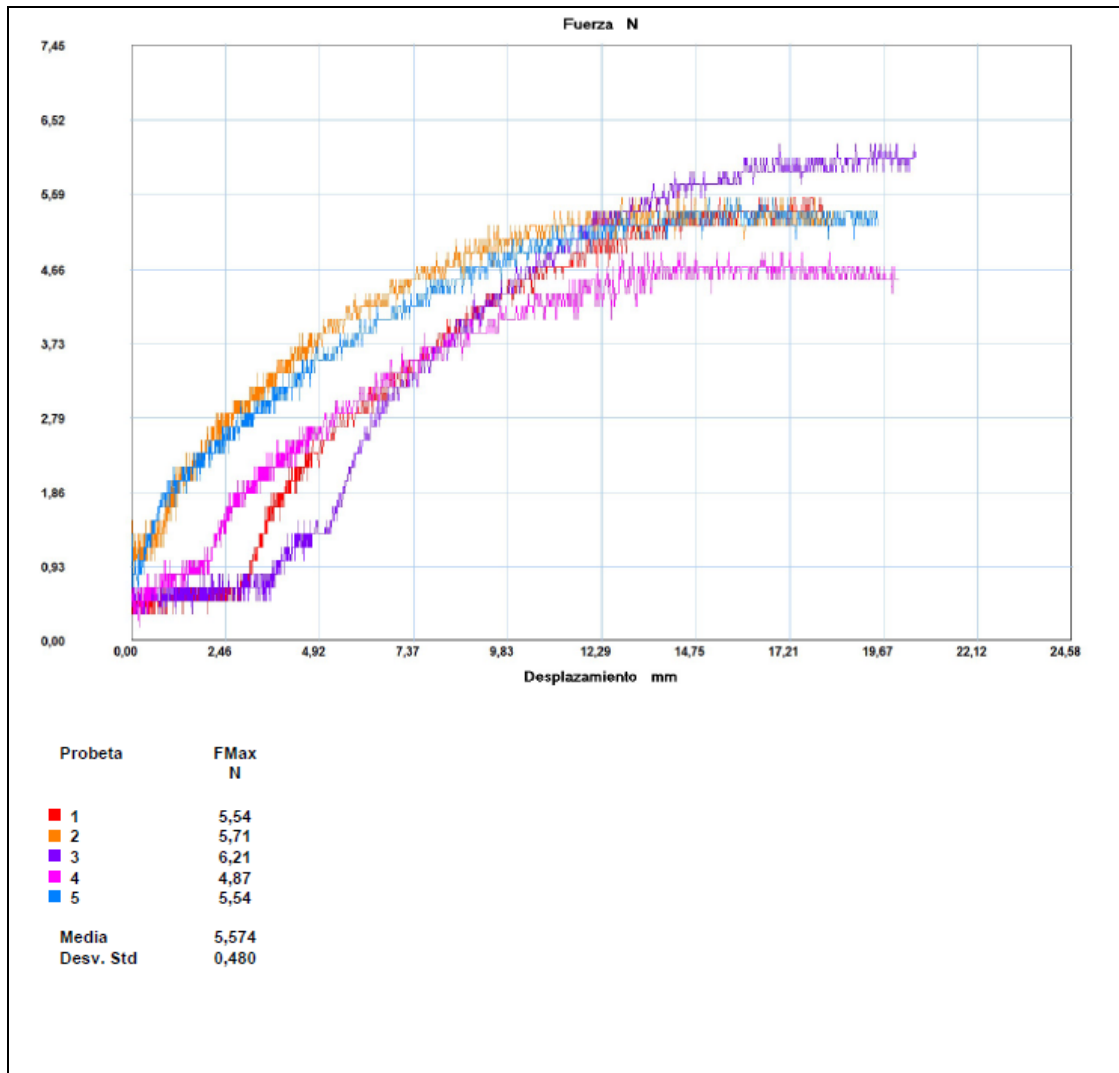
(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Flexión					
Datos Informativos:					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.				
Fecha:	Ambato, 25-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:	ASTM D7264-07.				
Realizó:	Revisó:	Aprobó:			
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.	Ing. Segundo Espín. Mg.			
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	80%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	20%		
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	160 mm*13 mm*e		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor Promedio:	2,87 mm		
Temperatura:	17 °C	Humedad Relativa:	81 %		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	5,54	5,98	147,76	14,627	OAB
2	5,71	6,46	168,37	14,268	OAB
3	6,21	7,61	173,63	16,932	OAB
4	4,87	5,33	152,63	12,746	OAB
5	5,54	6,27	154,98	15,080	OAB
Promedio \bar{X}	5,57	6,33	159,47	14,73	-
Desviación estándar	0,48	0,83	11,00	1,51	-
Fotografías del Ensayo:					



Gráficas de Resultados:





Observaciones:



- Las probetas de 1 a la 5, presentaron fallos en el punto de carga, localizado al posterior de la probeta.
- La denominación OAB, determina fallo en el punto de carga, localizado al posterior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D7264.

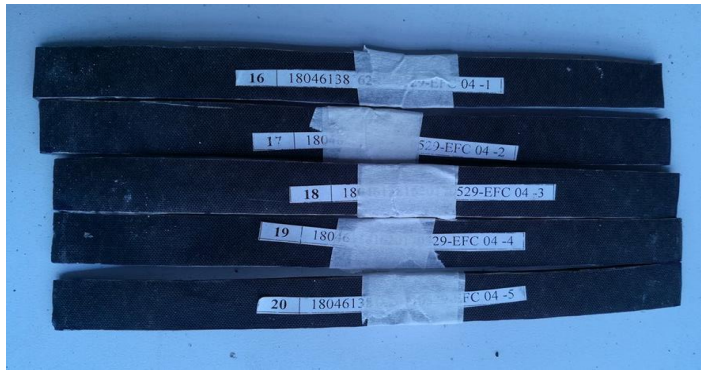
Evaluación:

Esfuerzo de Ruptura Promedio	6,33 MPa
Módulo de Flexión Promedio	159,47 MPa
Espesor real Promedio	2,87 mm
Deflexión Promedio	14,73 mm

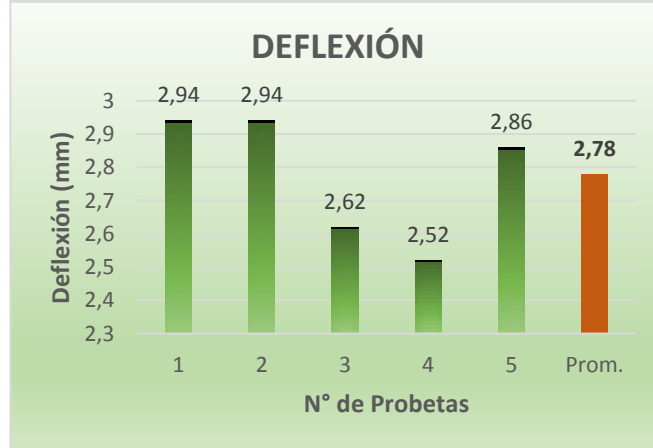
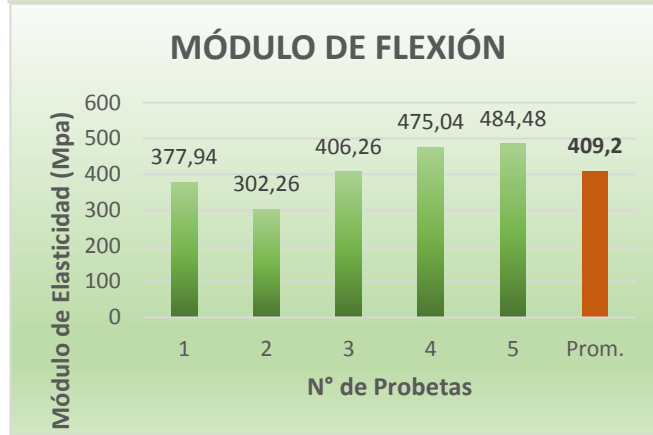
Tabla 4.9. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 70% Resina poliéster, 30% Particulado fino de cuero.

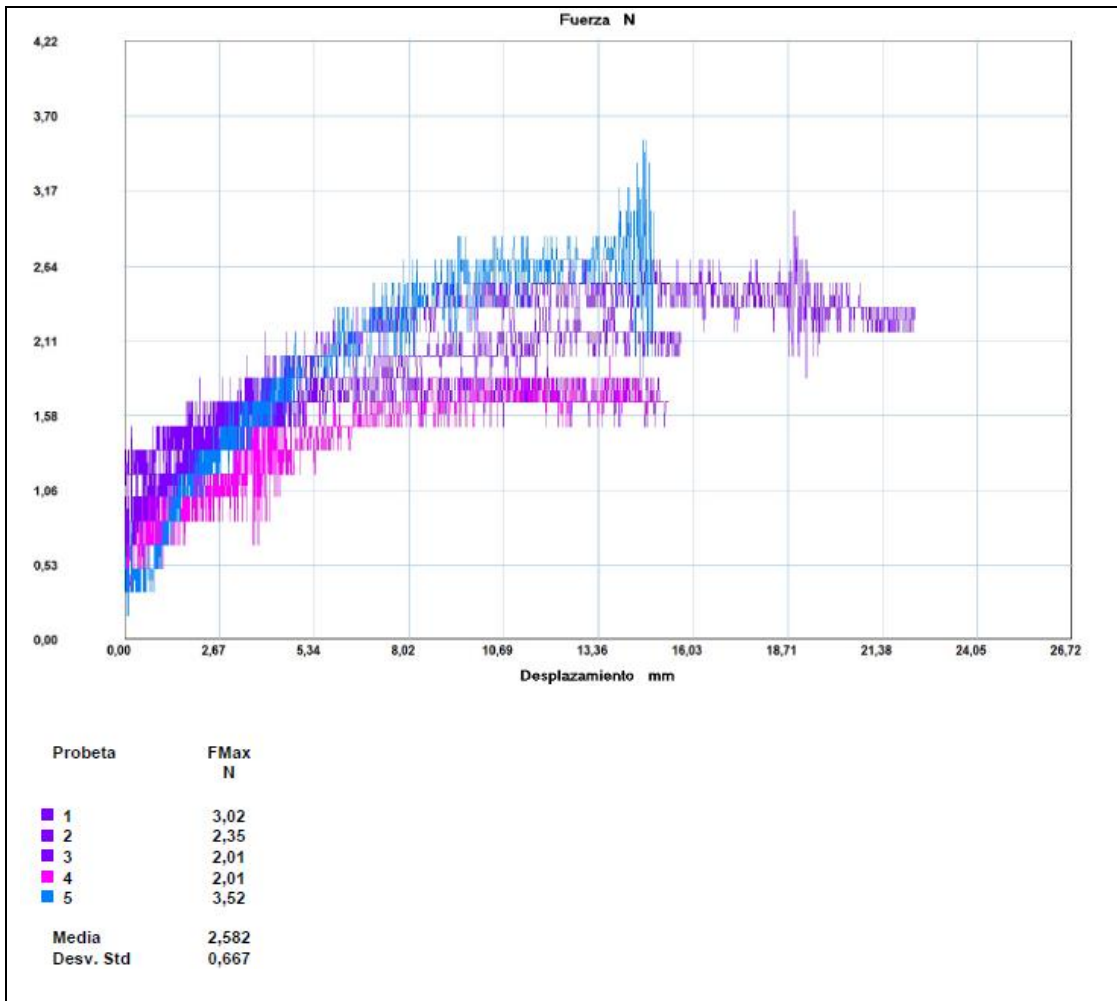
(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Flexión					
Datos Informativos:					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.				
Fecha:	Ambato, 25-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:	ASTM D7264-07.				
Realizó:	Revisó:	Aprobó:			
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.	Ing. Segundo Espín. Mg.			
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	30%		
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	160 mm*13 mm*e		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor Promedio:	2,78 mm		
Temperatura:	17 °C	Humedad Relativa:	81 %		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	3,02	3,06	377,94	2,94	OAB
2	2,35	2,45	302,26	2,94	OLV
3	2,01	2,61	406,26	2,62	OAB
4	2,01	2,83	475,04	2,52	OAB
5	3,52	3,72	484,48	2,86	OAB
Promedio \bar{x}	2,58	2,93	409,20	2,78	-
Desviación estándar	0,67	0,49	74,87	0,19	-
Fotografías del Ensayo:					



Gráficas de Resultados:





Observaciones:

- Las probetas de 1, 3, 4, 5, presentaron fallos en el punto de carga, localizado en la zona posterior de la probeta.
- La probeta 2, presentó fallo entre el punto de carga y el soporte.
- La denominación OAB, determina fallo en el punto de carga, localizado al posterior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D7264.
- La denominación OLV, determina fallo en el punto de carga y el apoyo de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D7264.



Evaluación:

Esfuerzo de Ruptura Promedio	2,93 MPa
Módulo de Flexión Promedio	409,2 MPa
Espesor real Promedio	2,78 mm

Deflexión Promedio	2,78 mm
--------------------	---------

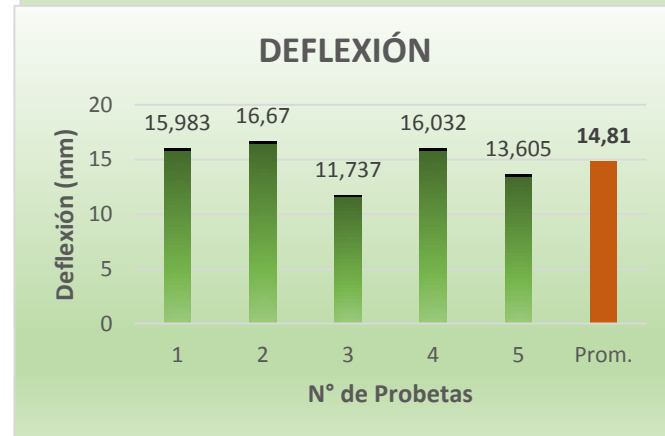
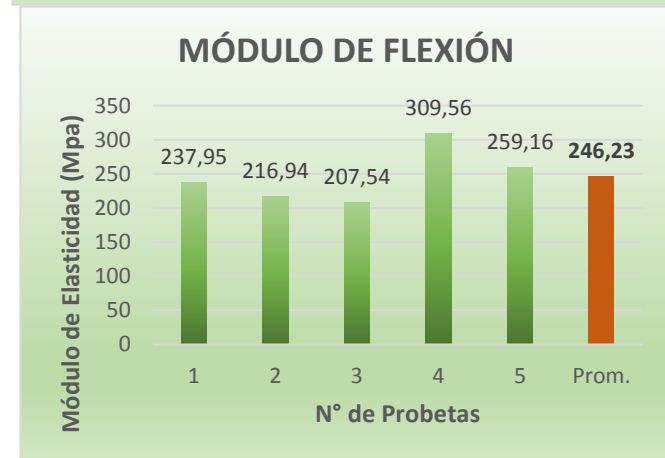
Tabla 4.10. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 90% Resina poliéster, 10% Particulado grueso de cuero.

