

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA

(COHORTE 2017)

TEMA:

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS PRUEBAS TECNOLÓGICAS
SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPUESTOS DE RESINA
POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DEL ECUADOR
BAJO NORMA ASTM”**

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención
Diseño

Autor: Luis Geovanny Salán Guevara, Ingeniero Mecánico.

Director: Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.

Ambato- Ecuador

2019

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Juan Enrique Garcés Chávez, Mg., e integrado por : Ing. Alejandra Marlene Lascano Moreta, Mg., Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS PRUEBAS TECNOLÓGICAS SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPUESTOS DE RESINA POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DEL ECUADOR BAJO NORMA ASTM”, elaborado y presentado por el señor: Ing. Luis Geovanny Salán Guevara, para optar por el Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención Diseño; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

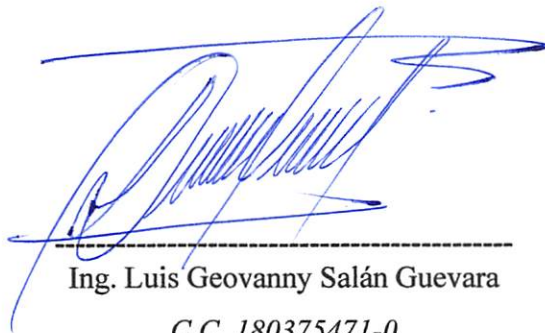
Ing. Juan Enrique Garcés Chávez, Mg.
Presidente del Tribunal

Ing. Alejandra Marlene Lascano Moreta, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS PRUEBAS TECNOLÓGICAS SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPUESTOS DE RESINA POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DEL ECUADOR BAJO NORMA ASTM”, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Luis Geovanny Salán Guevara, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Oscar Iván Analuiza Maiza Magíster, Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Luis Geovanny Salán Guevara

C.C. 180375471-0

AUTOR



Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.

C.C.180382826-6

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Luis Geovanny Salán Guevara
C.C. 180375471-0

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme tener el privilegio de vivir en su creación, e indudablemente por guiar mi camino, permitiéndome haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre Gloria “Mi Lolita” y a mi padre Hugo, por ser pilares fundamentales en mi vida y por demostrarme siempre su amor, cariño y apoyo incondicional ante el éxito y las adversidades.

A Wilmer H., Doris J., Rodrigo R. y Mariela A., porque los amo infinitamente hermanitos.

A mi sobrinito, H. Daniel Moncayo Salán, porque desde su existencia ha sido una fuente inagotable de alegría e inspiración.

L. Geovanny Salán Guevara.

“Yo que anhelé ser otro, ser un hombre de sentencias, de libros, de dictámenes a cielo abierto yaceré entre ciénagas; pero me endiosa el pecho inexplicable un júbilo secreto. Al fin me encuentro con mi destino sudamericano”.

(Borges, 1964)

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud y reconocimiento a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, que a través de su programa de Maestría en Mecánica me ha permitido conocer nuevos conocimientos que serán de gran aporte dentro de mi carrera profesional.

Y a todos los catedráticos del programa de Maestría en Mecánica que han brindado su valioso conocimiento a un nivel magistral. Y un agradecimiento especial para el distinguido Ing. Cristian Pérez Salinas, Mg., por su apoyo incondicional y al Ing. Oscar Analuiza, Mg., por ser una guía para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

| | |
|-----------------------------------|-------|
| TEMA: | I |
| PÁGINA DE APROBACIÓN | II |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN | III |
| DERECHOS DE AUTOR | IV |
| DEDICATORIA | V |
| AGRADECIMIENTO | VI |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS..... | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XII |
| ÍNDICE DE TABLAS | XVI |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | XVIII |
| RESUMEN EJECUTIVO | XIX |
| EXECUTIVE SUMMARY..... | XX |

| | |
|--|----------|
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| 1.1 Tema..... | 1 |
| 1.2 Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.2.1 Contextualización..... | 1 |
| 1.2.2 Análisis crítico | 3 |
| 1.2.3. Prognosis | 4 |
| 1.2.4. Formulación del problema | 4 |
| 1.2.5. Preguntas directrices | 5 |
| 1.2.6. Delimitación del problema..... | 5 |
| 1.2.6.1. Delimitación de contenidos..... | 5 |
| 1.2.6.2. Delimitación espacial | 5 |
| 1.2.6.3. Delimitación temporal..... | 6 |
| 1.3 Justificación..... | 6 |
| 1.4 Objetivos | 7 |
| 1.4.1 General | 7 |

| | |
|--|----------|
| 1.4.2 Específicos | 7 |
| CAPÍTULO II | 8 |
| 2.1 Antecedentes Investigativos..... | 8 |
| 2.2 Fundamentación teórica | 13 |
| 2.2.1 Ciencia e Ingeniería de los materiales..... | 13 |
| 2.2.1.1 Clasificación de los materiales..... | 13 |
| 2.2.1.2 Materiales compuestos | 14 |
| 2.2.1.3 Definición de material compuesto | 15 |
| 2.2.1.4 Clasificación de los materiales compuestos..... | 17 |
| 2.2.2 Constituyentes de un material compuesto..... | 18 |
| 2.2.2.1 Material de refuerzo | 18 |
| 2.2.2.2 Fibras naturales | 18 |
| 2.2.2.3 Fibras vegetales..... | 20 |
| 2.2.2.4 Matriz..... | 20 |
| 2.2.3 Clasificación de los materiales compuestos según la naturaleza de la matriz .. | 23 |
| 2.2.3.1 Materiales utilizados como matriz | 26 |
| 2.2.4 Fabricación de materiales compuestos de matriz polimérica..... | 28 |
| 2.2.4.1 Procesos de fabricación de materiales compuestos..... | 29 |
| 2.2.5 Prueba tecnológicas..... | 32 |
| 2.2.5.1 Prueba de radiación ultravioleta (UV) | 32 |
| 2.2.5.2 Prueba de humedad | 35 |
| 2.2.6 Caracterización mecánica..... | 38 |
| 2.2.6.1 Ensayo de materiales..... | 38 |
| 2.3 Fundamentación Filosófica | 42 |
| 2.4 Fundamentación legal | 42 |
| 2.5 Categorías fundamentales | 43 |
| 2.6 Hipótesis..... | 43 |
| 2.7 Señalamiento de variables..... | 43 |
| 2.7.1 Variable independiente..... | 43 |
| 2.7.2 Variable dependiente..... | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 2.7.3 Término de relación | 44 |
| CAPÍTULO III..... | 45 |
| 3.1 Enfoque | 45 |
| 3.2 Modalidad Básica de la investigación..... | 45 |
| 3.2.1 De campo | 45 |
| 3.2.2 Bibliográfico | 46 |
| 3.2.3 Experimental | 46 |
| 3.2.4 Aplicada | 46 |
| 3.3 Nivel o tipo de investigación | 47 |
| 3.3.1 Descriptivo | 47 |
| 3.3.2 Asociación de variables..... | 47 |
| 3.3.3 Explicativo | 47 |
| 3.4 Población y muestra | 47 |
| 3.4.1 Población..... | 47 |
| 3.4.2 Muestra..... | 48 |
| 3.5 Operacionalización de variables | 49 |
| 3.5.1 Variable Independiente | 49 |
| 3.5.2 Variable Dependiente..... | 50 |
| 3.6 Recolección de la información..... | 51 |
| 3.7 Procesamiento y análisis | 52 |
| 3.7.1 Plan de procesamiento | 52 |
| 3.7.2 Plan de análisis e interpretación de resultados..... | 53 |
| CAPÍTULO IV | 54 |
| 4.1 Análisis de resultados..... | 54 |
| 4.1.1 Proceso para el análisis de resultados | 54 |
| 4.1.2 Presentación de la Filosofía Experimental..... | 57 |
| 4.1.3 Selección y planteamiento esquemático de diseño experimental para ejecución del objeto de estudio particularizado para cada uno de los ensayos | 57 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.4 Determinación del número de probetas para ejecución del objeto de estudio particularizando cada uno de los ensayos | 58 |
| 4.1.5 Selección y planteamiento esquemático de diseño experimental para ejecución del objeto de estudio integral entre pruebas tecnológicas y tipos de composites | 60 |
| 4.1.6 Preparación de los composites | 61 |
| 4.1.6.1 Proceso de elaboración de los composites de estudio | 61 |
| 4.1.6.2 Determinación de la fracción volumétrica | 66 |
| 4.2 Presentación de resultados | 74 |
| 4.3 Interpretación de resultados | 107 |
| 4.3.1 Tendencia de los efectos de Radiación UV en las propiedades mecánicas de los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano | 107 |
| 4.3.1.1 Porcentajes de pérdida de las propiedades mecánicas por los efectos de Radiación UV en los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano | 111 |
| 4.3.2 Tendencia de Absorción de Humedad para los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano | 113 |
| 4.3.3 Tendencia de los efectos de la Humedad en las propiedades mecánicas de los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano | 115 |
| 4.3.3.1 Porcentaje de pérdida de las propiedades mecánicas por los efectos del Ensayo de Humedad en los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano | 119 |
| 4.3.4 Efecto de las Pruebas Tecnológicas en las propiedades mecánicas de los composites de fibra de cabuya y plátano | 121 |
| 4.3.4.1 Porcentaje de pérdida de las propiedades mecánicas por influencia de las pruebas Tecnológicas en los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano | 123 |
| 4.3.5 Desarrollo del diseño experimental planteado (DOE) | 126 |
| 4.5 Verificación de hipótesis | 143 |
| | |
| CAPÍTULO V | 147 |
| 5.1. Conclusiones | 147 |
| 5.2. Recomendaciones | 149 |
| | |
| CAPÍTULO VI | 151 |
| 6.1. Datos informativos | 151 |
| 6.2. Antecedentes de la propuesta | 152 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 6.3 Justificación..... | 153 |
| 6.4. Objetivos | 154 |
| 6.4.1 General | 154 |
| 6.4.2 Específicos | 154 |
| 6.5 Análisis de factibilidad..... | 155 |
| 6.6 Fundamentación | 156 |
| 6.7 Metodología | 157 |
| 6.8 Administración..... | 169 |
| 6.9 Previsión de la evaluación..... | 170 |
| 7. Referencias bibliográficas..... | 171 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 2.1. Clasificación de Materiales para Ingeniería | 14 |
| Figura 2.2. Formación del Material Compuesto (Resina-Fibra) | 15 |
| Figura 2.3. Componentes de los composites | 16 |
| Figura 2.4. Propiedades Mecánicas (Refuerzo – Matriz - Compuesto) | 16 |
| Figura 2.5. Clasificación de los Materiales Compuestos | 17 |
| Figura 2.6. Clasificación de fibras naturales | 19 |
| Figura 2.7. Comportamiento de fibras naturales a carga de compresión | 21 |
| Figura 2.8. Comportamiento de fibras naturales a carga de tracción | 21 |
| Figura 2.9. Resumen de los procesos de fabricación de los materiales compuestos. | 29 |
| Figura 2.10. Método de impregnación manual | 30 |
| Figura 2.11. Método de proyección (Spray-up) | 30 |
| Figura 2.12. Procedimiento de moldeo con saco: (a) a vacío y (b) en autoclave..... | 31 |
| Figura 2.13. Enrollamiento de filamentos | 31 |
| Figura 2.14. Máquina universal - Ensayo a tracción | 39 |
| Figura 2.15. Equipo típico de ensayo de tracción | 39 |
| Figura 2.16. Máquina universal - Ensayo a flexión | 40 |
| Figura 2.17. Esquema simplificado de flexión de tres puntos. | 41 |
| Figura 2.18. Categorías fundamentales | 43 |
| Figura 3.1. Proceso recolección de información | 51 |
| Figura 4.1. Proceso de Análisis de Resultados | 56 |
| Figura 4.2. a) Hoja de cabuya y b) Tallo de plátano | 62 |
| Figura 4.3. a) Fibra de cabuya y b) Fibra de plátano | 62 |
| Figura 4.4. Peinado de las fibras | 62 |
| Figura 4.5. Tejido de fibras | 63 |
| Figura 4.6. a) Telar con fibra de cabuya y b) Telar con fibra de plátano..... | 63 |
| Figura 4.7. Medición del peso de probetas | 66 |
| Figura 4.8. Influencia de la Radiación UV en la Resistencia a la Tracción..... | 107 |
| Figura 4.9. Influencia de la Radiación UV en el Módulo de Elasticidad..... | 108 |
| Figura 4.10. Influencia de la Radiación UV en el Esfuerzo de Flexión..... | 109 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.11. Influencia de la Radiación UV en el Módulo de Flexión | 110 |
| Figura 4.12. Porcentaje de pérdida de la Resistencia a la Tracción por efecto de la Radiación UV..... | 111 |
| Figura 4.13. Porcentaje de pérdida del Módulo de Elasticidad por efecto de la Radiación UV..... | 111 |
| Figura 4.14. Porcentaje de pérdida del Esfuerzo de Flexión por efecto de la Radiación UV | 112 |
| Figura 4.15. Porcentaje de pérdida del Módulo de Flexión por efecto de la Radiación UV | 112 |
| Figura 4.16. Absorción de humedad de materiales de refuerzo en probetas a tracción | 113 |
| Figura 4.17. Absorción de humedad de materiales de refuerzo en probetas a flexión | 114 |
| Figura 4.18. Influencia de la Humedad en la Resistencia a la Tracción | 115 |
| Figura 4.19. Influencia de la Humedad en el Módulo de Elasticidad..... | 116 |
| Figura 4.20. Influencia de la Humedad en el Esfuerzo de Flexión | 117 |
| Figura 4.21. Influencia de la Humedad en el Módulo de Flexión..... | 118 |
| Figura 4.22. Porcentaje de pérdida de la Resistencia a la Tracción por efecto de la Humedad | 119 |
| Figura 4.23. Porcentaje de pérdida de la Resistencia a la Tracción por efecto de la Humedad. | 119 |
| Figura 4.24. Porcentaje de pérdida de Esfuerzo de Flexión por efecto de la Humedad | 120 |
| Figura 4.25. Porcentaje de pérdida del Módulo de Flexión por efecto de la Humedad | 120 |
| Figura 4.26. Influencia de las Pruebas Tecnológicas en la Resistencia a la Tracción y Módulo de Elasticidad | 121 |
| Figura 4.27. Influencia de las Pruebas Tecnológicas en el Esfuerzo de Flexión y Módulo de Flexión | 122 |
| Figura 4.28. Porcentaje de pérdida de las propiedades de Resistencia a la Tracción y Módulo de Elasticidad por influencia de las Pruebas Tecnológicas | 123 |
| Figura 4.29. Porcentaje de pérdida de las propiedades de Esfuerzo de Flexión y Módulo de Flexión por influencia de las Pruebas Tecnológicas..... | 125 |
| Figura 4.30. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Resistencia a la Tracción por efectos UV | 127 |
| Figura 4.31. Interacción para Resistencia a la Tracción por efecto UV | 128 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.32. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Esfuerzo de Flexión por efectos UV..... | 130 |
| Figura 4.33. Interacción para Esfuerzo de Flexión por efecto UV | 130 |
| Figura 4.34. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – % de Absorción de Humedad. | 132 |
| Figura 4.35. Interacción para el % de Absorción de Humedad | 133 |
| Figura 4.36. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Resistencia a la Tracción por efectos de Humedad..... | 135 |
| Figura 4.37. Interacción para Resistencia a la Tracción por efectos de Humedad .. | 136 |
| Figura 4.38. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Esfuerzo de Flexión por efectos de Humedad | 137 |
| Figura 4.39. Interacción para Esfuerzo de Flexión por efectos de Humedad | 138 |
| Figura 4.40. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Resistencia a la Tracción por efectos de las Pruebas Tecnológicas..... | 140 |
| Figura 4.41. Interacción para Resistencia a Tracción por efectos por efectos de las Pruebas Tecnológicas..... | 140 |
| Figura 4.42. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Esfuerzo de Flexión por efectos de las Pruebas Tecnológicas. | 142 |
| Figura 4.43. Interacción para Esfuerzo de Flexión por efectos de las Pruebas Tecnológicas | 143 |
| Figura 6.1. Proyección de la Influencia de la Radiación UV en la Resistencia a la Tracción | 152 |
| Figura 6.2. a) Arco patrón de la estructura del techo de autobuses, b) Modelo de forro interior de techo de autobuses | 155 |
| Figura 6.3. Proyecto para análisis por elementos finitos | 160 |
| Figura 6.4. Proyecto para análisis por elementos finitos | 161 |
| Figura 6.5. Modelo geométrico para el análisis por elementos finitos | 161 |
| Figura 6.6. Definiciones preliminares del proyecto para el procesamiento en ACP (pre) | 162 |
| Figura 6.7. Material compuesto resina - fibra de plátano en ACP (pre)..... | 162 |
| Figura 6.8. Aplicación de condiciones de borde al modelo | 163 |
| Figura 6.9. Verificación de calidad de mallado de la geometría – Aspect Ratio..... | 163 |
| Figura 6.10. Deformación direccional en el eje de coordenadas Z del sistema. | 164 |
| Figura 6.11. a) Deformación máxima direccional en el eje Z del sistema y b) Restitución del sistema luego del impacto..... | 165 |

| | |
|---|-----|
| Figura 6.12. Deformación direccional en el eje de coordenadas Z de la probeta de estudio. | 165 |
| Figura 6.13. Comportamiento de la deformación direccional en el eje de coordenadas Z de la probeta de estudio | 166 |
| Figura 6.14. Esfuerzos equivalentes en el material compuesto de estudio | 166 |
| Figura 6.15. Distribución de esfuerzos equivalentes en la probeta de estudio | 166 |
| Figura 6.16. a) Prototipo modular para forro interior del techo de autobuses | 167 |
| Figura 6.16. b) Prototipo modular para forro interior decorativo del techo de autobuses | 168 |
| Figura 6.17. Despliegue de otras aplicaciones para el material compuesto analizado | 168 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 2.1. Características de las matrices termoestables | 25 |
| Tabla 2.2. Propiedades típicas de las resinas epoxi y poliéster usadas en los materiales compuestos..... | 28 |
| Tabla 4.1. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Resistencia a Tracción por efectos de Ensayo UV | 57 |
| Tabla 4.2. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Esfuerzo de Flexión por efectos de Ensayo UV | 57 |
| Tabla 4.3. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Resistencia a la Tracción por efectos del Ensayo de Humedad | 58 |
| Tabla 4.4. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Esfuerzo de Flexión por efectos del Ensayo de Humedad | 58 |
| Tabla 4.5. Número de probetas por composite y condición de prueba | 59 |
| Tabla 4.6. Diseño factorial – Análisis de mediciones de % de Humedad de absorción | 60 |
| Tabla 4.7. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Resistencia a Tracción por Efectos de los Ensayos Tecnológicos | 60 |
| Tabla 4.8. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Esfuerzo de Flexión por Efectos de los Ensayos Tecnológicos | 61 |
| Tabla 4.9. Proceso básico para obtener las probetas de estudio..... | 65 |
| Tabla 4.9. Determinación de la densidad promedio del compuesto con refuerzo de fibra de cabuya en probetas a tracción..... | 67 |
| Tabla 4.10. Densidad de la fibra cabuya en resina de moldeo | 67 |
| Tabla 4.11. Determinación de la densidad promedio del compuesto con refuerzo de fibra de plátano en probetas a tracción..... | 69 |
| Tabla 4.12. Densidad de la fibra plátano en resina de moldeo | 69 |
| Tabla 4.13. Determinación de la densidad promedio del compuesto con refuerzo de fibra de cabuya en probetas a flexión..... | 71 |
| Tabla 4.14. Determinación de la densidad promedio del compuesto con refuerzo de fibra de plátano en probetas a flexión. | 72 |
| Tabla 4.15. Distribución de la realización de ensayos del estudio en laboratorios.... | 74 |
| Tabla 4.16. Diseño factorial – Mediciones de Resistencia a Tracción - UV | 126 |
| Tabla 4.17. Análisis de varianza de resistencia a la tracción por efecto UV | 127 |
| Tabla 4.18. Diseño factorial – Mediciones de Esfuerzo de Flexión (UV)..... | 129 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.19. Análisis de varianza de esfuerzo de flexión por efectos UV | 129 |
| Tabla 4.20. Diseño factorial – Mediciones del % de Humedad de absorción | 131 |
| Tabla 4.21. Análisis de varianza del % de humedad de absorción. | 131 |
| Tabla 4.22. Diseño factorial – Mediciones de Resistencia a la Tracción por efectos del ensayo de Humedad | 134 |
| Tabla 4.23. Análisis de varianza de la resistencia a la tracción por efectos del ensayo de Humedad | 134 |
| Tabla 4.24. Diseño factorial – Mediciones de Esfuerzo de Flexión por efectos del ensayo de Humedad | 136 |
| Tabla 4.25. Análisis de varianza de esfuerzo de flexión por efectos del ensayo de Humedad | 137 |
| Tabla 4.26. Diseño factorial – Mediciones de Resistencia a Tracción por efectos de las Pruebas Tecnológicas..... | 139 |
| Tabla 4.27. Análisis de varianza de la resistencia a la tracción por efectos de las pruebas tecnológicas | 139 |
| Tabla 4.28. Diseño factorial – Mediciones de Esfuerzo de Flexión por efectos de las Pruebas Tecnológicas..... | 141 |
| Tabla 4.29. Análisis de varianza de esfuerzo de flexión por efectos de las pruebas tecnológicas..... | 141 |
| Tabla 4.30. Resumen del valor-p asociado al efecto de la prueba tecnológica sobre las propiedades mecánicas..... | 144 |
| Tabla 6.1. Propiedades mecánicas del compuesto (resina poliéster + fibra de plátano) | 156 |
| Tabla 6.2. Tabulación de propiedades mecánicas del compuesto (resina poliéster + fibra de plátano) | 160 |
| Tabla 6.3. Presentación de costos | 169 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo A: Informe de ensayo de tracción - línea base | 177 |
| Anexo B: Informe de ensayo de flexión - línea base | 182 |
| Anexo C: Informe de ensayo de UV | 187 |
| Anexo D: Informe de ensayo de tracción post exposición a 100 y 200 horas a UV | 199 |
| Anexo E: Informe de ensayo de flexión post exposición a 100 y 200 horas a UV.. | 205 |
| Anexo F: Informe de ensayo de humedad | 211 |
| Anexo G: Informe de ensayo de tracción post exposición a humedad | 216 |
| Anexo H: Informe de ensayo de flexión post exposición a humedad..... | 221 |
| Anexo I: Norma NTE INEN 1723:2011 | 226 |
| Anexo J: Norma NTE INEN 1669:2011 | 230 |
| Anexo K: Norma ASTM D 3039 / D 3039M | 243 |
| Anexo L: Norma ASTM G 155 - 13 | 256 |
| Anexo M: Norma ASTM D 7264 / D 7264M - 07 | 267 |
| Anexo N: Norma ASTM D 570 - 98..... | 277 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN MECÁNICA

Tema: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS PRUEBAS TECNOLÓGICAS SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPUESTOS DE RESINA POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DEL ECUADOR BAJO NORMA ASTM”

Autor: Ing. Luis Geovanny Salán Guevara.

Director: Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.

Fecha: 22 de Julio del 2019.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento responde a un trabajo investigativo, frente al desconocimiento del grado de degradación de los composites en servicio a la intemperie, para ello se realizó el estudio de la influencia de la radiación UV y humedad, consideradas como pruebas tecnológicas, en las propiedades mecánicas de tracción y flexión en dos tipos de materiales compuestos, uno con matriz de resina poliéster y refuerzo de fibra de cabuya y el otro con la misma matriz del anterior con la variante en el refuerzo utilizando fibra de plátano, bajo normativa ASTM. Para llegar a determinar el porcentaje de afectación de la humedad y UV en los mencionados materiales compuestos, mediante la comparación de sus propiedades y determinar cual ofrece mejores bondades antidegradantes a las pruebas tecnológicas, se efectuaron los ensayos de tracción y flexión en fase pre y post exposición a las mismas.

A partir del tratamiento experimental de los datos obtenidos se establecen conclusiones que determinan que el composite con características mejores para resistir a las pruebas tecnológicas es aquel que emplea refuerzo de plátano. Posteriormente se procedió a validar su empleo dentro de la industria automotriz – carrocería sustentada por el análisis de elementos finitos realizado por el intermedio de software especializado, determinando que su aplicación idónea es para forro interno para techo de autobuses.

Descriptor: Materiales compuestos, radiación UV, humedad, tracción, flexión, fibra de cabuya, fibra de plátano, matriz de resina poliéster, elementos finitos, forro interno para techo de autobuses.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
POSTGRADUATE UNIT
MASTER IN MECHANICAL

“ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL TESTS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER RESIN COMPOSTS REINFORCED WITH NATURAL FIBERS OF ECUADOR UNDER ASTM”

Author: Eng. Luis Geovanny Salán Guevara.

Advisor: Eng. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.

Date: 22th July, 2019.

EXECUTIVE SUMMARY

This document responds to an investigative work, against the lack of knowledge of the degree of degradation of composites in the open air, for this purpose the study of the influence of UV radiation and humidity, considered as technological tests, on the mechanical properties of tensile and flexion in two types of composite materials, one with a matrix of polyester resin and reinforcement of cabuya fiber and the other with the same matrix of the previous one with banana fiber reinforcement, under ASTM regulations. In order to determine the percentage of humidity and UV affectation in the aforementioned composite materials, by comparing their properties and determining which one offers better anti-degrading benefits to technological tests, tensile and flexural tests were carried out in the pre and post phases exposure to them.

From the experimental treatment of the data obtained, conclusions are established that determine that the composite with better characteristics to resist technological tests is one that uses banana reinforcement. Subsequently, it was validated its use within the automotive industry - body supported by the analysis of finite elements performed by the specialized software intermediary, determining that its ideal application is for internal cover for bus roofs.

Keywords: Composite materials, UV radiation, humidity, traction, bending, cabuya fiber, banana fiber, polyester resin matrix, finite elements, internal cover for bus roofs.

CAPÍTULO I

1.1 Tema

“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS PRUEBAS TECNOLÓGICAS SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPUESTOS DE RESINA POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DEL ECUADOR BAJO NORMA ASTM”

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización

Las investigaciones y los usos de materiales compuestos reforzados con fibras naturales han ido creciendo durante las últimas décadas [1]. Este tipo de composites ofrecen servicios económicos, técnicos, sociales y ventajas en lo que aspectos ambientales se refiere. Por ende se convirtieron en alternativas prometedoras para reemplazar las fibras sintéticas de fuentes no renovables [2].

En ese marco desde las últimas dos décadas, se han realizado muchas investigaciones en países altamente industrializados como es el caso de Australia, China y Estados Unidos de Norte América. En el caso de Australia, con la participación de los investigadores Kin-tak Lau, Pui-yan Hung, Min-Hao Zhu, David Hui, de la Faculty of Science, Engineering and Technology, Swinburne University of Technology, con el fin de trabajar sobre la problemática de mitigar la contaminación de compuestos de origen sintético que mucho daño ocasiona a nuestro planeta, han desarrollado estudios de primer nivel sobre las “Propiedades de compuestos de fibra natural para aplicaciones de ingeniería estructural”, con el fin reemplazar las fibras sintéticas por naturales. Incluyendo a demás en su investigación información sobre los diferentes tipos de fibras naturales y su caracterización mediante su tipo de estructura e identificando a su vez propiedades mecánicas principales como resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, elongación y densidad, complementando con pruebas de inflamabilidad y de absorción de humedad. Todo lo cual con el fin de desarrollar

un material alternativo compuesto con fibra natural con propiedades mecánicas que permitan su introducción en la industria de la ingeniería y además que contribuya con el beneficio del medio ambiente al momento de que dicho material termine su vida útil [3].

Mediante otro matiz de la problemática, sin embargo encaminado en la misma tendencia en reducir la contaminación en el medio ambiente, en los últimos años, El Centro Tecnológico de Cataluña, Unidad de Composites de Eurecat. España, con la situación problemática de la contaminación que ocasiona en la actualidad el transporte terrestre, está en una constante investigación de cómo reducir dicha contaminación, tomando en consideración que en el mencionado país en el sector automotriz en el año 2020 entra en vigor una nueva normativa europea, que establece que en esa fecha la emisión de cada vehículo no deberá superar los 95 gramos de dióxido de carbono. Bajo ese criterio han desarrollado diversos materiales compuestos dando lugar incluso a un crecimiento exponencial de los materiales compuestos de matriz polimérica y se espera doblar su consumo para el año 2020, pues su ligereza que ofrecen los materiales compuestos y aplicados dentro de la industria automotriz, sin duda alguna influirán positivamente en la disminución de emisión de dióxido de carbono.

En Colombia, las industrias del transporte terrestre han buscado solucionar problemas como la reducción de peso de las estructuras y en consecuencia reducciones en el consumo de combustible, concatenado a ello por obvias razones la disminución en la contaminación ambiental [4]. En ese contexto la Academia Colombiana tal es el caso de la Universidad Tecnológica de Pereira, ha iniciado estudios sobre materiales compuestos reforzados con fibras naturales en búsqueda de soluciones alternativas para la fabricación de componentes constitutivos de la industria del transporte terrestre, no solo que garantice excelentes propiedades mecánicas sino también que aquellos sean amigables con el medio ambiente y que la producción sea sustentable mediante el aprovechamiento de los recursos naturales de aquel país.

En la actualidad, en nuestro País en forma genérica existen varios estudios sobre el empleo de fibras naturales para el desarrollo de materiales compuestos que se enfocan principalmente en aplicaciones para la industria automotriz – carrocería ecuatoriana [5].

Bajo aquel contexto hay que estar conscientes que en el Ecuador no se ha realizado una contundente investigación sobre el tema planteado, en conocer el comportamiento de composites a condiciones ambientales, dando lugar a que todavía sea un campo en desarrollo en nuestro medio, que requiere de una mayor investigación por las ventajas que pueden ofrecer éstos, como son: empleo de fibras naturales ecuatorianas que en muchos casos son desaprovechadas, un menor costo en su obtención, amigable con el medio ambiente por sus características biodegradables, bajo peso y muy buenas propiedades mecánicas. Que conjugadas las ventajas mencionadas es indudable que serán un gran aporte para la solución de la problemática de la contaminación ambiental que actualmente vive nuestro planeta.

Sin embargo, para justificar la implementación de un composite con refuerzo de fibra natural es necesario determinar en primera instancia, la capacidad de dicha fibra, especialmente en sus propiedades mecánicas, su comportamiento con la interacción de los rayos ultravioletas (UV) y humedad, que precisamente sobre la influencia de estos últimos existe un vacío en el campo de investigación de la Academia Universitaria Ecuatoriana. Por ello se anhela por medio del presente trabajo investigativo aportar con conocimiento científico que permitan dar soluciones a nuestra industria local en el marco del comportamiento de los composites se refiera.

1.2.2 Análisis crítico

En efecto la existencia del interés en el mundo actual por el requerimiento de contribuir con el cuidado de nuestro medio ambiente, muchos países del primer mundo han desarrollado tecnologías de punta para la investigación y producción de materiales alternos biodegradables mediante el uso de fibras naturales para diferentes aplicaciones de uso industrial, sin considerar a su vez el efecto del grado de deterioro a través de la pérdida en sus propiedades mecánicas por el efecto de las pruebas tecnológicas de rayos UV y humedad.

Claro está en nuestro país, con el fin de encaminar conjuntamente con los países desarrollados bajo la vanguardia del cuidado de nuestro medio ambiente, varios sectores productivos de nuestro se han visto abocados en la necesidad de importar determinados materiales biodegradables para la elaboración y/o manufactura de algunos de sus productos, si conocer si la aplicabilidad de dichos materiales dentro de

su industria es la correcta, al no tener en claro, el porcentaje de deterioro de los mismos a través del tiempo bajo efecto de factores externos ambientales, y a su vez, en ese marco se vea a nuestro país, bajo un enfoque de la Academia Universitaria externa, como un país rezagado en la investigación tecnológica de nuevos materiales compuestos, específicamente aquellos reforzados con fibras naturales. Todo lo cual originado por la falta de investigación en el país sobre desarrollo y comportamiento de nuevos materiales prolijos en cuanto a su aplicabilidad técnica – económica y además que estén alineados en contribuir en forma sistémica con nuestra industria.

Es por ello la gran importancia de ejecutar nuestro estudio sobre análisis de la influencia de pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales del Ecuador bajo norma ASTM, en pro contribuir con conocimiento técnico-ingenieril útil para el sector industrial.

1.2.3. Prognosis

Sin la investigación y el conocimiento sobre caracterización de propiedades de composites, este tipo de investigaciones no podrían seguir su curso de desarrollo en el futuro en nuestro país, en ese marco y específicamente sin el estudio que se plantea dentro del presente trabajo de investigación y desarrollo, no permitiría conocer la influencia de los rayos ultravioletas (UV) y la humedad sobre las propiedades mecánicas de composites poliméricos reforzados con fibras naturales. Y acorde a su comportamiento mecánico que preste, permitir dar aplicabilidad coherente dentro de la industria ingenieril. Bajo ese contexto toda nueva tecnología del mundo actual, necesitan del desarrollo de un conjunto amplio de materiales con propiedades específicas para el mejor desempeño de las mismas. Lo que implica que, llegar a entender el comportamiento de las propiedades mecánicas que caracterizan a composites de nuestro medio será de un impacto valioso y aporte a la investigación dentro de nuestro país.

1.2.4. Formulación del problema

¿Qué grado de influencia tendrá las pruebas tecnológicas de rayos ultravioletas (UV) y humedad sobre las propiedades mecánicas de los materiales biocomposites del Ecuador?

1.2.5. Preguntas directrices

¿Cuál será el estado actual sobre estudios de pruebas tecnológicas aplicadas para la caracterización de materiales compuestos reforzados con fibras naturales utilizados dentro de la industria?

¿Cómo abordar el estudio de la influencia de pruebas tecnológicas de rayos ultravioletas (UV) y humedad sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales?

¿Cuál es el proceso adecuado para estudiar la influencia de las pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales?

¿Cuál será la aplicabilidad idónea del compuesto de resina polimérica reforzado con fibras natural que se enmarque en el estudio, en función de su comportamiento a los rayos ultravioletas (UV) y humedad?

1.2.6. Delimitación del problema

1.2.6.1. Delimitación de contenidos

Los parámetros científicos de la presente investigación se fundamentó dentro del campo de la Maestría en Mecánica, específicamente dentro del área de Materiales, para lo cual se hace uso de los módulos formativos de Materiales para Ingeniería, Diseño de Experimentos y Diseño por Elementos finitos. Empleando además normas, artículos científicos y demás documentación relacionadas al análisis mecánico con pruebas tecnológicas de compuestos de poliméricos reforzado con fibras naturales bajo norma ASTM.

1.2.6.2. Delimitación espacial

El proceso de la presente investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en el Laboratorio de Metalografía de Materiales de la Ciudad de Ambato. Como complemento en la realización de las pruebas se efectuaron en la Escuela Politécnica Nacional – Quito y en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero - Ambato.

1.2.6.3. Delimitación temporal

La ejecución de la presente investigación referente al “Análisis de la influencia de pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales del Ecuador bajo norma ASTM” se desarrolló en los meses comprendidos entre julio 2018 a julio 2019.

1.3 Justificación

El mundo de la ingeniería se envuelve dentro de sin número de componentes, elementos y materiales que se encuentran en constante evolución. En esa línea de evolución de desarrollo en que se encuentra el mundo actual surge el interés por la investigación de analizar la influencia de pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales bajo norma ASTM, partiendo como sine qua non trabajar sobre una matriz tipo polimérica con refuerzo de fibras naturales que sean factibles en su elaboración y que se mantenga dentro de un desarrollo sustentable a largo plazo y fundamentalmente que sea amigable con el medio ambiente, toda vez que la mayoría de composites que hacen uso de fibras sintética no cumplen este último aspecto indicado y además son dependientes de derivados del petróleo que en un determinado momento será un recurso escaso. En ese sentido la presente investigación es con el objeto de no solo preparar el material compuesto aprovechando el uso de fibras de nuestro país, sino también de caracterizarlo en función de un análisis mecánico acorde a los resultados que determinen la influencia de las pruebas tecnológicas de humedad y de rayos ultravioletas (UV) bajo normativa ASTM, lo que permitirá tener datos estadísticos del comportamiento mecánico de composites desarrollados en el país, a partir de las mismas permitirá determinar una aplicabilidad idónea para el desarrollo de un determinado componente dentro de la industria automotriz - carrocería.

Por su parte la ejecución de la investigación se considera factible tanto en el aspecto económico tomando en cuenta que para su desarrollo se hará uso de recursos naturales de nuestro entorno (fibra natural) y matriz de resina polimérica - poliéster que no dan lugar a que se manejen costos relativamente altos.

Su viabilidad tecnológica es accesible ya que se cuenta con la información suficiente y los conocimientos técnicos adecuados sobre composites; complementada con la existencia en nuestro país de laboratorios para la realización de los ensayos pretendidos.

Es indudable que existirán varios beneficiarios con el desarrollo del presente proyecto entre unos de los principales será la industria automotriz – carrocera, la misma Academia Universitaria Ecuatoriana en el marco de contribuir con estudio científico, tecnológico en pro del desarrollo nacional y fundamentalmente nuestro entorno ambiental que por diferentes matices se verá beneficiado por el simple hecho que se reducirá el empleo de fibras sintéticas de origen no renovables.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Analizar la influencia de pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales del Ecuador bajo norma ASTM.

1.4.2 Específicos

- Analizar estudios del estado actual sobre las pruebas tecnológicas aplicadas para la caracterización de materiales compuestos reforzados con fibras naturales utilizados en la industria.
- Desarrollar un diseño experimental para el estudio y análisis de la influencia de los rayos ultravioletas (UV) y la humedad sobre las propiedades mecánicas de los materiales biocomposites del Ecuador.
- Realizar ensayos bajo norma ASTM de UV y humedad del compuesto polimérico reforzado con fibras naturales del Ecuador para conocer el porcentaje de variación en sus propiedades mecánicas de tracción y flexión.
- Proponer y sustentar la aplicabilidad del composite estudio que preste un mejor comportamiento a los rayos UV y humedad dentro de la industria automotriz - carrocera, mediante el análisis por elementos finitos.

CAPÍTULO II

2.1 Antecedentes Investigativos

El interés en los materiales compuestos de polímeros reforzados con fibras naturales está creciendo rápidamente tanto en términos de su aplicación e investigación fundamental. Son renovables, baratos, total o parcialmente reciclables y biodegradables. Plantas, como el lino, el algodón, el cáñamo, el yute, el sisal, el kenaf, la piña, el ramio, el bambú, el plátano, etc., así como la madera, usada desde tiempo inmemorial como una fuente de fibras celulósicas de jerga, se aplican cada vez más como el refuerzo de compuestos. Su disponibilidad, la renovabilidad, la baja densidad y el precio, así como las propiedades mecánicas satisfactorias los convierten en un atractivo ecológico alternativo al vidrio, al carbono y las fibras sintéticas o artificiales utilizadas para la fabricación de materiales compuestos [6].

La fibra de abacá (es decir, cáñamo de Manila) es un tipo de fibras naturales fuertes producidas principalmente en Filipinas, que proviene de la hoja de Musa. Especie de planta similar al árbol de plátano pero con fruta no comestible. Se ha informado que la fibra de abacá tiene una alta resistencia a la tracción, es resistente a la descomposición y tiene una resistencia a la flexión específica comparable a la de la fibra de vidrio. Por lo tanto, ha sido ampliamente utilizado como crudo material para cuerdas, bolsos y papel.

En los últimos años, la aplicación de fibra de abacá se ha extendido a la industria automotriz como el fabricante de Mercedes-Benz Daimler Chrysler. También se informa que la fibra de abacá es la primera fibra natural que se encuentra estrictos requisitos de calidad para los componentes exteriores de los vehículos de carretera con una buena resistencia al golpe de piedra, la exposición a los elementos y la humedad. Por lo tanto, para obtener fibra de abacá de alta calidad es esencial para la aplicación industrial de esta fibra tropical. Es bien sabido que la microestructura de los materiales influye en sus propiedades.

Los investigadores a menudo mejoran las propiedades mecánicas a través del cambio de la microestructura. Hay muchos trabajos sobre las propiedades mecánicas de las fibras y sus compuestos con alta resistencia derivada del tratamiento químico o físico de la fibra y / o matriz. Sin embargo, a nuestro mejor conocimiento, hay pocos trabajos que informan el efecto de la altura del fragmento del tallo de la fibra (FHFS) en la estructura original de las fibras naturales y a su vez en sus propiedades. Debido a la dependencia de la estructura de la fibra natural en la condición de crecimiento de la fibra, es posible obtener fibras naturales con las propiedades deseadas seleccionando fibras de diferentes posiciones de la planta. Lograr este objetivo, las propiedades de tracción y las propiedades fisicoquímicas de la fibra de abacá, así como sus compuestos, serán por partes estudié en este trabajo cortando fibras en fragmentos secuenciales [6].

La sustitución de las fibras sintéticas por fibras naturales como refuerzo de la matriz polimérica composites es hoy en día no solo objeto de investigación sino también aplicaciones de ingeniería. Las fibras de eucalipto (FUE) incorporadas en diferentes matrices de polímeros revelaron un refuerzo efectivo, sin embargo, para usos en ingeniería, no solo propiedades mecánicas sino también estabilidad térmica son requeridos. Esto último es importante para definir la temperatura límite para la aplicación práctica [7].

Una evaluación básica de la estabilidad térmica de un material es generalmente realizado por termogravimétrico (TG) y su derivado (DTG) análisis. Una primera revisión que menciona la temperatura estabilidad de los compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales comunes indicó que la degradación de la fibra dentro de la matriz genera volátiles a temperaturas superiores a 200°C, lo que resulta en porosidad y deterioro de las propiedades mecánicas. Otra revisión concluyó que los procesos y aplicaciones de los recursos naturales los compuestos de fibra deben restringirse a 250°C. El objetivo de esta breve comunicación es evaluar el termogravimétrico (TG / DTG) comportamiento de compuestos de matriz de poliéster reforzado con relativamente mayor fracciones de volumen, 30, 40 y 50% en volumen, de fibras de eucalipto. La incorporación de las fibras de eucalipto reduce ligeramente la estabilidad térmica de la matriz de poliéster por una pequeña disminución en el

inicio de la degradación térmica y la temperatura pico DTG en comparación con el poliéster puro [7].

Las fibras naturales muestran ventajas ambientales en asociación con beneficios económicos relacionadas con un costo comparativamente menor así como con un menor consumo de energía. Varias lignocelulósicas naturales fibras (LCF) extraídas de plantas cultivadas en todo el mundo, como sisal, bonote, algodón, fláx, entre otros, se están usando con éxito en composites. Un gran número de otros LCF, especialmente de especies de madera, tiene un potencial de refuerzo a la espera de ser explorado [7].

La aplicación de fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos está constantemente en desarrollo. Los inconvenientes en sobre sus propiedades mecánicas se están estudiando para maximizar su potencial completamente como una alternativa a las fibras sintéticas. Compuestos de infraestructura civil tiene que resistir cargas debido a la tensión, la compresión, impacto, fatiga, explosión y fluencia. Actualmente, aplicaciones de fibras naturales se limitan a aplicaciones interiores y no estructurales debido a sus bajas propiedades mecánicas y poca resistencia a la humedad. Se está utilizando en el mobiliario, la arquitectura y, más recientemente, en industrias automotrices. Muchos esfuerzos se están realizando actualmente con el fin de ampliar su aplicación, por ejemplo, el desarrollo de composites reforzados con fibra de sisal continua, puesto que permite el diseño de elementos de pared delgada con alta resistencia en tensión y compresión, sus aplicaciones pueden incluir encofrados permanentes, fachadas, tanques, tubos, elementos de revestimiento de largo alcance” [8].

Hay algunas desventajas asociadas con el uso de fibras como refuerzo en compuestos poliméricos. Estos incluyen la incompatibilidad entre fibras y matrices poliméricas, por la tendencia a formar agregados durante el procesamiento, poca resistencia a la humedad, baja resistencia al fuego, temperaturas de procesamiento limitadas, menor durabilidad, variación en calidad y precio, y dificultad en el uso den el proceso de fabricación. La incompatibilidad entre las fibras naturales y las matrices de polímeros conducen a una baja resistencia de interfaz como en comparación con compuestos de fibra de vidrio o carbono. La causa principal de este inconveniente es la presencia de hidroxilo y otros grupos polares en fibras naturales que los hace hidrofílicos en la

naturaleza. Esta hidrofiliidad resulta en incompatibilidad con la matriz de polímero hidrofóbico. La hidrofiliidad de las fibras naturales indica la alta absorción de humedad de las fibras, que es la principal razón de la débil adhesión a matrices hidrofóbicas y esto hace que los materiales compuestos producidos fallen en condiciones húmedas a través de rugosidad superficial por hinchazón o de laminación de fibras. La humedad presente durante la fabricación dará lugar a una mala procesabilidad y bajo rendimiento mecánico del compuesto. Adicionalmente, la mayoría de las fibras naturales tienen bajas temperaturas de degradación (200 °C) que son inadecuados para el procesamiento con termoplásticos con temperaturas de procesamiento superiores a 200 °C” [9].

Efectos de la intemperie en la degradación. Los compuestos de fibra natural expuestos al aire libre con luz solar directa están sujetos a la radiación que rompe los enlaces covalentes en polímeros orgánicos que causan coloración amarillenta, decoloración del color, pérdida de peso, rugosidad en la superficie, deterioro de la propiedad mecánica y fragilidad, con más reducción en condición más húmeda [10].

Las importantes propiedades de durabilidad para la aplicación al aire libre de estos productos de construcción incluyen resistencia a los hongos, resistencia ultravioleta (UV), resistencia a la humedad y estabilidad dimensional. Después de los períodos de intemperie, la pérdida de resistencia a la tracción del compuesto se produce debido a la degradación de las fibras y la matriz.

La foto-degradación causa cambios en todas las escalas del polímero, incluida la unidad monomérica (oxidación), la cadena (reticulación o escisión de la cadena), la morfología (ruptura de las moléculas de unión y cristal) y en la escala macroscópica. La radiación ultravioleta absorbida por polímeros modifica la sustancia química de la estructura, proporcionando la escisión de la cadena molecular y/o cadena reticulada. Procesos de degradación por intemperie que incluye foto-radiación, degradación térmica, foto-oxidación e hidrólisis, proporcionan cambios en los procesos químicos, físicos y mecánicos sobre las propiedades de los materiales. La foto-degradación de polímeros debida a la foto-oxidación se promueve mediante irradiación UV. El oxígeno es agotado antes de que pueda difundir en el interior por lo tanto, la degradación se concentra cerca de la superficie, incluso en polímeros con altos niveles de UV están presentes en el interior [10].

El proceso de foto-oxidación también ocurre en regiones amorfas debido a su mayor permeabilidad al oxígeno. Los gradientes de oxidación causan gradientes de densidad que produce tensiones y cuando se combina con la escisión de la cadena (reducción en peso molecular) que conduce a cadenas de polímero más cortas, iniciará y propagará grietas. Las grietas en la superficie conducen difusión de la luz (un efecto de blanqueamiento en la apariencia) y el deterioro de propiedades mecánicas. La presencia de residuos de catalizador grupos hidroperóxido y grupos carbonilo también pueden ser introducidos durante la fabricación, procesamiento y almacenamiento de polímeros. Esta especie absorbe luz UV por encima de 290 nm y puede iniciar reacciones foto-químicas [10].

Para las fibras lignocelulósicas, el envejecimiento o la degradación ocurren debido a absorción de radiación ultravioleta por lignina, formación de estructuras quinoide, reacciones Norrish, y reacciones de foto amarillentas que ocurre en la lignina. La degradación UV conduce a la formación de grupos cromóforos, como ácidos carboxílicos, quinonas e hidroperoxi radicales que es responsable del característico color amarillo asociado con el envejecimiento del papel. La luz visible transporta energía menos de 292.9 kJ / mol, que no es suficiente para romper los principales enlaces químicos en los componentes de la fibra, por lo que la foto-degradación de la fibra resulta principalmente del aspecto ultravioleta de la luz solar [10].

Los grados de foto-degradación de los componentes de fibra dependen en gran medida en su capacidad para absorber la luz UV. Foto-degradación o desgaste de los componentes principales de las fibras naturales resulta de los efectos combinados de luz, agua, oxígeno, y calor. Todos los principales componentes poliméricos de las fibras (celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos) sufren foto-degradación.

La ubicación de la mayoría de los cromóforos de fibra natural está en la lignina que representa el 80-95% de la absorción de la luz, contribuyendo a la decoloración [10].

Las propiedades mecánicas de los composites de fibra natural se someten a cambios después de la irradiación UV que se puede atribuir a la oxidación superficial del compuesto, cambios en la cristalinidad de la matriz y degradación interfacial. La fotodegradación de compuestos de fibras / polímeros naturales involucra varios factores tales como contenido de fibra, agentes de acoplamiento, métodos de fabricación y condiciones de exposición a la intemperie. La tasa de oxidación de

compuestos aumenta con el contenido de fibra y disminuye con la presencia de compatibilizador debido a una mejor dispersión de las fibras en matriz de polímero. A bajo contenido de sisal (<20%), el sisal la fibra actúa como un sitio de nucleación, aumentando la cristalinidad. Sin embargo, cuando el contenido de sisal es superior al 20%, la cristalinidad disminuye a medida que la fibra comienza a obstaculizar el movimiento molecular del polipropileno. Composites experimentaron más aligeramiento y pérdida de propiedades mecánicas cuando se expone a la radiación UV con ciclo de pulverización de agua en comparación con el ciclo de radiación UV solo. En términos de métodos fabricación, los compuestos moldeados por inyección se degradan más lentamente que los extruidos debido a la formación de hidrofóbica - capa superficial rica en HDPE en compuestos moldeados por inyección [10].

El estudio del efecto del medio ambiente en materiales compuestos de fibra natural debe incluir la acción combinada de radiación UV y humedad. Este estudio se puede lograr a través del envejecimiento natural o artificial. Los efectos de la degradación debida al envejecimiento natural o artificial pueden evaluarse a través de la cuantificación de la degradación química y/o mediante el análisis de las propiedades físicas, como el comportamiento mecánico y la apariencia visual [10].

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Ciencia e Ingeniería de los materiales

La disciplina ciencia de los materiales implica investigar la relación entre la estructura y las propiedades de los materiales. Por el contrario, la ingeniería de los materiales se fundamenta en las relaciones propiedades-estructura y diseña o proyecta la estructura de un material para conseguir un conjunto predeterminado de propiedades [11].

2.2.1.1 Clasificación de los materiales

Hay varias formas de clasificar a los materiales para ingeniería. Una de ellas consiste en forma genérica en describir cinco grupos, en función que cada uno de ellos poseen distintas estructuras, propiedades y diferencias de resistencias. Cuya clasificación se presenta en la Figura 2.1.

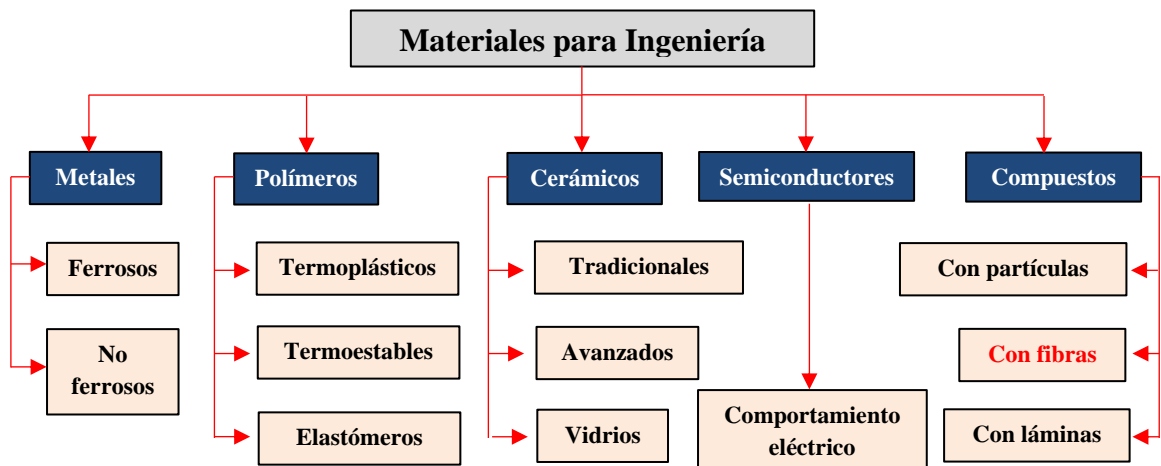


Figura 2.1. Clasificación de Materiales para Ingeniería [12].

2.2.1.2 Materiales compuestos

Los materiales compuestos o composites, están formados por dos o más componentes, para conseguir una combinación de propiedades que no es posible alcanzarlas individualmente.

En la continua demanda de mejorar las características o propiedades, que puede especificarse por varios criterios incluyendo menos peso, más resistencia y menor coste, los materiales usados habitualmente alcanzan, frecuentemente el límite de su utilidad. Así, hay un continuo esfuerzo para mejorar los materiales tradicionales o en desarrollar nuevos materiales. Los materiales compuestos son un ejemplo de la última categoría.

Así por ejemplo en el cuerpo humano, los huesos es una mezcla de fibras de colágeno y una matriz denominada cemento cálcico. En edificaciones, el material más destacado es el hormigón armado, que posee un refuerzo con barras de acero, que le permiten alcanzar elevados valores de resistencia a la tracción, flexión y cizallamiento, mejorando las prestaciones iniciales a compresión.

Estos compuestos se pueden seleccionar para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad [12].

2.2.1.3 Definición de material compuesto

Se denomina material compuesto al material formado por la combinación de diferentes componentes (multifase), creados a partir de la adicción (no química) de estos (por ejemplo, resina + fibras, Figura 2.2, de tal manera que se consigue un efecto sinérgico en las propiedades finales, obteniéndose materiales con unas propiedades o características específicas superiores a las de los componentes individuales [13].

Además, las fases constituyentes deben ser químicamente distintas y separadas por una capa, esta zona de transición, está en contacto con ambas fases.

Deben presentar discontinuidad estructural, de tal modo que los componentes sean distinguibles físicamente y separables físicamente. Se pueden así diseñar materiales que poseen propiedades que no están disponibles en los materiales compactos.

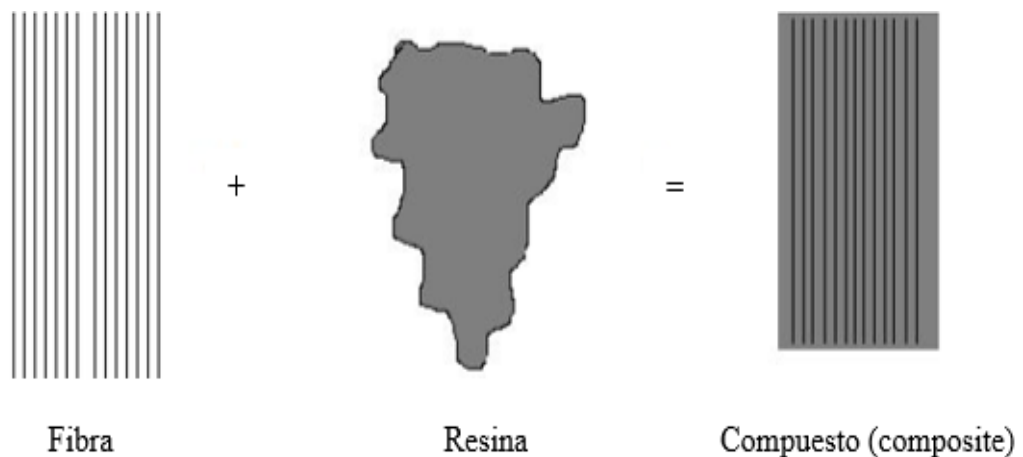


Figura 2.2. Formación del Material Compuesto (Resina-Fibra) [13].

El principio de unión de varios componentes mejora notablemente las propiedades de los materiales individuales, normalmente se tiene que las propiedades de la matriz se mejoran al incorporar otros constituyentes. La matriz es la fase continua que rodea otra fase y el refuerzo es la fase discontinua o dispersa. Existe un componente que es muy importante que es responsable de la interacción entre el refuerzo y la matriz, este componente se denomina intercara. Figura 2.3. [13].

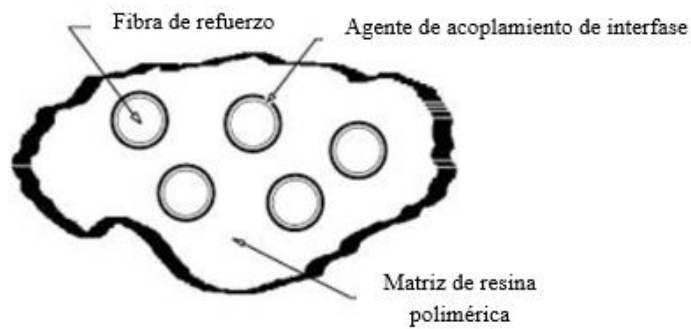


Figura 2.3. Componentes de los composites [13].

Los materiales compuestos, además deben cumplir otros requisitos para poder ser considerado como Composites. Ambos constituyentes tanto, fibra como matriz, deben estar presentes en proporciones razonables, al menos un 5% del total [13].

Las fases constituyentes deben tener propiedades diferentes y además las propiedades del material compuesto deben ser notablemente diferentes de sus constituyentes. Por ejemplo si se compara las propiedades mecánicas de la matriz y el refuerzo, se obtienen pendientes diferentes, por lo tanto Módulos de Elasticidad diferentes, como se muestra en la Figura 2.4.

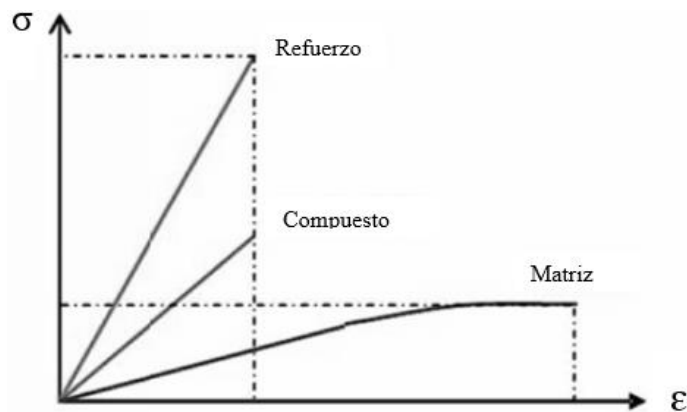


Figura 2.4. Propiedades Mecánicas (Refuerzo – Matriz - Compuesto) [13].

Finalmente, los componentes de un material compuesto no deben disolverse o fusionarse, completamente unos con otros. Su caracterización y de la interfase deben ser posibles de identificar, esto quiere decir que las propiedades de los materiales compuestos dependen del tipo de interfase y de las características de los componentes.

Se debe tener mucho cuidado con procesos defectuosos de delaminación, que se pueden observar claramente cuando se procesa un material compuesto. El estudio de estos fenómenos son originados por falta de compactación en el proceso de conformado. Los diferentes métodos proporcionan información recomendable para evitar estos problemas, sin embargo existen estudios que generan modelos matemáticos que permiten comprender los mecanismos de daño y la evolución en el laminado [14].

2.2.1.4 Clasificación de los materiales compuestos

Dado que la mayoría de los materiales compuestos fabricados, han sido para mejorar propiedades mecánicas tales como resistencia, rigidez, tenacidad o propiedades a alta temperatura, parece razonable realizar la clasificación sobre el mecanismo que produce ésta mejor. Bajo este contexto se presenta la siguiente clasificación que se indica en la Figura 2.5.:

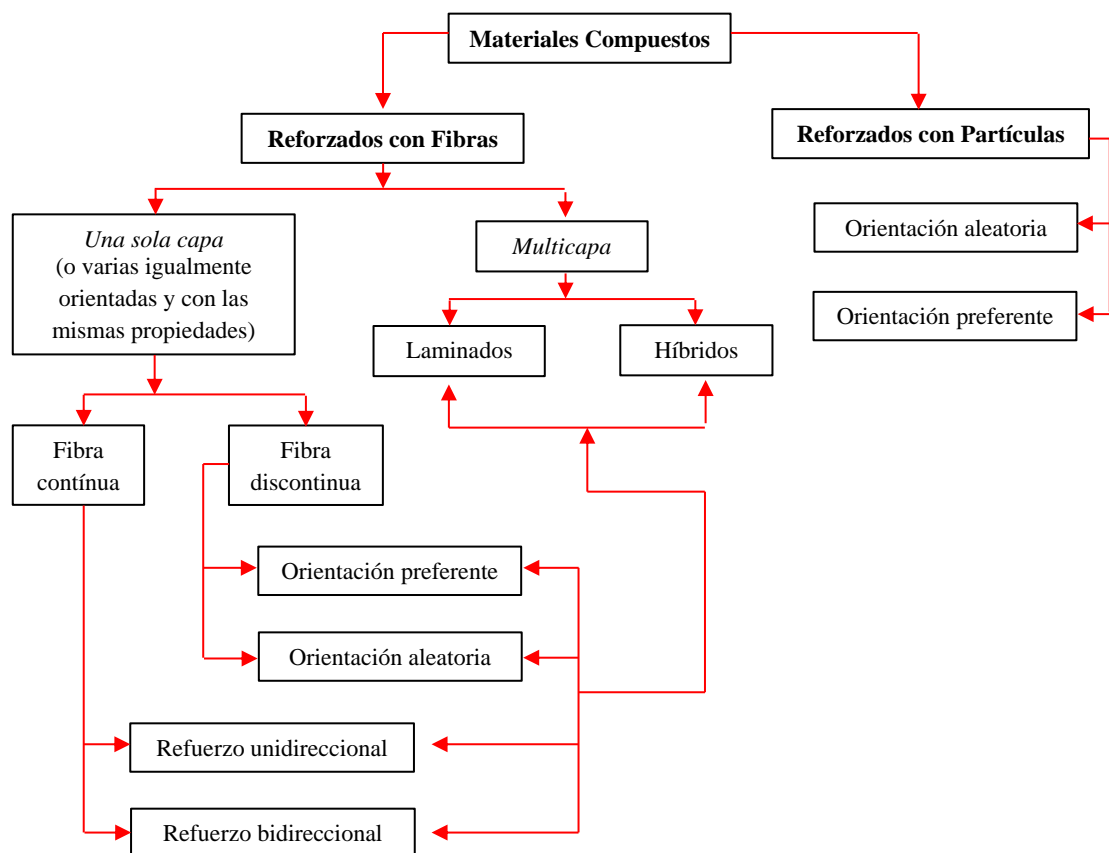


Figura 2.5. Clasificación de los Materiales Compuestos [15].

2.2.2 Constituyentes de un material compuesto

Los elementos que constituyen un material compuesto, son el refuerzo y la matriz. Las fibras se consideran un refuerzo por excelencia. La matriz es el componente que aloja el refuerzo [16].

2.2.2.1 Material de refuerzo

Es la fase discontinua (o dispersa) que se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee. En general, el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas pero, también, se emplean refuerzos para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión [16].

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz o cuando se incrementa la relación longitud / diámetro de la fibra. En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, éstas son resistentes, rígidas y de poco peso. Si el compuesto debe ser utilizado a temperaturas elevadas, también la fibra deberá tener una temperatura de fusión alta. Por lo que la resistencia específica y el módulo específico de la fibra son características importantes.

2.2.2.2 Fibras naturales

Las fibras naturales se subdividen en función de su origen, como plantas, animales y minerales, como se muestra en la Figura 2.6. [17, 18, 19].

Las fibras vegetales también se conocen como fibras de lignocelulosa ya que están compuestas por fibrillas de celulosa y matriz de lignina [20]. En general, las fibras naturales utilizadas para compuestos son fibras lignocelulósicas, como, sisal, lino, cáñamo, yute, bambú, kenaf, y fibras madera. Mientras tanto, las fibras minerales están compuestas principalmente de asbesto. Generalmente la estructura de las fibras minerales es completamente cristalina lo que diferencia y/o separa de las fibras vegetales y animales [19]. Incluso aunque estas fibras ofrecen un fuerte comportamiento mecánico e ignífugo, sus aplicaciones tienen estado prohibido debido al extremo riesgo para la salud humana [21].

Las fibras de animales basadas en proteína pueden ser principalmente dividida dentro de dos grupos: fibras α -queratina (cabello, lana, y pluma) y fibras de fibroína (seda y tela de araña) [22].

La estructura fibrilar de las fibras de animales involucra entrelazando y fuerza de fricción sobre la superficie de fibra, por los que estas son superiores a las fibras celulósicas en sus propiedades de elongación a la rotura y resistencia al calor [23].

El rendimiento de los compuestos de polímeros reforzados con fibra natural depende de varios factores, incluida la composición química, las dimensiones de las células, ángulo microfibrillar, defectos, estructura, propiedades físicas y mecánicas de la fibra, y también la interacción de la fibra con el polímero [24]. El principal inconveniente en el uso de estas las fibras naturales son su naturaleza hidrofílica que generalmente conduce a problemas de adhesión con matrices poliméricas hidrofóbicas [25].

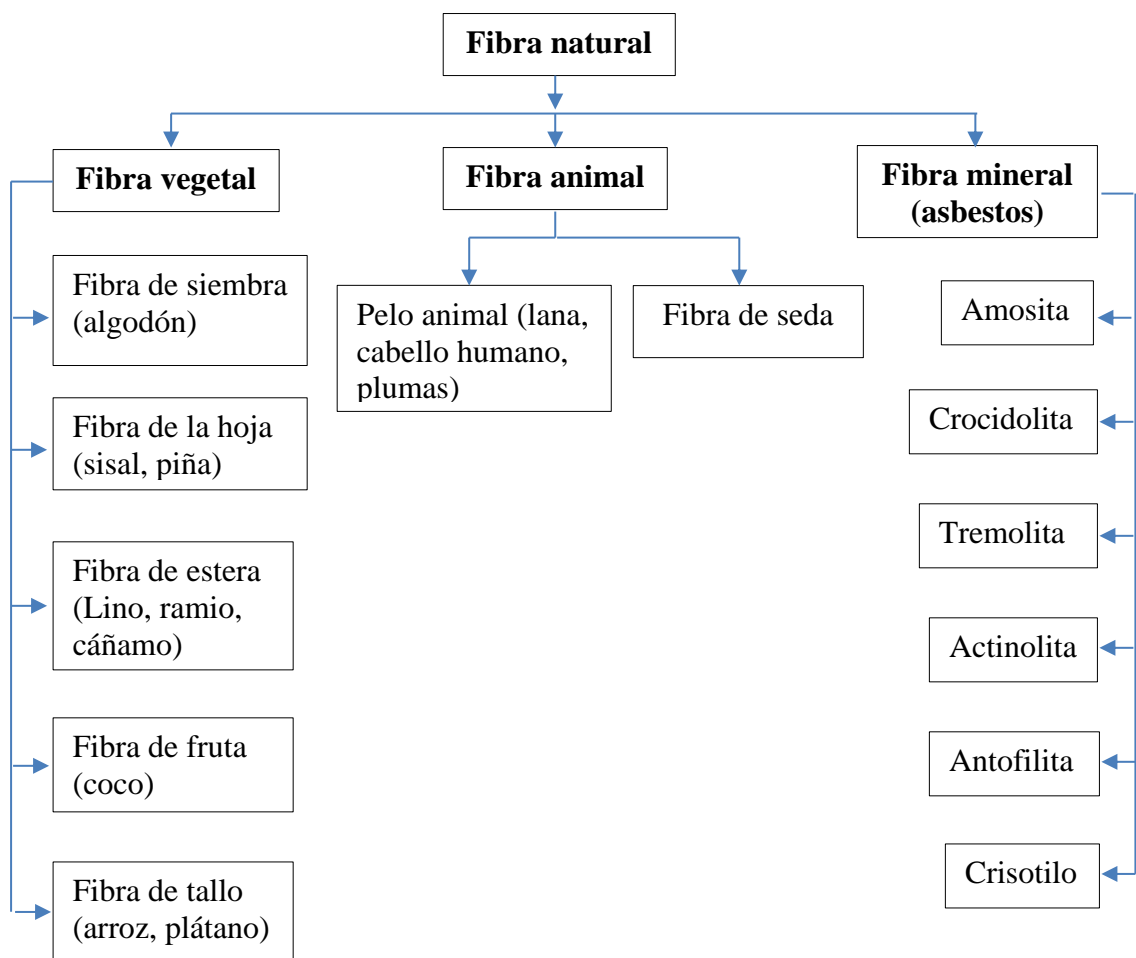


Figura 2.6. Clasificación de fibras naturales [17].

2.2.2.3 Fibras vegetales

- **Estructura**

En términos de utilización, hay dos clasificaciones generales de plantas que producen fibras naturales: primaria y secundaria. Las plantas primarias son aquellas que crecen para su contenido de fibra mientras que las plantas secundarias son aquellas donde las fibras vienen como un subproducto de alguna otra utilización preliminar. Yute, kenaf, cáñamo, sisal y algodón son ejemplos de plantas primarias, mientras que piña, cereal, tallos, agave, palma de aceite y fibra de coco son ejemplos de plantas secundarias [26].

Las fibras naturales derivadas de las plantas consisten principalmente en celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina y otras sustancias cerosas.

La celulosa: es una estructura altamente cristalina que contiene tanto como 80% de regiones cristalinas [17].

La hemicelulosa: está formada por polisacáridos altamente ramificados unidos a la celulosa después de la eliminación de la pectina.

La lignina: es amorfa, endurece paredes celulares, y actúa como una barrera protectora para la celulosa [17].