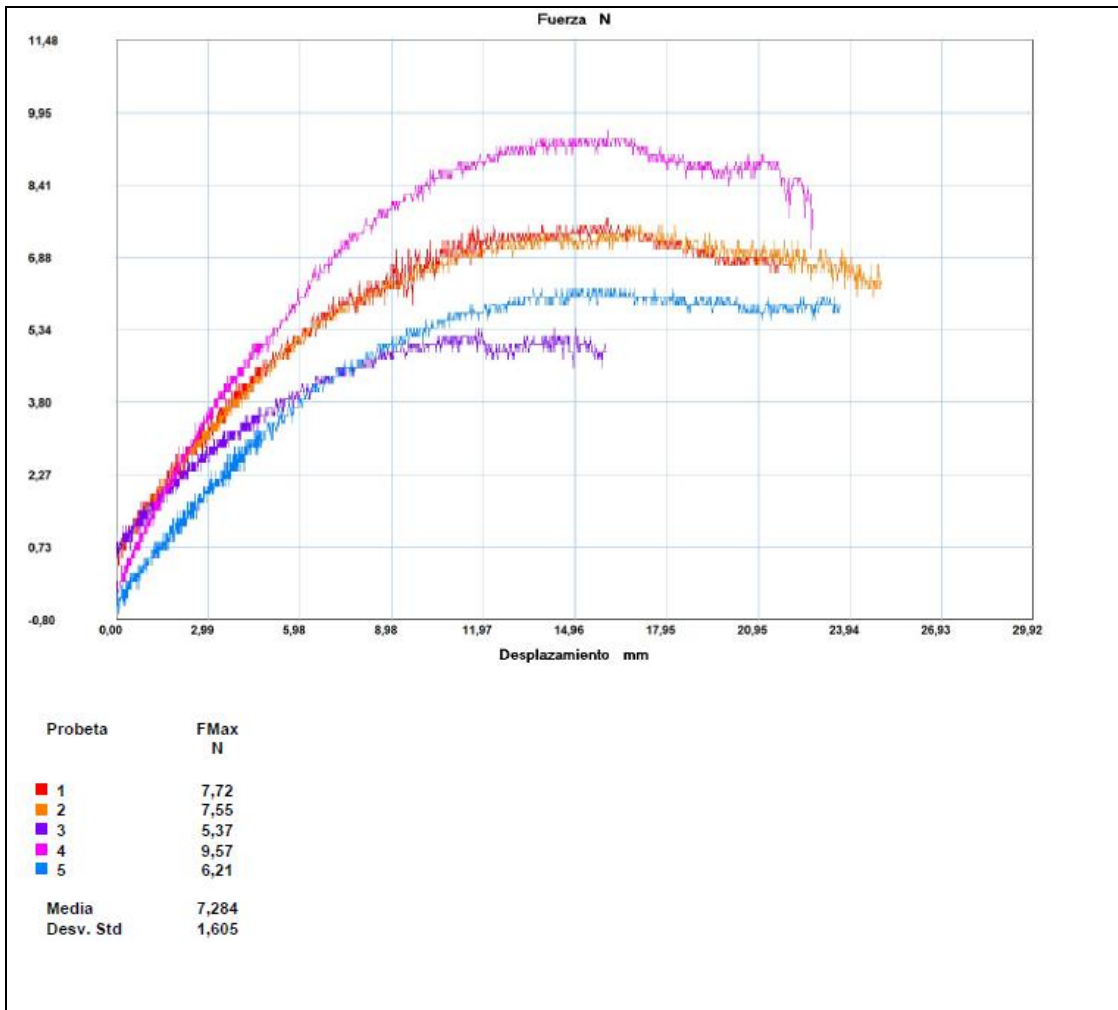
(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Flexión					
Datos Informativos:					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.				
Fecha:	Ambato, 25-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:	ASTM D7264-07.				
Realizó:	Revisó:	Aprobó:			
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.	Ing. Segundo Espín. Mg.			
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	90%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	10%		
Tamaño de Partícula:	Grueso	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	160 mm*13 mm*e		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Espesor Promedio:	2,73 mm		
Temperatura:	14 °C	Humedad Relativa:	90 %		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
1	7,72	9,73	237,95	15,983	OAB
2	7,55	9,36	216,94	16,670	OAB
3	5,37	6,46	207,54	11,737	OAB
4	9,57	12,56	309,56	16,032	OAB
5	6,21	8,63	259,16	13,605	OAB
Promedio \bar{X}	7,28	9,35	246,23	14,81	-
Desviación estándar	1,60	2,20	40,62	2,08	-
Fotografías del Ensayo:					



Gráficas de Resultados:





Observaciones:



- Las probetas de 1-5, presentaron fallos en el punto de carga, localizado en la zona posterior de la probeta.
- La denominación OAB, determina fallo en el punto de carga, localizado al posterior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D7264.

Evaluación:

Esfuerzo de Ruptura Promedio	9,35 MPa
Módulo de Flexión Promedio	246,23 MPa
Espesor real Promedio	2,73 mm
Deflexión Promedio	14,81 mm

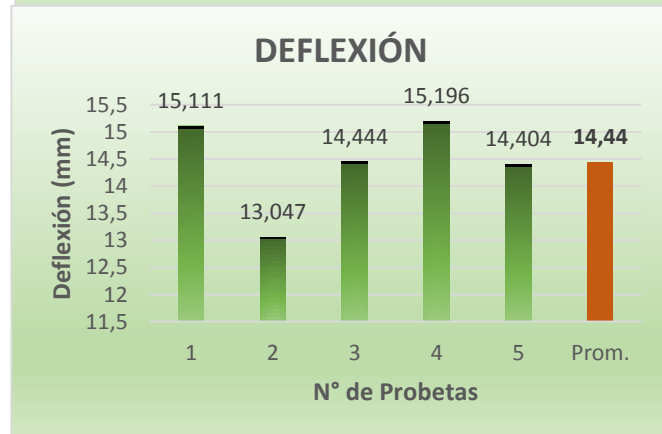
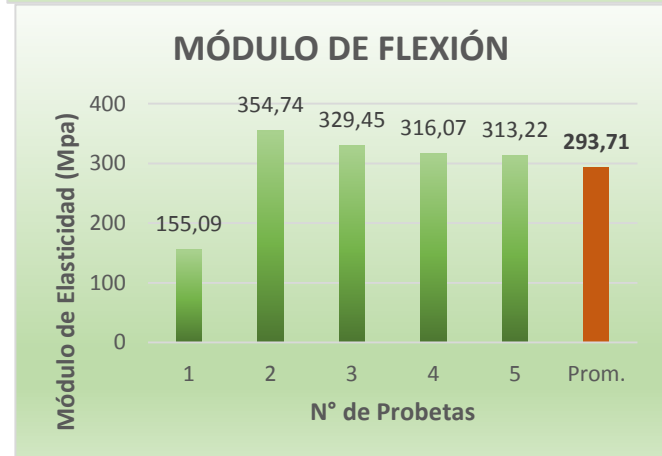
Tabla 4.11. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 80% Resina poliéster, 20% Particulado grueso de cuero.

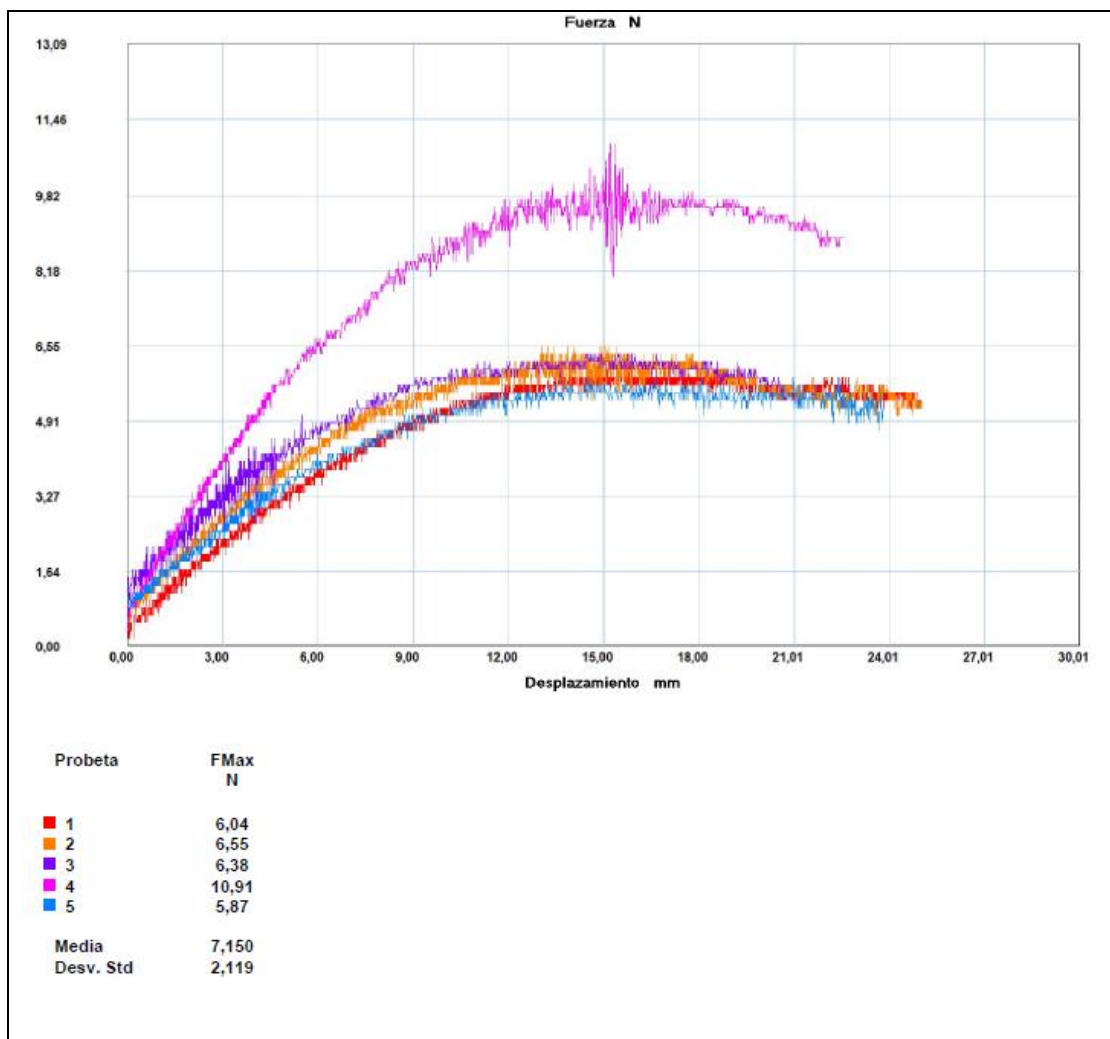
(Fuente: El Autor).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
Ensayo de Flexión						
Datos Informativos:						
Lugar:		Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero.				
Fecha:		Ambato, 25-Junio-2017.				
Tipo de máquina:		Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:		ASTM D7264-07.				
Realizó:		Revisó:		Aprobó:		
Eduardo Izurieta		Ing. Segundo Espín. Mg.		Ing. Segundo Espín. Mg.		
Parámetros de Ensayo:						
Matriz:		Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:		80%	
Refuerzo:		Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:		20%	
Tamaño de Partícula:		Grueso	Estratificación:		Al Vacío	
Número de probetas:		5	Dimensión de probetas:		160 mm*13 mm*e	
Velocidad de ensayo:		10 mm/min	Espesor Promedio:		2,60 mm	
Temperatura:		13 °C	Humedad Relativa:		98 %	
Tabulación de Resultados:						
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla	
1	6,04	6,50	155,09	15,111	OAB	
2	6,55	10,59	354,74	13,047	OAB	
3	6,38	10,62	329,45	14,444	OAB	
4	10,91	12,83	316,07	15,196	OAB	
5	5,87	9,98	313,22	14,404	OAB	
Promedio \bar{X}	7,15	10,10	293,71	14,44	-	
Desviación estándar	2,12	2,29	79,21	0,86	-	
Fotografías del Ensayo:						



Gráficas de Resultados:





Observaciones:



- Las probetas de 1-5, presentaron fallos en el punto de carga, localizado en la zona posterior de la probeta.
- La denominación OAB, determina fallo en el punto de carga, localizado al posterior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D7264.

Evaluación:

Esfuerzo de Ruptura Promedio	10,1 MPa
Módulo de Flexión Promedio	293,71 MPa
Espesor real Promedio	2,60 mm
Deflexión Promedio	14,44 mm

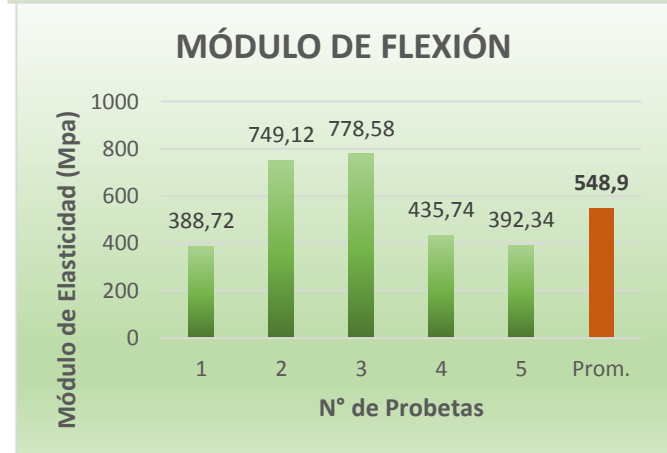
Tabla 4.12. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a flexión, 70% Resina poliéster, 30% Particulado grueso de cuero.

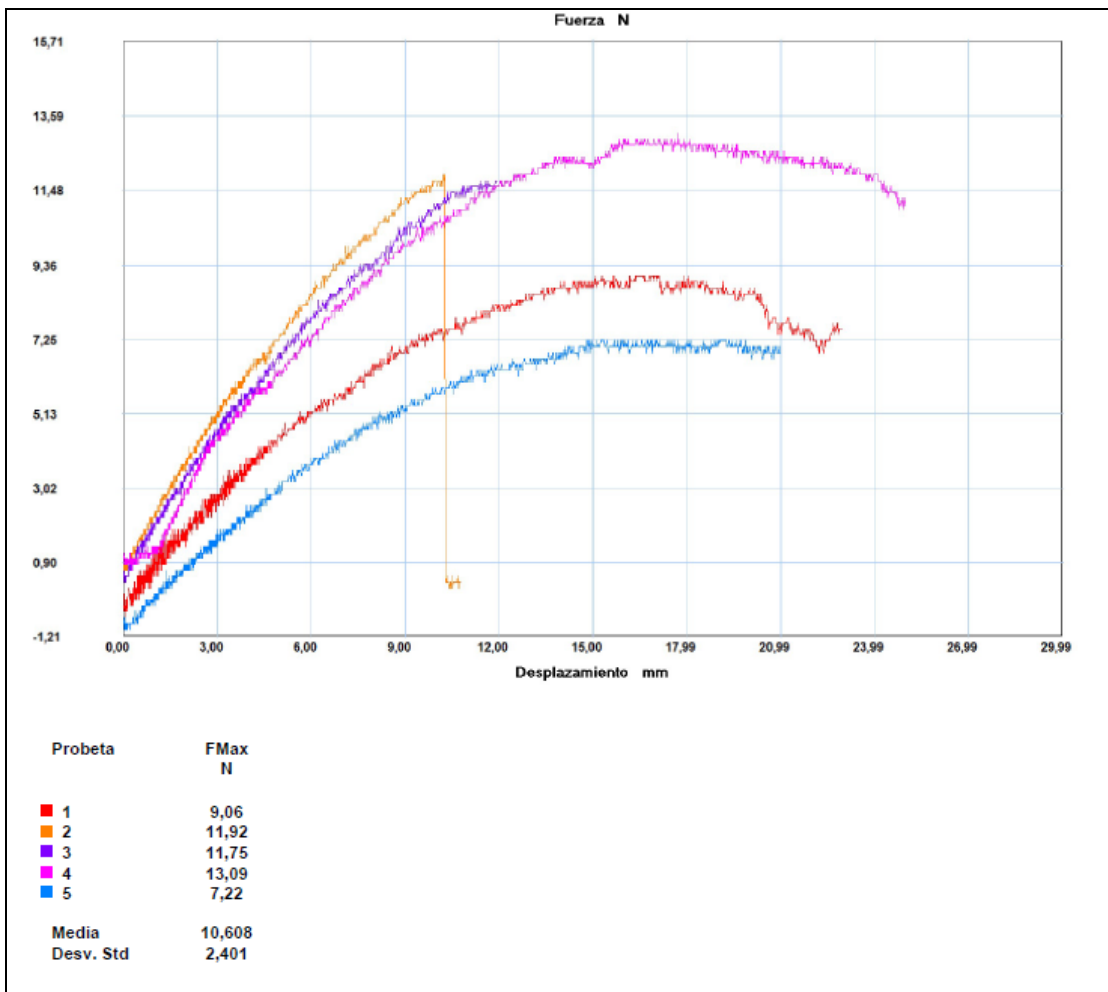
(Fuente: El Autor).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
Ensayo de Flexión						
Datos Informativos:						
Lugar:		Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero.				
Fecha:		Ambato, 25-Junio-2017.				
Tipo de máquina:		Máquina Universal de Ensayos Electromecánicos MTE-50.				
Norma:		ASTM D7264-07.				
Realizó:		Revisó:		Aprobó:		
Eduardo Izurieta		Ing. Segundo Espín. Mg.		Ing. Segundo Espín. Mg.		
Parámetros de Ensayo:						
Matriz:		Resina Poliéster		Fracción Volumétrica:		70%
Refuerzo:		Particulado de Cuero		Fracción Volumétrica:		30%
Tamaño de Partícula:		Grueso		Estratificación:		Al Vacío
Número de probetas:		5		Dimensión de probetas:		160 mm*13 mm*e
Velocidad de ensayo:		10 mm/min		Espesor Promedio:		2,46 mm
Temperatura:		14 °C		Humedad Relativa:		90 %
Tabulación de Resultados:						
N° Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla	
1	9,06	13,72	388,72	15,058	OAB	
2	11,92	18,01	749,12	10,214	OLV	
3	11,75	19,75	778,58	11,417	OAB	
4	13,09	18,67	435,74	17,714	OAB	
5	7,22	12,74	392,34	14,802	OAB	
Promedio \bar{X}	10,61	16,58	548,90	13,84	-	
Desviación estándar	2,40	3,14	197,37	3,02	-	
Fotografías del Ensayo:						



Gráficas de Resultados:





Observaciones:

- Las probetas de 1, 3, 4, 5, presentaron fallos en el punto de carga, localizado en la zona posterior de la probeta.
- La probeta 2, presentó fallo entre el punto de carga y el soporte.
- La denominación OAB, determina fallo en el punto de carga, localizado al posterior de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D7264.
- La denominación OLV, determina fallo en el punto de carga y el apoyo de la probeta, mediante la interpretación de la norma ASTM D7264.