En varias aplicaciones, fibras naturales extraídas de las plantas se utilizan como refuerzos en termoplásticos y compuestos termoestables [17].

2.2.2.4 Matriz

La matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda “embebido”. Tanto materiales metálicos, cerámicos o resinas orgánicas pueden cumplir con este papel. A excepción de los cerámicos, el material que se elige como matriz no es, en general, tan rígido ni tan resistente como el material de refuerzo [16].

Las funciones principales de la matriz son:

- Definir las propiedades físicas y químicas;
- Transmitir las cargas al refuerzo,
- Protegerlo y brindarle cohesión.

Así como también permitirá determinar algunas características del material compuesto como la conformabilidad y el acabado superficial, es decir, de las propiedades de la matriz dependerá la capacidad que posea el material compuesto para ser conformado con geometrías complejas en procesos que, generalmente, no involucrarán posteriores etapas de acabado [16].

Al someter al material compuesto a diferentes tipos de cargas mecánicas la matriz juega diferentes roles:

- **Bajo cargas compresivas:** Es la matriz la que soporta el esfuerzo, ya que se trata de la fase continua [16].

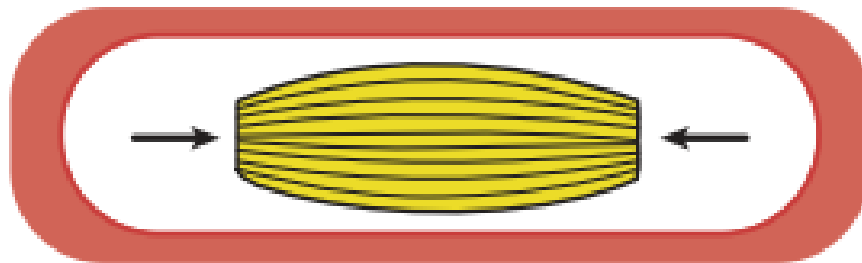


Figura 2.7. Comportamiento de fibras naturales a carga de compresión [16].

- **En tracción:** La matriz transfiere la carga aplicada sobre la pieza a cada una de las fibras o partículas, de manera que éstas sean las que soporten el esfuerzo. Para ello es necesaria una excelente adhesión entre la matriz y el refuerzo [16].

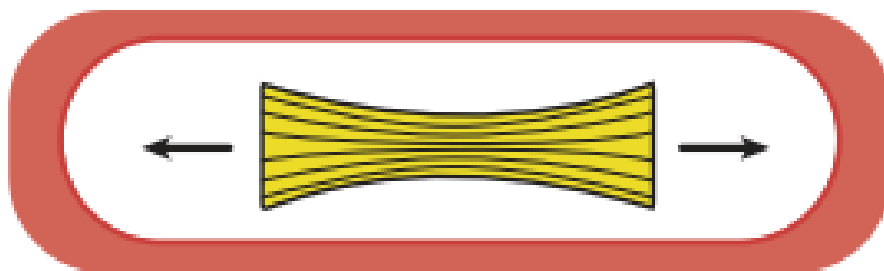


Figura 2.8. Comportamiento de fibras naturales a carga de tracción [16].

Además, muchas veces es la matriz la que determina la resistencia al impacto y la encargada de detener la propagación de fisuras [16].

a) **Propiedades de las matrices**

La matriz de un material compuesto:

- Soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta.
- Transfiere la carga a las fibras fuertes.
- Las protege de sufrir daños durante su manufactura y uso.
- Evita la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto.
- La matriz, por lo general, es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del compuesto. [16]

b) **Tipos de matrices**

- **La matriz polimérica.** Son las más comúnmente utilizadas. La mayoría de los polímeros, tanto termoplásticos como termoestables están disponibles en el mercado con el agregado de fibras de vidrio cortas como refuerzo [16].
- **La matriz metálica.** Permite que el compuesto funcione a altas temperaturas pero, a menudo, la producción de una pieza de este tipo de materiales compuestos es más costosa que la de una pieza de compuestos de matriz polimérica. Los compuestos de matriz metálica incluyen aluminio, magnesio, cobre, níquel y aleaciones de compuestos intermetálicos reforzados con fibras cerámicas y metálicas. Mediante los compuestos de matriz metálica se cubre una diversidad de aplicaciones aeroespaciales y automotrices [16].
- **Matriz cerámica.** En los materiales compuestos, también, pueden utilizarse como matriz materiales cerámicos frágiles. Los compuestos de matriz cerámica tienen buenas propiedades a temperaturas elevadas (hasta algunos miles de grados centígrados) y son más livianos que los de matriz metálica a igual temperatura [16].

2.2.3 Clasificación de los materiales compuestos según la naturaleza de la matriz

Generalmente, los materiales compuestos se clasifican según la naturaleza de la matriz, de esta forma, se pueden encontrar materiales compuestos de matrices cerámicas (CMCs), matrices metálicas (MMCs) y matrices poliméricas (PMCs) [27].

a) Composites de matriz cerámica (CMCs)

Las matrices cerámicas presentan una elevada resistencia ambiental y a la corrosión, una gran dureza y elevadas temperaturas de trabajo, superando comúnmente los 1000 °C. Las matrices cerámicas pueden subdividirse en matrices oxídicas como la alúmina, la sílice, la mullita o el aluminosilicato de bario; y no oxídicas como el carburo de silicio, nitruro de silicio o carburo de boro. Aunque las cerámicas oxídicas presentan una mayor resistencia medioambiental, sus propiedades mecánicas son inferiores.

Las matrices de CMCs suelen reforzarse con fibras de su misma naturaleza. Por tanto, las matrices no oxídicas se refuerzan con fibras no oxídicas y las matrices oxídicas con fibras oxídicas. Los CMCs son reforzados con carburos, boruros y óxidos. Fibras de carbono, carburo de silicio o alúmina son algunos de los refuerzos comúnmente usados en CMCs.

También se utilizan refuerzos discontinuos como *whiskers*, copos o partículas de carburo de boro, carburo de silicio, etc. Algunas de sus aplicaciones incluyen frenos de aeronaves, cojinetes o revestimientos protectores [27].

b) Composites de matriz metálica (MMCs)

Los MMCs ofrecen una excelente conductividad térmica, una elevada resistencia a la abrasión, altas temperaturas de trabajo y la posibilidad de ser producidos utilizando equipamiento convencional. Consisten en matrices metálicas reforzados con fibras como carburo de silicio, carbono, alúmina, tungsteno, titanio o molibdeno. Pueden ser reforzados tanto con fibra continua como con refuerzos discontinuos o *whiskers*. El bajo precio del aluminio hace que sea la matriz metálica más utilizada, aunque algunas aplicaciones requieren el uso de superaleaciones, titanio, cobre, magnesio o hierro.

Respecto a los materiales monolíticos, los MMCs ofrecen una mayor resistencia y rigidez específica, mayores resistencias a la fatiga, mayores temperaturas de trabajo, menores coeficientes de dilatación térmica y una mayor resistencia a agentes ambientales.

Estos materiales se encuentran en pistones y frenos de rotores en aplicaciones automovilísticas, cuadros de bicicletas, palos de golf y en diversos dispositivos electrónicos [28].

c) **Composites de matriz polimérica (PMCs)**

Los PMCs, también denominados “Fibre Reinforced Polymers” (FRP) son los composites más conocidos. Las matrices pueden ser tanto de naturaleza termoestable como termoplástica y pueden ser reforzadas con fibras continuas o discontinuas.

Estos materiales compuestos se caracterizan por sus buenas resistencia y rigidez específicas, debido a la baja densidad de sus matrices y al aporte significativo del refuerzo a estas propiedades. Además, controlando el contenido de cada componente podrán modificarse sus propiedades, haciendo que estos materiales sean altamente personalizables.

Sus principales aplicaciones son el equipamiento deportivo, el transporte, electrónica, construcción e infraestructuras, aplicaciones aeroespaciales y de defensa [29].

- **Matriz polimérica termoestable**

Cuando las fuerzas de unión entre los filamentos del polímero entre sí son tan intensas que llegan a igualar a las de construcción de ellos mismos, se romperán antes de separarse, lo que implica que al incrementar la temperatura no podrán cambiar de estado sólido a líquido, denominándose a estos polímeros termoendurecibles o termoestables [30].

En el caso de los termoestables, las uniones entre cadenas se crean por reacciones químicas de reticulación, también denominado curado. Estas reticulaciones pueden unir muchas cadenas poliméricas en una única red tridimensional. Cuando el curado se completa, se produce un aumento del peso molecular de una forma drástica, hasta un valor prácticamente imposible de medir. Por otro lado, las propiedades térmicas

como el punto de fusión y la temperatura de transición vítrea (Tg), dejan de tener sentido, ya que el polímero se degrada antes de alcanzar cualquiera de estas temperaturas [31].

Tabla 2.1. Características de las matrices termoestables [32].

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

- **Matriz polimérica termoplástica**

Cuando las macromoléculas se pueden unir entre sí por fuerzas de diversa intensidad. Cuando estas fuerzas son de baja intensidad, podrán ser superadas con un simple calentamiento dando lugar al plástico fundido. Los polímeros con estas características reciben el nombre de termoplásticos y se pueden fundir o plastificar con un incremento de temperatura [30].

Los termoplásticos no reticulan de tal forma que llegan a un compromiso entre el peso molecular y la procesabilidad para poder obtener unas propiedades térmicas y mecánicas aceptables. Aun así, tienen una ventaja frente a los termoestables, una vez

que se funden se les puede dar forma fácilmente y, por lo tanto, en función del tipo de matriz empleada, variarán las características del material compuesto final [33].

2.2.3.1 Materiales utilizados como matriz

Entre los más importantes materiales utilizados como matriz se citan los siguientes:

- Matrices poliméricas.
- Curado de termoestables.
- Resinas de poliéster.
- Resinas de viniléster.
- Epoxi.
- Poliamidas.
- Polibencimidazoles.
- Matrices fenólicas y de carbono.
- Matrices termoplásticas.
- Matrices metálicas.
- Matrices cerámicas.

La selección de la matriz es determinada en base a los requerimientos químicos, térmicos, ambientales, de flamabilidad, costo, desempeño y de manufactura. La matriz determina la temperatura de operación del compuesto así como los parámetros de manufactura a utilizar en su procesamiento [34].

Las materias primas más usadas como matrices en los materiales compuestos son las resinas epoxi y poliéster con gran variedad en sus propiedades mecánicas y químicas. Su propiedad más interesante, que les da nombre (termoestables), es su respuesta al calor ya que no se funden al calentarlas (a diferencia de los plásticos) si bien pierden propiedades de rigidez a partir de una cierta temperatura por lo que este valor (hasta 300°C para las epoxi y 110°C para las de poliéster) representa una limitación real para su uso [15].

a) Resina Epoxi

La resina epoxi es un sistema de resina muy versátil, permite un amplio rango de propiedades y opciones de procesamiento, esto exhibe una excelente adhesión a muchos materiales. Las resinas epoxi son las más utilizadas, ya que se utilizan tanto en la industria aeroespacial como en la industria deportiva.

Existen diferentes grados de epoxis y entre ellos varia el desempeño dependiendo de la aplicación que se le dé, además de que pueden ser mezcladas con otro tipo de resinas epoxi para obtener el desempeño deseado [34].

Los materiales compuestos con base a resinas epoxi otorgan buen desempeño tanto a temperatura ambiente como a temperaturas elevadas, éstas resinas pueden operar de buena manera a temperaturas entre 200 y 250°F (93 y 121°C) y existen ciertas resinas epoxis que resisten hasta 400°F (204°C). Para altas temperaturas y altos desempeños de resinas epoxis el precio se incrementa pero ellas ofrecen una buena resistencia tanto química como a la corrosión [34].

La resina epoxi son generalmente frágiles, pero debido a la diversidad de sus aplicaciones se han desarrollado resinas que combinan las excelentes propiedades térmicas de las resinas termoestables y la tenacidad de las termoplásticas. Éstas resinas epoxis tenaces son fabricadas añadiendo termoplásticos a la resina bajo distintas patentes de procesos.

b) Resina Poliéster

En cuanto a las resinas poliésteres son sistemas de bajo costo y ofrecen excelente resistencia a la corrosión. Las temperaturas de operación de las resinas poliéster son menores que las temperaturas de operación de las resinas epoxis. Las resinas poliésteres pueden ser tanto termoestables como termoplásticas, éstas resinas son utilizadas para aplicaciones comerciales, debido a que presentan cierta flexibilidad y su costo no es elevado en comparación con las epoxis, además de que es utilizada tanto para compuestos continuos como discontinuos [34, 35].

A continuación en la Tabla 2.2. se muestran las propiedades típicas de las resinas epoxi y poliéster.

Tabla 2.2. Propiedades típicas de las resinas epoxi y poliéster usadas en los materiales compuestos [15].

| <i>Propiedad</i> | <i>Unidades</i> | <i>Resinas Epoxi</i> | <i>Resinas Poliéster</i> |
|------------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------------|
| <i>Densidad</i> | <i>Mg m-3</i> | <i>1.1 - 1.4</i> | <i>1.2 - 1.5</i> |
| <i>Módulo de Young</i> | <i>Gpa</i> | <i>3 - 6</i> | <i>2 - 4.5</i> |
| <i>Coef. Poisson</i> | | <i>0.38 - 0.4</i> | <i>0.37 - 0.39</i> |
| <i>Resist. Tracción</i> | <i>Mpa</i> | <i>35 - 100</i> | <i>40 - 90</i> |
| <i>Resist. Compresión</i> | <i>Mpa</i> | <i>100 - 200</i> | <i>90 - 250</i> |
| <i>Alarg. Rotura (tracción)</i> | <i>%</i> | <i>1 - 6</i> | <i>2</i> |
| <i>Conduct. Térmica</i> | <i>W m-1 °C-1</i> | <i>0.1</i> | <i>0.2</i> |
| <i>Coef. Dilatación</i> | <i>10-6 °C-1</i> | <i>60</i> | <i>100 - 200</i> |
| <i>Temp. distorsión</i> | <i>°C</i> | <i>50 - 300</i> | <i>50 - 110</i> |
| <i>Contracción Curado</i> | <i>%</i> | <i>1 - 2</i> | <i>4 - 8</i> |
| <i>Absor. de Agua (24h a 20°C)</i> | <i>%</i> | <i>0.1 - 0.4</i> | <i>0.1 - 0.3</i> |

2.2.4 Fabricación de materiales compuestos de matriz polimérica

El proceso de fabricación de este tipo de materiales puede y debe concebirse como una única operación, dada la capacidad del material de adaptarse a formas complejas, formando conjuntos integrados. En algunos casos se exige una maquinaria desarrollada específicamente y en otros, en cambio, una adaptación de la ya existente. Las posibilidades de corrección de una pieza acabada (mecanizado, soldadura...), manteniendo las características para las que ha sido concebida, es uno de los retos que, junto con el desarrollo de nuevos métodos de fabricación, materias primas, diseño, caracterización y durabilidad presentan los materiales compuestos. En la Figura 2.9 se muestra en resumen los procesos de fabricación de materiales compuestos de matriz polimérica [36].

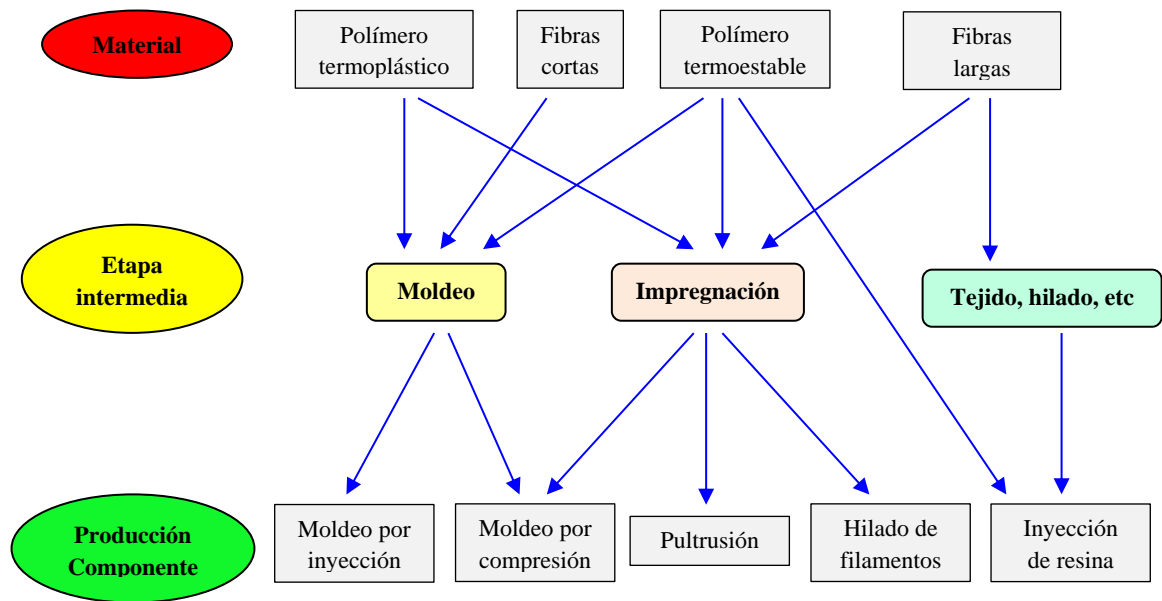


Figura 2.9. Resumen de los procesos de fabricación de los materiales compuestos [36].

2.2.4.1 Procesos de fabricación de materiales compuestos

Se pueden dividir en dos grandes grupos, los de molde abierto y los de molde cerrado [36].

a) Procesos de molde abierto

Los métodos por los cuales pueden fabricarse materiales compuestos en molde abierto son los siguientes:

- **Método de contacto manual (“Hand lay-up”):** Se colocan sobre el molde filtros de fibra enrollada, mechas trenzadas y otros tejidos hechos de fibras y se impregnan con resina a brocha y pasando un rodillo. Se ponen capas hasta que se llegue al espesor de diseño. El moldeado cura sin calor ni presión, ver Figura 2.10. [32].

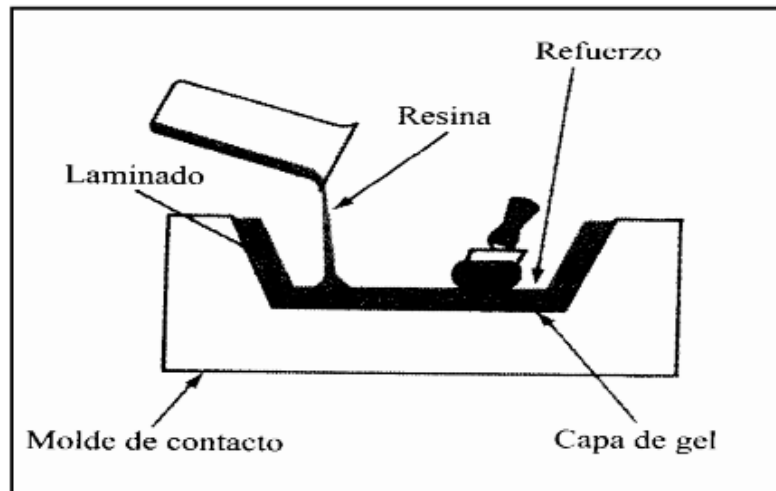


Figura 2.10. Método de impregnación manual [32].

- **Proyección (“Spray-up”)**: Se proyectan simultáneamente hilos cortados y resina a un molde preparado y se pasa el rodillo antes de que la resina cure, ver Figura 2.11.

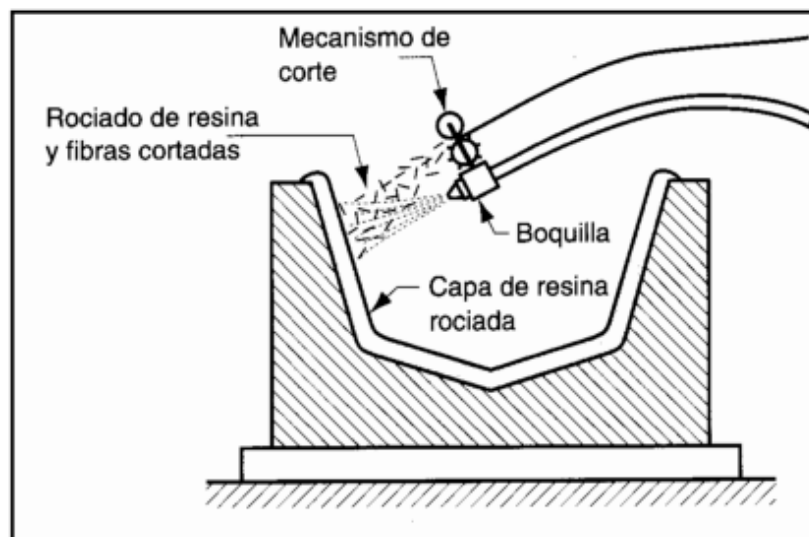


Figura 2.11. Método de proyección (Spray-up) [32].

- **Bolsa de vacío, saco de presión, autoclave**: Se impregnan capas de fibras, normalmente hojas unidireccionales, con resinas y se curan parcialmente para formar un preimpregnado. Las hojas de preimpregnado se colocan en la superficie del molde en orientaciones determinadas, se cubren con un saco flexible, y se

consolidan usando vacío o presión en autoclave a la temperatura de curado requerida, ver Figura 2.12.

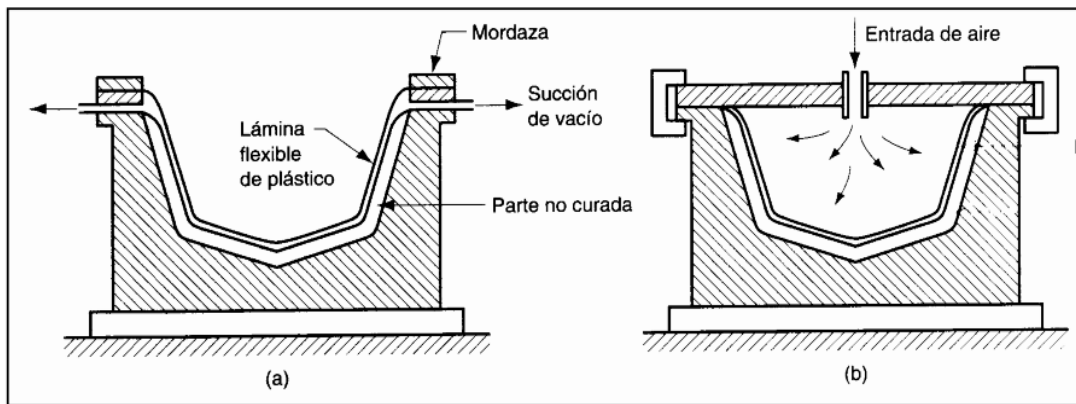


Figura 2.12. Procedimiento de moldeo con saco: (a) a vacío y (b) en autoclave [32].

- **Enrollamientos de filamento (Filament winding):** Mechas o hilos continuos de fibra pasan sobre rodillos y guías hasta un baño de resina y son enrollados después, sobre un mandril, ver Figura 2.13.

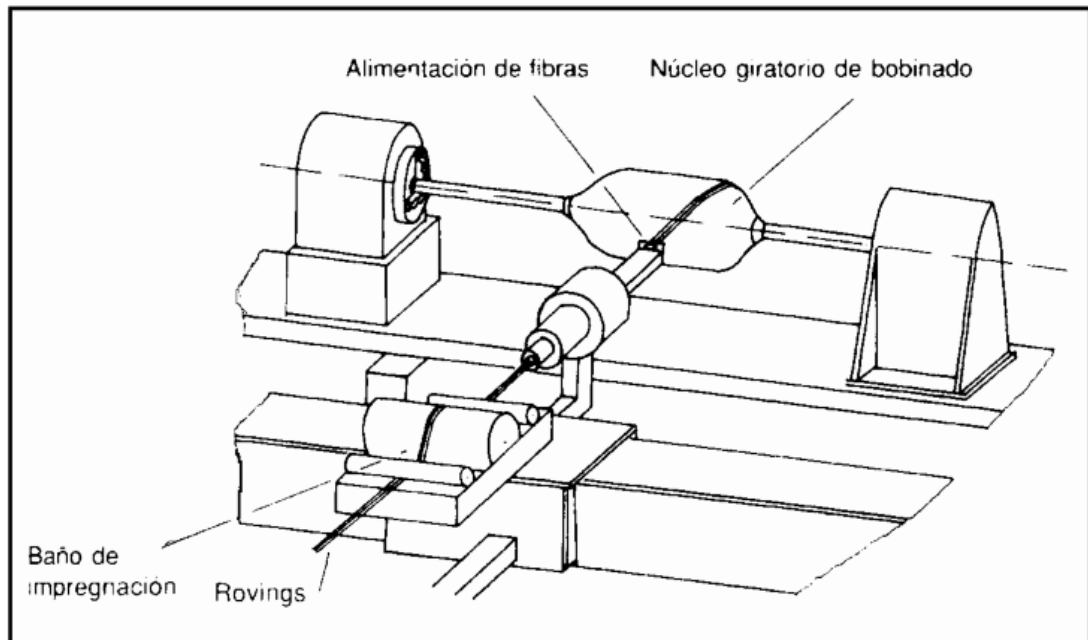


Figura 2.13. Enrollamiento de filamentos [32].

- **Moldeo de centrifugación:** Se introducen mezclas de fibras y resina en un molde rotatorio y se deja curar in situ.

2.2.5 Pruebas tecnológicas

Las pruebas tecnológicas determinan el comportamiento de los materiales ante operaciones industriales, tales como; plegado, soldadura, entre otras [37]. Es decir lo que pretenden este tipo de pruebas, es representar las condiciones que va a sufrir el material, bajo ese contexto de consideran a la radiación ultravioleta (UV) y humedad como pruebas tecnológicas [Autor].

2.2.5.1 Prueba de radiación ultravioleta (UV)

a) Significación y uso

El aparato que rige la norma ASTM G 155 – 13, para el desarrollo de la prueba UV, está destinado a inducir cambios en las propiedades asociadas con las condiciones de uso final, incluidos los efectos de la luz solar, la humedad y el calor. Estas exposiciones pueden incluir un medio para introducir humedad en la muestra de ensayo.

Las exposiciones no pretenden simular el deterioro causado por fenómenos meteorológicos localizados, como la contaminación atmosférica, los ataques biológicos y la exposición al agua salada [38].

Alternativamente, la exposición puede simular los efectos de la luz solar [38].

b) Consideraciones para la realización de la práctica

- Las muestras están expuestas a ciclos repetitivos de luz y humedad bajo condiciones ambientales controladas [38].
- La humedad se produce generalmente rociando la muestra de prueba con agua desmineralizada / desionizada o por condensación de vapor de agua sobre la muestra [37].
- La condición de exposición puede variar seleccionando [38]:
 - ✓ Filtro (s) de lámpara,
 - ✓ El nivel de irradiancia de la lámpara,
 - ✓ La temperatura de exposición a la luz,
 - ✓ El tiempo de un ciclo de luz / oscuridad.

- La comparación de los resultados obtenidos a partir de muestras expuestas en el mismo modelo de aparato no debe realizarse a menos que se haya establecido la reproducibilidad entre los dispositivos para el material a analizar [38].
- La comparación de los resultados obtenidos a partir de muestras expuestas en diferentes modelos de aparatos no debe realizarse a menos que se haya establecido una correlación entre los dispositivos para el material a analizar [38].

c) Aspectos importantes del Equipo

- **Fuente de luz:** La fuente de luz debe ser una o más lámparas de arco de xenón con camisa de cuarzo que emiten radiación por debajo de 270 nm en el ultravioleta a través del espectro visible e infrarrojo. Para que los arcos de xenón simulen la luz del día terrestre, deben usarse filtros para eliminar la radiación UV de longitud de onda corta. Se deben usar filtros para reducir la irradiancia en longitudes de onda menores a 310 nm para simular la luz del día. Además, se pueden usar filtros para eliminar la radiación infrarroja para evitar el calentamiento poco realista de las muestras de prueba que pueden causar degradación térmica no experimentado durante las exposiciones al aire libre. [38].
- **Principales factores pueden afectar la distribución de energía espectral de las fuentes de luz de arco de xenón filtradas como se usa en estos aparatos:**
 - ✓ Las diferencias en la composición y el grosor de los filtros pueden tener grandes efectos en la cantidad de radiación UV de longitud de onda corta transmitida [38].
 - ✓ El envejecimiento de los filtros puede provocar cambios en la transmisión del filtro. Las propiedades de envejecimiento de los filtros pueden ser influenciadas por la composición. El envejecimiento de los filtros puede resultar en una reducción significativa en la emisión UV de longitud de onda corta de un quemador de xenón [38].
 - ✓ La acumulación de depósitos u otros residuos en los filtros puede afectar la transmisión del filtro [38].

- ✓ El envejecimiento del quemador de xenón en sí puede dar como resultado cambios en la salida de la lámpara. Los cambios en la salida de la lámpara también pueden ser causados por la acumulación de suciedad u otros residuos en o sobre el sobre del quemador [38].

d) Muestra de prueba

- **Número de muestras:** Se recomienda que al menos tres réplicas de cada material evaluado se expongan en cada prueba para permitir la evaluación estadística de los resultados [38].

Sin embargo en concordancia a lo indicado en [38] para proporcionar mayor información sobre la muestra de prueba nos referiremos a la norma ASTM G 151 – 00, la misma que determina lo siguiente:

- **Número de muestras de prueba:** El número de muestras de prueba para cada condición de prueba o período de exposición deberá ser el especificado en el método de prueba apropiado para la propiedad o propiedades que se medirán después de la exposición.
- **Forma y preparación:** Las dimensiones de las muestras de prueba normalmente *son aquellas especificadas en el método de prueba apropiado para la propiedad o propiedades que se medirán después de la exposición*. Cuando se debe determinar el comportamiento de un tipo específico de artículo, el artículo en sí debe exponerse siempre que sea posible.
- **Períodos de exposición y evaluación de los resultados de las pruebas:**

En la mayoría de los casos, la evaluación periódica de los materiales de prueba y control es necesaria para determinar la variación en la magnitud y la dirección del cambio de propiedad en función del tiempo de exposición o exposición radiante.

El tiempo o la exposición radiante necesaria para producir un cambio definido en una propiedad del material se puede utilizar para evaluar o clasificar la estabilidad de los materiales. Este método se prefiere a la evaluación de materiales después de un tiempo de exposición arbitrario o exposición radiante.

La exposición a un tiempo arbitrario o la exposición radiante se pueden usar para el propósito de una prueba específica si así lo acuerdan las partes interesadas o si se requiere para cumplir con una especificación particular. Cuando se usa un solo período de exposición, seleccione un tiempo o exposición radiante que produzca las mayores diferencias de rendimiento entre los materiales de prueba o entre el material de prueba y el material de control.

El tiempo mínimo de exposición utilizado será el necesario para producir un cambio sustancial en la propiedad de interés para el material menos estable que se evalúa. No se puede asumir que un tiempo de exposición que produce un cambio significativo en un tipo de material sea aplicable a otros tipos de materiales.

Para el análisis de datos se considera pertinente se realice un análisis de varianza para determinar si alguna diferencia entre los materiales de prueba y los materiales de control es estadísticamente significativa. Exponga las réplicas de la muestra de prueba y la muestra de control para poder determinar diferencias de rendimiento estadísticamente significativas.

2.2.5.2 Prueba de humedad

a) Significación y uso

Este método de prueba para la tasa de absorción de agua tiene dos funciones principales: en primer lugar, como una guía para la proporción de agua absorbida por un material y, en consecuencia, en aquellos casos en que se han determinado las relaciones entre la humedad y las propiedades eléctricas o mecánicas, las dimensiones o el aspecto, como una guía de los efectos de la exposición al agua o las condiciones húmedas en dichas propiedades; y segundo, como una prueba de control sobre la uniformidad de un producto. Esta segunda función es particularmente aplicable a los brazos de lámina, varilla y tubo cuando la prueba se realiza en el producto terminado [39].

b) La difusión ideal de líquidos en polímeros

Es una función de la raíz cuadrada del tiempo de inmersión. El tiempo de saturación es fuertemente dependiente del grosor de la muestra [39].

c) El contenido de humedad

El contenido de humedad de un plástico está muy íntimamente relacionado con propiedades tales como la resistencia al aislamiento eléctrico, las pérdidas dieléctricas, la resistencia mecánica, el aspecto y las dimensiones.

El efecto sobre estas propiedades del cambio en el contenido de humedad debido a la absorción de agua depende en gran medida del tipo de exposición (por inmersión en agua o por exposición a alta humedad), la forma de la pieza y las propiedades inherentes del plástico. Con materiales no homogéneos, como formas laminadas, la tasa de absorción de agua puede ser muy diferente a través de cada borde y superficie. Incluso para materiales por lo demás homogéneos, puede ser un poco mayor a través de los bordes cortados que a través de las superficies moldeadas. En consecuencia, los intentos de correlacionar la absorción de agua con el área superficial generalmente deben limitarse a materiales estrechamente relacionados y a especímenes con formas similares: para materiales de densidad muy variable, la relación entre los valores de absorción de agua en un volumen y una base de peso puede necesitar ser considerado [39].

d) Equipo

Fundamentalmente consta de una balanza analítica capaz de leer 0.0001 g. y un horno, capaz de mantener temperaturas uniformes de $50 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ($122 \pm 5.4 \text{ }^\circ\text{F}$) y de 105 a $110 \text{ }^\circ\text{C}$ (221 a $230 \text{ }^\circ\text{F}$) [39].

e) Reacondicionamiento

Aplica, cuando se sabe o se sospecha que los materiales contienen una cantidad apreciable de ingredientes solubles en agua, las muestras, después de la inmersión, se pesarán y luego se reacondicionarán durante el mismo tiempo y temperatura que el utilizado en el período de secado original. Luego se enfriarán en un desecador y se volverán a pesar inmediatamente. Si el peso reacondicionado es menor que el peso acondicionado, la diferencia se considerará como materia soluble en agua perdida durante la prueba de inmersión. Para tales materiales, el valor de absorción de agua se

tomará como la suma del aumento de peso en la inmersión y del peso de la materia soluble en agua [39].

f) Procedimiento

- **Inmersión durante las veinticuatro horas:** Las muestras acondicionadas deben colocarse en un recipiente con agua destilada mantenida a una temperatura de 23 ± 1 °C, y deben descansar en el borde y sumergirse por completo. Al final de 24, $+ 1/2, - 0$ h, las muestras deben retirarse del agua una a la vez, toda el agua de la superficie se enjuaga con un paño seco y se pesa inmediatamente con los 0.001 g más cercanos. Si la muestra tiene un grosor de 1/16 pulgadas o menos, debe colocarse en una botella de pesaje inmediatamente después de limpiarla y pesarse en la botella [39].
- **Inmersión a largo plazo:** Para determinar el total de agua absorbida cuando está sustancialmente saturada, las muestras acondicionadas deben analizarse como se describe en el renglón anterior, excepto que al final de las 24 h deben retirarse del agua, limpiarse de la humedad de la superficie con una tela seca, peso inmediatamente a los 0,001 g más cercanos y luego se vuelve a colocar en el agua. Los pesajes se repetirán al final de la primera semana y cada dos semanas a partir de entonces hasta que el aumento de peso por período de dos semanas, como se muestre en tres pesajes consecutivos, promedie menos del 1% del aumento total de peso o 5 mg. el que sea mayor el espécimen se considerará sustancialmente saturado. La diferencia entre el peso sustancialmente saturado y el peso seco se considerará como el agua absorbida cuando está sustancialmente saturado [39].
- **Inmersión de dos horas:** Para todos los espesores de materiales que tienen una tasa de absorción relativamente alta, y para muestras delgadas de otros materiales que pueden mostrar un aumento de peso significativo en 2 h, las muestras se analizarán como se describe en la descripción inmersión durante las veinticuatro horas, excepto que el tiempo de inmersión se reducirá a 120 ± 4 min [39].
- **Inmersión repetida:** Un espécimen se puede pesar al 0.001 g más cercano después de una inmersión de 2 h, se reemplaza en el agua y se pesa nuevamente después de 24 h [39].

g) Cálculo

En función de la norma ASTM D 570 - 98 el porcentaje de incremento en el peso durante la inmersión, calculado al 0.01% más cercano se procede de la siguiente manera:

$$\text{Aumento de peso, \%} = \left(\frac{W-D}{D} \right) * 100 \quad \text{Ec: (2.1)}$$

Donde:

W = Peso húmedo (en gramos)

D = Peso seco (en gramos)

h) Gráfico de la prueba

Solo para el procedimiento de inmersión a largo plazo, prepare una gráfica del aumento de peso en función de la raíz cuadrada de cada tiempo de inmersión. La pendiente inicial de este gráfico es proporcional a la constante de difusión del agua en el plástico. La región de meseta con poco o ningún cambio en el peso en función de la raíz cuadrada del tiempo de inmersión representa el contenido en agua de saturación del plástico [39].