Evaluación:

Esfuerzo de Ruptura Promedio	16,58 MPa
Módulo de Flexión Promedio	548,90 MPa
Espesor real Promedio	2,46 mm

Deflexión Promedio	13,84 mm
--------------------	----------

4.1.3. Datos de ensayo a Impacto

La tabulación de resultados de los ensayos a Impacto a las cuales fueron sometidas las probetas, mediante la norma ASTM D5628-96 (2001)^{e1}, se presenta a continuación las siguientes tablas con los resultados del comportamiento del material compuesto.




Tabla 4.13. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto, 90% Resina poliéster, 10% Particulado fino de cuero.



(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Impacto					
Datos Informativos:					
Lugar:	Laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.				
Fecha:	Ambato, 13-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina de Impacto de Dardo.				
Norma:	ASTM D5628-96 (2001) ^{e1} .				
Realizó:	Revisó:	Aprobó:			
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.	Ing. Segundo Espín. Mg.			
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	90%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	10%		
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	58 mm*58 mm*e		
Diámetro del dardo:	20 mm	Masa del dardo:	0,23146 Kg.		
Temperatura:	18 °C	Geometría del dardo:	FE		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Espesor (mm)	Altura de Lanzamiento (mm)	f Coeficiente norma	Energía máxima al Impacto (J)	Tipo de Falla

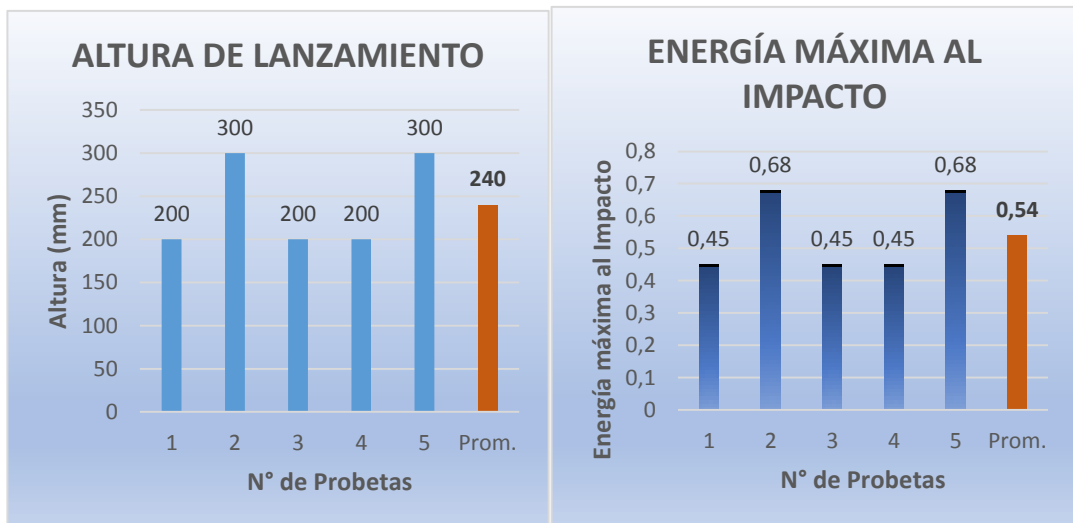
1	2,9	200	$9,8066 \times 10^{-3}$	0,45	D
2	3,1	300	$9,8066 \times 10^{-3}$	0,68	D
3	2,9	200	$9,8066 \times 10^{-3}$	0,45	A
4	2,7	200	$9,8066 \times 10^{-3}$	0,45	A
5	3	300	$9,8066 \times 10^{-3}$	0,68	D
Promedio \bar{x}	2,92	240	-	0,54	-
Desviación estándar	0,15	54,77	-	0,13	-

Fotografías del Ensayo:

Probeta:	1	Peso total (g):	9,9	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarro).				
Probeta:	2	Peso total (g):	12,5	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarro).				
Probeta:	3	Peso total (g):	11,4	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	A (Grietas solamente en una superficie: La placa podría todavía sostener el agua).				

Probeta:	4	Peso total (g):	9,5	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	A (Grietas solamente en una superficie: La placa podría todavía sostener el agua).				
Probeta:	5	Peso total (g):	11,6	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarramiento).				

Gráficas de Resultados:



Observaciones:



- Las fracturas generadas en el material inician en la matriz, disipando la energía efectuada por las partículas de cuero, tendiendo fragilidad en el material.





Evaluación:


Inicio de Falla	Inicio de falla se produce en la matriz, comportamiento frágil.
Energía Promedio Absorbida	0,54 (J)
Energía Máxima al Impacto	0,45 (J)
Altura de Lanzamiento Promedio	240 mm

Tabla 4.14. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto, 80% Resina poliéster, 20% Particulado fino de cuero.

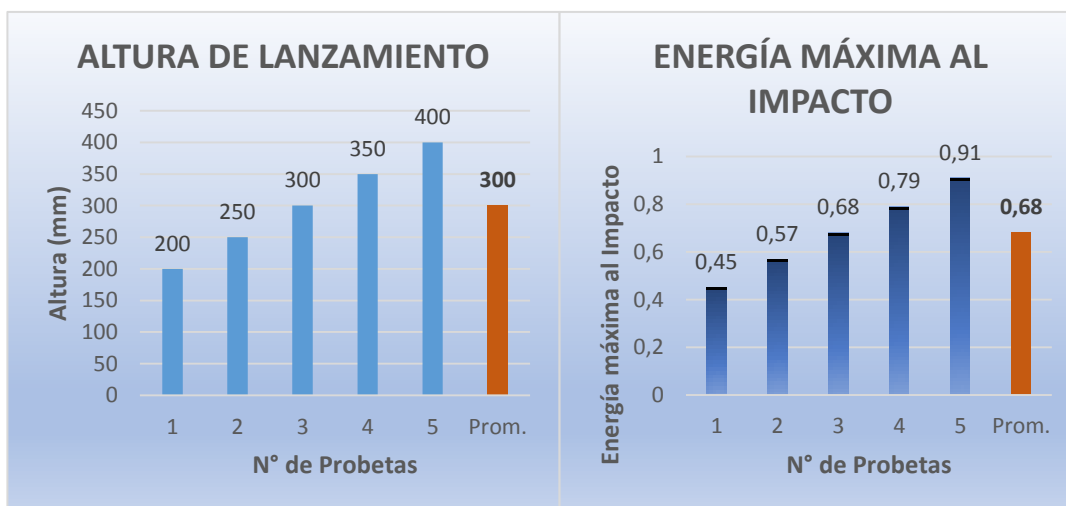
(Fuente: El Autor).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Impacto					
Datos Informativos:					
Lugar:	Laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.				
Fecha:	Ambato, 13-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina de Impacto de Dardo.				
Norma:	ASTM D5628-96 (2001) ^{e1} .				
Realizó:	Revisó:		Aprobó:		
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.		Ing. Segundo Espín. Mg.		
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	80%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	20%		
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	58 mm*58 mm*e		
Diámetro del dardo:	20 mm	Masa del dardo:	0,23146 Kg.		
Temperatura:	18 °C	Geometría del dardo:	FE		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Espesor (mm)	Altura de Lanzamiento (mm)	f Coeficiente norma	Energía máxima al Impacto (J)	Tipo de Falla
1	2,5	200	9.8066x10 ⁻³	0,45	A
2	2,4	250	9.8066x10 ⁻³	0,57	A
3	2,9	300	9.8066x10 ⁻³	0,68	A
4	2,9	350	9.8066x10 ⁻³	0,79	D
5	2,7	400	9.8066x10 ⁻³	0,91	A
Promedio \bar{x}	2,68	300	-	0,68	-
Desviación estándar	0,23	79,06	-	0,18	-
Fotografías del Ensayo:					
Probeta:	1	Peso total (g):	8,5	Peso adicional (g):	0

Tipo de Falla:	A (Grietas solamente en una superficie: La placa podría todavía sostener el agua).				
Probeta:	2	Peso total (g):	7,5	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	A (Grietas solamente en una superficie: La placa podría todavía sostener el agua).				
Probeta:	3	Peso total (g):	9,3	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	A (Grietas solamente en una superficie: La placa podría todavía sostener el agua).				
Probeta:	4	Peso total (g):	7,8	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarro).				

Probeta:	5	Peso total (g):	8,7	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	A (Grietas solamente en una superficie: La placa podría todavía sostener el agua).				

Gráficas de Resultados:



Observaciones:



- Las fracturas generadas en el material inician en la matriz, disipando la energía por las partículas de cuero, tendiendo una absorción de energía admisible.





Evaluación:


Inicio de Falla	Inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo particulado.
Energía Promedio Absorbida	0,68 (J)
Energía Máxima al Impacto	0,45 (J)
Altura de Lanzamiento Promedio	300 mm

Tabla 4.15. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto, 70% Resina poliéster, 30% Particulado fino de cuero.

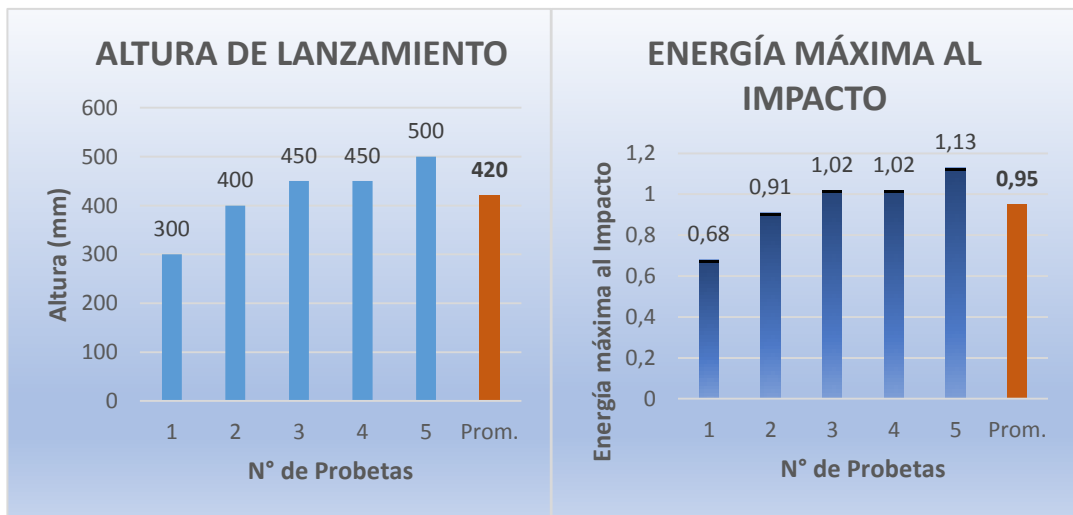
(Fuente: El Autor).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Impacto					
Datos Informativos:					
Lugar:	Laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.				
Fecha:	Ambato, 13-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina de Impacto de Dardo.				
Norma:	ASTM D5628-96 (2001) ^{e1} .				
Realizó:	Revisó:	Aprobó:			
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.	Ing. Segundo Espín. Mg.			
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	70%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	30%		
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	58 mm*58 mm*e		
Diámetro del dardo:	20 mm	Masa del dardo:	0,23146 Kg.		
Temperatura:	18 °C	Geometría del dardo:	FE		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Espesor (mm)	Altura de Lanzamiento (mm)	f Coeficiente norma	Energía máxima al Impacto (J)	Tipo de Falla
1	3,3	300	9.8066x10 ⁻³	0,68	A
2	3,1	400	9.8066x10 ⁻³	0,91	C
3	2,9	450	9.8066x10 ⁻³	1,02	D
4	3	450	9.8066x10 ⁻³	1,02	A
5	2,9	500	9.8066x10 ⁻³	1,13	D
Promedio \bar{x}	3,04	420	-	0,95	-
Desviación estándar	0,17	75,83	-	0,17	-
Fotografías del Ensayo:					
Probeta:	1	Peso total (g):	12,2	Peso adicional (g):	0

Tipo de Falla:	A (Grietas solamente en una superficie: La placa podría todavía sostener el agua).				
Probeta:	2	Peso total (g):	11,8	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	C (Fragmento quebradizo: La placa está en varias piezas luego del impacto).				
Probeta:	3	Peso total (g):	9,8	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarro).				
Probeta:	4	Peso total (g):	11,6	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	A (Grietas solamente en una superficie: La placa podría todavía sostener el agua).				

Probeta:	5	Peso total (g):	8,6	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarro).				

Gráficas de Resultados:



Observaciones:



- Las fracturas generadas en el material inician en la matriz, disipando la energía por las partículas de cuero, tendiendo una absorción de energía admisible..


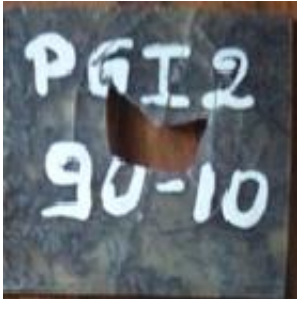


Evaluación:


Inicio de Falla	Inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo particulado.
Energía Promedio Absorbida	0,95 (J)
Energía Máxima al Impacto	0,68 (J)
Altura de Lanzamiento Promedio	420 mm

Tabla 4.16. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto, 90% Resina poliéster, 10% Particulado grueso de cuero.

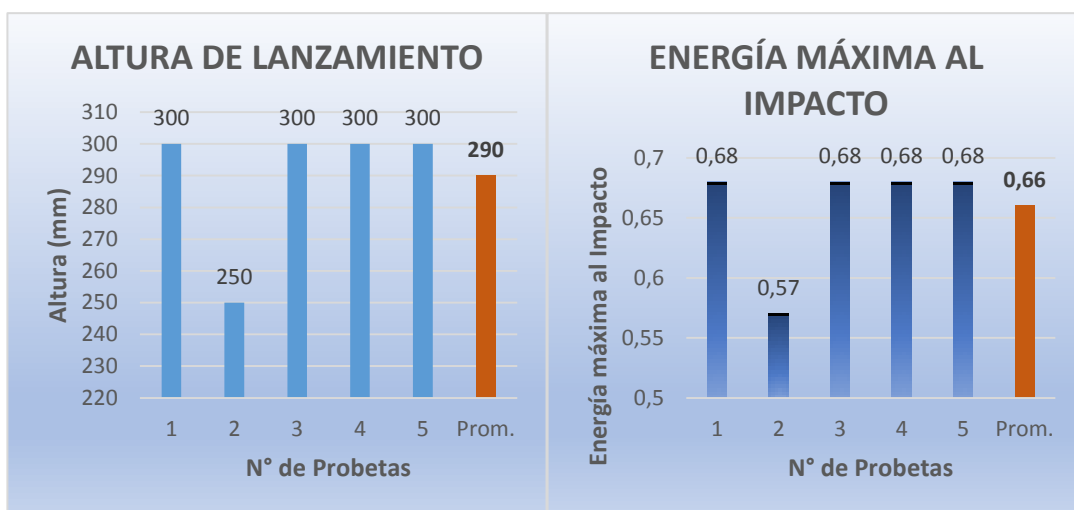
(Fuente: El Autor).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
Ensayo de Impacto						
Datos Informativos:						
Lugar:	Laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.					
Fecha:	Ambato, 13-Junio-2017.					
Tipo de máquina:	Máquina de Impacto de Dardo.					
Norma:	ASTM D5628-96 (2001) ^{e1} .					
Realizó:	Revisó:		Aprobó:			
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.		Ing. Segundo Espín. Mg.			
Parámetros de Ensayo:						
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	90%			
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	10%			
Tamaño de Partícula:	Grueso	Estratificación:	Al Vacío			
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	58 mm*58 mm*e			
Diámetro del dardo:	20 mm	Masa del dardo:	0,23146 Kg.			
Temperatura:	18 °C	Geometría del dardo:	FE			
Tabulación de Resultados:						
N° Probeta	Espesor (mm)	Altura de Lanzamiento (mm)	f Coeficiente norma	Energía máxima al Impacto (J)	Tipo de Falla	
1	3	300	9.8066×10^{-3}	0,68	D	
2	2,8	250	9.8066×10^{-3}	0,57	D	
3	3	300	9.8066×10^{-3}	0,68	D	
4	2,9	300	9.8066×10^{-3}	0,68	D	
5	2,6	300	9.8066×10^{-3}	0,68	B	
Promedio \bar{x}	2,86	290	-	0,66	-	
Desviación estándar	0,17	22,36	-	0,05	-	
Fotografías del Ensayo:						
Probeta:	1	Peso total (g):	9,1	Peso adicional (g):	0	

Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarro).				
Probeta:	2	Peso total (g):	9,8	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarro).				
Probeta:	3	Peso total (g):	9,3	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarro).				
Probeta:	4	Peso total (g):	10,3	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarro).				

Probeta:	5	Peso total (g):	8,2	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	B (grietas que penetran todo el espesor: El agua probablemente penetrará a través de la placa).				

Gráficas de Resultados:



Observaciones:



- Las fracturas generadas en el material inician en la matriz, disipando la energía y está siendo admisible en la mejor muestra.





Evaluación:


Inicio de Falla	Inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo particulado.
Energía Promedio Absorbida	0,66 (J)
Energía Máxima al Impacto	0,57 (J)
Altura de Lanzamiento Promedio	290 mm

Tabla 4.17. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto, 80% Resina poliéster, 20% Particulado grueso de cuero.