El porcentaje de agua absorbida, es igual al valor del porcentaje de aumento de peso calculado con la Ec: (2.1), con la consideración que el composite de estudio no contienen una cantidad apreciable de ingredientes solubles en agua.

2.2.6 Caracterización mecánica

2.2.6.1 Ensayo de materiales

Para determinar las propiedades mecánicas en la caracterización y análisis de los materiales compuestos, se utilizan ensayos destructivos. El proceso de ensayo comienza en tomar determinada cantidad de muestras del material y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo. Los ensayos mecánicos se realizan ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado, para resultados satisfactorios [40].

a) Ensayo de tracción

Este ensayo es uno de los más comúnmente realizados. El material ensayado se deforma hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal, y que aumenta de manera gradual.

En cuanto a materiales compuestos reforzados con fibras, el ensayo de tracción se lleva a cabo bajo la norma ASTM D 3039 / D 3039M – 00 y se lo realiza utilizando una máquina universal de ensayos como la que se muestra en las Figuras 2.14 - 2.15.

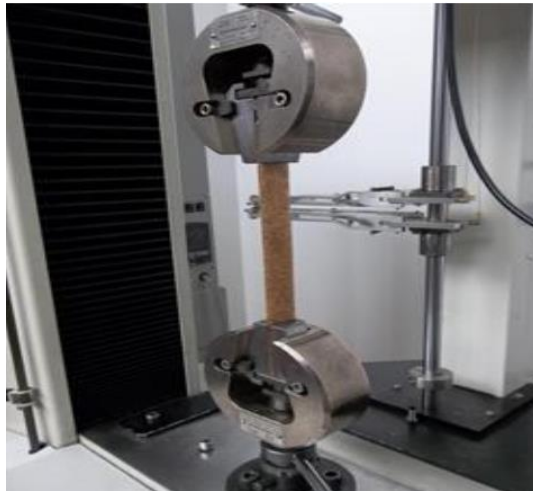


Figura 2.14. Máquina universal - Ensayo a tracción [41].

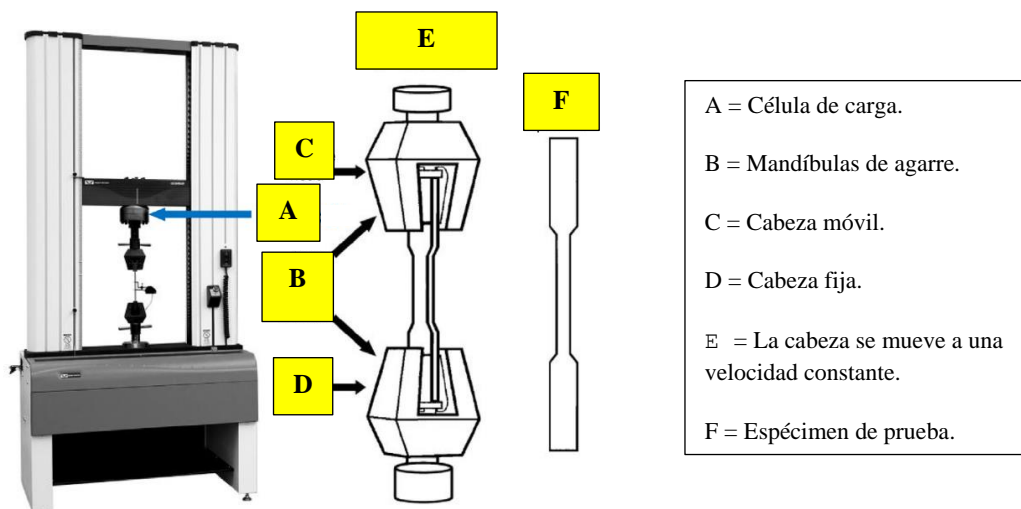


Figura 2.15. Equipo típico de ensayo de tracción [42].

Las probetas a ensayar deben presentar dimensiones específicas indicadas en la norma mencionada anteriormente. Además, dichas probetas requieren mostrar superficies libres de defectos visibles, fisuras o imperfecciones. [40].

b) Ensayo de flexión

Este ensayo es realizado mediante la norma ASTM D 7264 / D7264M – 07, como lo indica las Figuras 2.16 – 2.17. Este método de ensayo determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. El procedimiento aplicado corresponde a un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples. El equipo que es utilizado para este ensayo se indica en las Figura 2.16. Las propiedades a flexión pueden variar dependiendo de la superficie de la probeta, pues ningún laminado es perfectamente simétrico. Estas diferencias desviarán el eje neutral y los resultados se verán afectados incluso por la mínima asimetría presente en el laminado.

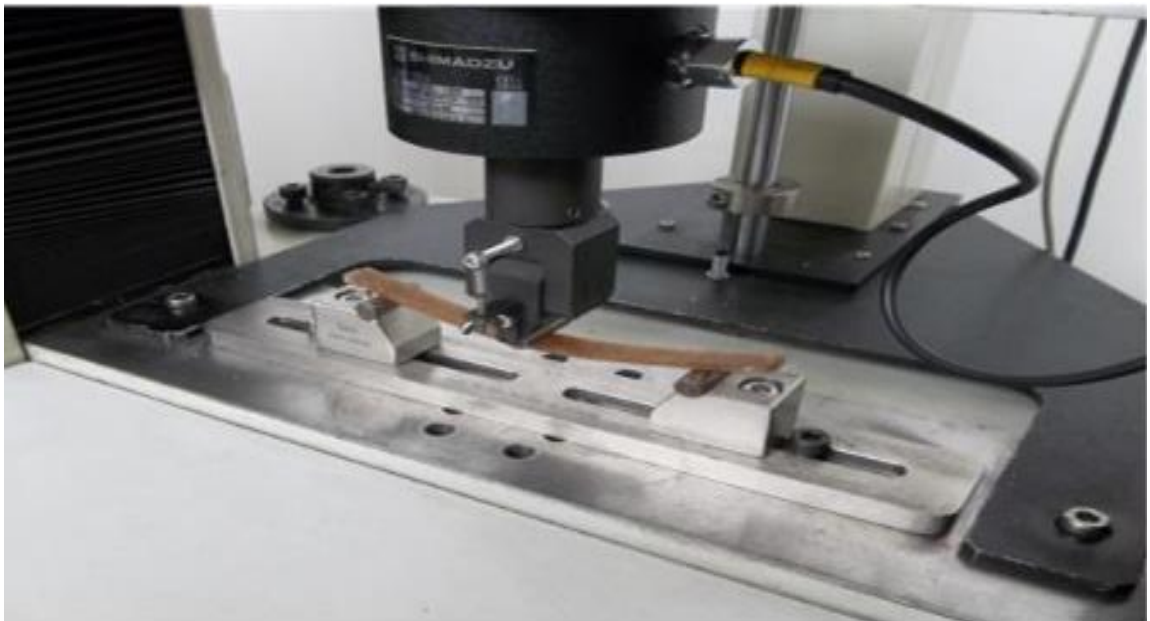


Figura 2.16. Máquina universal - Ensayo a flexión [41].

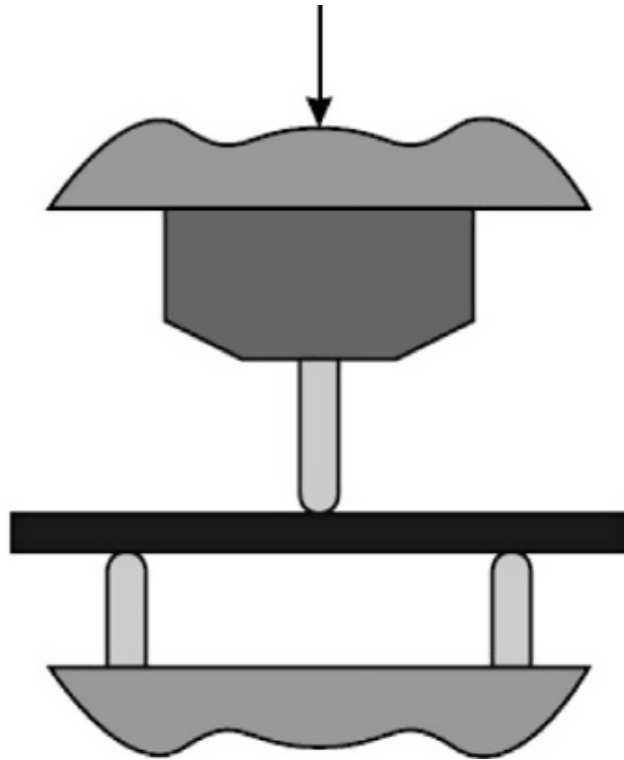


Figura 2.17. Esquema simplificado de flexión de tres puntos [43].

Las propiedades a flexión también pueden variar de acuerdo al espesor de la probeta, ambientes condicionantes o de ensayo en el que se ejecutan las pruebas, velocidad de aplicación de esfuerzo. Cuando se evalúan distintos materiales, los parámetros deben ser equivalentes para la comparación de todos los datos obtenidos.

Las dimensiones de las probetas requeridas para los ensayos se encuentran indicadas en la norma ASTM D 7264 - 07, y de igual manera, las respectivas ecuaciones que permiten calcular valores para las propiedades a flexión.

Al igual que en el ensayo de tracción, las probetas deben respetar características solicitadas de aspecto superficial, como es la ausencia de fisuras o defectos que influyan erradamente en los resultados del ensayo. Así mismo, las marcas ocasionadas por operaciones de corte deben ser cuidadosamente eliminadas con una lima fina o un abrasivo. De esta manera se alcanza una pre-selección y preparación de probetas que serán aptas para la realización del ensayo.

2.3 Fundamentación Filosófica

La presente investigación sobre la influencia de pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales está ubicada dentro del paradigma crítico propositivo; crítico porque la presente investigación parte de la problemática real que engloba nuestro medio en desarrollar conocimiento científico sobre la influencia de la humedad y UV en las propiedades mecánicas de los composites, enmarcándose en la directriz de conseguir avances dentro del área de Ingeniería de Materiales y a su vez innovar con el empleo de nuevos materiales caracterizados en función de su comportamiento mecánico dentro de la industria automotriz - carrocería en el Ecuador; y propositivo por los mecanismos y guías que se generen para el desarrollo de los ensayos, que permitirán realizar el análisis mecánico de manera correcta de la influencia de las pruebas tecnológicas bajo la respectiva normativa en los composites de estudio, que además serán de gran aporte en el diseño y producción de partes o elementos que se necesiten en las diferentes industrias con las que cuenta el país, al conocer las características que estos puedan ofrecer.

2.4 Fundamentación legal

La presente investigación se desarrollará con la aplicación de varias normas, en ese marco citaremos las siguientes:

ASTM D 3039 / D 3039M – 00, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

ASTM D 7264 / D 7264M – 07, Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

ASTM D 570 – 98, Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.

ASTM G 151 – 00, Standard Practice for Exposing Non-Metallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources.

ASTM G 155 – 13, Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials.

2.5 Categorías fundamentales

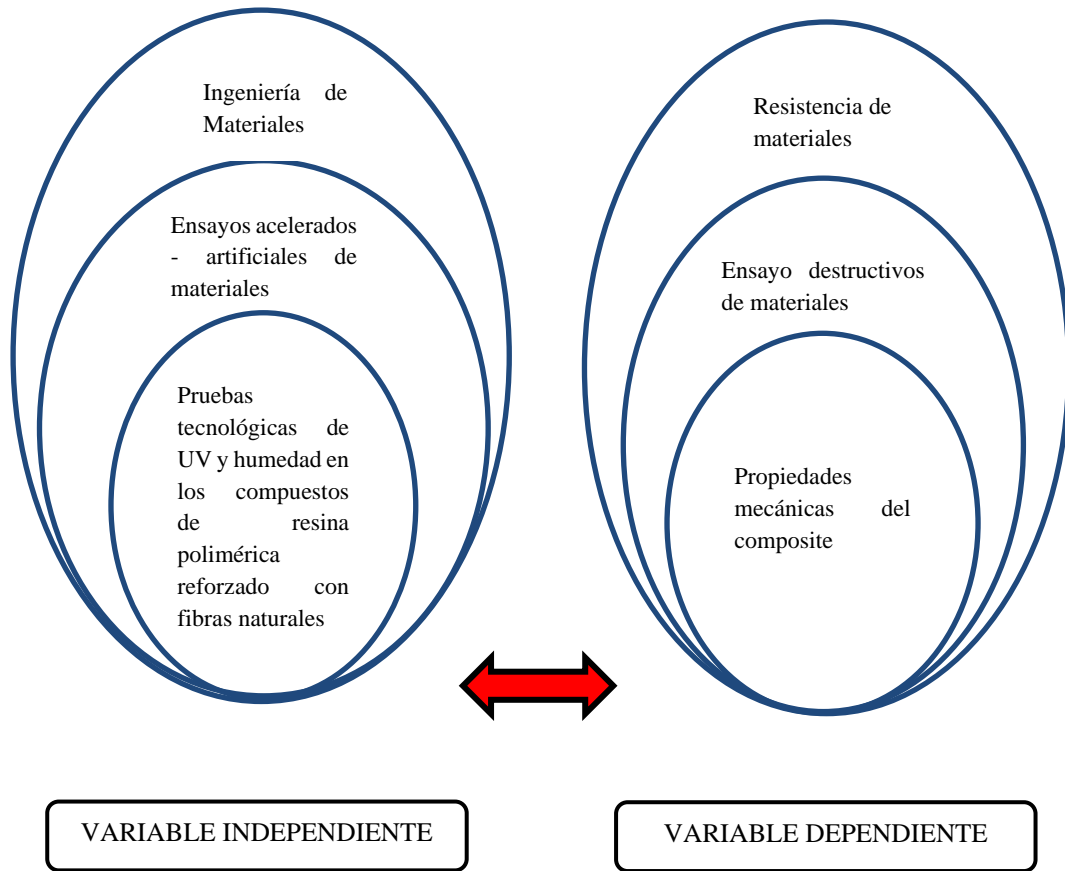


Figura 2.18. Categorías fundamentales [Autor].

2.6 Hipótesis

Las pruebas tecnológicas de UV y humedad en los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales bajo norma ASTM influenciará significativamente sobre las propiedades mecánicas del composite.

2.7 Señalamiento de variables

2.7.1 Variable independiente

Las pruebas tecnológicas de UV y humedad en los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales bajo norma ASTM.

2.7.2 Variable dependiente

Las propiedades mecánicas del composite.

2.7.3 Término de relación

Influenciará significativamente.

CAPÍTULO III

3.1 Enfoque

El presente trabajo de investigación se enmarca en el uso de variables en las que predomina lo cuantitativo, por ende se manejarán datos numéricos con fraccionamientos que nos permitirá realizar un análisis científico – técnico en el estudio las mismas. En función de ello se realizarán diferentes tipos de ensayos que permitirán determinar las propiedades mecánicas de los composites con matriz polimérica influenciados por la radiación ultravioleta (UV) y la humedad. Que a su vez cuyos ensayos y análisis conllevarán a determinar su aplicabilidad dentro del sector automotriz – carroceros.

En lo referente a los indicadores que se manejaran para el análisis de la influencia de las pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas del composite, serán fundamentalmente, gráficas de dispersión, diagramas de barras, histogramas, tablas, entre otros con la finalidad de detallar los resultados de manera estadística.

Por su parte la información necesaria que será indispensable para la realización de la investigación proviene principalmente de fuentes primarias, como libros, tesis, artículos científicos, etc., y de fuentes secundarias mediante el uso de la normativa aplicable.

3.2 Modalidad Básica de la investigación

3.2.1 De campo

La investigación de laboratorio se torna esencial en el desarrollo de este trabajo de investigación, toda vez que se ensayarán las respectivas probetas mediante las pruebas tecnológicas de rayos ultravioletas (UV) y humedad para la recopilación de datos, que permitan a posteriori la caracterización del composite por medio de las pruebas mecánicas de tracción y flexión. Todos los resultados producto del estudio se

someterán a un análisis estadístico que permitirán determinar y evaluar la fiabilidad de nuestra investigación, así como llevar a la praxis de la misma en el campo industrial.

3.2.2 Bibliográfico

Ésta es fundamental, ya que se deberá acudir a diversas fuentes bibliográficas como, bibliotecas, Internet, etc. A la vez localizada las fuentes de información científica - técnica, procederemos a recopilar, extraer, procesar y retener la información para emplearla en la investigación en desarrollo.

Las publicaciones mediante artículos científicos especializados que contienen información de investigaciones desarrolladas y/o resúmenes de investigaciones publicadas en revistas de ciencia y tecnología de renombre a nivel internacional, también serán de gran utilidad, en el contexto que nos permitirá enfocar bajo criterio metodológico el desarrollo de la investigación, comparar datos, procedimientos y a su vez enriquecer nuestros conocimientos en el área de estudio.

3.2.3 Experimental

La investigación experimental es clave e idónea para llevar a cabo este trabajo investigativo, ya que se integrará un conjunto de actividades metódicas y técnicas para recabar la información y datos necesarios sobre: el tema a investigar, el problema a resolver y la hipótesis a verificar, para ello se realizarán los ensayos tecnológicos de UV y humedad sobre el composite de estudio y posteriori de su influencia bajo normativa se determinarán datos de su comportamiento a flexión y tracción mediante las pertinentes pruebas mecánicas, permitiendo conocer el grado de variación de las propiedades mecánicas al someter al composite al ciclo experimental planteado.

3.2.4 Aplicada

En razón que se pretende a partir del estudio investigativo de la influencia de los rayos ultravioletas (UV) y humedad sobre composites poliméricos reforzados con fibra natural, se pueda tener criterio con sustento ingenieril, en utilizar el composite de estudio en componentes de la industria automotriz - carrocera.

3.3 Nivel o tipo de investigación

3.3.1 Descriptivo

El estudio está en el nivel *descriptivo*, puesto que uno de los fines del mismo es describir las propiedades y formulación de cada material composite de matriz polimérica de nuestro estudio. A más de describir el desarrollo de las pruebas tecnológicas y el proceso para la determinación y la obtención de las diferentes propiedades mecánicas.

3.3.2 Asociación de variables

Al desarrollar este estudio es importante entrar a un nivel de la investigación de tipo de *asociación de variables*, para de esta manera permitan interpretar y conjugar los datos de las respectivas variables ya expuestas en el presente documento.

3.3.3 Explicativo

El estudio se enmarca en el nivel *explicativo* ya que los resultados obtenidos permitirán dar una explicación fundamentada a las industrias nacionales que se encuentren inmersos al área automotriz – carrocería sobre las ventajas de la aplicación de composites reforzados con fibras naturales en la producción de componentes estructurales secundarios de la industria hecha mención, en función del comportamiento de las propiedades mecánicas del composite frente a su exposición a la humedad y a los rayos UV.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población considerada para este trabajo de investigación es:

Compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales del Ecuador, enmarcados dentro de éste parámetro se encuentran fundamentalmente los conformados por resina poliéster + fibras naturales de abacá, yute, sisal, ramio, cabuya, algodón, plátano etc. Así como también los estructurados por resina epoxi + fibras

naturales de abacá, yute, sisal, ramio, cabuya, algodón, plátano etc. Cuyos composites son los más utilizados dentro de las diferentes investigaciones realizadas por la Academia Universitaria en la línea de investigación de Ingeniería de Materiales; así como también los medios de fabricación del composite y formas de caracterización bajo la realización de diferentes ensayos mecánicos normados, considerándose además las pruebas tecnológicas de exposición para composites previo a su análisis mecánico, con el empleo de los equipos correspondientes.

3.4.2 Muestra

La muestra para el presente estudio es:

Probetas de composites con constituyentes de: matriz de resina poliéster reforzado con fibra natural de cabuya y de plátano (dos composites). Cuyas probetas serán mediante fabricación por el método de impregnación manual. Aplicando un muestreo no probabilístico de juicio de cinco réplicas de cada probeta por cada composite y por cada condición de prueba tecnológica de UV y humedad, en cumplimiento con la normativa ASTM G 155 - 13 y ASTM D 570 – 98 respectivamente, fin permitir la evaluación estadística de los resultados. Posteriori a ello la muestra será sujeta a ensayos mecánicos de tracción y flexión bajo lo establecido en las Normas ASTM D 3039 - 00 y ASTM D 7264 - 07 respectivamente; para luego en función del análisis correspondiente determinar el composite que presente la mejor prestación mecánica (en relación a sus propiedades) ante su comportamientos a la prueba de UV y humedad.

3.5 Operacionalización de variables

3.5.1 Variable Independiente

Pruebas tecnológicas de UV y humedad en los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales bajo norma ASTM.

| CONCEPTUALIZACIÓN | CATEGORÍAS | INDICADORES | ÍNDICE | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|---|--|---|--|
| Las pruebas tecnológicas de UV y humedad determinan el comportamiento de composites u material frente al envejecimiento acelerado mediante rayos ultravioleta y condiciones ambientales principalmente de humedad controladas, al simular las condiciones de servicio en exterior de un determinado composite de base polimérica. | Composite polimérico: | | | |
| | - Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | - Fracción volumétrica resina - fibra | (70% resina - 30% fibra) ± 5% | <ul style="list-style-type: none"> • Experimental • Vaso de precipitación • Balanza electrónica |
| | - Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | - Fracción volumétrica resina - fibra | (70% resina - 30% fibra) ± 5% | |
| | Pruebas tecnológicas: | | | |
| - Prueba de UV | Degradación | % de pérdida de las propiedades mecánicas (tracción - flexión) | <ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de laboratorio • Norma ASTM G 155-13 • Cámara de arco de xenón | |
| - Prueba de humedad | (%) Absorción de agua | % de aumento de absorción para cada tiempo de inmersión hasta la saturación. | <ul style="list-style-type: none"> • Experimental • Norma ASTM D 570 - 98 • Balanza electrónica • Observación directa y registro de datos | |

3.5.2 Variable Dependiente

Propiedades mecánicas del composite.

| CONCEPTUALIZACIÓN | CATEGORÍAS | INDICADORES | ÍNDICE | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|--|--|---|--|---|
| <p>Las propiedades mecánicas de un composite son las características inherentes, que permiten diferenciar un composite o material de otro, a través de la descripción de su comportamiento al aplicarle fuerzas externas que son evaluadas por medio de los respectivos ensayos bajo normativa [32].</p> | <p>Composite (resina poliéster + fibra de cabuya)</p> <p>Ensayo de Tracción:</p> | <p>- Resistencia a la tracción</p> <p>- Módulo de Elasticidad</p> | <p>Cuál es el % de pérdida de resistencia a la tracción?</p> <p>Cuál es el % de pérdida del módulo de elasticidad?</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de laboratorio • Norma ASTM D 3039 / D 3039 M • Máquina universal - Polímeros Metrotest • Observación directa y registro de datos. • Ensayo de laboratorio • Norma ASTM D 7264 - 2015 • Máquina universal - Polímeros Metrotest • Observación directa y registro de datos. • Ensayo de laboratorio • Norma ASTM D 3039 / D 3039 M • Máquina universal - Polímeros Metrotest • Observación directa y registro de datos. • Ensayo de laboratorio • Norma ASTM D 7264 - 2015 • Máquina universal - Polímeros Metrotest • Observación directa y registro de datos |
| | <p>Ensayo de Flexión:</p> | <p>- Esfuerzo de flexión</p> <p>- Módulo a la flexión</p> | <p>Cuál es el % de pérdida del esfuerzo de flexión?</p> <p>Cuál es el % de pérdida del módulo a la flexión?</p> | |
| | <p>Composite (resina poliéster + fibra de plátano)</p> <p>Ensayo de Tracción:</p> | <p>- Resistencia a la tracción</p> <p>- Módulo de Elasticidad</p> | <p>Cuál es el % de pérdida de resistencia a la tracción?</p> <p>Cuál es el % de pérdida del módulo de elasticidad?</p> | |
| | <p>Ensayo de Flexión:</p> | <p>- Esfuerzo de flexión</p> <p>- Módulo a la flexión</p> | <p>Cuál es el % de pérdida del esfuerzo de flexión?</p> <p>Cuál es el % de pérdida del módulo a la flexión?</p> | |

3.6 Recolección de la información

Fundamentalmente acorde a la operacionalización de variables en la presente investigación se recolectará información mediante el empleo de la técnica de la observación directa de las mediciones producto de los ensayos de laboratorio bajo la respectiva normativa aplicada, en todos los aspectos a tratarse dentro de la misma, ya que se puede decir que es la más adecuada para poder emitir un criterio en relación a los parámetros a tratarse en esta investigación. Claro está que se empleará diversos medios o instrumentos de medición, los cuales nos permitirán obtener y recoger la información de la manera más correcta y eficiente. Se registrarán todos los parámetros y datos involucrados dentro de los ensayos e inclusive todos los hechos e imprevistos que susciten en la conformación de la información a consolidar para su posterior procesamiento y análisis.

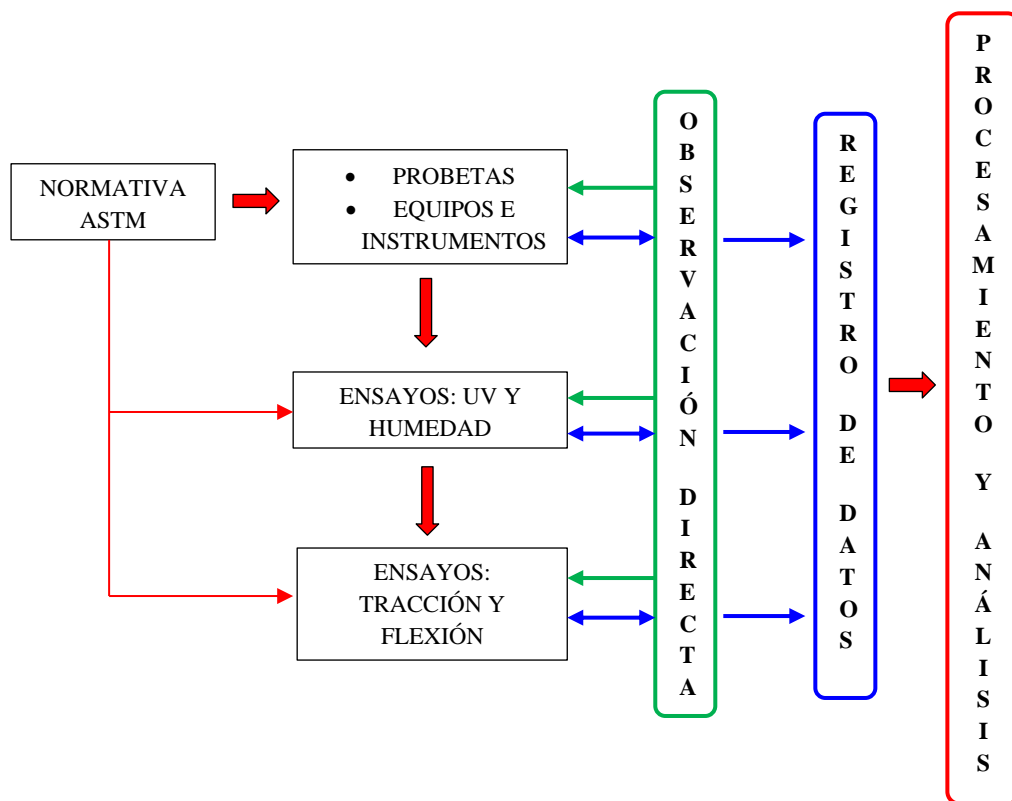


Figura 3.1. Proceso recolección de información [Autor].

3.7 Procesamiento y análisis

3.7.1 Plan de procesamiento

A continuación se presenta el plan de procedimiento para llevar a cabo el estudio:

a) Adquisición de conocimiento sobre el tema a estudiar

- Revisión y selección de la información más importante y puntual; tanto bibliográfica, normativa y notas técnicas.
- Diseño de registros de recolección de datos para su procesamiento.

b) Fabricación de probetas de los materiales compuestos de estudio

- Adquisición de las fibras de cabuya y plátano. Realización del peinado de las mismas como tratamiento previo y desarrollo del tejido tipo estera de las mismas.
- Adquisición de la resina poliéster, cera desmoldante y catalizador.
- Fabricación por medio del proceso de estratificación manual y compresión de las planchas de los materiales compuestos de estudio en espesores de 2.5 mm y 4.0 mm para cada uno, utilizando una fracción volumétrica de 70% resina y 30% fibra $\pm 5\%$.
- Extracción por medio de corte láser las probetas de tracción y flexión, cumpliendo dimensionalmente con la normativa ASTM D 3039 – 00 y ASTM D 7264 - 07 respectivamente.

c) Desarrollo de la prueba de UV

- Acondicionamiento de la cámara de arco de xenón Q-SUN acorde a la normativa ASTM G 155-13, con los siguientes parámetros para simular el ataque acelerado de la radiación UV en los materiales compuestos de estudio:
 - ✓ Longitud de onda: 340 nm
 - ✓ Radiación: 0.35 W/m²
 - ✓ Temperatura: 60 \pm 5 °C
 - ✓ Energía de exposición: ~2.0 KJ/m².h
 - ✓ Aspersión de: Agua
- Realización de la prueba UV a las probetas de tracción y flexión designadas de los dos tipos de materiales compuestos de estudio, para los niveles de tiempos de exposición de 100 y 200 horas.

d) Desarrollo de la prueba de humedad

- Planteamiento acorde a la normativa ASTM D 570-98, de las siguientes condiciones para el desarrollo del respectivo ensayo en las probetas de tracción y flexión de los materiales compuestos de estudio:
 - ✓ Temperatura promedio de ensayo: 20°C
 - ✓ Acondicionamiento: Secado a horno infrarrojo por 24 horas
 - ✓ Tipo de inmersión: Agua desionizada a temperatura ambiente
 - ✓ Tiempo de inmersión: Procedimiento de inmersión a largo plazo.

e) Desarrollo de los ensayos de tracción y flexión

- A las probetas sometidas a las pruebas de UV y humedad, a las condiciones indicadas anteriormente se ensayan a tracción y flexión, siguiendo el protocolo establecido en la normativa ASTM D 3039 – 00 y ASTM D 7264 - 07 respectivamente, así como también a un lote de probetas sin exposición, que son la línea base para fines comparativos de la variación de las propiedades.

f) Tratamiento experimental de los datos

- Mediante estadística inferencial; a través del planteamiento y desarrollo de un diseño experimental factorial.

3.7.2 Plan de análisis e interpretación de resultados

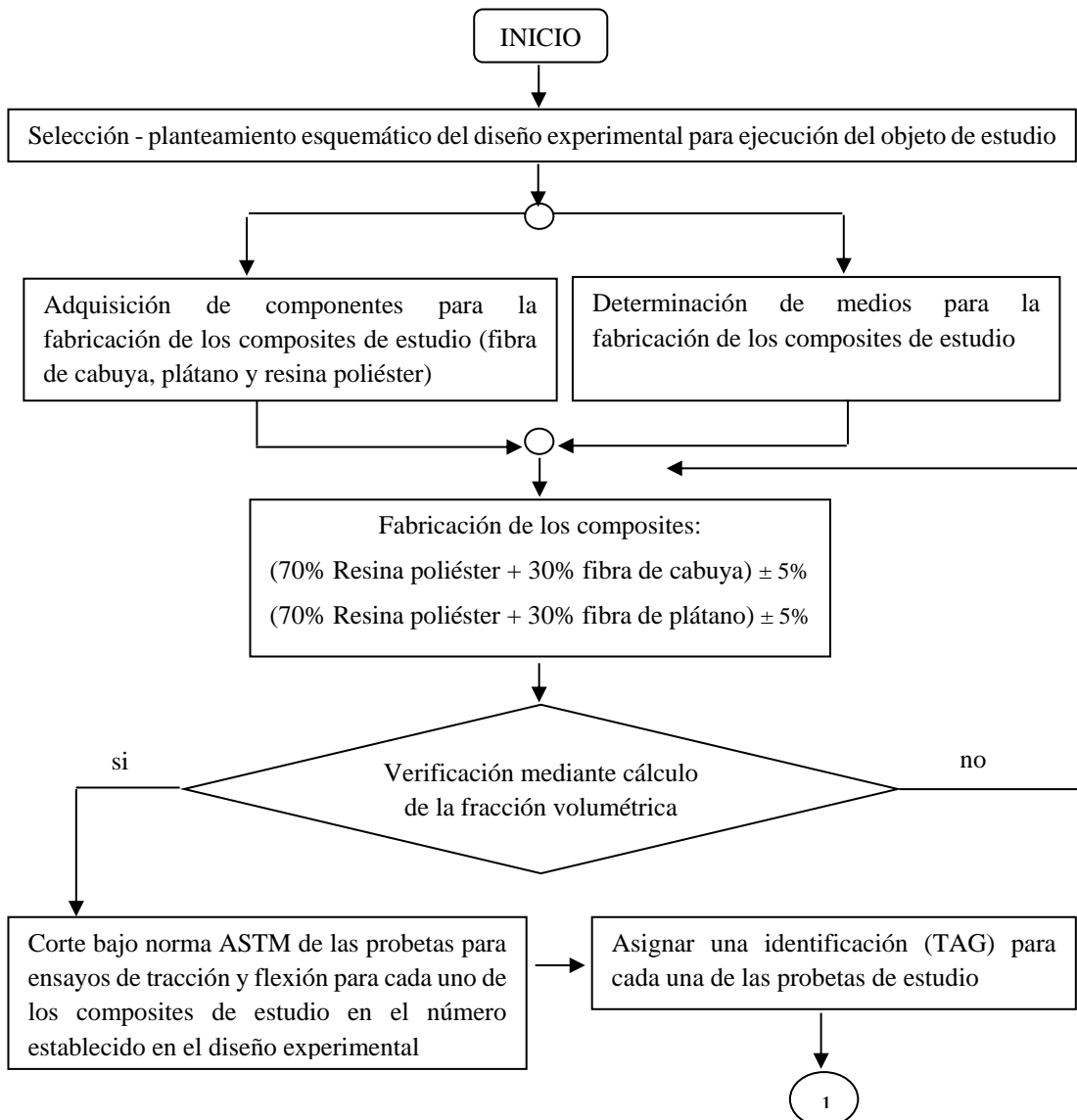
- Registro de los datos obtenidos durante las pruebas de UV, humedad, tracción y flexión, de acuerdo a la necesidad y a la relación que tengan con las variables de la hipótesis.
- Por estadística descriptiva; realización de tabulación y representación gráfica, destacando las tendencias de las propiedades mecánicas obtenidas después del ciclo de exposición a UV y humedad.
- Cálculo y representación gráfica de manera comparativa de los porcentajes de variación de las propiedades mecánicas de tracción y flexión de los composites de estudio.
- Interpretación sistémica de los resultados del diseño experimental, en la influencia de la humedad y UV sobre las propiedades mecánicas de los composites de estudio.
- Verificación de hipótesis. Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

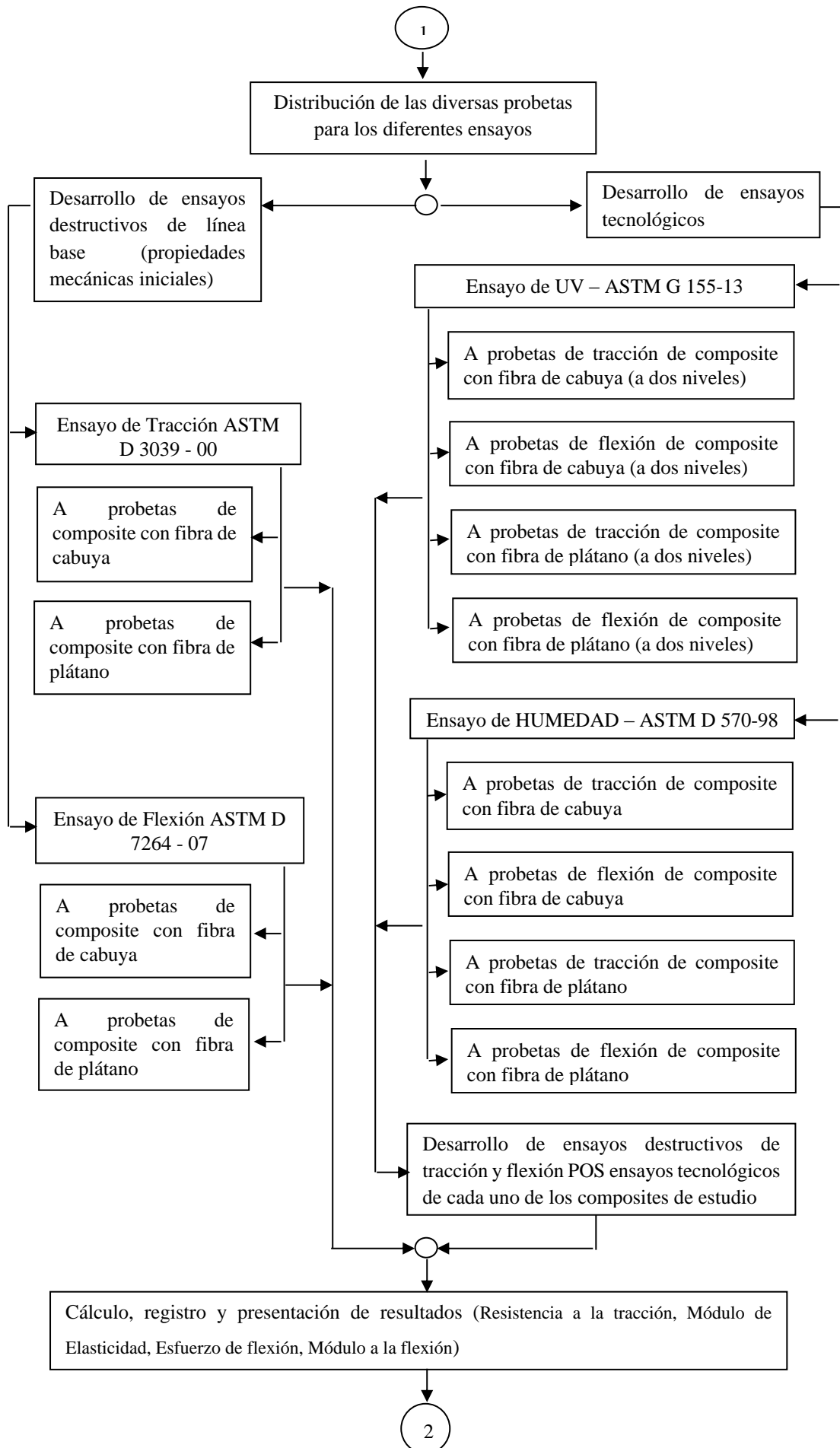
CAPÍTULO IV

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Proceso para el análisis de resultados

En el presente trabajo de investigación se ha conceptualizado y sintetizado el siguiente proceso para el desarrollo, recopilación de resultados y análisis de los mismos correspondiente al estudio de la influencia de pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales del Ecuador bajo norma ASTM.





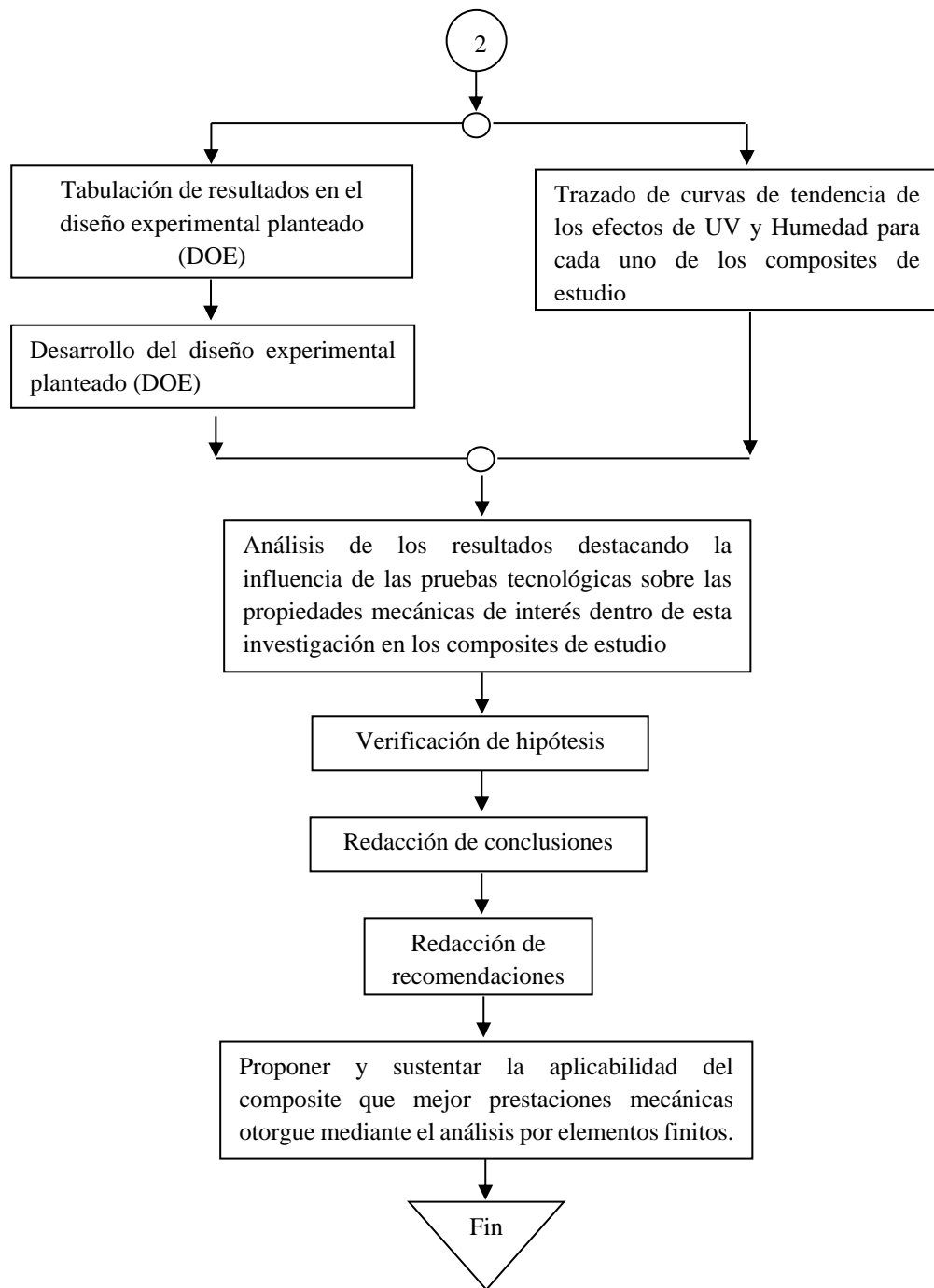


Figura 4.1. Proceso de Análisis de Resultados [Autor].

4.1.2 Presentación de la Filosofía Experimental

A corde a los factores que se manejan en la experimentación del presente trabajo de investigación y con el fin de conocer la cantidad de probetas que se requieren por cada tipo de ensayo y posterior dar el adecuado tratamiento de los datos dentro de su análisis de forma objetiva, se ha planteado para cada uno de los casos de estudio bajo criterio conservador el diseño experimental planteado a continuación:

4.1.3 Selección y planteamiento esquemático de diseño experimental para ejecución del objeto de estudio particularizado para cada uno de los ensayos

Tabla 4.1. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Resistencia a Tracción por efectos de Ensayo UV [Autor].

| | | Factor B: Tiempo de exposición a UV | | | | | |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|----|-------------------|----|-------------------|----|
| | | 0 Horas | | 100 Horas | | 200 Horas | |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | M1 | Mediciones (MPa): | M1 | Mediciones (MPa): | M1 |
| | | M2 | M3 | M2 | M3 | M2 | M3 |
| | | M4 | M5 | M4 | M5 | M4 | M5 |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | M1 | Mediciones (MPa): | M1 | Mediciones (MPa): | M1 |
| | | M2 | M3 | M2 | M3 | M2 | M3 |
| | | M4 | M5 | M4 | M5 | M4 | M5 |

Tabla 4.2. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Esfuerzo de Flexión por efectos de Ensayo UV [Autor].

| | | Factor B: Tiempo de exposición a UV | | | | | |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|----|-------------------|----|-------------------|----|
| | | 0 Horas | | 100 Horas | | 200 Horas | |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | M1 | Mediciones (MPa): | M1 | Mediciones (MPa): | M1 |
| | | M2 | M3 | M2 | M3 | M2 | M3 |
| | | M4 | M5 | M4 | M5 | M4 | M5 |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | M1 | Mediciones (MPa): | M1 | Mediciones (MPa): | M1 |
| | | M2 | M3 | M2 | M3 | M2 | M3 |
| | | M4 | M5 | M4 | M5 | M4 | M5 |

Tabla 4.3. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Resistencia a la Tracción por efectos del Ensayo de Humedad [Autor].

| | | Factor B: Tiempo de exposición a Humedad | |
|--------------------------------|---|--|-------------------|
| | | 0 Horas | 840 Horas |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 |
| | | M3 | M3 |
| | | M4 | M4 |
| | M5 | M5 | |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 |
| | | M3 | M3 |
| M4 | | M4 | |
| M5 | M5 | | |

Tabla 4.4. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Esfuerzo de Flexión por efectos del Ensayo de Humedad [Autor].

| | | Factor B: Tiempo de exposición a Humedad | |
|--------------------------------|---|--|-------------------|
| | | 0 Horas | 840 Horas |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 |
| | | M3 | M3 |
| | | M4 | M4 |
| | M5 | M5 | |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 |
| | | M3 | M3 |
| M4 | | M4 | |
| M5 | M5 | | |

4.1.4 Determinación del número de probetas para ejecución del objeto de estudio particularizando cada uno de los ensayos

Para desarrollar lo establecido en las Tablas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 indicadas en el numeral anterior, en las cuales se precisa tener cierto número de mediciones que demanda las respectivas normas. Bajo esta exigencia se requiere para el ensayo de tracción según

norma ASTM D 3039 / D 3039M – 00 realizar al menos cinco muestras por condición de prueba, igualmente para el caso del ensayo de flexión la norma ASTM D 7264 / D 7264M – 07 que tiene el mismo requerimiento. Cantidad de mediciones que se acoge toda vez que serán los ensayos finales que se ejecuten luego de haber realizado tanto las pruebas tecnológicas de exposición a rayos ultravioletas (UV) y humedad. En ese marco se presenta en la siguiente Tabla 4.5 la cantidad de probetas requeridas:

Tabla 4.5. Número de probetas por composite y condición de prueba [Autor].

| Composites de Estudio | Ensayos Tecnológicos | | Ensayos Mecánicos Destructivos | Número de Probetas Requeridas | |
|---|--|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| <i>Composite (resina poliéster + fibra de cabuya)</i> | UV | 100 Horas | Tracción | 5 | |
| | | | Flexión | 5 | |
| | | 200 Horas | Tracción | 5 | |
| | | | Flexión | 5 | |
| | Humedad | Hasta 840 Horas | Tracción | 5 | |
| | | | Flexión | 5 | |
| | Ninguno | Probetas de línea base | Tracción | 5 | |
| | | | Flexión | 5 | |
| | <i>Composite (resina poliéster + fibra de plátano)</i> | UV | 100 Horas | Tracción | 5 |
| | | | | Flexión | 5 |
| 200 Horas | | | Tracción | 5 | |
| | | | Flexión | 5 | |
| Humedad | | Hasta 840 horas | Tracción | 5 | |
| | | | Flexión | 5 | |
| Ninguno | | Probetas de línea base | Tracción | 5 | |
| | | | Flexión | 5 | |
| Total de probetas | | | | 80 | |

4.1.5 Selección y planteamiento esquemático de diseño experimental para ejecución del objeto de estudio integral entre pruebas tecnológicas y tipos de composites

Tabla 4.6. Diseño factorial – Análisis de mediciones de % de Humedad de absorción [Autor].

| | | Factor B: Tiempo de exposición a Humedad | | | | | |
|--------------------------------|---|--|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0 Horas | 2 Horas | 24 Horas | 168 Horas | 504 Horas | 840 Horas |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | M1 | M1 | M1 | M1 | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 | M2 | M2 | M2 | M2 |
| | | M3 | M3 | M3 | M3 | M3 | M3 |
| | | M4 | M4 | M4 | M4 | M4 | M4 |
| | | M5 | M5 | M5 | M5 | M5 | M5 |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | M1 | M1 | M1 | M1 | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 | M2 | M2 | M2 | M2 |
| | | M3 | M3 | M3 | M3 | M3 | M3 |
| | | M4 | M4 | M4 | M4 | M4 | M4 |
| | | M5 | M5 | M5 | M5 | M5 | M5 |

Tabla 4.7. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Resistencia a Tracción por Efectos de los Ensayos Tecnológicos [Autor].

| | | Factor B: Pruebas Tecnológicas | |
|--------------------------------|---|--------------------------------|---------------------|
| | | UV (promedio) | Humedad (840 horas) |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 |
| | | M3 | M3 |
| | | M4 | M4 |
| | M5 | M5 | |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 |
| | | M3 | M3 |
| M4 | | M4 | |
| M5 | M5 | | |

Tabla 4.8. Diseño factorial – Análisis de mediciones de Esfuerzo de Flexión por Efectos de los Ensayos Tecnológicos [Autor].

| | | Factor B: Pruebas Tecnológicas | |
|--------------------------------|---|--------------------------------|---------------------|
| | | UV (promedio) | Humedad (840 horas) |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 |
| | | M3 | M3 |
| | | M4 | M4 |
| | M5 | M5 | |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 |
| | | M3 | M3 |
| M4 | | M4 | |
| M5 | M5 | | |

4.1.6 Preparación de los composites

4.1.6.1 Proceso de elaboración de los composites de estudio

En función de la planificación del presente trabajo de investigación, es requisito disponer dos tipos de composites, uno con el empleo de fibra de cabuya y otro con el uso de fibra de plátano como refuerzos. Utilizando en los dos casos como matriz resina poliéster.

En ese marco se parte inicialmente con la requisición de las fibras, para el caso particular de la fibra de cabuya se logró obtener la misma dentro de la Provincia de Tungurahua y la fibra de plátano en la Provincia del Guayas del territorio ecuatoriano.

A continuación se muestra en las siguientes figuras de forma simplificada el origen de donde se obtienen las fibras de cabuya y plátano.



a)



b)

Figura 4.2. a) Hoja de cabuya y b) Tallo de plátano [Autor].



a)



b)

Figura 4.3. a) Fibra de cabuya y b) Fibra de plátano [Autor].

Previo a la realización del tejido tipo estera de las fibras, se realizó el peinado de las mismas como tratamiento previo.



Figura 4.4. Peinado de las fibras [Autor].

El tejido tipo estera de las fibras se lo desarrolla utilizando una máquina de tejido artesanal y la gran habilidad del tejedor como se muestra en la siguiente figura.



Figura 4.5. Tejido de fibras [Autor].

Obteniéndose posterior a las actividades de tejido, los respectivos telares formado con las respectivas fibras.



a)



b)

Figura 4.6. a) Telar con fibra de cabuya y b) Telar con fibra de plátano [Autor].

El tejido tipo estera de la fibra cabuya se forma con un diametro de hilo 1.2 mm aproximadamente. En cuanto el tejido con fibra de plátano esta formado con un diámetro aproximado del hilo de 1.3 mm.

Para la obtención de las probetas de cada material compuesto de estudio y posterior realizar los respectivos ensayos, se utilizó la estratificación: manual y por compresión. Para ello se fabricó una plancha de material compuesto de 615 mm x 270 mm x 2,5 mm con la utilización de refuerzo de telar de cabuya (2 capas) y otra de las mismas dimensiones con la utilización de telar de plátano (2 capas), esta para obtener las probetas a tracción.

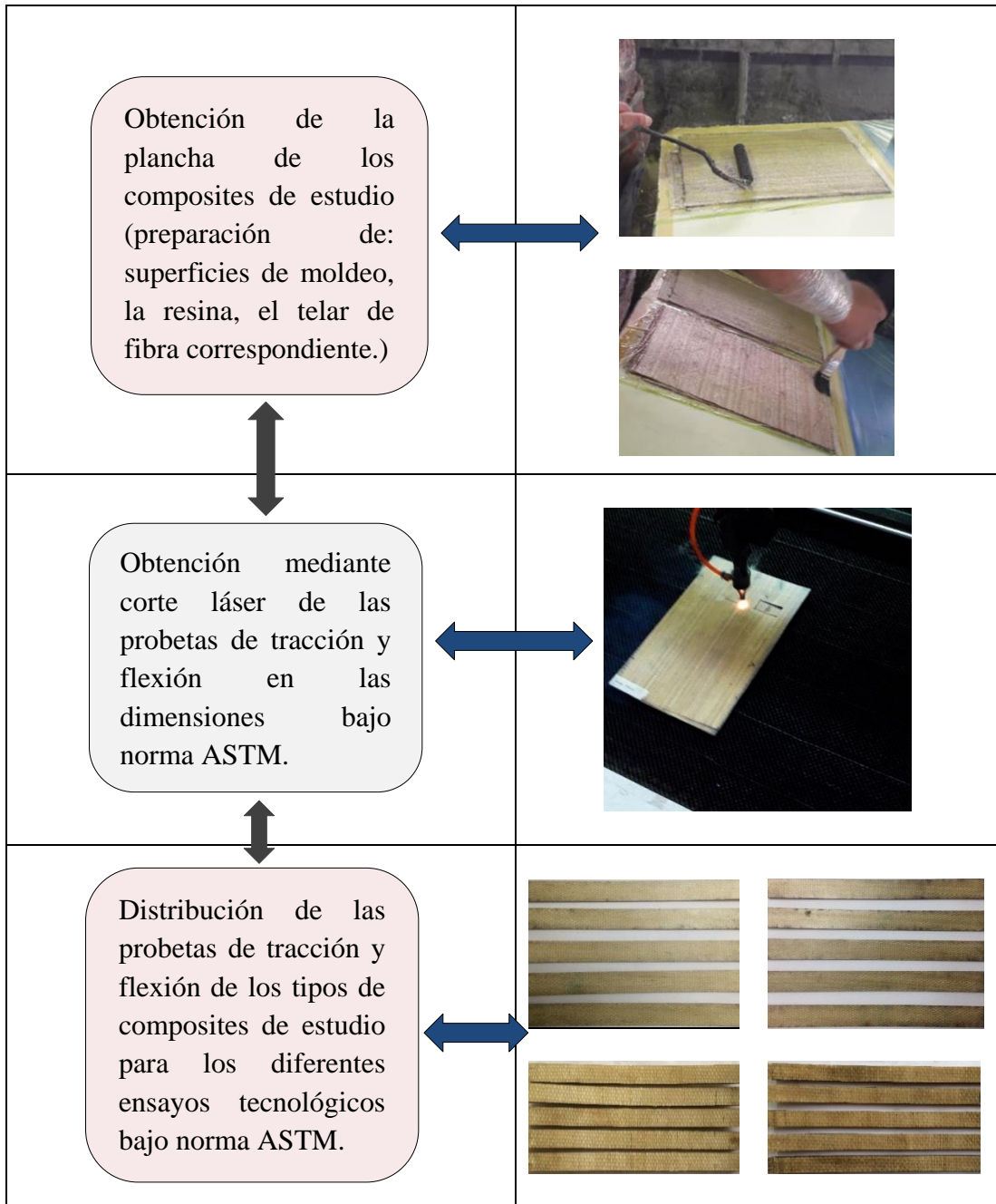
Para la obtención de la probetas de flexión, se fabricó igual al caso anterior una plancha de material compuesto de 376 mm x 180 mm x 4 mm con la utilización de refuerzo de telar de cabuya (4 capas) y otra de las mismas dimensiones con la utilización de telar de plátano (4 capas).

Para la obtención del los dos tipos de planchas de composites destinadas para los ensayos de tracción y flexión, en primera instancia se realizó una limpieza de la superficie donde se instauró el composite, para posteriormente aplicar cera desmoldante en dicha superficie con el fin de facilitar la extracción de la plancha del composite. Mediante la ayuda de un vaso de precipitación cuantificamos el volumen de resina poliéster en función de las fracciones volumétricas de la matriz. Además se utiliza una jeringuilla para determinar el volumen del catalizador MEKP, el cual debe ser el 1 a 2 % del volumen de la resina poliéster, para nuestros composites se empleo el 1,5%, obteniendo de esta forma la matriz de resina poliester. Seguidamente se coloca alternadamente una capa de tejido tipo estera de cabuya o de plátano (según sea el caso) y otra de matriz, una vez alcanzado el espesor de 2,5 mm para el caso de la plancha de la cual se va extraer las probetas a tracción y de 4 mm de la plancha de la cual de va extraer las probetas a flexión, se aplica sobre estas una compresión aproximadamente de 250 Psi. Transcurrido las 24 horas, se procede a desmoldar el material compuesto. Para posterior pasar al corte bajo norma de las probetas de tracción y flexión tanto para el compuesto con fibra de refuerzo de cabuya y/o plátano, particularizando que el corte de las probetas en este estudio se lo ejecutó mediante láser con una longitud de onda 10,64 μm .

Lo descrito en líneas antecesoras responde a pruebas preliminares que se efectuaron con el fin de obtener la respectiva fracción volumétrica que se ha planteado dentro de la presente investigación. Cuya determinación de la fracción volumétrica se muestra en el siguiente numeral con el fin de realizar su verificación.

A continuación en la Tabla 4.9, se sintetiza en tres niveles el proceso de la obtención de las probetas de estudio.

Tabla 4.9. Proceso básico para obtener las probetas de estudio [Autor].



4.1.6.2 Determinación de la fracción volumétrica

Para la determinación de la fracción volumétrica de cada uno de los constituyentes del composite de los cuales se emplean en este estudio, se parte de considerar la regla de las mezclas de los compuestos por fibras, la cual estable que:

$$\rho_c = f_m * \rho_m + f_f * \rho_f \quad \text{Ec: (4.1)}$$

Por lo tanto considera que:

$$f_m = 1 - f_f \quad \text{Ec: (4.2)}$$

Donde:

ρ_c = Densidad del compuesto

f_m y f_f = Fracciones volumétricas de cada constituyente

m y f = Subíndices que se refieren a la matriz y a la fibra de cabuya respectivamente.

a) Fracción volumétrica del composite con refuerzo de fibra de cabuya para la obtención de las probetas a tracción

- **Determinación de la densidad del compuesto**

La densidad se calculó a partir de los datos gravimétricos del peso y medición directa del volumen del cuerpo de elemento, determinados con los respectivos instrumentos de medición, para lo cual se trabajó con un lote de cinco probetas, obteniéndose la siguiente densidad y espesor promedio del composite con refuerzo de fibra de cabuya.



Figura 4.7. Medición del peso de probetas [Autor].

Tabla 4.9. Determinación de la densidad promedio del compuesto con refuerzo de fibra de cabuya en probetas a tracción [Autor].

| Código de Probeta | Peso (g) | Espesor (mm) | Largo (mm) | Ancho (mm) | Volumen (cm ³) | Densidad (g/cm ³) |
|-------------------|----------|--------------|------------|------------|----------------------------|-------------------------------|
| PFC-T-ET-01 | 17,995 | 2,38 | 250,10 | 24,95 | 14,85 | 1,211 |
| PFC-T-ET-02 | 19,578 | 2,56 | 250,00 | 24,94 | 15,96 | 1,226 |
| PFC-T-ET-03 | 18,981 | 2,53 | 249,10 | 24,92 | 15,71 | 1,208 |
| PFC-T-ET-04 | 18,838 | 2,46 | 248,79 | 24,88 | 15,23 | 1,237 |
| PFC-T-ET-05 | 17,890 | 2,24 | 248,40 | 24,79 | 13,79 | 1,296 |

| | |
|--|------------------------|
| Densidad promedio del compuesto - ρ_c | 1,24 g/cm ³ |
|--|------------------------|

- **Densidad de la matriz**

De la Tabla 2.2. Propiedades típicas de las resinas epoxi y poliéster usadas en los materiales compuestos [15], se tiene:

Densidad de la Matriz – Resina poliéster (ρ_m) = 1.20 g/cm³

- **Densidad del refuerzo de fibra de cabuya**

Mediante la selección de un cierto volumen de fibra de cabuya y libre de celulosa, el cual fue pesado en la balanza digital, para su posterior introducción en un volumen establecido de resina de moldeo (sin catalizador) contenido en un vaso de precipitación de 200 ml, a temperatura ambiente de entre 17 - 21 °C y a presión atmosférica; se tiene el siguiente valor de densidad promedio para cinco mediciones experimentales realizadas que se muestra en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Densidad de la fibra cabuya en resina de moldeo [Autor].

| N° de Prueba | Peso (g) | Variación de volumen (cm ³) | Densidad (g/cm ³) |
|--------------|----------|---|-------------------------------|
| 1 | 1,0 | 0,77 | 1,30 |
| 2 | 1,4 | 1,10 | 1,27 |
| 3 | 2,0 | 1,42 | 1,41 |
| 4 | 2,5 | 1,63 | 1,53 |
| 5 | 3,0 | 2,51 | 1,20 |

| | |
|---|------------------------|
| Densidad promedio de la fibra de cabuya | 1,34 g/cm ³ |
|---|------------------------|

- **Cálculo de la fracción volumétrica**

De lo anterior se tiene los siguientes datos:

Densidad del compuesto (ρ_c) = 1.24 g/cm³

Densidad de la Matriz (ρ_m) = 1.2 g/cm³

Densidad del refuerzo de fibra de cabuya (ρ_f) = 1,34 g/cm³

Utilizando la Ec: (4.1), se tiene:

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

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

$$1.24 = (1 - f_f) \cdot 1.2 + f_f \cdot 1.34$$

$$1.24 = 1.2 - 1.2 f_f + 1.34 f_f$$

$$1.24 - 1.2 = 0,14 f_f$$

$$f_f = 0.285 \cong 30\%$$

De este cálculo determinamos que la *fracción volumétrica del refuerzo* en el compuesto ha sido semejante al **30%**; mientras que para determinar la fracción volumétrica de la matriz, aplicamos la Ec: (4.2) y se tiene:

$$f_m = 1 - f_f$$

$$f_m = 1 - 0,285$$

$$f_m = 0,715 \cong 70\%$$

De este cálculo determinamos que la *fracción volumétrica del matriz* en el compuesto es semejante al **70%**.

b) Fracción volumétrica del composite con refuerzo de fibra de plátano para la obtención de las probetas a tracción

- **Determinación de la densidad del compuesto**

Para la determinación de la densidad del compuesto se realizó de la misma manera indicada en los renglones antecesores, obteniéndose los siguientes datos.

Tabla 4.11. Determinación de la densidad promedio del compuesto con refuerzo de fibra de plátano en probetas a tracción [Autor].

| Código de Probeta | Peso (g) | Espesor (mm) | Largo (mm) | Ancho (mm) | Volumen (cm ³) | Densidad (g/cm ³) |
|-------------------|----------|--------------|------------|------------|----------------------------|-------------------------------|
| PFP-T-ET-01 | 20,472 | 2,63 | 250,50 | 24,91 | 16,41 | 1,247 |
| PFP-T-ET-02 | 21,789 | 2,72 | 249,20 | 24,86 | 16,85 | 1,293 |
| PFP-T-ET-03 | 19,780 | 2,39 | 249,50 | 24,84 | 14,81 | 1,335 |
| PFP-T-ET-04 | 20,141 | 2,50 | 248,50 | 24,78 | 15,39 | 1,308 |
| PFP-T-ET-05 | 20,271 | 2,48 | 249,80 | 24,86 | 15,40 | 1,316 |

| | |
|--|------------------------|
| Densidad promedio del compuesto - ρ_c | 1,30 g/cm ³ |
|--|------------------------|

- **Densidad de la matriz**

De la Tabla 2.2. Propiedades típicas de las resinas epoxi y poliéster usadas en los materiales compuestos [15], se tiene:

Densidad de la Matriz – Resina poliéster (ρ_m) = 1.20 g/cm³

- **Densidad del refuerzo de fibra de plátano**

Mediante la misma descripción y/o metodología indicada en líneas anteriores referente a la determinación de la densidad del refuerzo, se obtiene los siguientes datos, esta vez para la fibra de plátano.

Tabla 4.12. Densidad de la fibra plátano en resina de moldeo [Autor].

| N° de Prueba | Peso (g) | Variación de volumen (cm ³) | Densidad (g/cm ³) |
|--|----------|---|-------------------------------|
| 1 | 1,0 | 0,62 | 1,61 |
| 2 | 1,5 | 1,05 | 1,43 |
| 3 | 2,0 | 1,31 | 1,53 |
| 4 | 2,5 | 1,59 | 1,57 |
| 5 | 3,0 | 2,41 | 1,24 |
| Densidad promedio de la fibra de plátano | | | 1,48 g/cm ³ |

- **Cálculo de la fracción volumétrica**

De lo anterior se tiene los siguientes datos:

Densidad del compuesto (ρ_c) = 1.30 g/cm³

Densidad de la Matriz (ρ_m) = 1.2 g/cm³

Densidad del refuerzo de fibra de plátano (ρ_f) = 1,48 g/cm³

Utilizando la Ec: (4.1), se tiene:

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

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

$$1.30 = (1 - f_f) \cdot 1.2 + f_f \cdot 1.48$$

$$1.30 = 1.2 - 1.2 f_f + 1.48 f_f$$

$$1.30 - 1.2 = 0,28 f_f$$

$$f_f = 0.35 \cong 30\%$$

De este cálculo determinamos que la *fracción volumétrica del refuerzo* en el compuesto ha sido semejante al **30%**; mientras que para determinar la fracción volumétrica de la matriz, aplicamos la Ec: (4.2) y se tiene:

$$f_m = 1 - f_f$$

$$f_m = 1 - 0,35$$

$$f_m = 0,65 \cong 70\%$$

De este cálculo determinamos que la *fracción volumétrica del matriz* en el compuesto es semejante al **70%**.

c) Fracción volumétrica del composite con refuerzo de fibra de cabuya para la obtención de las probetas a flexión

A continuación se desarrolla la determinación de la fracción volumétrica en las probetas a flexión, para lo cual se utiliza una muestra de cinco probetas.

- **Determinación de la densidad del compuesto**

Para la determinación de la densidad del compuesto se realizó de la misma manera indicada en los renglones antecesores, obteniéndose los siguientes datos.

Tabla 4.13. Determinación de la densidad promedio del compuesto con refuerzo de fibra de cabuya en probetas a flexión [Autor].

| Código de Probeta | Peso (g) | Espesor (mm) | Largo (mm) | Ancho (mm) | Volumen (cm ³) | Densidad (g/cm ³) |
|-------------------|----------|--------------|------------|------------|----------------------------|-------------------------------|
| PFC-T-EF-01 | 10,240 | 4,13 | 160,00 | 13,02 | 8,60 | 1,190 |
| PFC-T-EF-02 | 10,850 | 4,24 | 160,00 | 13,06 | 8,86 | 1,224 |
| PFC-T-EF-03 | 10,891 | 4,30 | 160,00 | 13,05 | 8,98 | 1,213 |
| PFC-T-EF-04 | 11,989 | 4,40 | 160,00 | 13,04 | 9,18 | 1,305 |
| PFC-T-EF-05 | 11,908 | 4,35 | 160,00 | 13,05 | 9,08 | 1,311 |

| | |
|--|-------------------------|
| Densidad promedio del compuesto - ρ_c | 1,249 g/cm ³ |
|--|-------------------------|

- **Densidad de la matriz**

De la Tabla 2.2. Propiedades típicas de las resinas epoxi y poliéster usadas en los materiales compuestos [15], se tiene:

Densidad de la Matriz – Resina poliéster (ρ_m) = 1.20 g/cm³

- **Densidad del refuerzo de fibra de plátano**

De la Tabla 4.10, se tiene que la densidad promedio de la fibra de cabuya es 1,48 g/cm³.