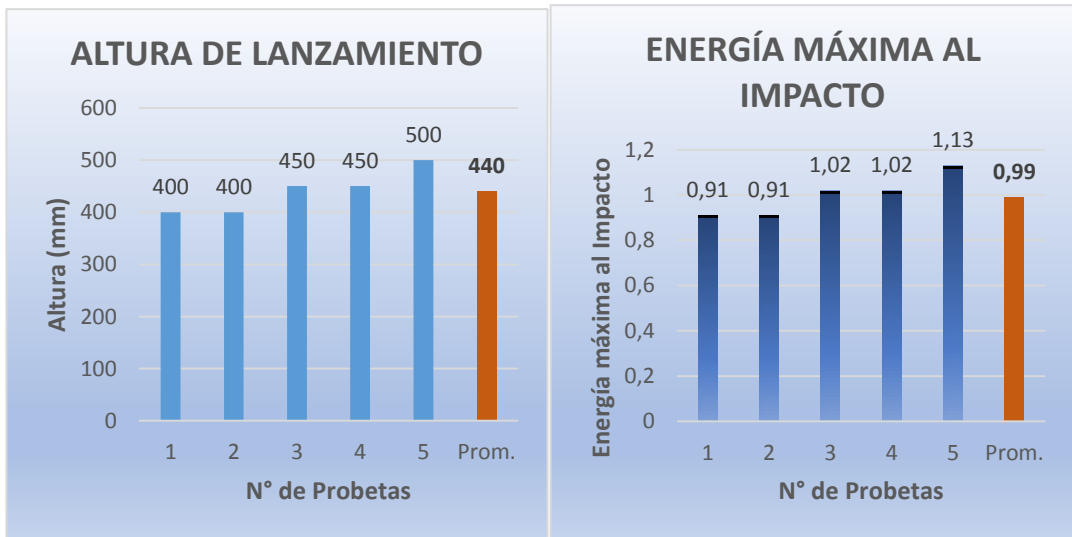
(Fuente: El Autor).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Ensayo de Impacto					
Datos Informativos:					
Lugar:	Laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.				
Fecha:	Ambato, 13-Junio-2017.				
Tipo de máquina:	Máquina de Impacto de Dardo.				
Norma:	ASTM D5628-96 (2001) ^{e1} .				
Realizó:	Revisó:		Aprobó:		
Eduardo Izurieta	Ing. Segundo Espín. Mg.		Ing. Segundo Espín. Mg.		
Parámetros de Ensayo:					
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	80%		
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	20%		
Tamaño de Partícula:	Grueso	Estratificación:	Al Vacío		
Número de probetas:	5	Dimensión de probetas:	58 mm*58 mm*e		
Diámetro del dardo:	20 mm	Masa del dardo:	0,23146 Kg.		
Temperatura:	18 °C	Geometría del dardo:	FE		
Tabulación de Resultados:					
N° Probeta	Espesor (mm)	Altura de Lanzamiento (mm)	f Coeficiente norma	Energía máxima al Impacto (J)	Tipo de Falla
1	3,1	400	9.8066×10^{-3}	0,91	C
2	2,8	400	9.8066×10^{-3}	0,91	B
3	2,6	450	9.8066×10^{-3}	1,02	B
4	3	450	9.8066×10^{-3}	1,02	B
5	3	500	9.8066×10^{-3}	1,13	D
Promedio \bar{x}	2,90	440	-	0,99	-
Desviación estándar	0,20	41,83	-	0,09	-
Fotografías del Ensayo:					
Probeta:	1	Peso total (g):	10,9	Peso adicional (g):	0

Tipo de Falla:	C (Fragmento quebradizo: La placa está en varias piezas luego del impacto).				
Probeta:	2	Peso total (g):	10,3	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	B (grietas que penetran todo el espesor: El agua probablemente penetrará a través de la placa).				
Probeta:	3	Peso total (g):	8,7	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	B (grietas que penetran todo el espesor: El agua probablemente penetrará a través de la placa).				
Probeta:	4	Peso total (g):	10,9	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	B (grietas que penetran todo el espesor: El agua probablemente penetrará a través de la placa).				
Probeta:	5	Peso total	9,6	Peso	0

		(g):		adicional (g):	
Tipo de Falla:	D (Fallo Dúctil: La placa es penetrada por un desgarro).				

Gráficas de Resultados:



Observaciones:



- Las fracturas generadas en el material inician en la matriz, disipando la energía y está siendo admisible en la mejor muestra.





Evaluación:


Inicio de Falla	Inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo particulado.
Energía Promedio Absorbida	0,99 (J)
Energía Máxima al Impacto	0,91 (J)
Altura de Lanzamiento Promedio	440 mm

Tabla 4.18. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo a impacto, 70% Resina poliéster, 30% Particulado grueso de cuero.

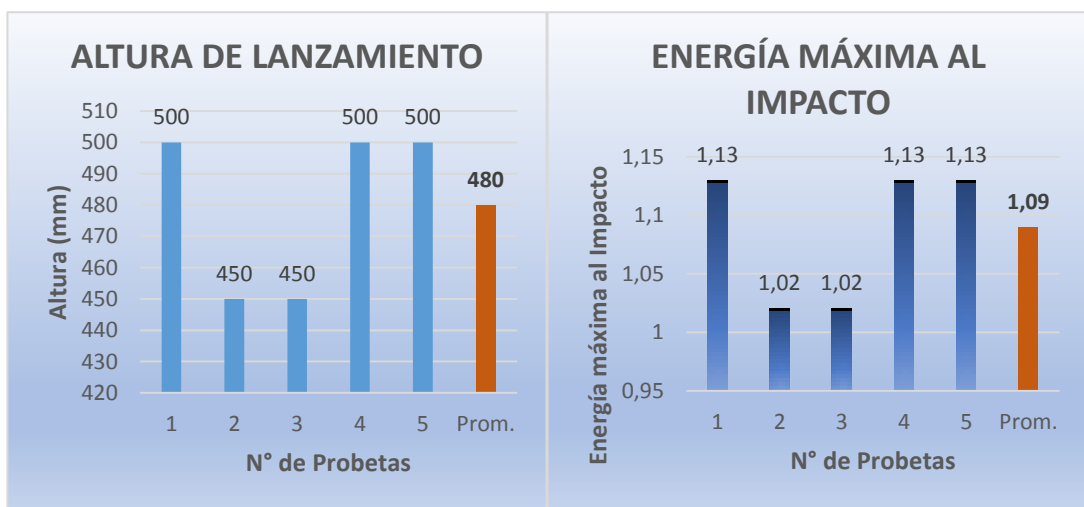
(Fuente: El Autor).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
Ensayo de Impacto						
Datos Informativos:						
Lugar:		Laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.				
Fecha:		Ambato, 13-Junio-2017.				
Tipo de máquina:		Máquina de Impacto de Dardo.				
Norma:		ASTM D5628-96 (2001) ^{e1} .				
Realizó:		Revisó:		Aprobó:		
Eduardo Izurieta		Ing. Segundo Espín. Mg.		Ing. Segundo Espín. Mg.		
Parámetros de Ensayo:						
Matriz:		Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:		70%	
Refuerzo:		Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:		30%	
Tamaño de Partícula:		Grueso	Estratificación:		Al Vacío	
Número de probetas:		5	Dimensión de probetas:		58 mm*58 mm*e	
Diámetro del dardo:		20 mm	Masa del dardo:		0,23146 Kg.	
Temperatura:		18 °C	Geometría del dardo:		FE	
Tabulación de Resultados:						
N° Probeta	Espesor (mm)	Altura de Lanzamiento (mm)	f Coeficiente norma	Energía máxima al Impacto (J)	Tipo de Falla	
1	2,4	500	9.8066×10^{-3}	1,13	C	
2	2,9	450	9.8066×10^{-3}	1,02	C	
3	2,4	450	9.8066×10^{-3}	1,02	B	
4	2,8	500	9.8066×10^{-3}	1,13	A	
5	2,7	500	9.8066×10^{-3}	1,13	A	
Promedio \bar{x}	2,64	480	-	1,09	-	
Desviación estándar	0,23	27,39	-	0,06	-	
Fotografías del Ensayo:						
Probeta:	1	Peso total (g):	8,3	Peso adicional (g):	0	
Tipo de Falla:	C (Fragmento quebradizo: La					

	placa está en varias piezas luego del impacto).				
Probeta:	2	Peso total (g):	8,5	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	C (Fragmento quebradizo: La placa está en varias piezas luego del impacto).				
Probeta:	3	Peso total (g):	9,3	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	B (grietas que penetran todo el espesor: El agua probablemente penetrará a través de la placa).				
Probeta:	4	Peso total (g):	9,7	Peso adicional (g):	0
Tipo de Falla:	A (Grietas solamente en una superficie: La placa podría todavía sostener el agua).				
Probeta:	5	Peso total	10,1	Peso	0

		(g):		adicional (g):	
Tipo de Falla:	A (Grietas solamente en una superficie: La placa podría todavía sostener el agua).				

Gráficas de Resultados:



Observaciones:

- Las fracturas generadas en el material inician en la matriz, disipando la energía por el refuerzo y tendiendo una absorción de energía admisible en el material.

Evaluación:

Inicio de Falla	Inicio de falla se produce en la matriz, la energía se disipa por el refuerzo.
Energía Promedio Absorbida	1,09 (J)
Energía Máxima al Impacto	1,02 (J)
Altura de Lanzamiento Promedio	480 mm

4.1.4. Análisis de Fractografía

Mediante el análisis de Fractografía se pudo determinar el comportamiento interno de la fractura presentada en una de las probetas luego de haber sido ensayadas a tracción, también se determinó la formación del material compuesto y su microestructura, esto con el fin de poseer resultados microscópicos del material compuesto.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el microscopio electrónico de barrido.

Tabla 4.19. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de Fractografía, 90% Resina poliéster, 10% Particulado fino de cuero.

(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Ensayo de Fractografía			
Datos Informativos:			
Lugar:	Laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.		
Fecha:	Ambato, 21-Julio-2017.		
Tipo de máquina:	Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).		
Realizó:	Revisó:	Aprobó:	
Eduardo Izurieta	PhD. Diana Coello F.	Ing. Segundo Espín. Mg.	
Parámetros de Ensayo:			
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	90%
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	10%
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al Vacío
Número de muestras:	1	Dimensión de muestra:	5mm*5mm
Proceso:	Bajo Vacío	Presión Inicial:	1.5e+001 Pa
Temperatura:	19 °C	Imagen:	BSE
Fotografías del Ensayo:			
Imagen:	<i>1</i>	Energía:	<i>10 kV</i>
		Magnitud:	<i>94X</i>

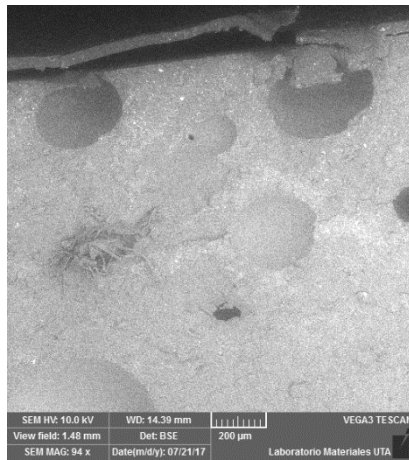


Imagen:	2	Energía:	10 kV	Magnitud:	84X
----------------	----------	-----------------	--------------	------------------	------------

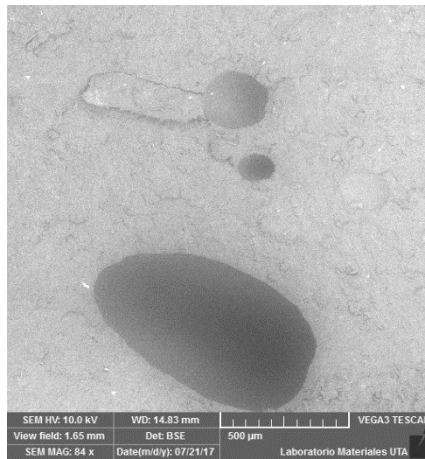
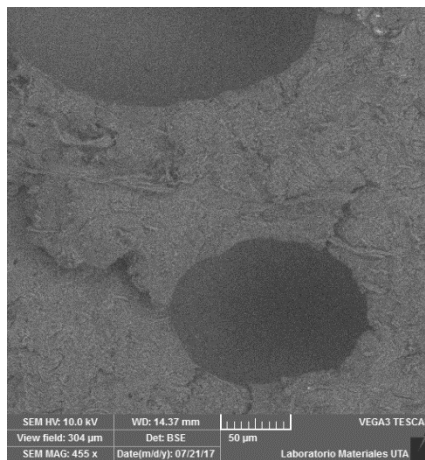


Imagen:	3	Energía:	10 kV	Magnitud:	455X
----------------	----------	-----------------	--------------	------------------	-------------



Observaciones:

- En las muestras analizadas se encuentra pequeños óvalos de un posible aire existente en el material compuesto, esto a pesar de ser eliminados con el proceso de vacío.
- En la imagen 1, se observa la microestructura de la probeta luego del ensayo de tracción, presenta un desgarramiento producto de la fractura, en la parte superior de la muestra, a una distancia de 200 micrómetros.
- En la SEM analizada a 455X podemos determinar la formación de la microestructura en forma de pequeñas fibras, observándose una falta de adhesión entre materiales combinados.

Tabla 4.20. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de Fractografía, 70% Resina poliéster, 30% Particulado fino de cuero.

(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Ensayo de Fractografía			
Datos Informativos:			
Lugar:	Laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.		
Fecha:	Ambato, 21-Julio-2017.		
Tipo de máquina:	Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).		
Realizó:	Revisó:	Aprobó:	
Eduardo Izurieta	PhD. Diana Coello F.	Ing. Segundo Espín. Mg.	
Parámetros de Ensayo:			
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	70%
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	30%
Tamaño de Partícula:	Fino	Estratificación:	Al Vacío
Número de muestras:	1	Dimensión de muestra:	5mm*5mm
Proceso:	Bajo Vacío	Presión Inicial:	1.5e+001 Pa

Temperatura:	19 °C	Imagen:	SE
---------------------	-------	----------------	----

Fotografías del Ensayo:

Imagen:	1	Energía:	3 kV	Magnitud:	73X
----------------	---	-----------------	------	------------------	-----

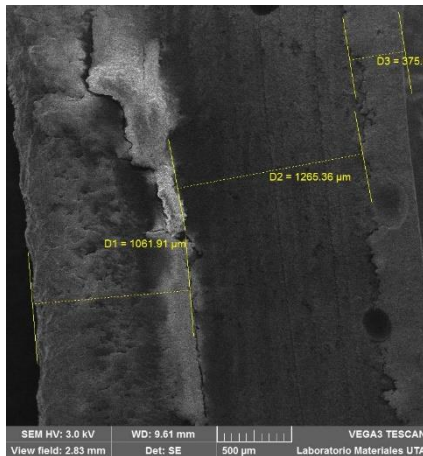


Imagen:	2	Energía:	10 kV	Magnitud:	1.23 kX
----------------	---	-----------------	-------	------------------	---------

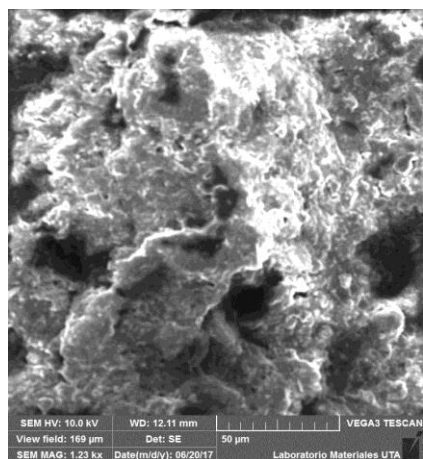
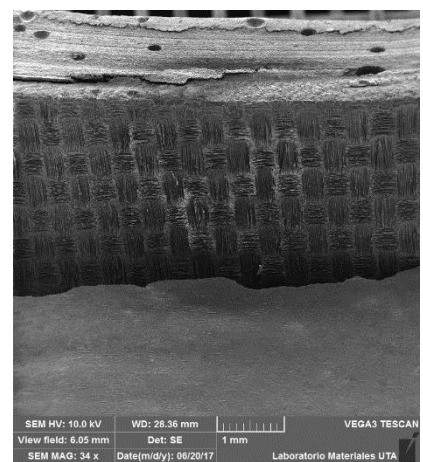


Imagen:	3	Energía:	10 kV	Magnitud:	80X
----------------	---	-----------------	-------	------------------	-----



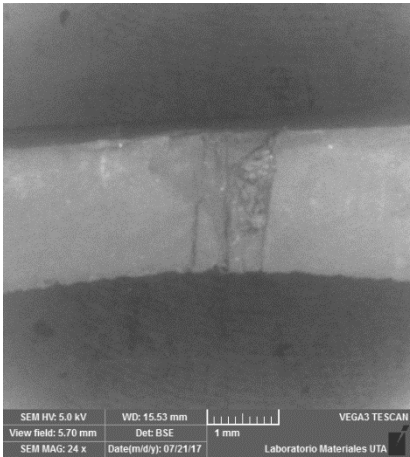
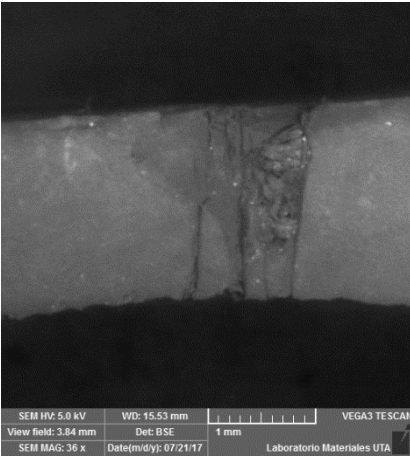
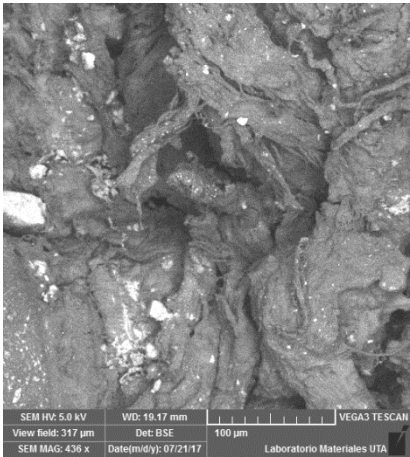
Observaciones:

- En la imagen 1, se puede observar que la microestructura del material presenta forma de sandwich, esto puede ser debido a las diferentes densidades que poseen los compuestos en combinación.
- La microestructura de la fractura de la muestra presenta fisuras y desgarro de material compuesto, produciendo una especie de polvo nuboso en el material como se observa en la imagen 2.
- En la imagen 3, se observa como esta formado la parte del acabado del material compuesto, presenta una forma de tejido de fibras.