- **Cálculo de la fracción volumétrica**

De lo anterior se tiene los siguientes datos:

Densidad del compuesto (ρ_c) = 1.249 g/cm³

Densidad de la Matriz (ρ_m) = 1.2 g/cm³

Densidad del refuerzo de fibra de cabuya (ρ_f) = 1,34 g/cm³

Utilizando la Ec: (4.1), se tiene:

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

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

$$1.249 = (1 - f_f) \cdot 1.2 + f_f \cdot 1.34$$

$$1.249 = 1.2 - 1.2 f_f + 1.34 f_f$$

$$1.249 - 1.2 = 0,14 f_f$$

$$f_f = 0.35 \cong 30\%$$

De este cálculo determinamos que la *fracción volumétrica del refuerzo* en el compuesto ha sido semejante al **30%**; mientras que para determinar la fracción volumétrica de la matriz, aplicamos la Ec: (4.2) y se tiene:

$$f_m = 1 - f_f$$

$$f_m = 1 - 0,35$$

$$f_m = 0,65 \cong 70\%$$

De este cálculo determinamos que la *fracción volumétrica del matriz* en el compuesto es semejante al **70%**.

d) Fracción volumétrica del composite con refuerzo de fibra de plátano para la obtención de las probetas a flexión

Para la determinación de la densidad del compuesto se realizó de la misma manera indicada en los renglones antecesores, obteniéndose los siguientes datos.

Tabla 4.14. Determinación de la densidad promedio del compuesto con refuerzo de fibra de plátano en probetas a flexión [Autor].

| Código de Probeta | Peso (g) | Espesor (mm) | Largo (mm) | Ancho (mm) | Volumen (cm ³) | Densidad (g/cm ³) |
|-------------------|----------|--------------|------------|------------|----------------------------|-------------------------------|
| PFP-T-EF-01 | 11,957 | 4,95 | 160,00 | 12,84 | 10,17 | 1,175 |
| PFP-T-EF-02 | 11,296 | 4,43 | 160,00 | 12,65 | 8,97 | 1,259 |
| PFP-T-EF-03 | 11,651 | 4,42 | 160,00 | 12,71 | 8,99 | 1,296 |
| PFP-T-EF-04 | 11,995 | 4,56 | 160,00 | 12,67 | 9,24 | 1,297 |
| PFP-T-EF-05 | 11,923 | 4,45 | 160,00 | 12,66 | 9,01 | 1,322 |

| | |
|--|-------------------------|
| Densidad promedio del compuesto - ρ_c | 1,270 g/cm ³ |
|--|-------------------------|

- **Densidad de la matriz**

De la Tabla 2.2. Propiedades típicas de las resinas epoxi y poliéster usadas en los materiales compuestos [15], se tiene:

Densidad de la Matriz – Resina poliéster (ρ_m) = 1.20 g/cm³

- **Densidad del refuerzo de fibra de plátano**

De la Tabla 4.12, se tiene que la densidad promedio de la fibra de cabuya es 1,34 g/cm³.

- **Cálculo de la fracción volumétrica**

De lo anterior se tiene los siguientes datos:

Densidad del compuesto (ρ_c) = 1.27 g/cm³

Densidad de la Matriz (ρ_m) = 1.2 g/cm³

Densidad del refuerzo de fibra de plátano (ρ_f) = 1,48 g/cm³

Utilizando la Ec: (4.1), se tiene:

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

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

$$1.27 = (1 - f_f) \cdot 1.2 + f_f \cdot 1.48$$

$$1.27 = 1.2 - 1.2 f_f + 1.48 f_f$$

$$1.27 - 1.2 = 0,28 f_f$$

$$f_f = 0.25 \cong 30\%$$

De este cálculo determinamos que la *fracción volumétrica del refuerzo* en el compuesto ha sido semejante al **30%**; mientras que para determinar la fracción volumétrica de la matriz, aplicamos la Ec: (4.2) y se tiene:

$$f_m = 1 - f_f$$

$$f_m = 1 - 0,25$$

$$f_m = 0,75 \cong 70\%$$

De este cálculo determinamos que la *fracción volumétrica del matriz* en el compuesto es semejante al **70%**.

4.2 Presentación de resultados

Con el propósito de tener un adecuado manejo de los resultados y de la información pertinente, correspondiente a los diferentes ensayos desarrollados en el presente trabajo investigativo, se ha establecido registros patrón de manejo de resultados, con el fin de conocer de manera particularizada las características de cada uno de los ensayos, especificaciones generales y parámetros más relevantes para cada uno de los respectivos ensayos.

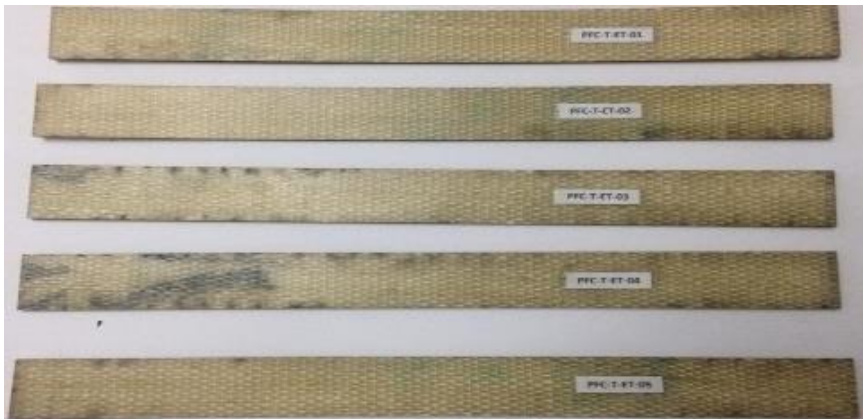
Es importante indicar que los datos registrados en los siguientes registros que se presentan, responde al producto de los ensayos realizados y reportados en sus respectivos informes por laboratorios de gran nivel dentro del área de materiales se refiere; distribuyéndose los ensayos en los laboratorios de la siguiente manera:






Tabla 4.15. Distribución de la realización de ensayos del estudio en laboratorios [Autor].

| Tipo de Ensayo | Laboratorio |
|---|---|
| Radiación UV – Cámara de arco de Xenón. | Escuela Politécnica Nacional – Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB), Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros. |
| Humedad – Absorción de agua. | Universidad Técnica de Ambato – Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Laboratorio de Materiales. |
| Tracción y Flexión. | H. Gobierno Provincial de Tungurahua – Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero. |



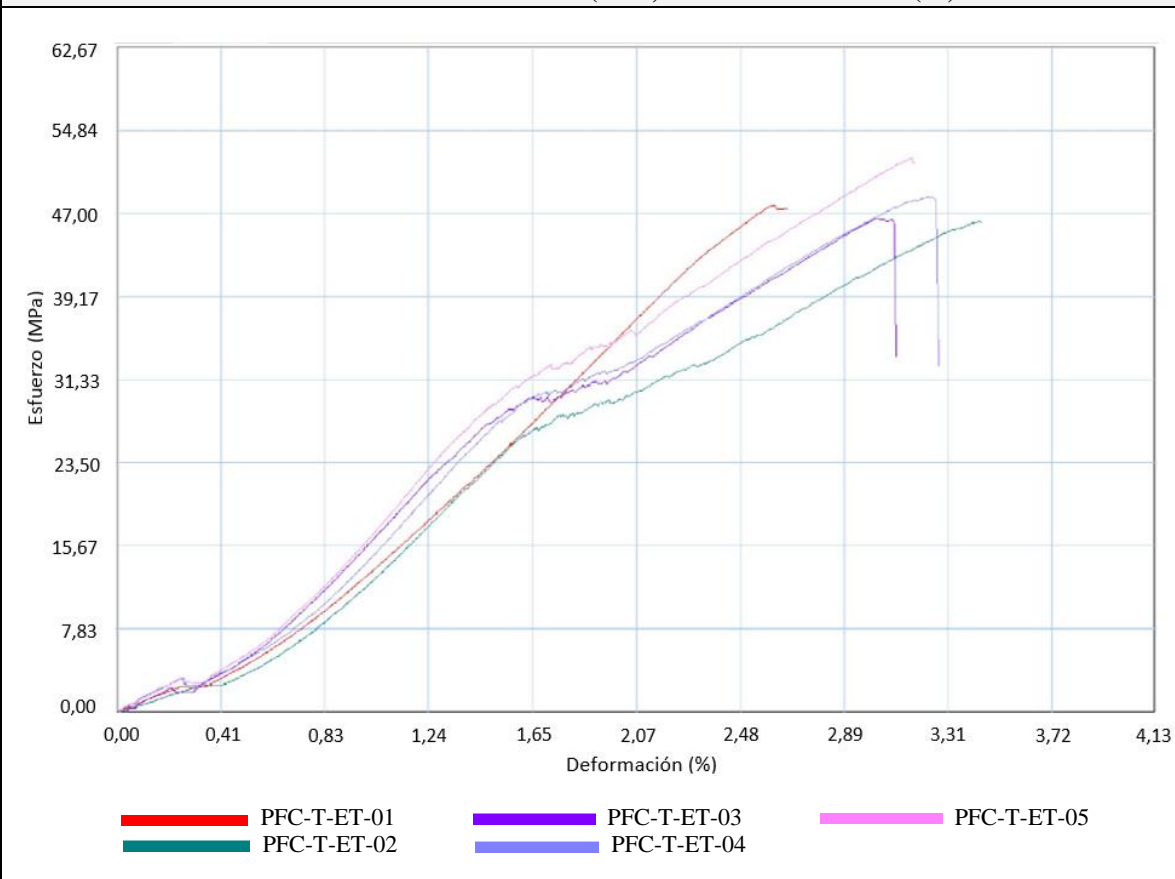
ENSAYO DE TRACCIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------------------|-----------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 01-TFC-LB |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFC-T-ET-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190129-ETC 01 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 12/02/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 15 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de cabuya | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Ninguno | Norma aplicada: | ----- |
| Condición: | ----- | Tiempo de exposición: | ----- |
| Long. Onda / radiación: | ----- | Líquido de aspersión: | ----- |
| Lugar de realización: | ----- | Doc. Referencia: | ----- |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A TRACCIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 3039 / D 3039 M | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Modelo: | MTE-50 |
| Precarga: | 0 KN | Serie: | 8210M002 |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Tipo de probeta: | Plana |
| Evidencia: |  | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190129-ETC / ANEXO A | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Resistencia a la Tracción (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | % de Elongación |
| PFC-T-ET-01 | 47.77 | 1792.32 | 2.67 |
| PFC-T-ET-02 | 46.29 | 1345.85 | 3.44 |
| PFC-T-ET-03 | 46.52 | 1505.59 | 3.09 |
| PFC-T-ET-04 | 48.52 | 1490.31 | 3.26 |
| PFC-T-ET-05 | 52.22 | 1653.72 | 3.16 |
| Media: | 48.264 | 1557.557 | 3.122 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | | |
|--|--|-----|--|
| Código: Modo de fallo | L: Lateral; G: Zona calibrada; A: En el agarre; M: Medio; T: Parte superior. | | |
|  | PFC-T-ET-01 | LGM | |
|  | PFC-T-ET-02 | LGM | |
|  | PFC-T-ET-03 | LAT | |
|  | PFC-T-ET-04 | LGM | |
|  | PFC-T-ET-05 | LAT | |

Observación: Tres de las cinco probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo LGM.

CURVA TÍPICA ESFUERZO (MPa) vs DEFORMACIÓN (%)









Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 2.395 MPa y 170.589 MPa en las mediciones de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 4.96 % y 10.95 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo del conjunto de datos.



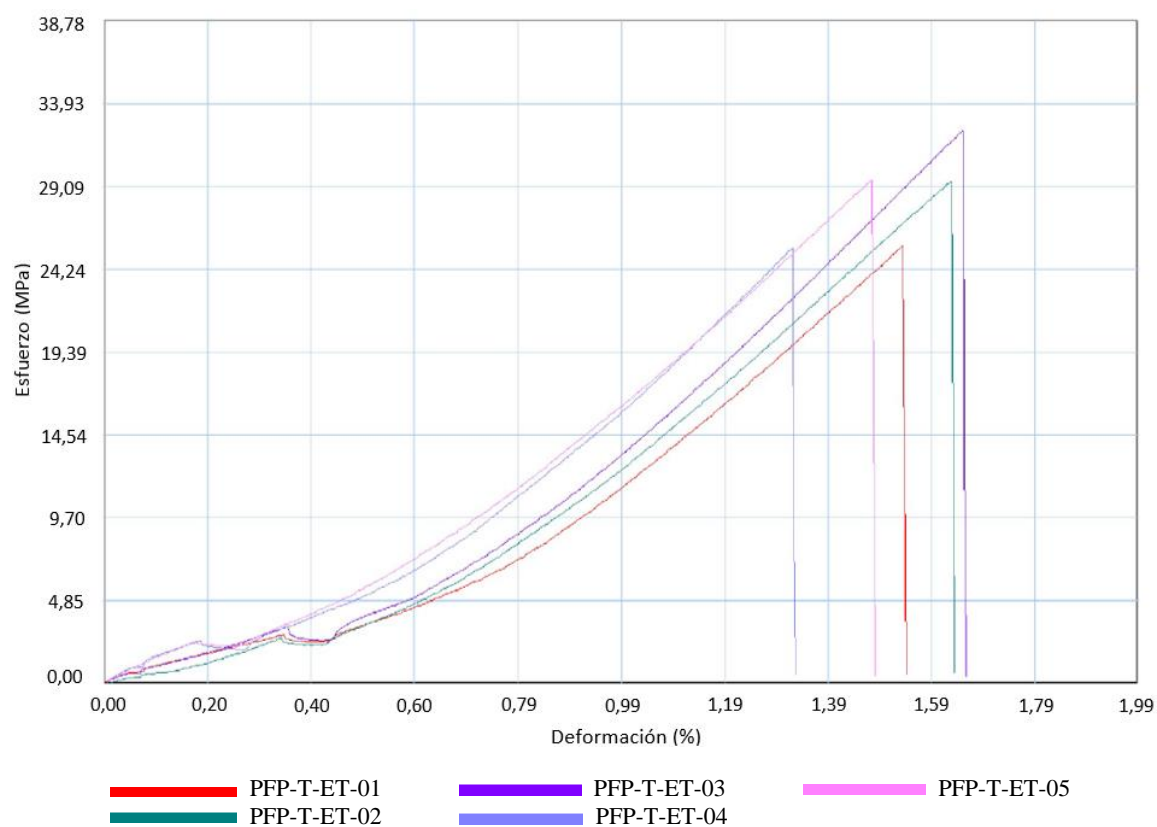
ENSAYO DE TRACCIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------------------|-----------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 02-TFP-LB |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFP-T-ET-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190129-ETC 02 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 12/02/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 15 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de plátano | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Ninguno | Norma aplicada: | ----- |
| Condición: | ----- | Tiempo de exposición: | ----- |
| Long. Onda / radiación: | ----- | Líquido de aspersión: | ----- |
| Lugar de realización: | ----- | Doc. Referencia: | ----- |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A TRACCIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 3039 / D 3039 M | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Modelo: | MTE-50 |
| Precarga: | 0 KN | Serie: | 8210M002 |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Tipo de probeta: | Plana |
| Evidencia: |  | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190129-ETC / ANEXO A | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Resistencia a la Tracción (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | % de Elongación |
| PFP-T-ET-01 | 25.65 | 1670.30 | 1.54 |
| PFP-T-ET-02 | 29.38 | 1804.05 | 1.63 |
| PFP-T-ET-03 | 32.32 | 1957.68 | 1.65 |
| PFP-T-ET-04 | 25.47 | 1925.39 | 1.32 |
| PFP-T-ET-05 | 29.46 | 1996.21 | 1.48 |
| Media: | 28.454 | 1870.728 | 1.523 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | L: Lateral; G: Zona calibrada; A: En el agarre; M: Medio; T: Parte superior. | |
|  | PFP-T-ET-01 | LAT |
|  | PFP-T-ET-02 | LGM |
|  | PFP-T-ET-03 | LAT |
|  | PFP-T-ET-04 | LGM |
|  | PFP-T-ET-05 | LGM |

Observación: Tres de las cinco probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo LGM.

CURVA TÍPICA ESFUERZO (MPa) vs DEFORMACIÓN (%)









Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 2.897 MPa y 133.147 MPa en las mediciones de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 10.18 % y 7.11 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo del conjunto de datos.



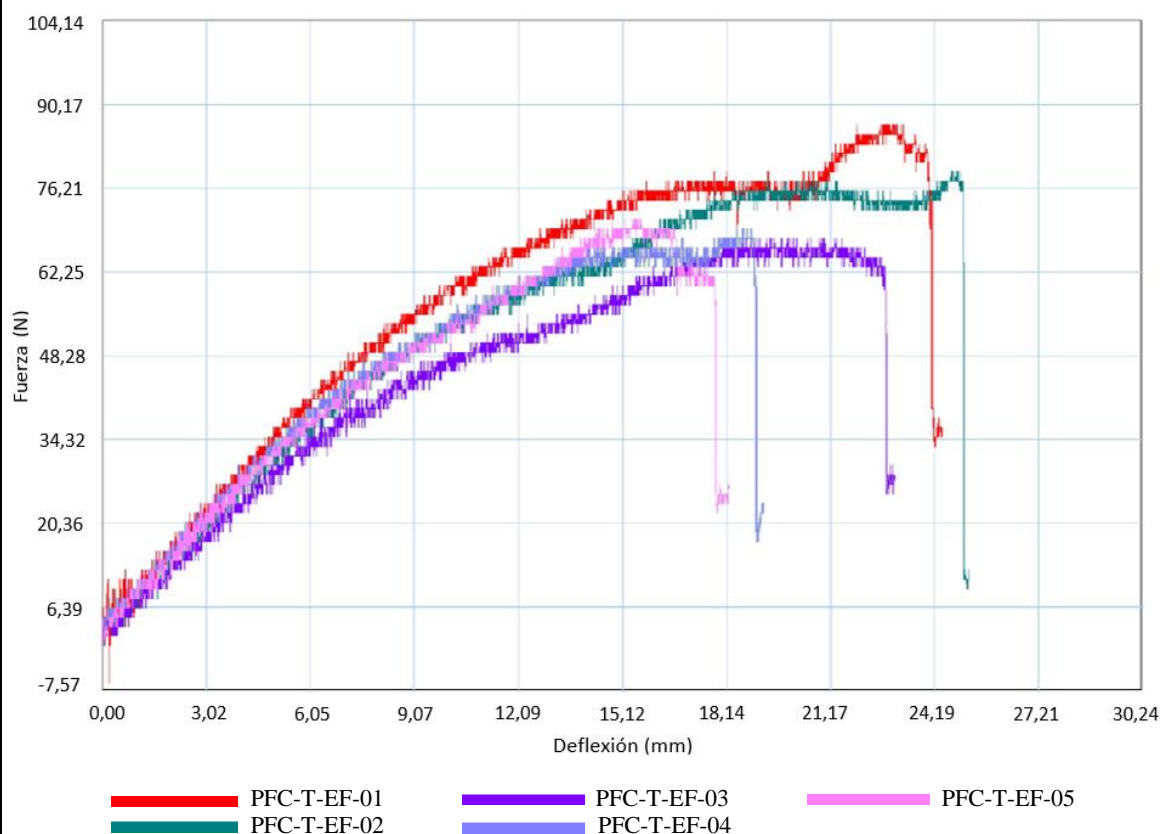
ENSAYO DE FLEXIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|--|--|-------------------------|-------------------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 03-FFC-LB |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFC-T-EF-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190129-EFC 01 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 12/02/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 15 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de cabuya | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Ninguno | Norma aplicada: | ----- |
| Condición: | ----- | Tiempo de exposición: | ----- |
| Long. Onda / radiación: | ----- | Líquido de aspersión: | ----- |
| Lugar de realización: | ----- | Doc. Referencia: | ----- |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A FLEXIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 7264 - 2015 | Procedimiento: | A |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Serie / Modelo: | 8210M002 / MTE-50 | Precarga: | 0 N |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Distancia entre apoyos: | 120 mm |
| Evidencia: | | | |
|  | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190129-EFC / ANEXO B | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Esfuerzo de Flexión (MPa) | Módulo de Flexión (MPa) | % de Deformación máxima |
| PFC-T-EF-01 | 70.34 | 1864.41 | 3.77 |
| PFC-T-EF-02 | 60.48 | 1387.59 | 4.36 |
| PFC-T-EF-03 | 50.61 | 1536.43 | 3.29 |
| PFC-T-EF-04 | 49.50 | 1464.18 | 3.38 |
| PFC-T-EF-05 | 51.75 | 1928.27 | 2.68 |
| Media: | 56.535 | 1636.177 | 3.498 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | O: Otros; L: Entre la carga y el punto de apoyo; B: Fondo. | |
|  | PFC-T-EF-01 | OLB |
|  | PFC-T-EF-02 | OLB |
|  | PFC-T-EF-03 | OLB |
|  | PFC-T-EF-04 | OLB |
|  | PFC-T-EF-05 | OLB |

Observación: El total de probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo OLB.

CURVA TÍPICA FUERZA (N) vs DEFLEXIÓN (mm)








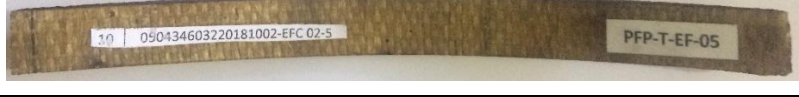
Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 8.854 MPa y 244.303 MPa en las mediciones de esfuerzo de flexión y módulo de flexión respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 15.66 % y 14.93 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo del conjunto de datos.



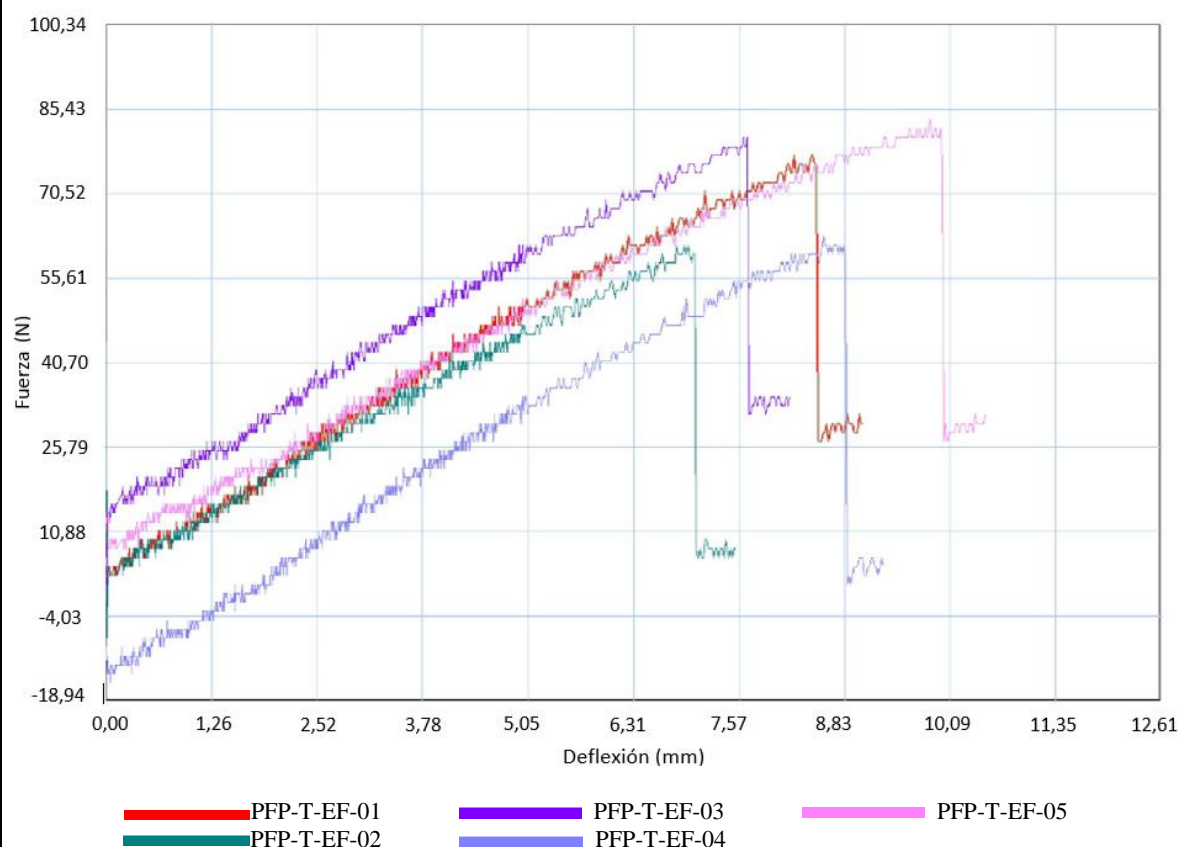
ENSAYO DE FLEXIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 04-FFP-LB |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFP-EF-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190129-EFC 02 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 12/02/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 15 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de plátano | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Ninguno | Norma aplicada: | ----- |
| Condición: | ----- | Tiempo de exposición: | ----- |
| Long. Onda / radiación: | ----- | Líquido de aspersión: | ----- |
| Lugar de realización: | ----- | Doc. Referencia: | ----- |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A FLEXIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 7264 - 2015 | Procedimiento: | A |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Serie / Modelo: | 8210M002 / MTE-50 | Precarga: | 0 N |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Distancia entre apoyos: | 120 mm |
| Evidencia: |  | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190129-EFC / ANEXO B | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Esfuerzo de Flexión (MPa) | Módulo de Flexión (MPa) | % de Deformación máxima |
| PFP-T-EF-01 | 44.23 | 2608.64 | 1.70 |
| PFP-T-EF-02 | 44.61 | 3547.05 | 1.26 |
| PFP-T-EF-03 | 58.33 | 4157.26 | 1.40 |
| PFP-T-EF-04 | 43.12 | 2645.91 | 1.63 |
| PFP-T-EF-05 | 60.04 | 3287.00 | 1.83 |
| Media: | 50.067 | 3249.172 | 1.563 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | O: Otros; L: Entre la carga y el punto de apoyo; B: Fondo. | |
|  | PFP-T-EF-01 | OLB |
|  | PFP-T-EF-02 | OLB |
|  | PFP-T-EF-03 | OLB |
|  | PFP-T-EF-04 | OLB |
|  | PFP-T-EF-05 | OLB |

Observación: El total de probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo OLB.

CURVA TÍPICA FUERZA (N) vs DEFLEXIÓN (mm)

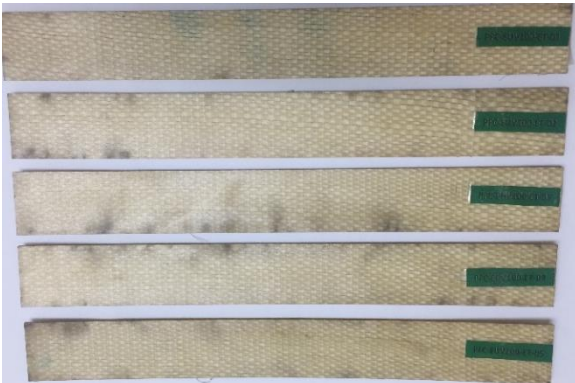
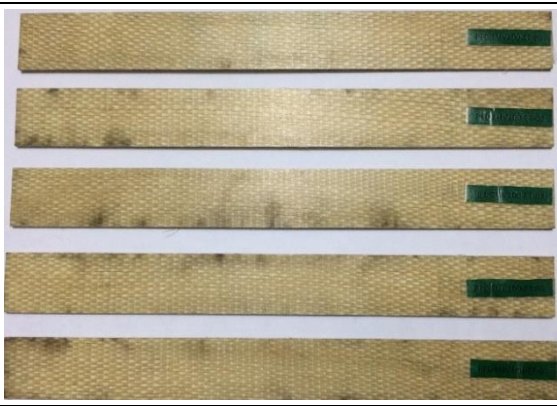







Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 8.364 MPa y 649.806 MPa en las mediciones de esfuerzo de flexión y módulo de flexión respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 16.706 % y 19.99 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo del conjunto de datos.



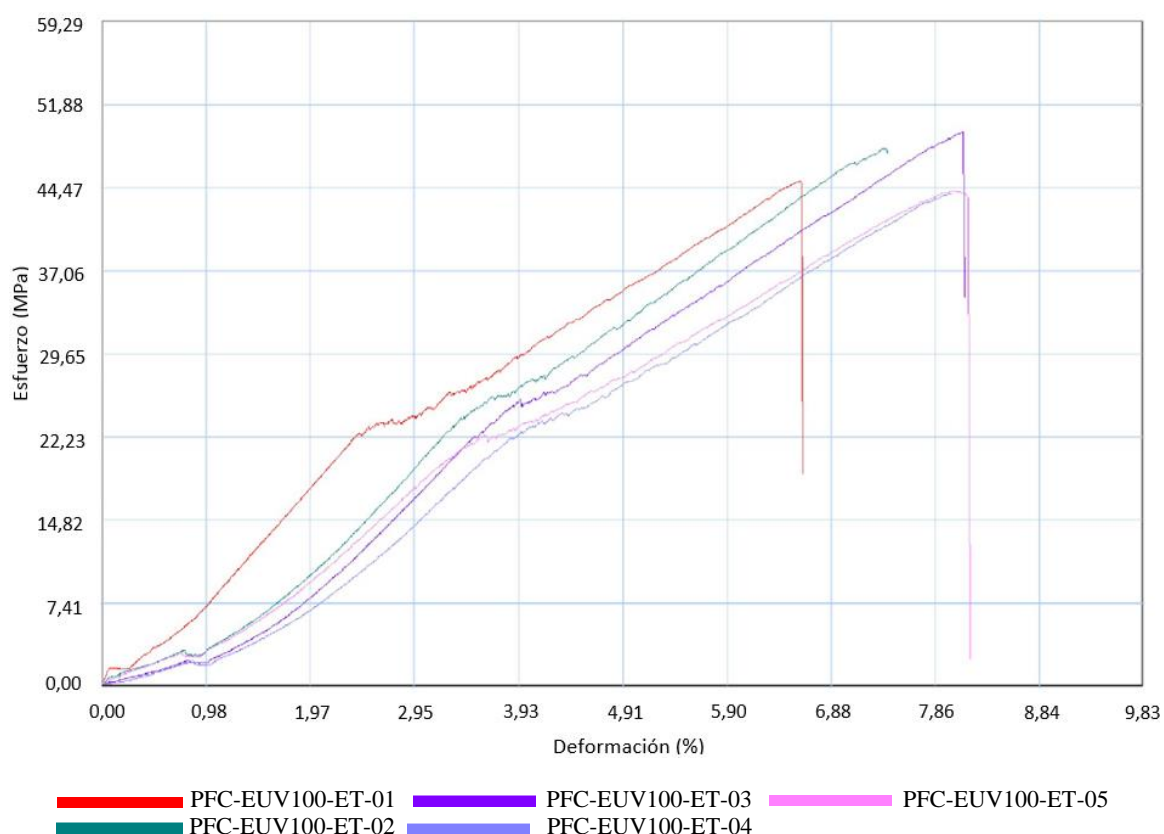
ENSAYO DE TRACCIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|-----------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 05-TFC-UV-100H |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFC-EUV100-ET-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190226-ETC 01 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 08/03/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 21 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de cabuya | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Radiación UV – Cámara de arco de Xenón | Norma aplicada: | ASTM G 155 |
| Condición: | Ciclo 1 – Tabla X3.1 | Tiempo de exposición: | 100 Horas |
| Long. Onda / radiación: | 340 nm / 0.35 W/m ² | Líquido de aspersión: | Agua |
| Lugar de realización: | EPN - CIAP | Doc. Refer. /Anexo C: | DC-OT0009-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A TRACCIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 3039 / D 3039 M | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Modelo: | MTE-50 |
| Precarga: | 0.01 KN | Serie: | 8210M002 |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Tipo de probeta: | Plana |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo UV exposición 100 horas | |
|  | |  | |
| Observación: Se torna de un color amarillento leve. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190226-ETC / ANEXO D | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Resistencia a la Tracción (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | % de Elongación |
| PFC-EUV100-ET-01 | 44.97 | 655.76 | 6.86 |
| PFC-EUV100-ET-02 | 47.92 | 649.54 | 7.38 |
| PFC-EUV100-ET-03 | 49.41 | 608.37 | 8.12 |
| PFC-EUV100-ET-04 | 43.91 | 549.84 | 7.99 |
| PFC-EUV100-ET-05 | 44.13 | 550.70 | 8.01 |
| Media: | 46.067 | 602.841 | 7.671 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|---|-----|
| Código: Modo de fallo | L: Lateral; G: Zona calibrada; M: Medio; U: Desconocido; T: Parte superior. | |
|  | PFC-EUV100-ET-01 | LGT |
|  | PFC-EUV100-ET-02 | LGT |
|  | PFC-EUV100-ET-03 | LGU |
|  | PFC-EUV100-ET-04 | LGT |
|  | PFC-EUV100-ET-05 | LGT |

Observación: Cuatro de las cinco probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo LGT.

CURVA TÍPICA ESFUERZO (MPa) vs DEFORMACIÓN (%)










Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 2.461 MPa y 51.332 MPa en las mediciones de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 5.34 % y 8.51 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo del conjunto de datos.