Tabla 4.21. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de Fractografía, 90% Resina poliéster, 10% Particulado grueso de cuero.

(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Ensayo de Fractografía			
Datos Informativos:			
Lugar:	Laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.		
Fecha:	Ambato, 21-Julio-2017.		
Tipo de máquina:	Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).		
Realizó:	Revisó:	Aprobó:	
Eduardo Izurieta	PhD. Diana Coello F.	Ing. Segundo Espín. Mg.	
Parámetros de Ensayo:			
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	90%
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	10%
Tamaño de Partícula:	Grueso	Estratificación:	Al Vacío
Número de muestras:	1	Dimensión de muestra:	5mm*5mm
Proceso:	Bajo Vacío	Presión Inicial:	1.5e+001 Pa

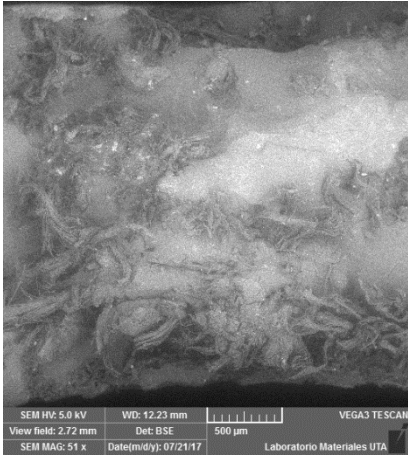
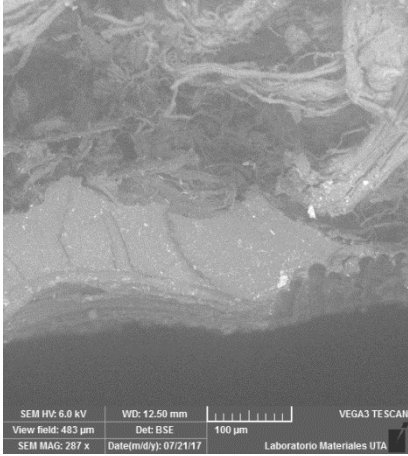
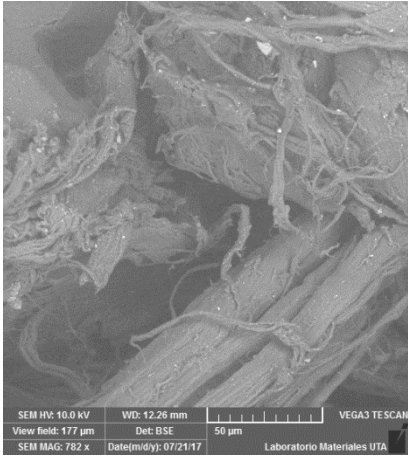
Temperatura:	19 °C	Imagen:	BSE		
Fotografías del Ensayo:					
Imagen:	1	Energía:	5 kV	Magnitud:	24X
					
Imagen:	2	Energía:	5 kV	Magnitud:	36X
					
Imagen:	3	Energía:	5 kV	Magnitud:	436X
					

Observaciones:
<ul style="list-style-type: none"> - En el centro de la muestra se observa un desgarre en forma de cristales en la zona donde sufrió la ruptura la probeta a tracción. - La presentación de la microestructura de las probetas con particulado grueso de cuero es en forma de ramificaciones. - La microestructura del material pesenta una uniformidad en el laminado, observando el refuerzo distribuido de forma aleatoria.

Tabla 4.22. Ficha técnica de recolección de datos de ensayo de Fractografía, 70% Resina poliéster, 30% Particulado grueso de cuero.

(Fuente: El Autor).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
Ensayo de Fractografía			
Datos Informativos:			
Lugar:	Laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.		
Fecha:	Ambato, 21-Julio-2017.		
Tipo de máquina:	Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).		
Realizó:	Revisó:	Aprobó:	
Eduardo Izurieta	PhD. Diana Coello F.	Ing. Segundo Espín. Mg.	
Parámetros de Ensayo:			
Matriz:	Resina Poliéster	Fracción Volumétrica:	70%
Refuerzo:	Particulado de Cuero	Fracción Volumétrica:	30%
Tamaño de Partícula:	Grueso	Estratificación:	Al Vacío
Número de muestras:	1	Dimensión de muestra:	5mm*5mm
Proceso:	Bajo Vacío	Presión Inicial:	1.5e+001 Pa
Temperatura:	19 °C	Imagen:	BSE

Fotografías del Ensayo:					
Imagen:	1	Energía:	5 kV	Magnitud:	51X
					
Imagen:	2	Energía:	6 kV	Magnitud:	287X
					
Imagen:	3	Energía:	10 kV	Magnitud:	455X
					

Observaciones:

- En la imagen 1, se localiza la presencia de la resina poliéster y el particulado grueso de cuero, en forma de pequeñas fibras o ramificaciones.
- La ruptura de la probeta se puede observar que comienza por la matriz y continuando por el refuerzo, el refuerzo presentando forma de pequeñas fibras de cuero.

4.1.5. Análisis de Toxicidad

El análisis de toxicidad del material compuesto de matriz resina poliéster con refuerzo particulado de cuero es de vital importancia ya que se combinan sustancias químicas que pueden resultar tóxicas, es decir que genere inconveniente al ser manipulado por el ser humano, de esta manera se realizó el análisis cretib con el parámetro cromo hexavalente de una de las probetas generadas con matriz poliéster y particulado de cuero, siendo evaluada mediante la norma ecuatoriana de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.

Tabla 4.23. Niveles máximos permisibles de contaminantes [20].

Sustancia química	Límite máximo permitido
Arsénico	0.05
Bario	1.0
Benceno	0.005
Cadmio	0.01
Cloruro de vinilo	0.002
Cromo hexavalente	0.05
2,4 diclorofenil acido acético	0.1
1,4 Diclorobenceno	0.075
1,2 Dicloroetano	0.005
1,1 Dicloroetileno	0.007
Endrin	0.0002
Fluoruros	4.0
Lindano	0.004
Mercurio	0.002
Metoxicloro	0.1
Nitratos	10.0
Plata	0.05

Tabla 4.24. Resultados analíticos de ensayo cretib.

(Fuente: El Autor).

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO
cromo hexavalente	EPA 1311/EPA 7197	mg/L	0,01



Mediante el análisis cretib se obtuvo un resultado de 0,01 mg/L de cromo hexavalente, comparando con la tabla de niveles máximos permisibles de contaminantes mediante la norma ecuatoriana de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos, se determina que el material compuesto de matriz resina poliéster reforzado con partículas residuales de cuero no es tóxico, es decir es amigable con el medio ambiente.

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción, flexión e impacto se muestran a continuación en la siguiente ficha técnica, para facilitar la evaluación y selección del mejor material, esto con la finalidad de evaluar la hipótesis planteada.

Tabla 4.25. Tabulación de resultados de los ensayos de tracción, flexión e impacto

(Fuente: El Autor).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA COMPOSITES					
Análisis de Resultados de Ensayos Mecánicos					
<i>Familia de probetas</i>	<i>Tracción</i>		<i>Flexión</i>		<i>Impacto</i>
	<i>Esfuerzo de Ruptura (MPa)</i>	<i>Módulo de Elasticidad (MPa)</i>	<i>Esfuerzo de Ruptura (MPa)</i>	<i>Módulo de Flexión (MPa)</i>	<i>Energía máxima al Impacto (J)</i>
1	4,49	66,17	7,55	200,46	0,54
2	2,18	42,75	6,33	159,47	0,68

3	3,1	49,39	2,93	409,2	0,95
4	3,33	97,25	9,35	246,23	0,66
5	3,92	109,31	10,1	293,71	0,99
6	5,5	154,1	16,58	548,9	1,09

Familia 1. (90% de matriz resina poliéster, 10% refuerzo particulado fino de cuero).

Familia 2. (80% de matriz resina poliéster, 20% refuerzo particulado fino de cuero).

Familia 3. (70% de matriz resina poliéster, 30% refuerzo particulado fino de cuero).

Familia 4. (90% de matriz resina poliéster, 10% refuerzo particulado grueso de cuero).

Familia 5. (80% de matriz resina poliéster, 20% refuerzo particulado grueso de cuero).

Familia 6. (70% de matriz resina poliéster, 30% refuerzo particulado grueso de cuero).

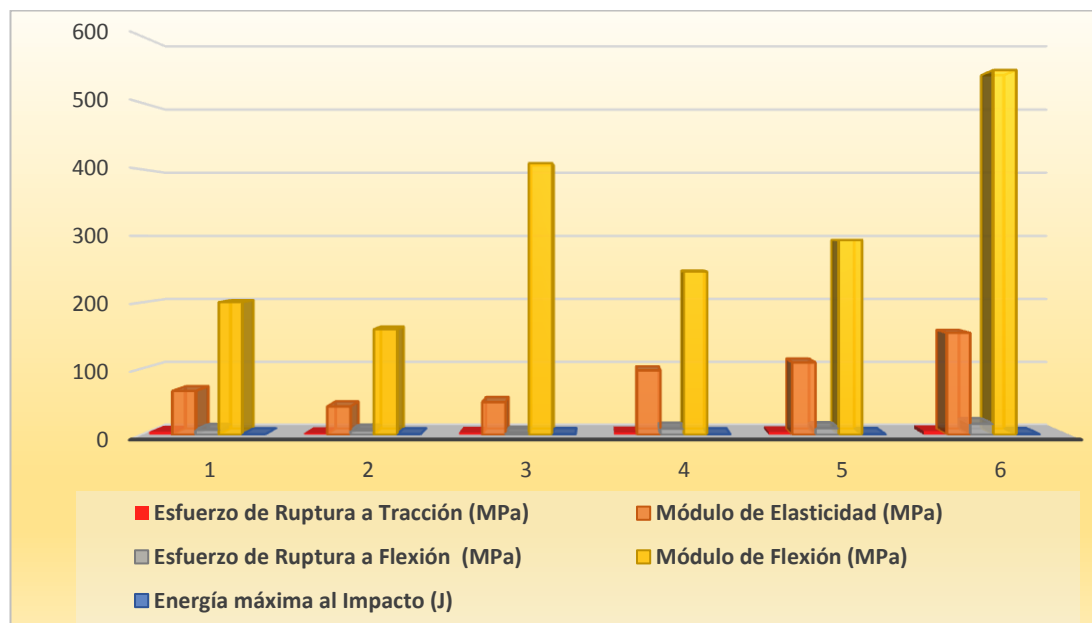


Figura 4.1. Análisis de resultados de los ensayos mecánicos.

(Fuente: El Autor)

Mediante la figura 4.1 se determinó que según el análisis de resultados de los ensayos a tracción, flexión e impacto, las mejores propiedades mecánicas obtenidas

son de la familia 6, correspondiente a la fracción volumétrica 70% matriz de resina poliéster y 30% refuerzo particulado grueso de cuero, de esta manera se efectuó que la mejor combinación se obtuvo con particulado grueso de cuero según los análisis desarrollados.

4.2.1. Interpretación de resultados.

Tabla 4.26. Interpretación de resultados de los ensayos mecánicos. **Fuente:** (El Autor)

Material	Espesor Promedio (mm)	Δ	TRACCIÓN				FLEXIÓN				IMPACTO		Aceptable/ no Aceptable (10)
			Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Δ	Módulo de Elasticidad (MPa)	Δ	Esfuerzo de Ruptura (MPa)	Δ	Módulo de Flexión (MPa)	Δ	Energía máxima al Impacto (J)	Δ	
Familia 1	3,03	-0,14	4,49	0,79	66,17	19,11	7,55	1,26	200,46	109,2	0,54	0,28	6
Familia 2	3,61	0,72	2,18	1,57	42,75	43,75	6,33	2,48	159,47	150,19	0,68	0,14	4,66
Familia 3	3,29	0,40	3,1	0,6	49,39	35,89	2,93	5,88	409,2	99,54	0,95	0,13	6
Familia 4	3,57	0,68	3,33	0,37	97,25	11,97	9,35	0,54	246,23	63,43	0,66	0,16	6,67
Familia 5	3,26	-0,37	3,92	0,22	109,31	24,03	10,1	1,29	293,71	15,95	0,99	0,17	6,67
Familia 6	2,89	0,00	5,5	1,8	154,1	68,82	16,58	7,77	548,9	239,24	1,09	0,27	10
Promedio	2,89		3,7		85,28		8,81		309,66		0,82		
Desviación estándar	0,29		1,24		43,8		4,57		145,54		0,22		

Rango de Ponderación:		
Aceptable	10	
Bueno	6	
No Aceptable	2	

Interpretación:
Para la selección del material que posee las mejores propiedades mecánicas se evaluó tomando en consideración el promedio y la desviación estándar, de esta manera configurando los límites superior intermedio e inferior para aplicar el rango de ponderación establecido.

Evaluación:
El material que posee las mejores propiedades mecánicas pertenece a la familia 6, que corresponde a la fracción volumétrica 70% de matriz resina poliéster, 30% de refuerzo particulado grueso de cuero, esfuerzo de ruptura a tracción 5,5 MPa, módulo de elasticidad 154,1 MPa, esfuerzo de ruptura a flexión 16,58 MPa, módulo de flexión 548,9 MPa, energía máxima al impacto 1,09 J.

4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

En el presente estudio realizado de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas residuales de cuero, se planteó una hipótesis la que está sujeta a verificación estadística y comparativa, con el fin de validar y exponer los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico realizado, la verificación de la hipótesis se realizó mediante el método T- student, este método ha sido empleado de acuerdo al espacio muestral obtenido en el presente estudio.

4.3.1. Hipótesis Nula (H₀)

El particulado grueso de cuero utilizado como refuerzo, en un material compuesto con matriz polimérica, no ofrecerá mejores resultados en los ensayos de tracción, flexión e impacto que el particulado fino de cuero.

4.3.2. Hipótesis Alternativa (H₁)

El particulado grueso de cuero utilizado como refuerzo, en un material compuesto con matriz polimérica, ofrecerá mejores resultados en los ensayos de tracción, flexión e impacto que el particulado fino de cuero.

La verificación de la hipótesis se desarrolló mediante un análisis de doble cola, esto debido a la afirmación o planteamiento de la hipótesis alternativa, de esta manera se planteó un nivel de confianza del 95% y un nivel de significación del 5%.

Modelo Matemático:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$$

Nivel de significación (α):

$$\alpha = \frac{0.05}{2}$$

$$\alpha = 0,025$$

Grados de Libertad:

$$gl = n_1 + n_2 - 2$$

$$gl = 5 + 5 - 2$$

$$gl = 8$$

Donde:

$gl = \text{grados de libertad.}$

$n = \text{número de muestras.}$

Tabla 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
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045

Figura 4.2. Distribución t- student [19].

Mediante la tabla t-student tenemos:

$$T_{\text{tablas}} = \pm 2,3060$$

4.3.3. Decisión y conclusión

La hipótesis nula que corresponde a “El particulado grueso de cuero utilizado como refuerzo, en un material compuesto con matriz polimérica, no ofrecerá mejores resultados en los ensayos de tracción, flexión e impacto que el particulado fino de cuero”, se acepta si el $T_{\text{calculado}}$ está dentro del rango de $\pm 2,3060$ que corresponde al T_{tablas} , caso contrario se acepta la hipótesis alternativa que corresponde a “El particulado grueso de cuero utilizado como refuerzo, en un material compuesto con matriz polimérica, ofrecerá mejores resultados en los ensayos de tracción, flexión e impacto que el particulado fino de cuero”.

4.3.4. Verificación de la hipótesis con respecto a tracción.

Se realizó la verificación de la hipótesis mediante estas familias debido a los mejores resultados presentados a tracción por la familia 6 que corresponde a 70% de matriz resina poliéster, 30% refuerzo particulado grueso de cuero y la familia 3 que corresponde a 70% de matriz resina poliéster, 30% refuerzo particulado fino de cuero.

Tabla 4.27. Tabulación de resultados de esfuerzos de ruptura a tracción con respecto a las familias 6 y 3.

(Fuente: El Autor).

Muestra	Familia 6 Esfuerzo de ruptura (MPa)	Familia 3 Esfuerzo de ruptura (MPa)
1	5,91	2,98
2	5,75	3,31
3	5,21	2,78
4	6,67	3,19
5	3,97	3,22
Promedio	5,50	3,10
Desviación estándar	1,00	0,21

$$Sp = \sqrt{\frac{(n1 - 1)s1^2 + (n2 - 1)s2^2}{n1 + n2 - 2}}$$

$$Sp = \sqrt{\frac{(5 - 1)1^2 + (5 - 1)0,21^2}{5 + 5 - 2}}$$

$$Sp = 0,72$$

$$Tcal = \frac{X1 - X2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}}}$$

$$Tcal = \frac{5,50 - 3,10}{0,72 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$Tcal = 5,27$$

$$Tcal > Ttablas$$

$$5,27 > 2,3060$$

Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que dice “El particulado grueso de cuero utilizado como refuerzo, en un material compuesto con matriz polimérica, ofrecerá mejores resultados en los ensayos de tracción, flexión e impacto que el particulado fino de cuero”.

4.3.5. Verificación de la hipótesis con respecto a flexión.

Se realizó la verificación de la hipótesis mediante estas familias debido a los mejores resultados presentados a flexión por la familia 6 que corresponde a 70% de matriz resina poliéster, 30% refuerzo particulado grueso de cuero y la familia 3 que corresponde a 70% de matriz resina poliéster, 30% refuerzo particulado fino de cuero.

Tabla 4.28. Tabulación de resultados de esfuerzos de ruptura a flexión con respecto a las familias 6 y 3.

(Fuente: El Autor).

Muestra	Familia 6 Esfuerzo de ruptura a flexión (MPa)	Familia 3 Esfuerzo de ruptura a flexión (MPa)
1	13,72	3,06
2	18,01	2,45
3	19,75	2,61
4	18,67	2,83
5	12,74	3,72
Promedio	16,58	2,93
Desviación estándar	3,14	0,49

$$Sp = \sqrt{\frac{(n1 - 1)s1^2 + (n2 - 1)s2^2}{n1 + n2 - 2}}$$

$$Sp = \sqrt{\frac{(5 - 1)3,14^2 + (5 - 1)0,49^2}{5 + 5 - 2}}$$

$$Sp = 2,25$$

$$Tcal = \frac{X1 - X2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}}}$$

$$Tcal = \frac{16,58 - 2,93}{2,25 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$Tcal = 9,59$$

$$Tcal > Ttablas$$

$$9,59 > 2,3060$$

Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que dice “El particulado grueso de cuero utilizado como refuerzo, en un material compuesto con matriz polimérica, ofrecerá mejores resultados en los ensayos de tracción, flexión e impacto que el particulado fino de cuero”.

4.3.6. Verificación de la hipótesis con respecto a impacto.

Se realizó la verificación de la hipótesis mediante estas familias debido a los mejores resultados presentados a impacto por la familia 6 que corresponde a 70% de matriz resina poliéster, 30% refuerzo particulado grueso de cuero y la familia 3 que corresponde a 70% de matriz resina poliéster, 30% refuerzo particulado fino de cuero.

Tabla 4.29. Tabulación de resultados de energía máxima al impacto con respecto a las familias 6 y 3.

(Fuente: El Autor).

Muestra	Familia 6 Resistencia al Impacto (J)	Familia 3 Energía máxima al Impacto (J)
1	1,13	0,68
2	1,02	0,91
3	1,02	1,02
4	1,13	1,02
5	1,13	1,13
Promedio	1,09	0,95
Desviación estándar	0,06	0,17

$$Sp = \sqrt{\frac{(n1 - 1)s1^2 + (n2 - 1)s2^2}{n1 + n2 - 2}}$$

$$Sp = \sqrt{\frac{(5 - 1)0,06^2 + (5 - 1)0,17^2}{5 + 5 - 2}}$$

$$Sp = 0,13$$

$$T_{cal} = \frac{X1 - X2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}}}$$

$$T_{cal} = \frac{1,09 - 0,95}{0,13 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$T_{cal} = 1,70$$

$$T_{cal} < T_{tablas}$$

$$1,70 < 2,3060$$

Como el T_{cal} es menor que T_{tablas} , se acepta la hipótesis nula que dice “El particulado grueso de cuero utilizado como refuerzo, en un material compuesto con matriz polimérica, no ofrecerá mejores resultados en los ensayos de tracción, flexión e impacto que el particulado fino de cuero”, esto nos indica que los dos materiales presentan similar absorción de energía máxima al impacto.

Como en la verificación de la hipótesis con respecto a tracción y flexión el $T_{cal} > T_{tablas}$, se acepta la hipótesis alternativa y a impacto se obtuvo $T_{cal} < T_{tablas}$, se acepta la hipótesis nula, por lo tanto mediante la verificación de hipótesis se acepta la hipótesis alternativa que dice “El particulado grueso de cuero utilizado como refuerzo, en un material compuesto con matriz polimérica, ofrecerá mejores resultados en los ensayos de tracción, flexión e impacto que el particulado fino de cuero”.

4.3.7. Comparación de propiedades mecánicas de materiales compuestos con matriz poliéster.

Tabla 4.30. Comparación de propiedades mecánicas de materiales compuestos con matriz poliéster.

(Fuente: El Autor).

Material	Esfuerzo máximo a la Tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo Máximo a la Flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad a Flexión (MPa)	Deflexión (%)
Resina poliéster +	23,53	3770	63,21	3500	1,8

fibra de coco					
Resina poliéster + cascarilla de arroz	15,45	7955	0,67	3772	3,37
Resina poliéster + fibra de tereftalato de polietileno	24,27	1119,59	0,77	2464,21	9,33
Resina poliéster + particulado de cuero	5,5	154,1	16,58	548,9	13,84

En la tabla 4.30 se realizó la comparación de las propiedades mecánicas de distintos materiales compuestos con matriz poliéster con respecto al material compuesto de matriz poliéster reforzado con partículas residuales de cuero, obteniendo una baja resistencia, pero un mayor porcentaje de deflexión.

4.4. APLICACIONES INDUSTRIALES

El material compuesto de matriz poliéster reforzado con partículas residuales de cuero presenta los siguientes resultados: Esfuerzo de ruptura a tracción 5,5 MPa, módulo de elasticidad 154,1MPa, esfuerzo de ruptura a flexión 16,58 MPa, módulo de flexión 548,9 MPa y resistencia al impacto 1,09 J, de esta manera pudiendo aplicarse el presente material compuesto en diferentes campos debido a su estética, flexibilidad y su principal característica ser liviano.

Tabla 4.31. Propiedades mecánicas de materiales para aplicaciones industriales.

(Fuente: El Autor).

Material	Espesor (mm)	Resistencia a Tracción (MPa)	Resistencia a Flexión (MPa)	Energía máxima al Impacto (J)
Caucho Nitrilo (NBR)	-	≥ 3, 5	-	-
Cielo Raso yeso	7,89	0,92	0,21	1,22

Madera MDF Delgado	3	1	45	-
-----------------------	---	---	----	---

Mediante las propiedades mecánicas de materiales sintéticos empleados en la industria de la tabla 4.31, en comparación con las propiedades mecánicas obtenidas de material compuesto de matriz poliéster reforzado con partículas residuales de cuero se dan las posibles aplicaciones industriales:

4.4.1. Industria de la construcción de viviendas

El material compuesto de matriz poliéster reforzado con partículas de cuero se puede aplicar en la construcción de cielo raso, debido a sus propiedades mecánicas ya que este no está sometido a esfuerzos considerables, de esta manera viéndose como una excelente alternativa ya que el material compuesto es amigable con el medio ambiente.

4.4.2. Industria de materiales sintéticos

El material compuesto de matriz poliéster reforzado con partículas de cuero tiene comportamiento similar al caucho sintético NBR, de esta manera pudiendo ser aplicado para roda pies, moquetas, debido a su flexibilidad y estética presentada en dicho material.

4.4.2. Mueblería.

En la industria del mueble se necesita materiales resistentes y livianos, es el caso de aplicación del material compuesto en la construcción de marcos porta retratos, tableros de escritorios, debido a su bajo peso y muy amigable con el medio ambiente siendo un factor esencial en el mundo de los materiales compuestos.

CAPITULO V

5.1. CONCLUSIONES

- La fracción volumétrica que corresponde al 70% de matriz poliéster, 30% de refuerzo particulado grueso de cuero presentó las mejores propiedades mecánicas, esfuerzo de ruptura a tracción 5,5 MPa, módulo de elasticidad 154,1MPa, esfuerzo de ruptura a flexión 16,58 MPa, módulo de flexión 548,9 MPa y resistencia al impacto 1,09 J.
- Mediante la aplicación de las normas ASTM D3039, D7264, D5628, para tracción, flexión e impacto respectivamente, se determinó las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz resina poliéster reforzado con partículas residuales de cuero.
- Mediante el análisis de resultados se determinó que el refuerzo particulado grueso de cuero presentó mejores propiedades mecánicas que el particulado fino de cuero, esto debido a su microestructura en forma de pequeñas fibras, siendo más resistente debido a su enlace entre ellas.
- El material compuesto de matriz poliéster reforzado con partículas residuales de cuero presentó similitud estética con el caucho sintético, de esta manera siendo aplicable como material sintético.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para un fácil desmolde del laminado se debe curar el molde con cera desmoldante durante unas 5 veces, posteriormente una capa de líquido desmoldante, este dejando secar durante aproximadamente unos 15 minutos, en un lugar sombreado libre de contacto con el sol.
- El proceso de enfundado para secado al vacío se debe realizar antes de que comience a cristalizarse el laminado manual, esto con el fin de poder expandir de forma regular la combinación del material compuesto para tener un acabado regular en la cara superior.
- Para tener un acabo brillante en la cara superficial del laminado se debe colocar una película adhesiva en la superficie del molde, con el propósito de tener un acabado especial en las planchas.
- En el proceso de elaboración de probetas al vacío se puede aplicar mantas térmicas en el proceso de secado, con el fin de acelerar las moléculas del material laminado y disminuir el tiempo de secado.
- El peso de los materiales a combinarse se debe realizar con la mayor exactitud posible, con el fin de garantizar los equilibrios de las fracciones volumétricas y obtener resultados adecuados mediante los ensayos a efectuarse.
- El molde para la fabricación de planchas de materiales compuestos es recomendable que sea de acero A36 para evitar pandeo en la superficie del molde.

MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía

- [1] Alejandro José Arias Fernández, «Estudio de materiales compuestos de cuero recuperado aglomerados con resina polimérica». Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú, Diciembre 2013.
- [2] J. D. V.H Guerrero y S. Gales, P Pontón, N Rosas, *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales.*, Primera Edición. Quito, 2011.
- [3] M. Biron, *Thermosets and Composites*. Oxford, Inglaterra: Elsevier, 2007.
- [4] Franco Stupenengo, «Materiales Compuestos», *Materiales y Materias Primas.*, Buenos Aires-Argentina, 2011.
- [5] Donald Askeland, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Tercera Edición, México, 1998.
- [6] James F. Shackelford, *Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*, Primera Edición. Madrid-España, 2010.
- [7] William Callister, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Segunda Edición. México, 2009.
- [8] Derek Hull, *Materiales Compuestos*, Barcelona-España, 2003.
- [9] Ligia María Vélez Moreno, *Materiales Industriales Teoría y Aplicaciones*, Primera Edición, 2008.
- [10] Marco A. Pérez, *Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación*, Primera Edición, Barcelona-España, 2014.

- [11] Michael McCann, *Industrias textiles y de la confección: Cuero Pieles y Calzado*, Primera Edición.
- [12] C. Pérez, *Los materiales compuestos y la industria naval*, Universidad Politécnica de Catalunya, España-Barcelona, 2016.
- [13] A. Miravete, *Materiales Compuestos 03*, Universidad de Zaragoza, España, 2003.
- [14] C. Núñez, A. Roca, J. Jorba, *Comportamiento mecánico de los materiales. Volumen II. Ensayos mecánicos-Ensayos no destructivos*, Segunda Edición, Barcelona-España.
- [15] S. Kalpakjian, S. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*, Cuarta Edición, México, 2002.
- [16] J. Newell, *Ciencia de Materiales-Aplicaciones en Ingeniería*, Primera Edición, México, 2012.
- [17] H. Hernández, E. Espejo, *Mecánica de fractura y análisis de falla*, Universidad Nacional de Colombia, Primera Edición, Colombia-Bogotá, 2002.
- [18] M. Ipohorski, *Fractografía electrónica: su contribución al análisis de fallas*, Asociación argentina de materiales, Volumen 1, Argentina, 2004.
- [19] [En Línea]. Available:
[Http: //dpinto.cs.buap.mx/pln/Autumn2010/tstudenttable.pdf](http://dpinto.cs.buap.mx/pln/Autumn2010/tstudenttable.pdf)fallas.
[Último acceso: 28 de Julio de 2017].
- [20] [En Línea]. Available:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/55/LIBRO%20VI%20Anexo%206%20MAnejo%20desechos%20solido%20%20peligrosos.pdf>
[Último acceso: 03 de Agosto de 2017].

ANEXOS.

ANEXO 1: Norma para ensayos a tracción ASTM D3039-00.

ANEXO 2: Norma para ensayos a flexión ASTM D7264-07.

ANEXO 3: Norma para ensayos a impacto ASTM D5628-96.

ANEXO 4: Resultados del análisis cretib.

ANEXO 5: Informe de ensayo de probetas a tracción.

ANEXO 6: Informe de ensayo de probetas a flexión.

ANEXO 1: Norma para ensayos a tracción ASTM D3039-00.



Designation: D 3039/D 3039M – 00^{e1}

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.

^{e1} 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 Laminas 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, $[\Theta]$ 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*, $\epsilon^{\text{transition}} [nd]$, 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^u —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F^s —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^c —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_1) and width plane (B_2) 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

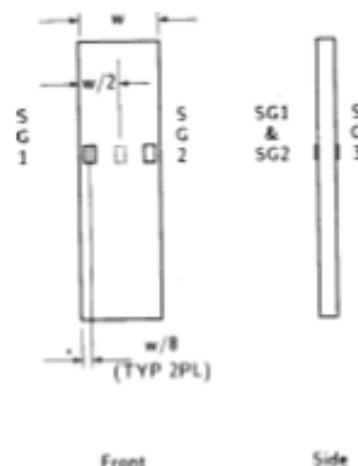


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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.

$$B_y = \frac{\epsilon_{max} - \epsilon_1}{\epsilon_{avg}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{4/3 (\epsilon_2 - \epsilon_3)}{\epsilon_{avg}} \times 100 \quad (2)$$

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, %;
- $\epsilon_1, \epsilon_2, \text{ and } \epsilon_3$ = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and
- ϵ_{avg} = $(\epsilon_1 + \epsilon_2)/2 + |\epsilon_3|/2$.

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.

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.

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.

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 General Requirements	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 Specific Recommendations	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 Detailed Examples	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 Recommendations¹

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, ²
0° unidirectional	15 [0.6]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	66 [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	—	—

¹ 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.³

8.2.2.5 Bonded 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:

$$L_{min} = F^{ult}h / F^{shear} \quad (4)$$

where:

- L_{min} = minimum required bonded tab length, mm [in.];
- F^{ult} = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
- h = coupon thickness, mm [in.]; and
- F^{shear} = 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.