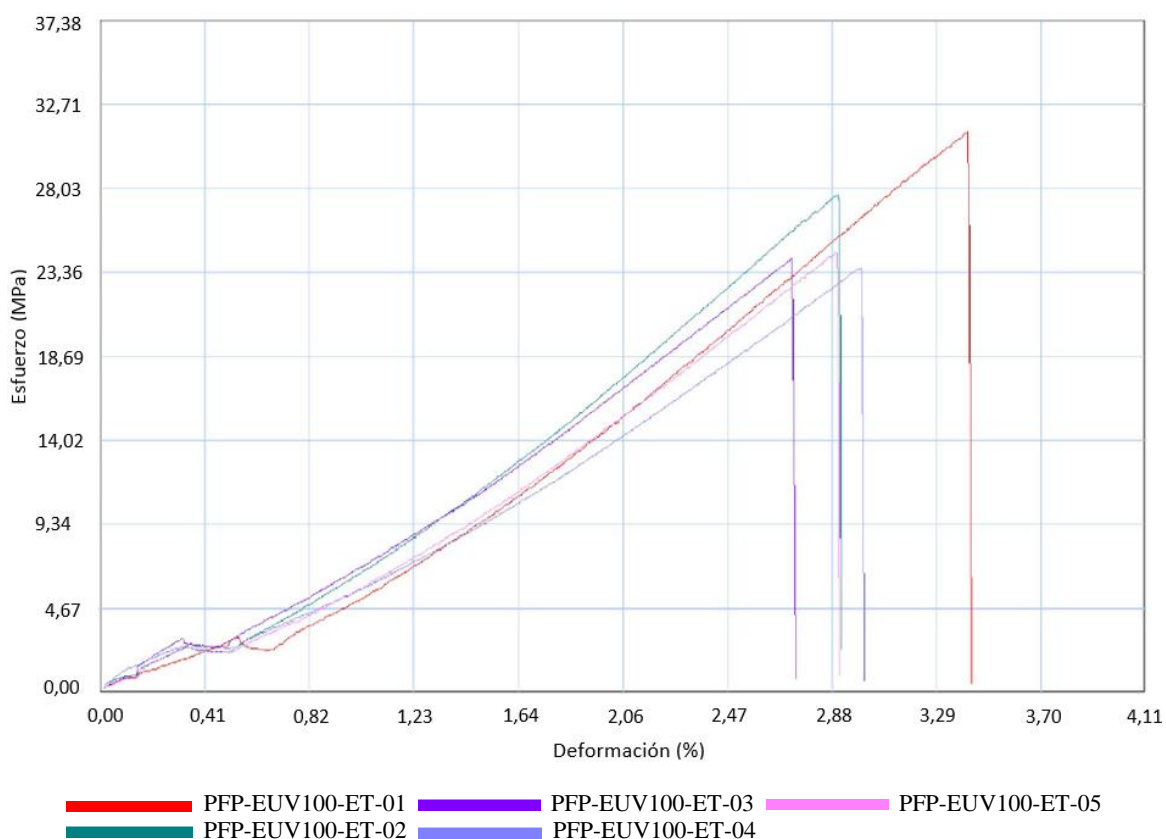
ENSAYO DE TRACCIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|-----------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 06-TFP-UV-100H |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFP-EUV100-ET-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190226-ETC 02 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 08/03/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 21 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de plátano | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Radiación UV – Cámara de arco de Xenón | Norma aplicada: | ASTM G 155 |
| Condición: | Ciclo 1 – Tabla X3.1 | Tiempo de exposición: | 100 Horas |
| Long. Onda / radiación: | 340 nm / 0.35 W/m ² | Líquido de aspersión: | Agua |
| Lugar de realización: | EPN - CIAP | Doc. Refer. /Anexo C: | DC-OT0009-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A TRACCIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 3039 / D 3039 M | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Modelo: | MTE-50 |
| Precarga: | 0.01 KN | Serie: | 8210M002 |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Tipo de probeta: | Plana |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo UV exposición 100 horas | |
|  | |  | |
| Observación: Se torna de un color amarillento leve. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190226-ETC / ANEXO D | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Resistencia a la Tracción (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | % de Elongación |
| PFP-EUV100-ET-01 | 31.15 | 912.36 | 3.41 |
| PFP-EUV100-ET-02 | 27.71 | 954.46 | 2.90 |
| PFP-EUV100-ET-03 | 24.13 | 886.74 | 2.72 |
| PFP-EUV100-ET-04 | 23.61 | 788.48 | 3.00 |
| PFP-EUV100-ET-05 | 24.45 | 845.57 | 2.89 |
| Media: | 26.212 | 877.521 | 2.985 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|---|-----|
| Código: Modo de fallo | L: Lateral; G: Zona calibrada; M: Medio; U: Desconocido; T: Parte superior. | |
|  | PFP-EUV100-ET-01 | LGT |
|  | PFP-EUV100-ET-02 | LGU |
|  | PFP-EUV100-ET-03 | LGM |
|  | PFP-EUV100-ET-04 | LGM |
|  | PFP-EUV100-ET-05 | LGT |

Observación: La tendencia de fallo es compartida entre el tipo LGT y LGM.

CURVA TÍPICA ESFUERZO (MPa) vs DEFORMACIÓN (%)


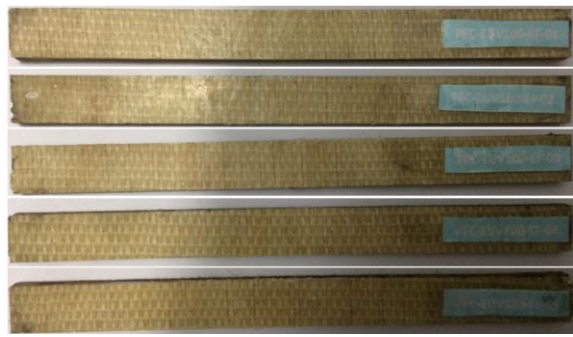







Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 3.193 MPa y 63.575 MPa en las mediciones de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 12.18 % y 7.24 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo del conjunto de datos.



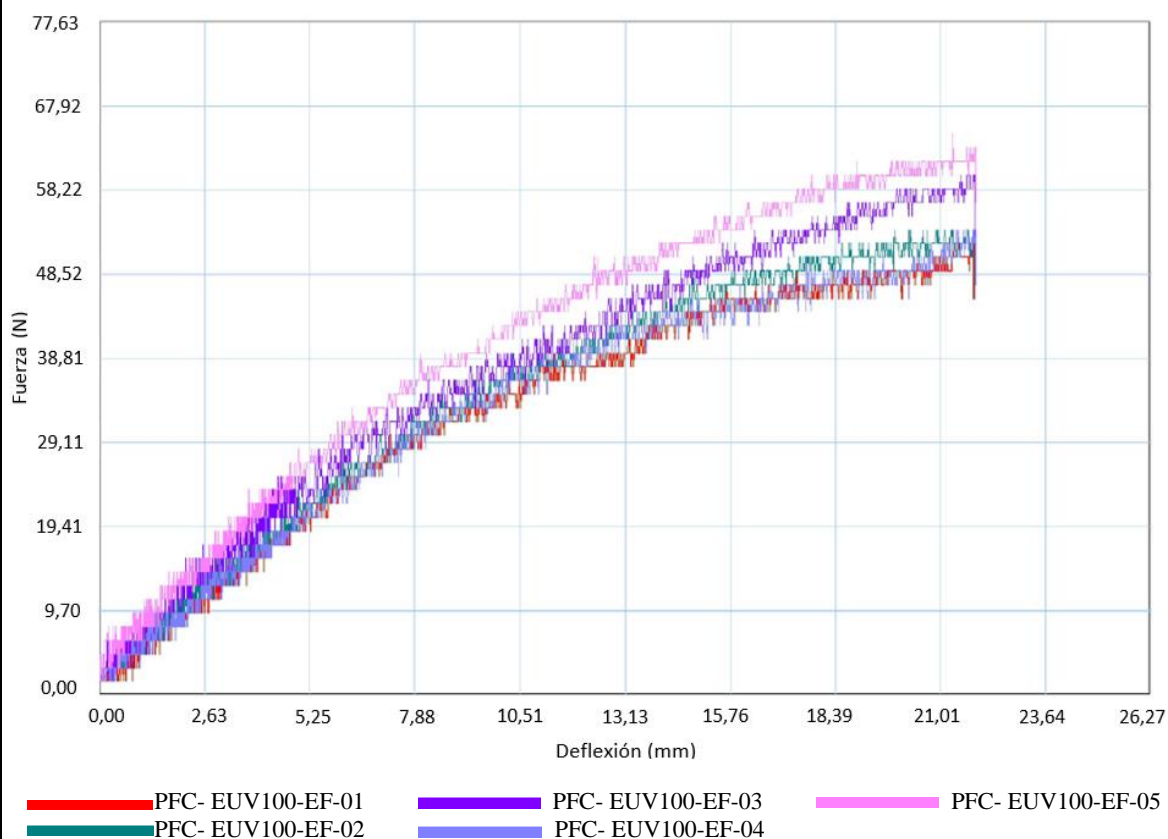
ENSAYO DE FLEXIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|-------------------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 07-FFC-UV-100H |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFC- EUV100-EF-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190226-EFC 01 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 08/03/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 21 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de cabuya | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Radiación UV – Cámara de arco de Xenón | Norma aplicada: | ASTM G 155 |
| Condición: | Ciclo 1 – Tabla X3.1 | Tiempo de exposición: | 100 Horas |
| Long. Onda / radiación: | 340 nm / 0.35 W/m ² | Líquido de aspersión: | Agua |
| Lugar de realización: | EPN - CIAP | Doc. Refer. /Anexo C: | DC-OT0009-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A FLEXIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 7264 - 2015 | Procedimiento: | A |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Serie / Modelo: | 8210M002 / MTE-50 | Precarga: | 100 N |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Distancia entre apoyos: | 120 mm |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo UV exposición 100 horas | |
|  | |  | |
| Observación: Se torna de un color amarillento leve. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190226-EFC / ANEXO E | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Esfuerzo de Flexión (MPa) | Módulo de Flexión (MPa) | % de Deformación máxima |
| PFC- EUV100-EF-01 | 50.23 | 1581.10 | 3.18 |
| PFC- EUV100-EF-02 | 46.89 | 1564.07 | 3.00 |
| PFC- EUV100-EF-03 | 42.28 | 1171.43 | 3.61 |
| PFC- EUV100-EF-04 | 45.47 | 1386.69 | 3.28 |
| PFC- EUV100-EF-05 | 46.35 | 3247.93 | 1.43 |
| Media: | 46.24 | 1790.24 | 2.90 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | O: Otros; A: En el punto de carga; B: Fondo. | |
|  | PFC- EUV100-EF-01 | OAB |
|  | PFC- EUV100-EF-02 | OAB |
|  | PFC- EUV100-EF-03 | OAB |
|  | PFC- EUV100-EF-04 | OAB |
|  | PFC- EUV100-EF-05 | OAB |

Observación: El total de probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo OAB.

CURVA TÍPICA FUERZA (N) vs DEFLEXIÓN (mm)










Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 2.85 MPa y 831.49 MPa en las mediciones de esfuerzo de flexión y módulo de flexión respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 6.17 % y 46.45 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio no es representativo para los datos de módulo de flexión.



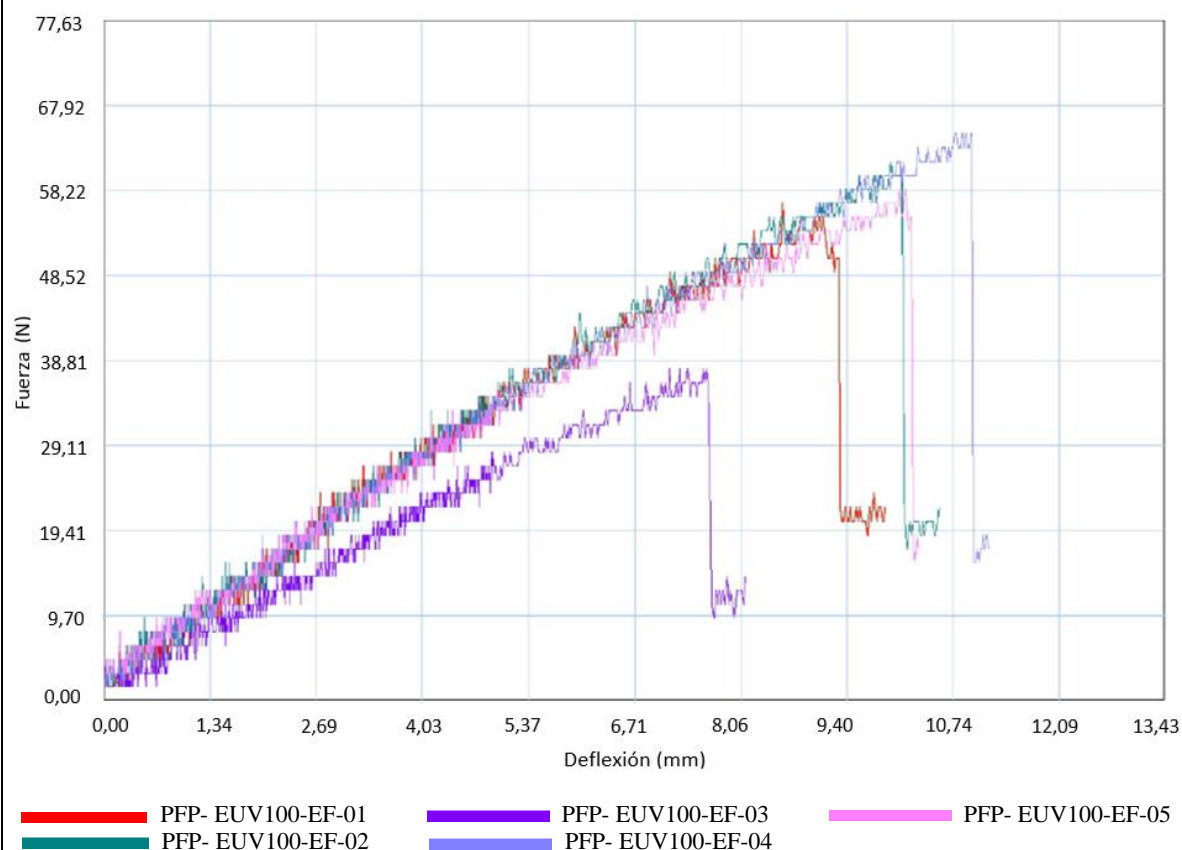
ENSAYO DE FLEXIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|-------------------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 08-FFP-UV-100H |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFP- EUV100-EF-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190226-EFC 02 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 08/03/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 21 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de plátano | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Radiación UV – Cámara de arco de Xenón | Norma aplicada: | ASTM G 155 |
| Condición: | Ciclo 1 – Tabla X3.1 | Tiempo de exposición: | 100 Horas |
| Long. Onda / radiación: | 340 nm / 0.35 W/m ² | Líquido de aspersión: | Agua |
| Lugar de realización: | EPN - CIAP | Doc. Refer. /Anexo C: | DC-OT0009-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A FLEXIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 7264 - 2015 | Procedimiento: | A |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Serie / Modelo: | 8210M002 / MTE-50 | Precarga: | 100 N |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Distancia entre apoyos: | 120 mm |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo UV exposición 100 horas | |
|  | |  | |
| Observación: Se torna de un color amarillento leve. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190226-EFC / ANEXO E | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Esfuerzo de Flexión (MPa) | Módulo de Flexión (MPa) | % de Deformación máxima |
| PFP- EUV100-EF-01 | 37.28 | 2455.22 | 1.52 |
| PFP- EUV100-EF-02 | 40.55 | 2326.67 | 1.74 |
| PFP- EUV100-EF-03 | 27.05 | 2239.04 | 1.21 |
| PFP- EUV100-EF-04 | 41.13 | 2133.35 | 1.93 |
| PFP- EUV100-EF-05 | 38.74 | 2195.19 | 1.76 |
| Media: | 36.95 | 2269.89 | 1.63 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | O: Otros; A: En el punto de carga; B: Fondo. | |
|  | PFP- EUV100-EF-01 | OAB |
|  | PFP- EUV100-EF-02 | OAB |
|  | PFP- EUV100-EF-03 | OAB |
|  | PFP- EUV100-EF-04 | OAB |
|  | PFP- EUV100-EF-05 | OAB |

Observación: El total de probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo OAB.

CURVA TÍPICA FUERZA (N) vs DEFLEXIÓN (mm)










Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 5.74 MPa y 125.24 MPa en las mediciones de esfuerzo de flexión y módulo de flexión respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 15.54 % y 5.52 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo para los datos de módulo de flexión.



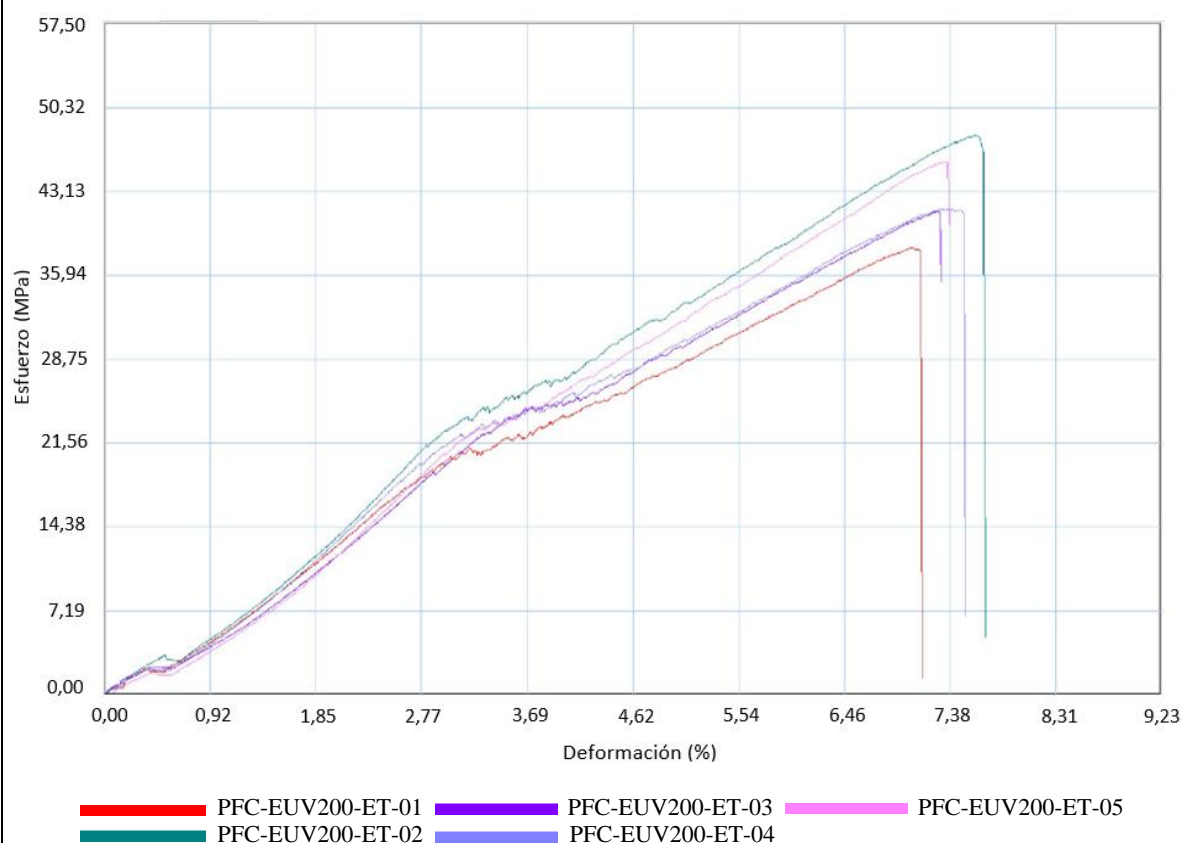
ENSAYO DE TRACCIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|-----------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 09-TFC-UV-200H |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFC-EUV200-ET-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190226-ETC 03 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 08/03/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 21 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de cabuya | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Radiación UV – Cámara de arco de Xenón | Norma aplicada: | ASTM G 155 |
| Condición: | Ciclo 1 – Tabla X3.1 | Tiempo de exposición: | 200 Horas |
| Long. Onda / radiación: | 340 nm / 0.35 W/m ² | Líquido de aspersión: | Agua |
| Lugar de realización: | EPN - CIAP | Doc. Refer. /Anexo C: | DC-OT0009-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A TRACCIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 3039 / D 3039 M | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Modelo: | MTE-50 |
| Precarga: | 0.01 KN | Serie: | 8210M002 |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Tipo de probeta: | Plana |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo UV exposición 200 horas | |
|  | |  | |
| | | Observación: Se torna de un color amarillento leve. | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190226-ETC / ANEXO D | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Resistencia a la Tracción (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | % de Elongación |
| PFC-EUV200-ET-01 | 38.33 | 544.36 | 7.04 |
| PFC-EUV200-ET-02 | 47.92 | 630.18 | 7.60 |
| PFC-EUV200-ET-03 | 41.40 | 569.18 | 7.27 |
| PFC-EUV200-ET-04 | 41.56 | 569.68 | 7.30 |
| PFC-EUV200-ET-05 | 45.65 | 623.23 | 7.33 |
| Media: | 42.972 | 587.328 | 7.308 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|---|-----|
| Código: Modo de fallo | L: Lateral; G: Zona calibrada; M: Medio; U: Desconocido; T: Parte superior. | |
|  | PFC-EUV200-ET-01 | LGU |
|  | PFC-EUV200-ET-02 | LGU |
|  | PFC-EUV200-ET-03 | LGU |
|  | PFC-EUV200-ET-04 | LGM |
|  | PFC-EUV200-ET-05 | LGT |

Observación: La tendencia de fallo es de tipo LGU

CURVA TÍPICA ESFUERZO (MPa) vs DEFORMACIÓN (%)








Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 3.798 MPa y 37.460 MPa en las mediciones de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 8.83 % y 6.37 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo del conjunto de datos.



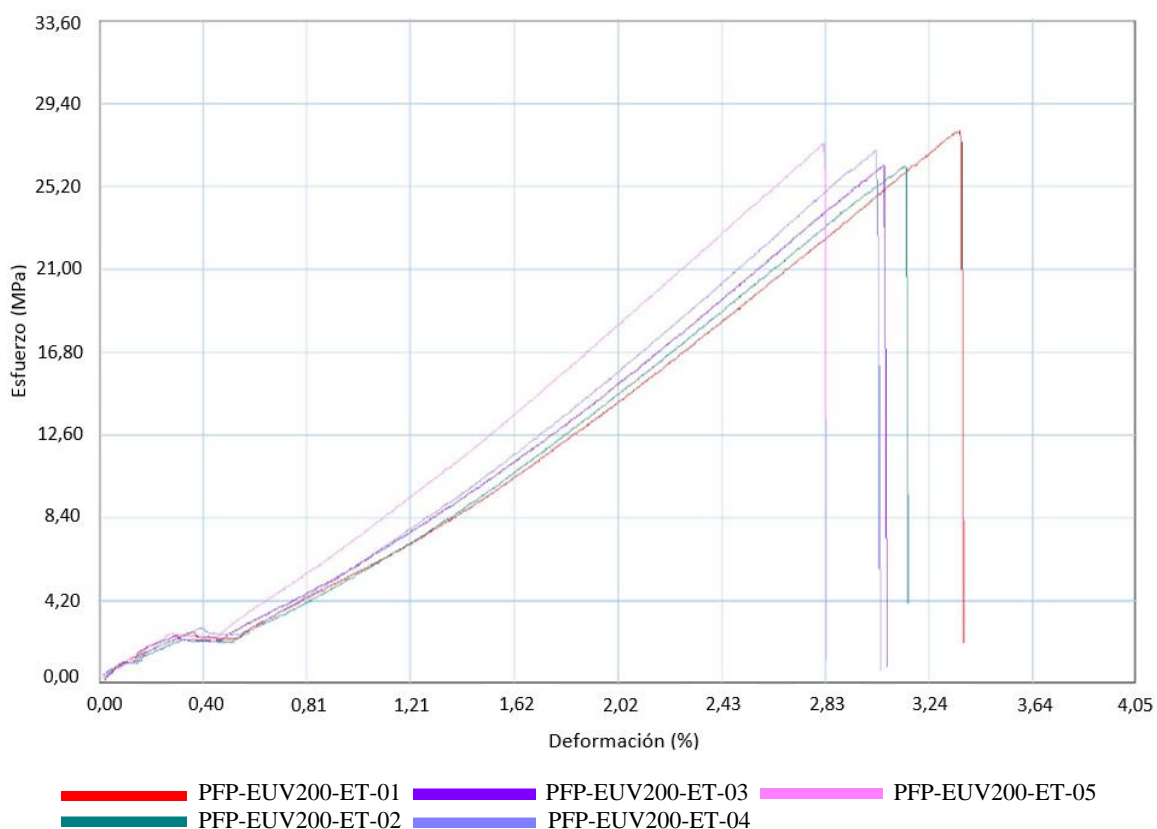
ENSAYO DE TRACCIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---------------------------------------|--|--|-----------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 10-TFP-UV-200H |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFP-EUV100-ET-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190226-ETC 04 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 08/03/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 21 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de plátano | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Radiación UV – Cámara de arco de Xenón | Norma aplicada: | ASTM G 155 |
| Condición: | Ciclo 1 – Tabla X3.1 | Tiempo de exposición: | 200 Horas |
| Long. Onda / radiación: | 340 nm / 0.35 W/m ² | Líquido de aspersión: | Agua |
| Lugar de realización: | EPN - CIAP | Doc. Refer. /Anexo C: | DC-OT0009-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A TRACCIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 3039 / D 3039 M | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Modelo: | MTE-50 |
| Precarga: | 0.01 KN | Serie: | 8210M002 |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Tipo de probeta: | Plana |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo UV exposición 200 horas | |
| | | | |
| | | Observación: Se torna de un color amarillento leve. | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190226-ETC / ANEXO D | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Resistencia a la Tracción (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | % de Elongación |
| PFP-EUV200-ET-01 | 28.00 | 832.90 | 3.36 |
| PFP-EUV200-ET-02 | 26.23 | 834.38 | 3.14 |
| PFP-EUV200-ET-03 | 26.25 | 858.61 | 3.06 |
| PFP-EUV200-ET-04 | 27.01 | 891.78 | 3.03 |
| PFP-EUV200-ET-05 | 27.36 | 967.77 | 2.83 |
| Media: | 26.971 | 877.087 | 3.084 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|---|-----|
| Código: Modo de fallo | L: Lateral; G: Zona calibrada; M: Medio; U: Desconocido; T: Parte superior. | |
|  | PFP-EUV200-ET-01 | LGM |
|  | PFP-EUV200-ET-02 | LGM |
|  | PFP-EUV200-ET-03 | LGU |
|  | PFP-EUV200-ET-04 | LGM |
|  | PFP-EUV200-ET-05 | LGT |

Observación: El comportamiento de fallo en este grupo de probetas tiene la tendencia tipo LGM.

CURVA TÍPICA ESFUERZO (MPa) vs DEFORMACIÓN (%)










Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 0.753 MPa y 56.028 MPa en las mediciones de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 2.79 % y 6.38 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo del conjunto de datos.



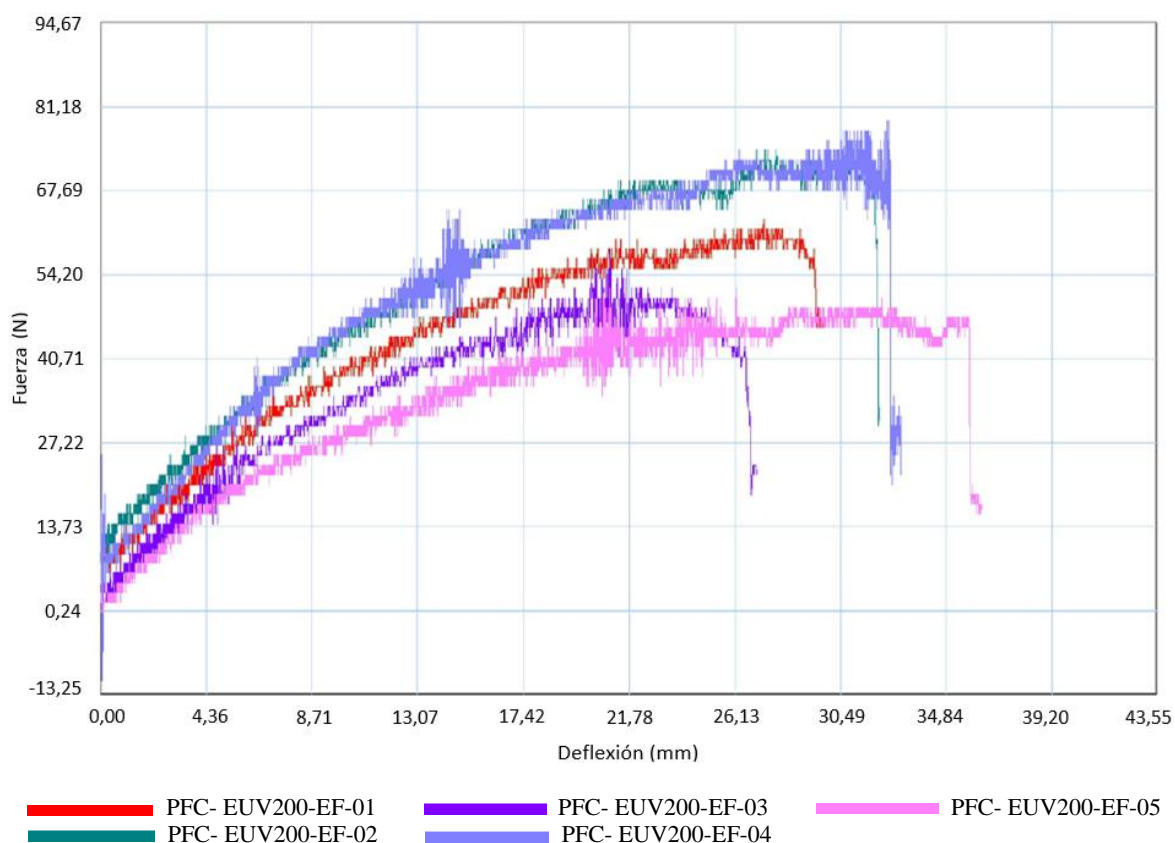
ENSAYO DE FLEXIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|-------------------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 11-FFC-UV-200H |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFC- EUV200-EF-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190226-EFC 03 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 08/03/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 21 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de cabuya | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Radiación UV – Cámara de arco de Xenón | Norma aplicada: | ASTM G 155 |
| Condición: | Ciclo 1 – Tabla X3.1 | Tiempo de exposición: | 200 Horas |
| Long. Onda / radiación: | 340 nm / 0.35 W/m ² | Líquido de aspersión: | Agua |
| Lugar de realización: | EPN - CIAP | Doc. Refer. /Anexo C: | DC-OT0009-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A FLEXIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 7264 - 2015 | Procedimiento: | A |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Serie / Modelo: | 8210M002 / MTE-50 | Precarga: | 100 N |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Distancia entre apoyos: | 128 mm |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo UV exposición 200 horas | |
|  | |  | |
| Observación: Se torna de un color amarillento leve. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190226-EFC / ANEXO E | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Esfuerzo de Flexión (MPa) | Módulo de Flexión (MPa) | % de Deformación máxima |
| PFC- EUV200-EF-01 | 57.75 | 1431.75 | 4.03 |
| PFC- EUV200-EF-02 | 58.38 | 1366.57 | 4.27 |
| PFC- EUV200-EF-03 | 43.84 | 1284.05 | 3.41 |
| PFC- EUV200-EF-04 | 59.29 | 1123.51 | 5.28 |
| PFC- EUV200-EF-05 | 47.00 | 1525.85 | 3.08 |
| Media: | 53.25 | 1346.35 | 4.02 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | O: Otros; A: En el punto de carga; B: Fondo. | |
|  | PFC- EUV200-EF-01 | OAB |
|  | PFC- EUV200-EF-02 | OAB |
|  | PFC- EUV200-EF-03 | OAB |
|  | PFC- EUV200-EF-04 | OAB |
|  | PFC- EUV200-EF-05 | OAB |

Observación: El total de probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo OAB.

CURVA TÍPICA FUERZA (N) vs DEFLEXIÓN (mm)










Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 7.25 MPa y 152.85 MPa en las mediciones de esfuerzo de flexión y módulo de flexión respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 13.62 % y 11.35 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo para los datos de módulo de flexión.



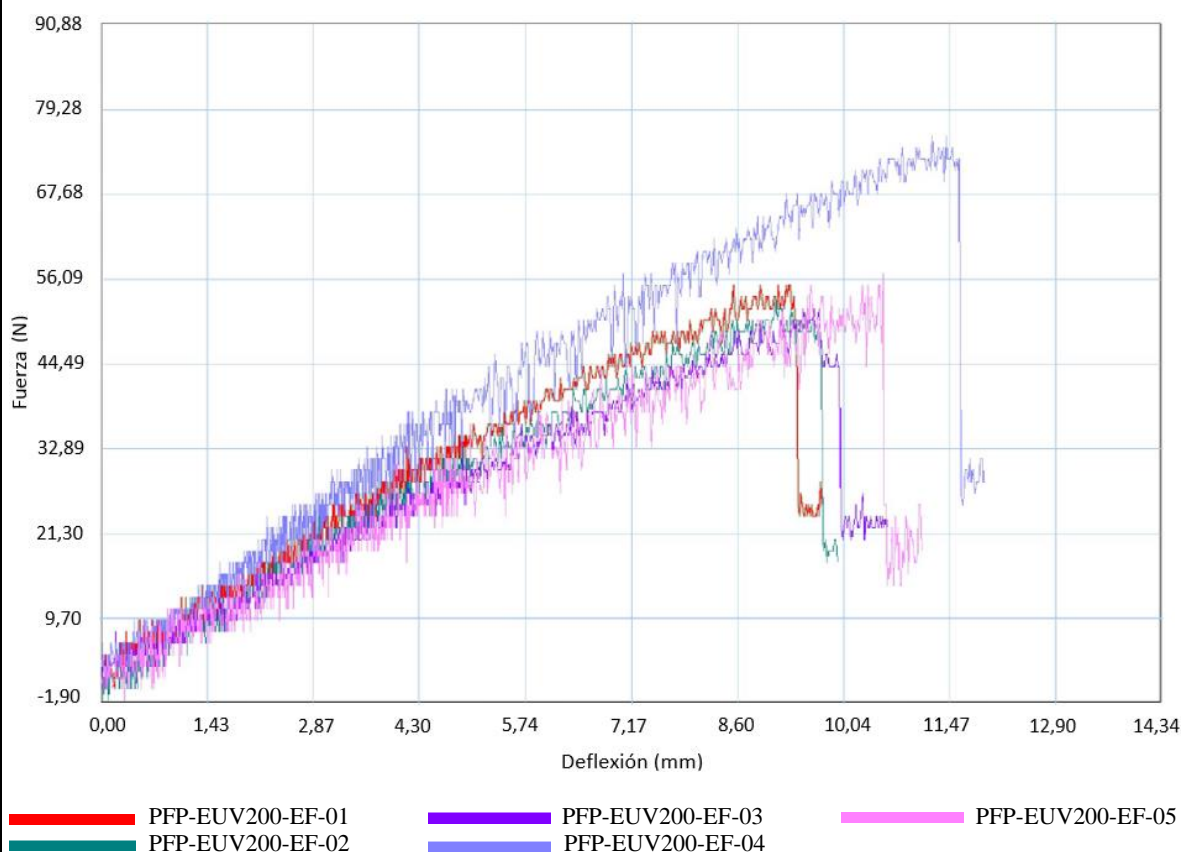
ENSAYO DE FLEXIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|-------------------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 12-FFP-UV-200H |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFP- EUV200-EF-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190226-EFC 04 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 08/03/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 21 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de plátano | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Radiación UV – Cámara de arco de Xenón | Norma aplicada: | ASTM G 155 |
| Condición: | Ciclo 1 – Tabla X3.1 | Tiempo de exposición: | 200 Horas |
| Long. Onda / radiación: | 340 nm / 0.35 W/m ² | Líquido de aspersión: | Agua |
| Lugar de realización: | EPN - CIAP | Doc. Refer. /Anexo C: | DC-OT0009-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A FLEXIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 7264 - 2015 | Procedimiento: | A |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Serie / Modelo: | 8210M002 / MTE-50 | Precarga: | 100 N |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Distancia entre apoyos: | 128 mm |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo UV exposición 200 horas | |
|  | |  | |
| Observación: Se torna de un color amarillento leve. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190226-EFC / ANEXO E | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Esfuerzo de Flexión (MPa) | Módulo de Flexión (MPa) | % de Deformación máxima |
| PFP- EUV200-EF-01 | 33.36 | 2128.18 | 1.57 |
| PFP- EUV200-EF-02 | 32.62 | 1960.89 | 1.66 |
| PFP- EUV200-EF-03 | 34.89 | 2113.08 | 1.65 |
| PFP- EUV200-EF-04 | 43.61 | 2073.46 | 2.10 |
| PFP- EUV200-EF-05 | 36.42 | 1940.13 | 1.88 |
| Media: | 36.18 | 2043.14 | 1.77 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | O: Otros; A: En el punto de carga; B: Fondo. | |
|  | PFP- EUV200-EF-01 | OAB |
|  | PFP- EUV200-EF-02 | OAB |
|  | PFP- EUV200-EF-03 | OAB |
|  | PFP- EUV200-EF-04 | OAB |
|  | PFP- EUV200-EF-05 | OAB |

Observación: El total de probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo OAB.