¹ E-Z Flex Mesalite 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 Y14.1M, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
 2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	10	20	50	100	200	500	1000
±0.05	±0.10	±0.15	±0.20	±0.30	±0.40	±0.50	±0.60	±0.75	±0.90	±1.10	±1.40	±1.80
 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 1.4 μ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUNDNESS HEIGHT IN MICROMETERS.)
 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 SEVER ANGLE, TAB ADHESIVE.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

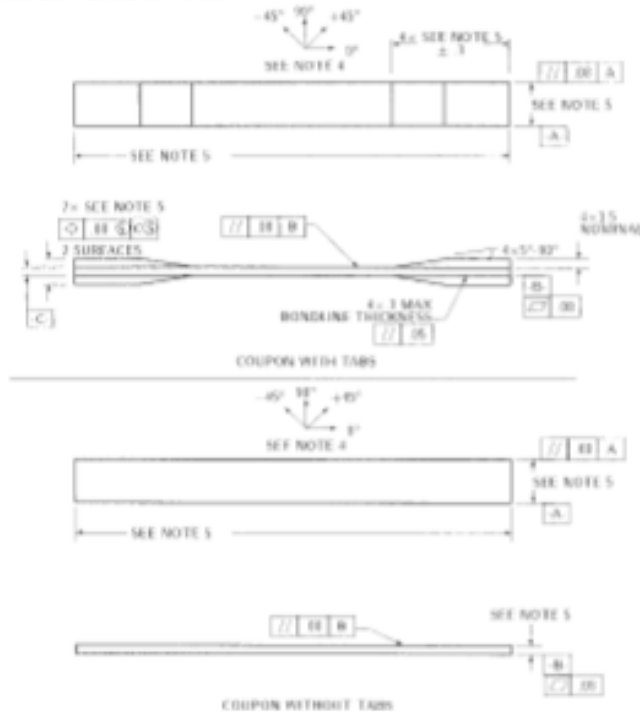


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (8)

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:

.A	.XX	.XXX
±.3	±.01	±.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√ (SYMBOLS IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICRONS).
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.

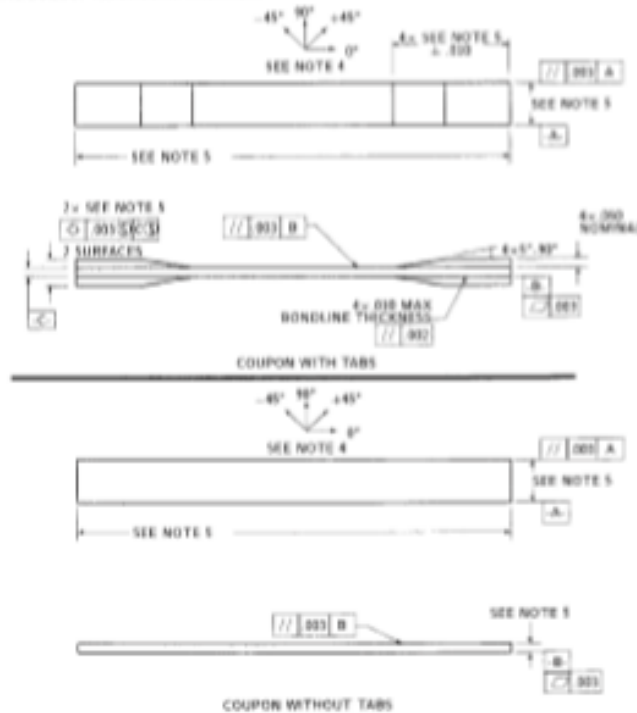


FIG. 5 Tension Test Specimen Drawing (Inch-pound)

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	
1000 ^a	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.

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

where:

- ϵ_f = indicated strain from front transducer, $\mu\epsilon$;
- ϵ_b = indicated strain from back transducer, $\mu\epsilon$; and
- B_p = 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.

$$F^u = P^u/A \quad (6)$$

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

where:

- F^u = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- P^u = 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, mm^2 [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,

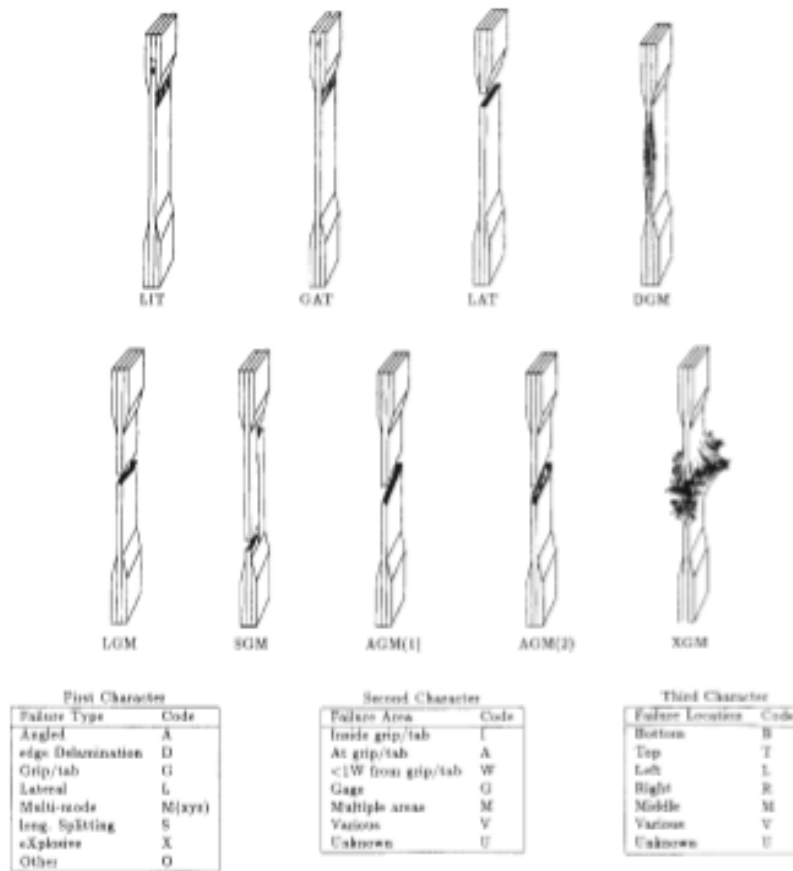


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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_v , 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

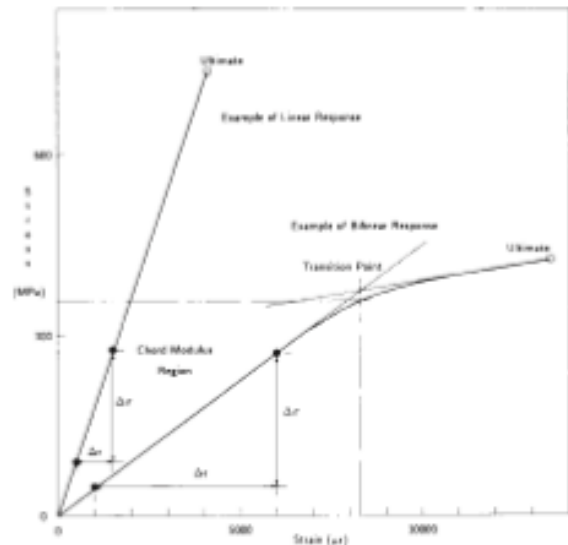


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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:

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

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

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

where:

- \bar{x} = sample mean (average);
- s_{x-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°)
- B IM-6/3501-6 uni-tape (90°)
- C IM-6/3501-6 uni-tape (90°)a
- F Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)-wrap aligned
- G Carbon/epoxy fabric (66168 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	196.37	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	0.66	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	0.06	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/\bar{X} and S_R/\bar{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 1: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.



TABLE 6 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S/X , %	Average of S_u/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 2: Norma para ensayos a flexión ASTM D7264-07.



Designation: D7264/D7264M – 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D7264/D7264M; 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 D6272, 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

D790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

D2344/D2344M Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates
D3878 Terminology for Composite Materials

D5229/D5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

D5687/D5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation

D6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

D6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
E18 Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials

E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E456 Terminology Relating to Quality and Statistics

E1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases

E1434 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 D3878 defines the terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology E6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E456 and Practice E177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D3878 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 Laminas and Laminated Test Methods.

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D7264/D7264M – 06. DOI: 10.1520/D7264_D7264M-07.

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, σ —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, E —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

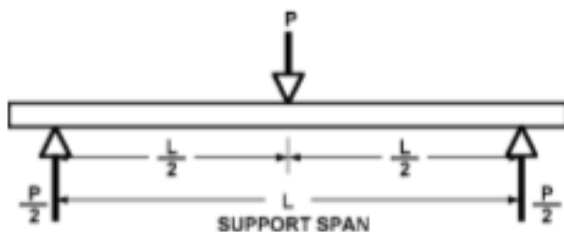


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

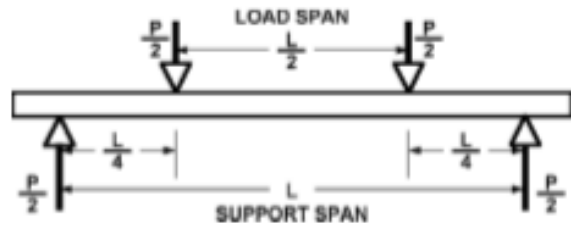


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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 D2344/D2344M.

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 D790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D6272 (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 D2344/D2344M.

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.

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.

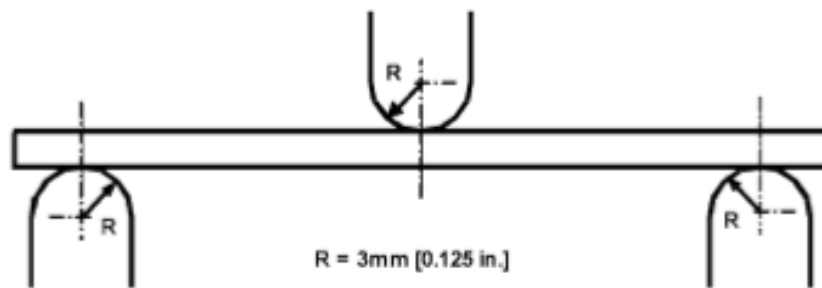
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces 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.

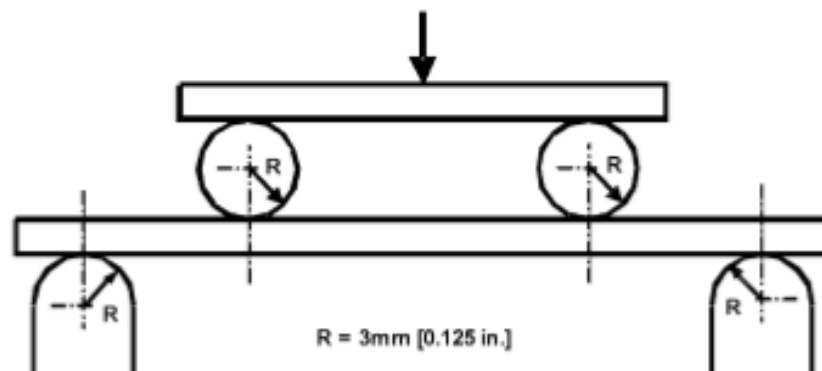
7. Apparatus

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 E4.

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 E18, 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)

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 **D5229/D5229M**. 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 **D5687/D5687M** 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 **D6856**. 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)



Nom 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.
 Nom 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)

Nom 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.

Nom 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 E122 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 D5229/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.

Nom 4—The term *moisture*, as used in Test Method D5229/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 D790 for Procedure A and Test Method D6272 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

13.1 *Maximum Flexural Stress, Procedure A*—When a beam of homogeneous, 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):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bk^2} \tag{1}$$

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.].

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 1/2 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):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bk^2} \tag{2}$$

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. H., 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

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:*

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bb^3} \quad (6)$$

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:*

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^3 m}{bb^3} \quad (7)$$

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:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \\ s_{n-1} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2}{n-1}} \\ CV &= 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}} \end{aligned} \quad (8)$$

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 Zwietsch, 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 E1309 and E1434. 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

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.

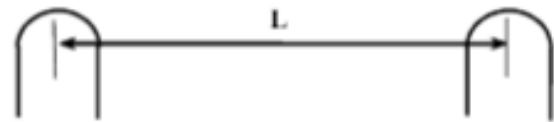


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

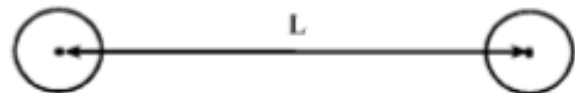


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

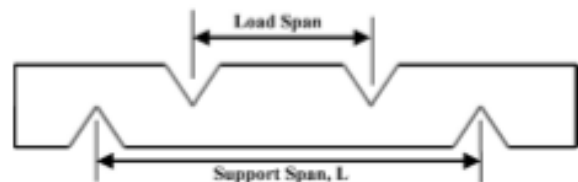


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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').

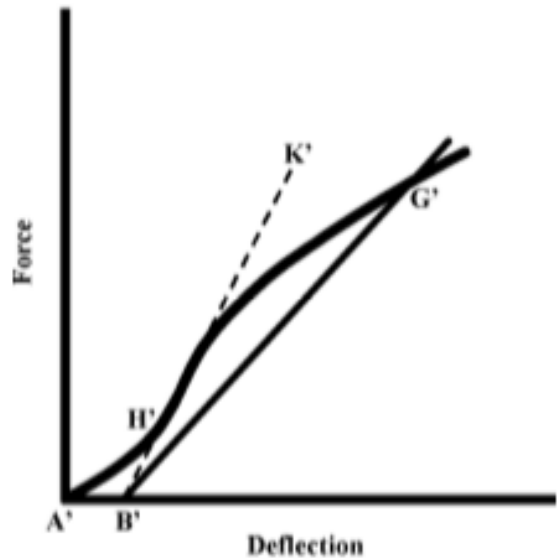


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

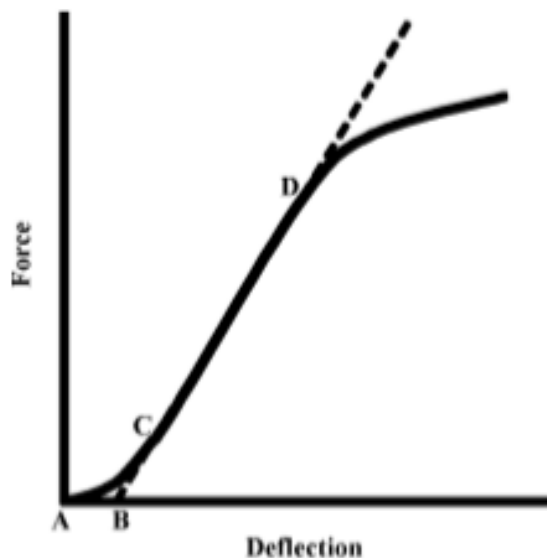


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region



D7264/D7264M – 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 19428-2958, 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 3: Norma para ensayos a impacto ASTM D5628-96.



Designation: D 5628 – 96 (Reapproved 2001)^{e1}

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 D 5628; 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.

^{e1} Note—Editorial changes were made throughout in November 2001.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative ranking of materials according to the energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup).

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 6603-1-1985 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry I \bar{E} and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation²
- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing³
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics²
- D 1709 Test Method for Impact Resistance of Plastic Film by the Free Falling Dart Method²
- D 1898 Practice for Sampling of Plastics⁴
- D 2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a

Tup Falling Weight⁵

- D 3763 Test Method for High-Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors⁶
- D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials PA⁶
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁷
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁷
- 2.2 ISO Standards:
 - ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing⁸
 - ISO 6603-1 Plastics—Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method⁸

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D 883 and D 1600.

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 the product of the constant mass and 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

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 March 10, 1996. Published July 1996. Originally published as D 5628 – 94. Last previous edition D 5628 – 95.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

⁴ Discontinued; see 1998 Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.04.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁷ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

⁸ Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

example, may be difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye may be used to confirm the onset of crack formation.

3.2.4 *mean-failure mass (impact-failure mass)*—the mass of the dart (tip) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

3.2.5 *tip*—a dart with a hemispherical nose. See 7.2 and Fig. 1.

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (tip) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass may be dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass may be 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 Bruceon Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁹ 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 tip 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 may 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 may produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC may 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 tip used in Geometry FB minimizes problems with tip 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 D 1709. They have been 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 D 3763.

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 tip must be somewhat arbitrary. While any one of the tip geometries may be selected, knowledge of the final or intended end-use application should 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 somewhat greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. 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 may be 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 may occur 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.

⁹The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

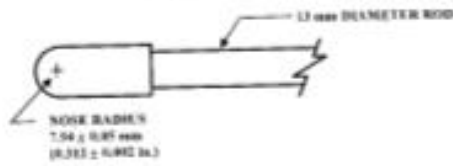


FIG. 1 (a)

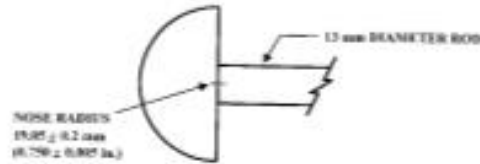
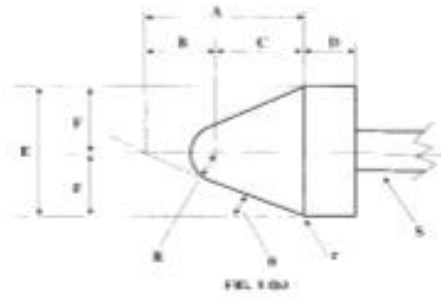


FIG. 1 (c)

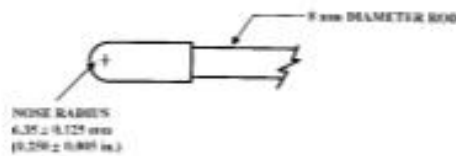


FIG. 1 (d)

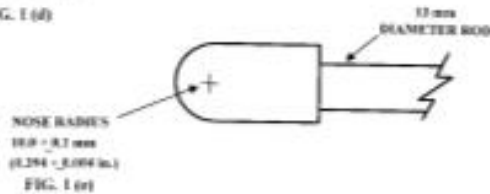


FIG. 1 (e)

Dimensions of Conical Dart (Not to scale.)—Fig. 1(b)

Note 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be $\pm 2\%$.

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°

^aLarger diameter shafts may be used.

FIG. 1 Top Geometries for Geometries FA (1a), FB (1b), FC (1c), FD (1d), and FE (1e)

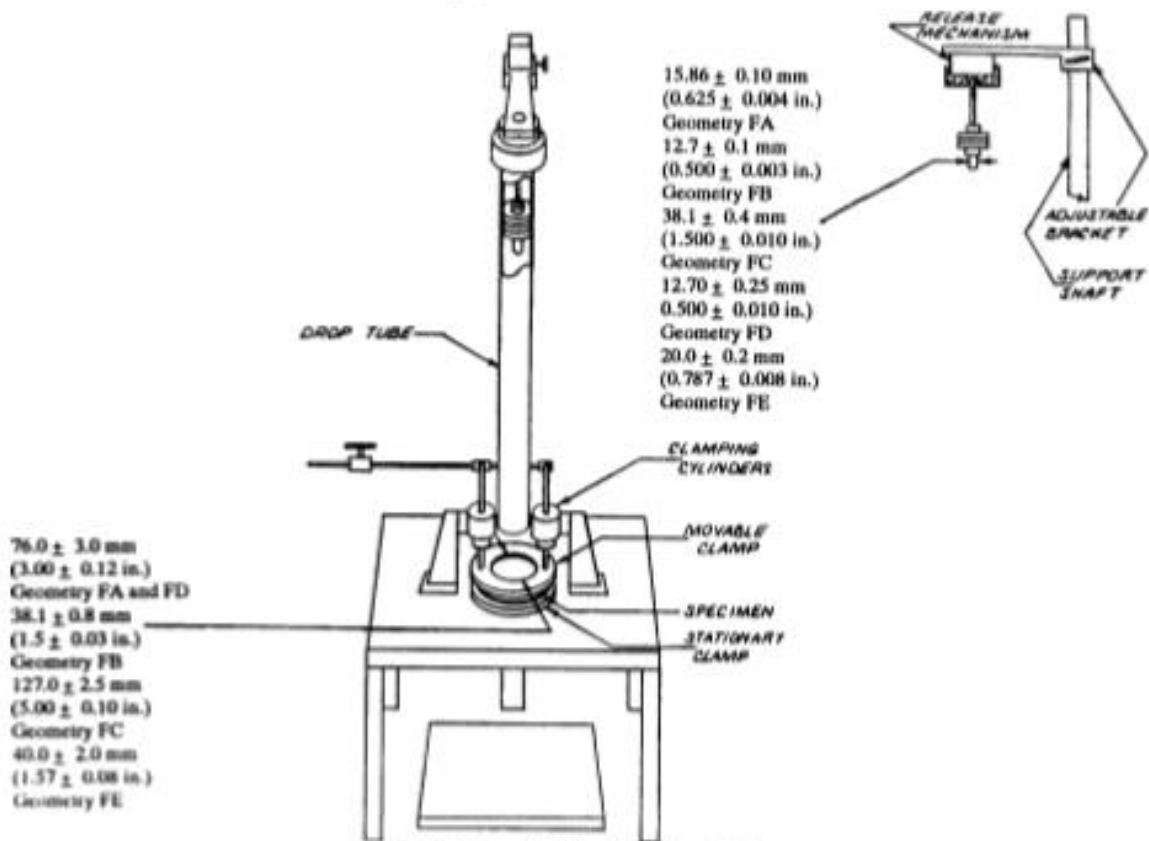


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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 tip shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

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 Tip 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 may be ensured through the use of a tube or cage within which the tip falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tip appreciably.

7.1.3 Positioning Device—Means shall be provided for positioning the tip so that the distance from the impinging surface of the tip head to the test specimen is as specified.

7.2 Tip:

7.2.1 The tip 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 tip 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

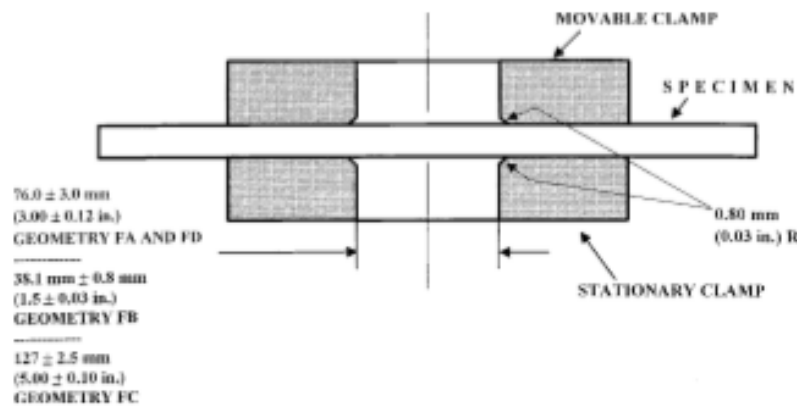


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

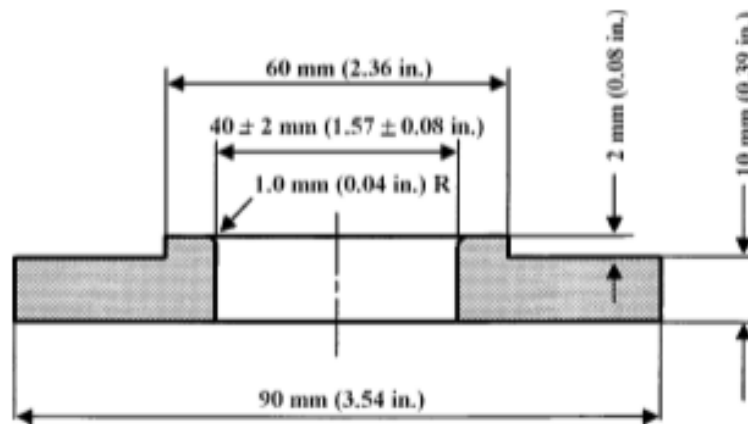


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Top and Support Ring Dimensions

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Top 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)

(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

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.

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)

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 tested. For a material of low impact resistance, the tup mass may need to be adjusted by increments of 10 g or less. Materials of high impact resistance may require increments of 1 kg or more.

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 **D 374** 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 **D 2444** shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Unless otherwise agreed upon between the manufacturer and the producer, sample the material in accordance with Sections 9 through 14 of Practice **D 1898**.

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 sample may be tested, but 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 may have flat smooth surfaces on both sides, be textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. Both surfaces may have the same texture or two different levels and types of texture. 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, condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and 50 ± 5 % relative humidity for not less than 40 h prior to test, in accordance with Procedure A of Test Methods **D 618**, for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$) and ± 2 % relative humidity. 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 nylons, the material specifications (for example, Specification **D 4066**) 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 in the standard laboratory atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and at 50 ± 5 % relative humidity, unless otherwise specified.

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 **D 618**.

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.
- 12.5 Choose a specimen at random from the sample. A random-numbers table may be used if desired.
- 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 D 618. 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 may be difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, may be used to determine the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types that may be observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification shall take precedence over the definition stated in 3.2.1. Other definitions of failure may be used if agreed upon by supplier and user.
- 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).

- 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 may 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 may 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:

$$w = w_o + d_w (AN \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 Mean-Failure Height—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h (AN \pm 0.5) \quad (2)$$

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.),
- $A = \sum_{i=0}^k i n_i$,
- $i = 0, 1, 2, \dots, k$ (counting index, starts at h_o or w_o),
- n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,
- $w_i = w_o + i d_w$, and
- $h_i = h_o + i d_h$.

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:

$$s_w = 1.62 d_w [B/N - (AN)^2] + 0.047 d_w \quad (3)$$

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.

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

- s_w = estimated standard deviation, mass, kg
- s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A_i \quad (5)$$

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:

$$S_w = Gs_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_h = Gs_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

- s_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 may be 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:

$$S_{MFE} = s_h w f \quad (8)$$

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

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.8	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.

$r = 2.03 V_r$.

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,

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 (D 5628), 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 robin¹⁰ 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 E 691. 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.

Note 9—Caution: 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 may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data

¹⁰ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR-D 20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Poly(methyl 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.
 $r = 2.83 V_r$.

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 means from testing multiple individual specimens (Bruceston 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 different 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

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				n_x	n_o	f	n_1	n_2	n_3	
	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	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X			0	4	5	0	4	0	0
6.00	O		O								O							O		O	0	5					
												Totals		9	11		9	6	8								
														(N_x)	(N_o)		(N)	(A)	(B)								

$w_o = 7.00; N = N_o = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00(6/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.620 d[(N(B - A^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 1.620(1.00)[(9(8 - 6^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 0.77 \text{ kg}$
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035(0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

n _{AV}	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	1.065	1.06	1.055	1.05
0.70	1.055	1.05	1.045	1.04	1.035	1.03	1.025	1.02	1.015	1.01
0.80	1.03	1.025	1.02	1.015	1.01	1.005	1.00	0.995	0.99	0.985
0.90	1.01	1.005	1.00	0.995	0.99	0.985	0.98	0.975	0.97	0.965
1.00	0.995	0.99	0.985	0.98	0.975	0.97	0.965	0.96	0.955	0.95
1.10	0.98	0.975	0.97	0.965	0.96	0.955	0.95	0.945	0.94	0.935
1.20	0.97	0.965	0.96	0.955	0.95	0.945	0.94	0.935	0.93	0.925
1.30	0.965	0.96	0.955	0.95	0.945	0.94	0.935	0.93	0.925	0.92
1.40	0.96	0.955	0.95	0.945	0.94	0.935	0.93	0.925	0.92	0.915
1.50	0.955	0.95	0.945	0.94	0.935	0.93	0.925	0.92	0.915	0.91
1.60	0.95	0.945	0.94	0.935	0.93	0.925	0.92	0.915	0.91	0.905
1.70	0.945	0.94	0.935	0.93	0.925	0.92	0.915	0.91	0.905	0.90
1.80	0.94	0.935	0.93	0.925	0.92	0.915	0.91	0.905	0.90	0.895
1.90	0.935	0.93	0.925	0.92	0.915	0.91	0.905	0.90	0.895	0.89
2.00	0.935	0.93	0.925	0.92	0.915	0.91	0.905	0.90	0.895	0.89

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, SPPPR*, 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.

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 two 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 19380-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9685 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO 4: Resultados del análisis Cretib.

	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
---	--

<p>INFORME DE ENSAYO No: RS- 19-17</p> <p>ST: 20 - 17 ANÁLISIS DE RESIDUOS SOLIDOS</p> <p>Nombre Peticionario: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>Atn. Eduardo Izurieta</p> <p>Dirección: Cevallos Cevallos - Tungurahua</p> <p>FECHA: 20 de Julio del 2017</p> <p>NUMERO DE MUESTRAS: 1</p> <p>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/ 07/ 20 – 12:30</p> <p>FECHA DE MUESTREO: 2017/07/19-07:00</p> <p>FECHA DE ANÁLISIS: 2017 /07/ 20 – 2017 / 08/ 01</p> <p>TIPO DE MUESTRA: Residuo Sólido</p> <p>CÓDIGO CESTTA: LAB-RS 20-17</p> <p>CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA</p> <p>PUNTO DE MUESTREO: NA</p> <p>ANÁLISIS SOLICITADO: Químico</p> <p>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Eduardo Izurieta</p> <p>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 T min.: 15.0 °C</p>	
---	--

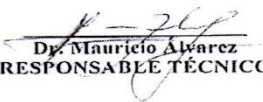
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
*Cromo Hexavalente	EPA 1311/ EPA7197	mg/L	0.01	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



ANEXO 5: Informe de ensayo de probetas a tracción.



Nota: Las probetas para tracción fueron realizadas al vacío, realizando el curado del molde y la mezcla de resina poliéster con el particulado del cuero, posteriormente ejecutado el enfundado del material para eliminar el aire existente en la mezcla, mediante una bomba de vacío, hasta mantener una depresión de -20 inHg, se dejó secar durante 18 horas, según la especificación y declaración del cliente.

ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180461381620170529-ETC 01-1	Cumple criterios dimensionales.	12/06/2017	12/06/2017
2	180461381620170529-ETC 01-2	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
3	180461381620170529-ETC 01-3	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
4	180461381620170529-ETC 01-4	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
5	180461381620170529-ETC 01-5	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
6	180461381620170529-ETC 02-1	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
7	180461381620170529-ETC 02-2	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
8	180461381620170529-ETC 02-3	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
9	180461381620170529-ETC 02-4	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
10	180461381620170529-ETC 02-5	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
11	180461381620170529-ETC 03-1	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
12	180461381620170529-ETC 03-2	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
13	180461381620170529-ETC 03-3	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
14	180461381620170529-ETC 03-4	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
15	180461381620170529-ETC 03-5	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
16	180461381620170529-ETC 04-1	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
17	180461381620170529-ETC 04-2	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
18	180461381620170529-ETC 04-3	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017

Código: RG-RM-001
 Fecha de Elaboración: 06-07-2016
 Fecha de última aprobación: 12-01-2017
 Revisión: 2


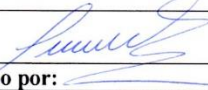
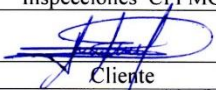

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN
 DE MUESTRAS

Página 2 de 3



19	180461381620170529-ETC 04-4	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
20	180461381620170529-ETC 04-5	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
21	180461381620170529-ETC 05-1	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
22	180461381620170529-ETC 05-2	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
23	180461381620170529-ETC 05-3	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
24	180461381620170529-ETC 05-4	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
25	180461381620170529-ETC 05-5	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
26	180461381620170529-ETC 06-1	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
27	180461381620170529-ETC 06-2	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
28	180461381620170529-ETC 06-3	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
29	180461381620170529-ETC 06-4	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017
30	180461381620170529-ETC 06-5	Cumple criterios dimensionales	12/06/2017	12/06/2017

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo, mas no en las dimensiones. El cliente acepta que se ensaye con estas observaciones.

	
Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Angel Balseca P. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 Cliente	

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.



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180461381620170619-ETC 01-1	Cumple criterios dimensionales.	19/06/2017	22/06/2017
2	180461381620170619-ETC 01-2	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
3	180461381620170619-ETC 01-3	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
4	180461381620170619-ETC 01-4	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
5	180461381620170619-ETC 01-5	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
6	180461381620170619-ETC 02-1	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
7	180461381620170619-ETC 02-2	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
8	180461381620170619-ETC 02-3	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
9	180461381620170619-ETC 02-4	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
10	180461381620170619-ETC 02-5	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
11	180461381620170619-ETC 03-1	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
12	180461381620170619-ETC 03-2	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
13	180461381620170619-ETC 03-3	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
14	180461381620170619-ETC 03-4	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017
15	180461381620170619-ETC 03-5	Cumple criterios dimensionales	19/06/2017	22/06/2017

ANEXO 6: Informe de ensayo de probetas a flexión.



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



**Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua**

ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180461381620170529-EFC 01 -1	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
2	180461381620170529-EFC 01 -2	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
3	180461381620170529-EFC 01 -3	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
4	180461381620170529-EFC 01 -4	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
5	180461381620170529-EFC 01 -5	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
6	180461381620170529-EFC 02 -1	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
7	180461381620170529-EFC 02 -2	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
8	180461381620170529-EFC 02 -3	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
9	180461381620170529-EFC 02 -4	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
10	180461381620170529-EFC 02 -5	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
11	180461381620170529-EFC 03 -1	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
12	180461381620170529-EFC 03 -2	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
13	180461381620170529-EFC 03 -3	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
14	180461381620170529-EFC 03 -4	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
15	180461381620170529-EFC 03 -5	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	13/06/2017
16	180461381620170529-EFC 04 -1	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
17	180461381620170529-EFC 04 -2	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
18	180461381620170529-EFC 04 -3	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
19	180461381620170529-EFC 04 -4	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
20	180461381620170529-EFC 04 -5	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
21	180461381620170529-EFC 05 -1	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
22	180461381620170529-EFC 05 -2	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
23	180461381620170529-EFC 05 -3	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017

Código: RG-RM-001
 Fecha de Elaboración: 06-07-2016
 Fecha de última aprobación: 09-05-2017
 Revisión: 3

**RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN
DE MUESTRAS**

Página 2 de 3



24	180461381620170529-EFC 05 -4	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
25	180461381620170529-EFC 05 -5	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
26	180461381620170529-EFC 06 -1	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
27	180461381620170529-EFC 06 -2	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
28	180461381620170529-EFC 06 -3	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
29	180461381620170529-EFC 06 -4	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017
30	180461381620170529-EFC 06 -5	No cumple criterios dimensionales.	02/06/2017	23/06/2017

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo, mas no en las dimensiones. El cliente acepta que se ensaye con estas observaciones.

	
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	

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.