CURVA TÍPICA FUERZA (N) vs DEFLEXIÓN (mm)

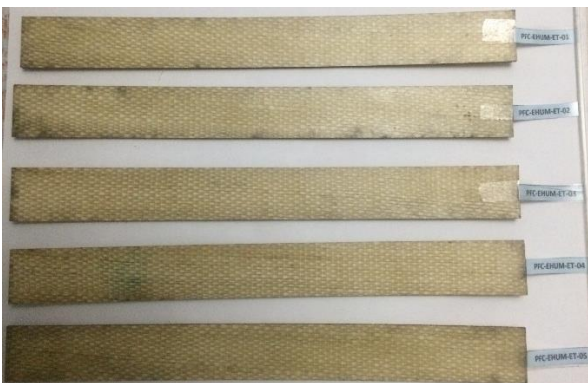








Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 4.40 MPa y 87.20 MPa en las mediciones de esfuerzo de flexión y módulo de flexión respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 12.16 % y 4.27 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo para los datos de módulo de flexión.



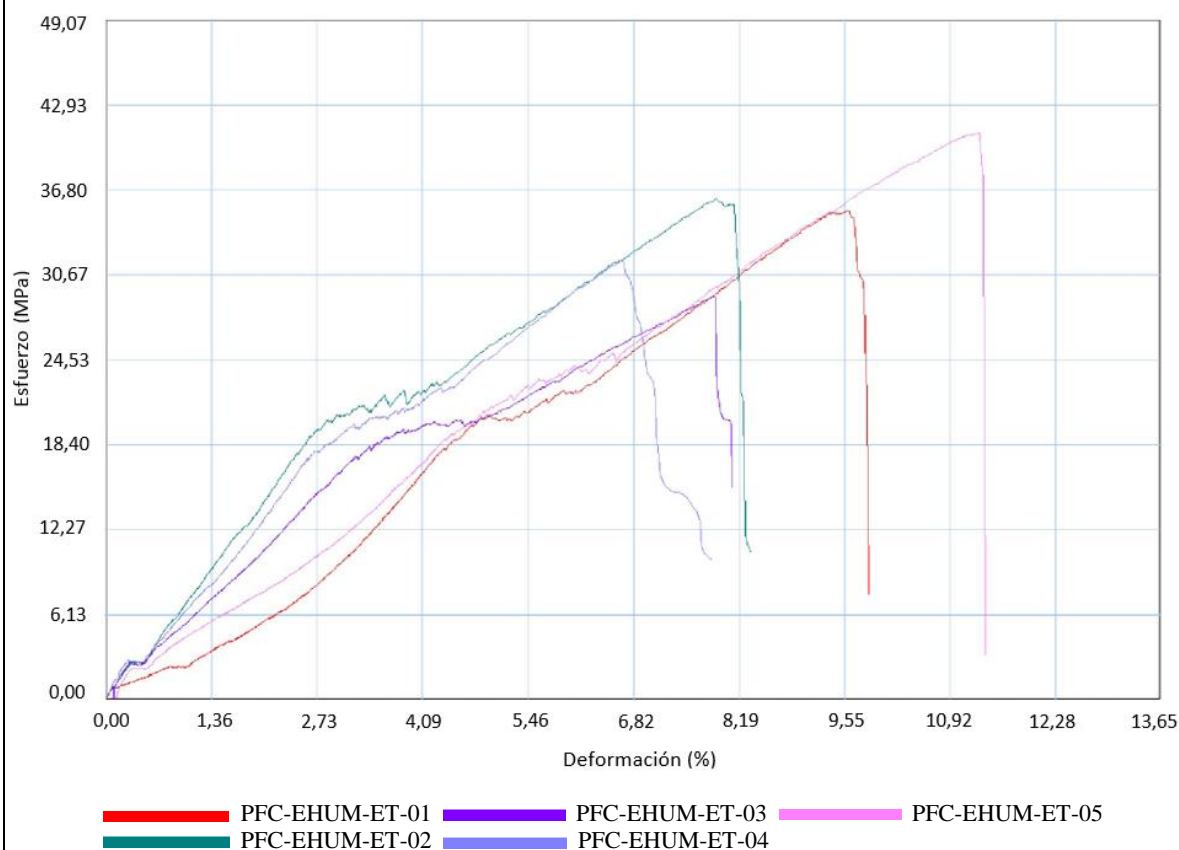
ENSAYO DE TRACCIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|------------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 13-TFC-HUM |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFC-EHUM-ET-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190403-ETC 02 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 03/04/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 15 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de cabuya | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Humedad – Absorción de agua | Norma aplicada: | ASTM D 570 - 98 |
| Condición: | Procedimiento de inmersión a largo plazo | Tiempo de inmersión: | 5 Semanas |
| Acondicionamiento: | Secado a horno infrarrojo por 24 horas | Líquido de inmersión: | Agua desionizada |
| Lugar de realización: | UTA - FICM | Doc. Refer. /Anexo F: | Lb1-0001-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A TRACCIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 3039 / D 3039 M | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Modelo: | MTE-50 |
| Precarga: | 0.01 KN | Serie: | 8210M002 |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Tipo de probeta: | Plana |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo de humedad – inmersión 5 semanas | |
|  | |  | |
| Observación: Se torna de un tono mas oscuro. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190403-ETC / ANEXO G | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Resistencia a la Tracción (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | % de Elongación |
| PFC-EHUM-ET-01 | 35.31 | 367.85 | 11.519 |
| PFC-EHUM-ET-02 | 36.19 | 459.31 | 9.455 |
| PFC-EHUM-ET-03 | 29.08 | 369.34 | 9.448 |
| PFC-EHUM-ET-04 | 31.68 | 475.59 | 7.994 |
| PFC-EHUM-ET-05 | 40.89 | 362.40 | 13.539 |
| Media: | 34.630 | 406.899 | 10.391 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | L: Lateral; G: Zona calibrada; A: En el agarre; M: Medio; T: Parte superior. | |
|  | PFC-EHUM-ET-01 | LAT |
|  | PFC-EHUM-ET-02 | LAT |
|  | PFC-EHUM-ET-03 | LGM |
|  | PFC-EHUM-ET-04 | LGM |
|  | PFC-EHUM-ET-05 | LGM |

Observación: Tres de las cinco probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo LGM.

CURVA TÍPICA ESFUERZO (MPa) vs DEFORMACIÓN (%)

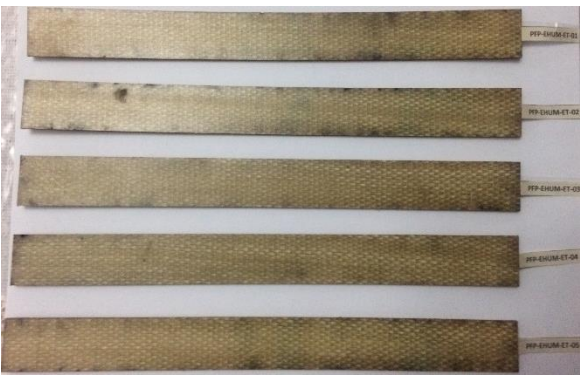








Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 4.516 MPa y 55.634 MPa en las mediciones de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 13.03 % y 13.67 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo del conjunto de datos.



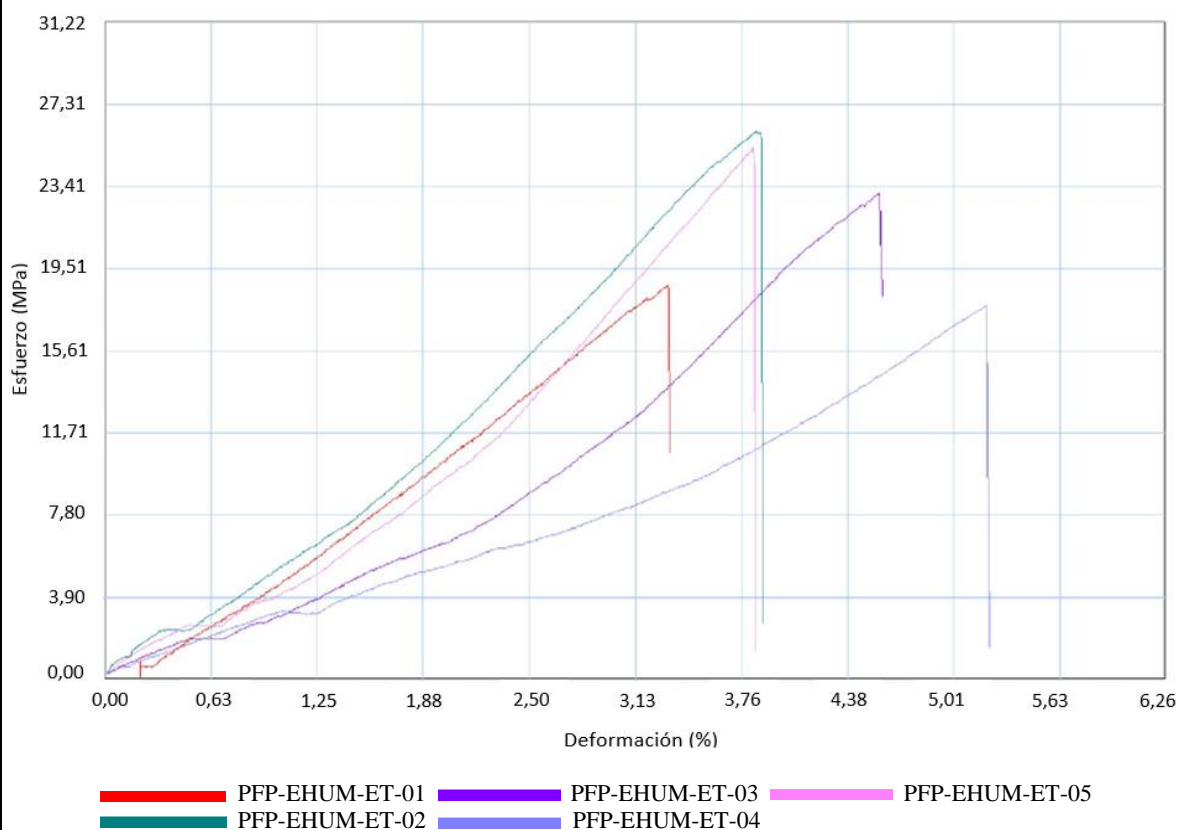
ENSAYO DE TRACCIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|------------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 14-TFP-HUM |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFP-EHUM-ET-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190403-ETC 01 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 03/04/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 15 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de plátano | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Humedad – Absorción de agua | Norma aplicada: | ASTM D 570 - 98 |
| Condición: | Procedimiento de inmersión a largo plazo | Tiempo de inmersión: | 5 Semanas |
| Acondicionamiento: | Secado a horno infrarrojo por 24 horas | Líquido de inmersión: | Agua desionizada |
| Lugar de realización: | UTA - FICM | Doc. Refer. /Anexo F: | Lb1-0001-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A TRACCIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 3039 / D 3039 M | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Modelo: | MTE-50 |
| Precarga: | 0.01 KN | Serie: | 8210M002 |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Tipo de probeta: | Plana |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo de humedad – inmersión 5 semanas | |
|  | |  | |
| | | Observación: Se torna de un tono mas claro. | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190403-ETC / ANEXO G | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Resistencia a la Tracción (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | % de Elongación |
| PFP-EHUM-ET-01 | 18.71 | 564.70 | 3.976 |
| PFP-EHUM-ET-02 | 26.01 | 677.89 | 4.605 |
| PFP-EHUM-ET-03 | 23.10 | 505.38 | 5.484 |
| PFP-EHUM-ET-04 | 17.73 | 340.96 | 6.240 |
| PFP-EHUM-ET-05 | 25.25 | 660.22 | 4.590 |
| Media: | 22.161 | 549.829 | 4.979 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | L: Lateral; G: Zona calibrada; A: En el agarre; M: Medio; T: Parte superior. | |
|  | PFP-EHUM-ET-01 | LAT |
|  | PFP-EHUM-ET-02 | LAT |
|  | PFP-EHUM-ET-03 | LGT |
|  | PFP-EHUM-ET-04 | LGM |
|  | PFP-EHUM-ET-05 | LAT |

Observación: Tres de las cinco probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo LAT.

CURVA TÍPICA ESFUERZO (MPa) vs DEFORMACIÓN (%)

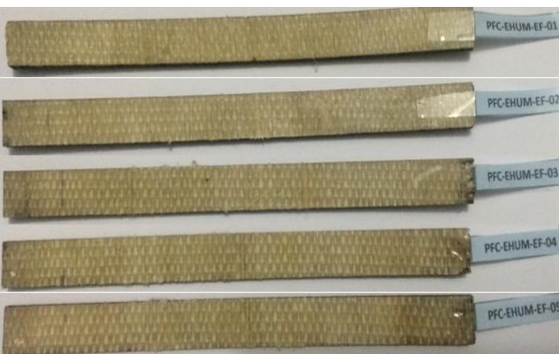








Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 3.769 MPa y 136.39 MPa en las mediciones de la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 17.00 % y 24.80 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio no es representativo para los datos de módulo de elasticidad.



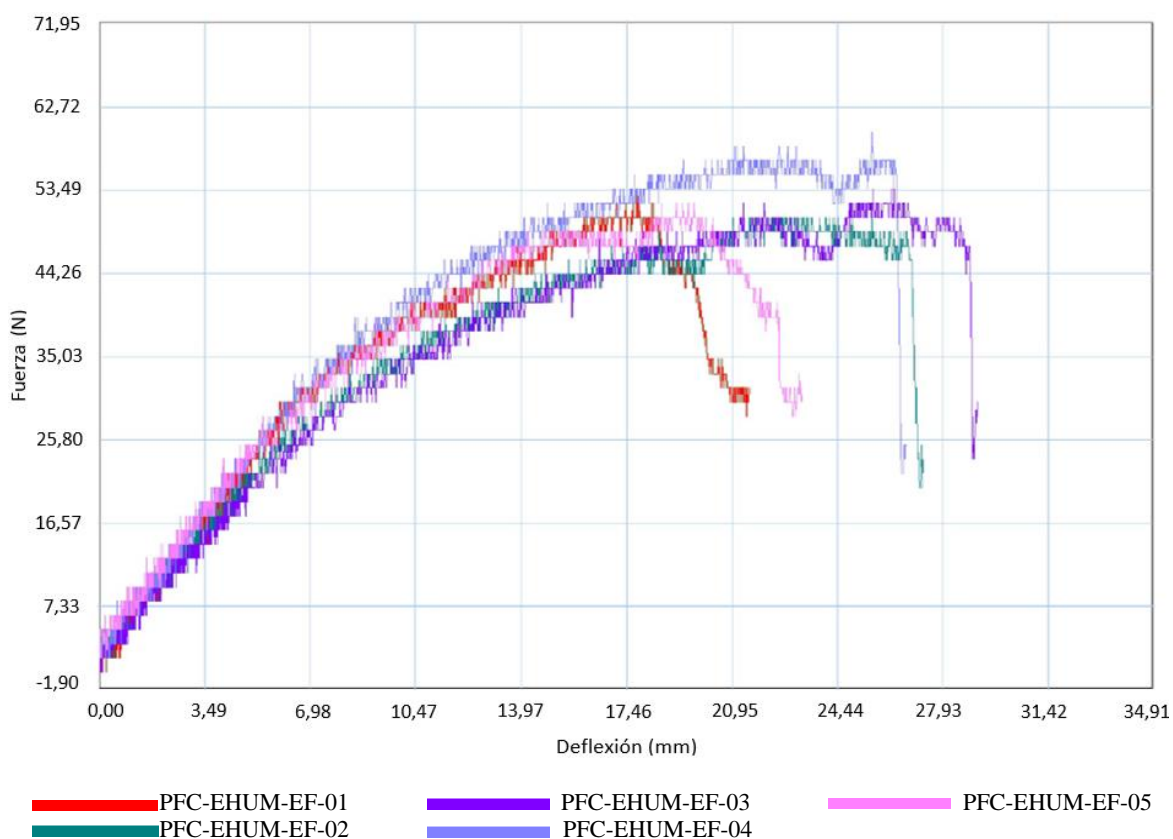
ENSAYO DE FLEXIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|-------------------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 15-FFC-HUM |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFC- EHUM-EF-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190403-EFC 02 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 03/04/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 15 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de cabuya | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Humedad – Absorción de agua | Norma aplicada: | ASTM D 570 - 98 |
| Condición: | Procedimiento de inmersión a largo plazo | Tiempo de inmersión: | 5 Semanas |
| Acondicionamiento: | Secado a horno infrarrojo por 24 horas | Líquido de inmersión: | Agua desionizada |
| Lugar de realización: | UTA - FICM | Doc. Refer. /Anexo F: | Lb1-0001-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A FLEXIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 7264 - 2015 | Procedimiento: | A |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Serie / Modelo: | 8210M002 / MTE-50 | Precarga: | 100 N |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Distancia entre apoyos: | 120 mm |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo de humedad – inmersión 5 semanas | |
|  | |  | |
| Observación: Se torna de un tono mas claro. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190403-EFC / ANEXO H | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Esfuerzo de Flexión (MPa) | Módulo de Flexión (MPa) | % de Deformación máxima |
| PFC- EHUM-EF-01 | 37.52 | 1122.79 | 3.34 |
| PFC- EHUM-EF-02 | 28.05 | 641.97 | 4.37 |
| PFC- EHUM-EF-03 | 43.91 | 997.16 | 4.40 |
| PFC- EHUM-EF-04 | 46.11 | 1017.90 | 4.53 |
| PFC- EHUM-EF-05 | 38.39 | 1143.72 | 3.36 |
| Media: | 38.80 | 984.71 | 4.00 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | O: Otros; A: En el punto de carga; L: Entre la carga y punto de apoyo; B: Fondo. | |
|  | PFC- EHUM-EF-01 | OAB |
|  | PFC- EHUM-EF-02 | OLB |
|  | PFC- EHUM-EF-03 | OLB |
|  | PFC- EHUM-EF-04 | OAB |
|  | PFC- EHUM-EF-05 | OLB |

Observación: El total de probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo OLB.

CURVA TÍPICA FUERZA (N) vs DEFLEXIÓN (mm)










Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 7.02 MPa y 201.92 MPa en las mediciones de esfuerzo de flexión y módulo de flexión respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 18.08 % y 20.51 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio tiende a no ser representativo para los datos de módulo de flexión.



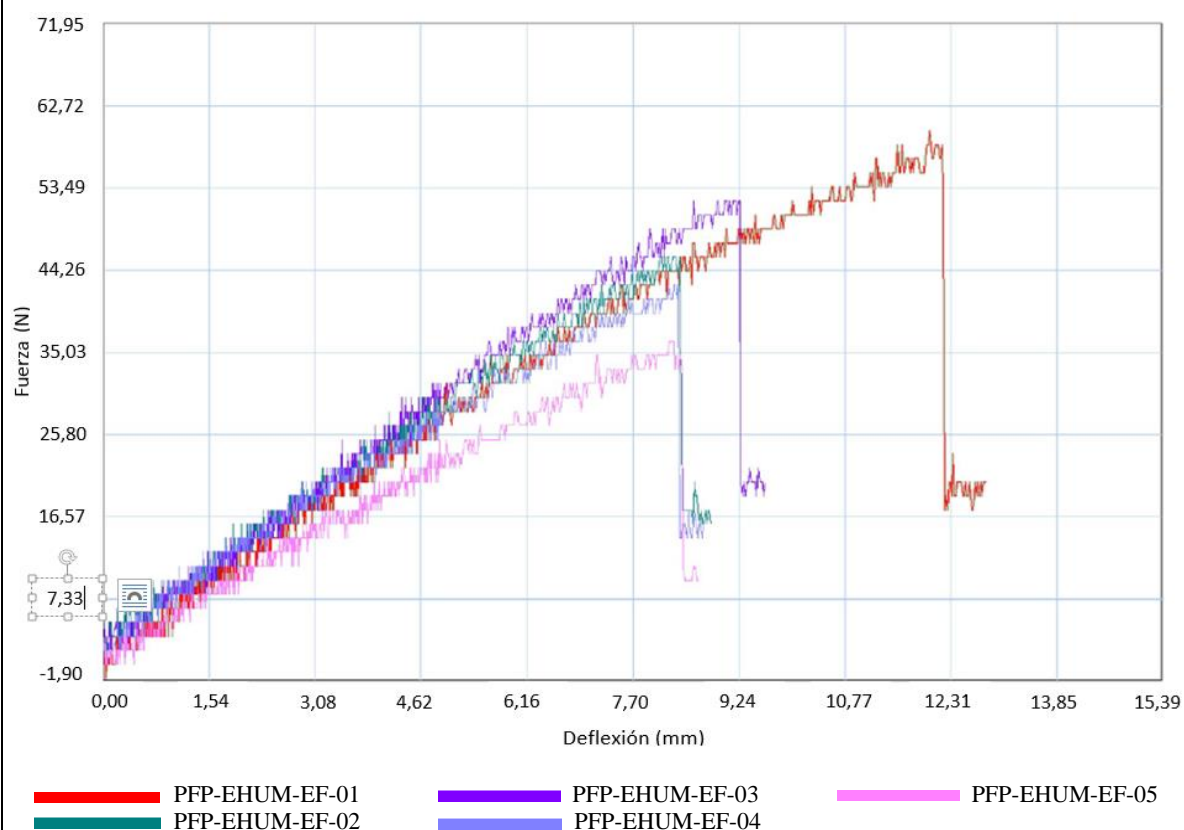
ENSAYO DE FLEXIÓN

| DATOS INFORMATIVOS | | | |
|---|--|--|-------------------------|
| Tipo de estudio: | De campo y laboratorio | N° de Registro: | 16-FFP-HUM |
| Carácter de ensayo: | Destructivo | Tipo de ensayo: | Cuantitativo |
| Laboratorio de ensayo: | C. F. P. Metalmecánico Carrocero - H.G.P.T | N° probetas a ensayar: | 5 |
| Código de probetas: | PFP- EHUM-EF-: 01, 02, 03, 04, 05 | Identificación grupo: | 20190403-EFC 01 |
| Solicitante: | L. Geovanny Salán | Fecha ejecución: | 03/04/2019 |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR | | | |
| Tipo de material: | Material compuesto | Tiempo de curado: | 15 días |
| Elemento de Matriz: | Resina poliéster | % de resina: | 70 ± 5 |
| Elemento de refuerzo: | Fibra de plátano | % de fibra: | 30 ± 5 |
| PARÁMETROS DE ENSAYO PRELIMINAR | | | |
| Nombre: | Humedad – Absorción de agua | Norma aplicada: | ASTM D 570 - 98 |
| Condición: | Procedimiento de inmersión a largo plazo | Tiempo de inmersión: | 5 Semanas |
| Acondicionamiento: | Secado a horno infrarrojo por 24 horas | Líquido de inmersión: | Agua desionizada |
| Lugar de realización: | UTA - FICM | Doc. Refer. /Anexo F: | Lb1-0001-2019 |
| PROTOCOLO DE ENSAYO A FLEXIÓN | | | |
| Método de ensayo: | ASTM D 7264 - 2015 | Procedimiento: | A |
| Equipo: | Máquina Universal Metrotest 50KN | Velocidad de ensayo: | 10 mm/min |
| Serie / Modelo: | 8210M002 / MTE-50 | Precarga: | 100 N |
| Dimensiones probetas: | Cumplen criterios dimensionales | Distancia entre apoyos: | 120 mm |
| Evidencia: | | | |
| Sin ensayo preliminar | | Con ensayo de humedad – inmersión 5 semanas | |
|  | |  | |
| Observación: Se torna de un tono mas claro. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Doc. Referencia: | 180375471020190403-EFC / ANEXO H | | |
| PROPIEDADES MECÁNICAS EVALUADAS | | | |
| Código de Probeta | Esfuerzo de Flexión (MPa) | Módulo de Flexión (MPa) | % de Deformación máxima |
| PFP- EHUM-EF-01 | 36.47 | 1500.24 | 2.43 |
| PFP- EHUM-EF-02 | 25.15 | 1473.19 | 1.71 |
| PFP- EHUM-EF-03 | 29.59 | 1652.39 | 1.79 |
| PFP- EHUM-EF-04 | 23.38 | 1342.81 | 1.74 |
| PFP- EHUM-EF-05 | 24.09 | 1518.66 | 1.59 |
| Media: | 27.74 | 1497.46 | 1.85 |

| TIPO DE FALLO EVALUADO | | |
|--|--|-----|
| Código: Modo de fallo | O: Otros; A: En el punto de carga; L: Entre la carga y punto de apoyo; B: Fondo. | |
|  | PFP- EHUM-EF-01 | OAB |
|  | PFP- EHUM-EF-02 | OLB |
|  | PFP- EHUM-EF-03 | OLB |
|  | PFP- EHUM-EF-04 | OAB |
|  | PFP- EHUM-EF-05 | OLB |

Observación: El total de probetas ensayadas tienen la tendencia de fallo tipo OLB.

CURVA TÍPICA FUERZA (N) vs DEFLEXIÓN (mm)



Análisis:

A partir de los resultados registrados y en concordancia a las curvas indicada se puede indicar que entre las mediciones realizadas a las probetas de estudio referenciadas existe una *desviación estándar* de 5.45 MPa y 110.64 MPa en las mediciones de esfuerzo de flexión y módulo de flexión respectivamente, originando a que exista un coeficiente de variación de 19.64 % y 7.39 % de éstas mediciones en el mismo orden. Por lo tanto el promedio es representativo para los datos indicados.

4.3 Interpretación de resultados

4.3.1 Tendencia de los efectos de Radiación UV en las propiedades mecánicas de los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano

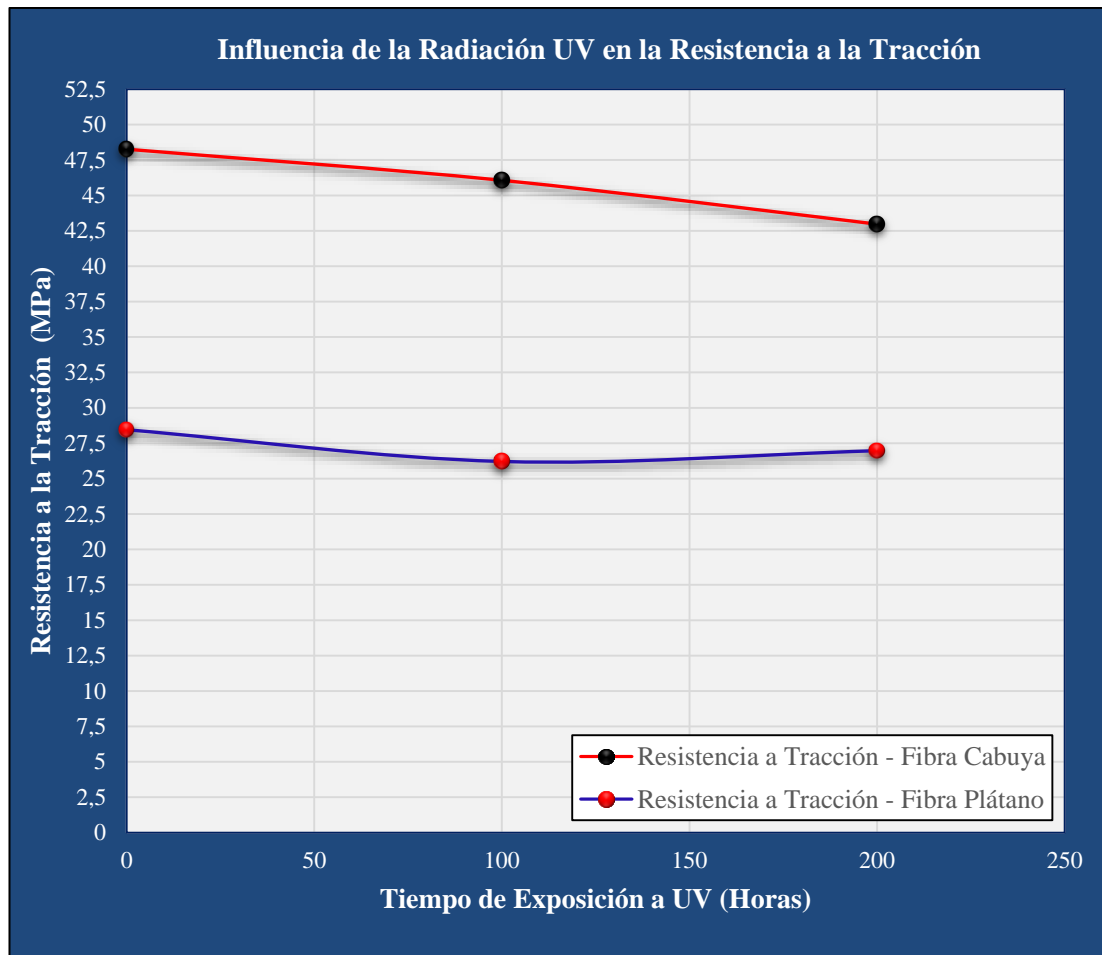


Figura 4.8. Influencia de la Radiación UV en la Resistencia a la Tracción [Autor].

En la Figura 4.8, encontramos que la resistencia a la tracción en los dos tipos de composites tanto el que utiliza fibra de cabuya, como el que utiliza fibra de plátano como refuerzos a las 100 primeras horas de exposición Radiación UV existe una disminución de esta propiedad. Sin embargo a medida que aumenta el tiempo de exposición hasta llegar a 200 horas de exposición a Radiación UV, el composite con refuerzo de fibra de cabuya sigue con la tendencia de reducción de la resistencia de tracción, contrario lo que sucede con el que utiliza como refuerzo la fibra de plátano que prácticamente mantiene su pérdida de resistencia sufrido a 100 horas, e incluso tiende a mejorar, sin embargo denota una pérdida de la propiedad en cuestión en

comparación a la resistencia a la tracción que presenta en el tiempo 0 horas (sin exposición – línea base).

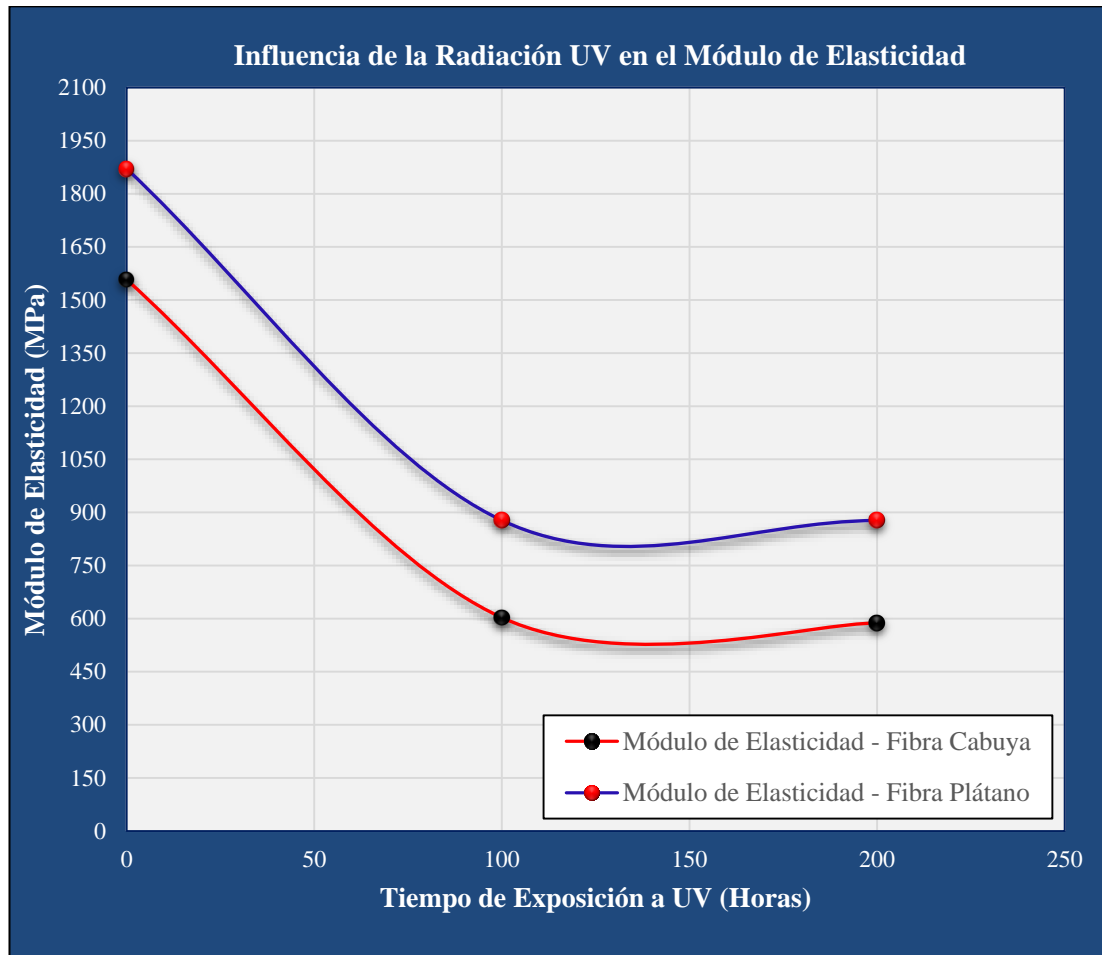


Figura 4.9. Influencia de la Radiación UV en el Módulo de Elasticidad [Autor].

La Figura 4.9, se trata de un gráfico que muestra el efecto de la Radiación UV en el módulo de elasticidad para los composites que utilizan tanto fibra de cabuya, como fibra de plátano como refuerzo, a lo largo de un tiempo de exposición de 200 horas.

En la gráfica claramente se denota que durante las 100 primeras horas de exposición los composites en los dos casos expuestos desciende notablemente su módulo de elasticidad. Ya para el intervalo de exposición entre 100 y 200 horas, el módulo de elasticidad tiende a no tener una variación significativa. Esta indicación última es válida para los dos composites, tanto para el que utiliza refuerzo de fibra de cabuya como para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano.

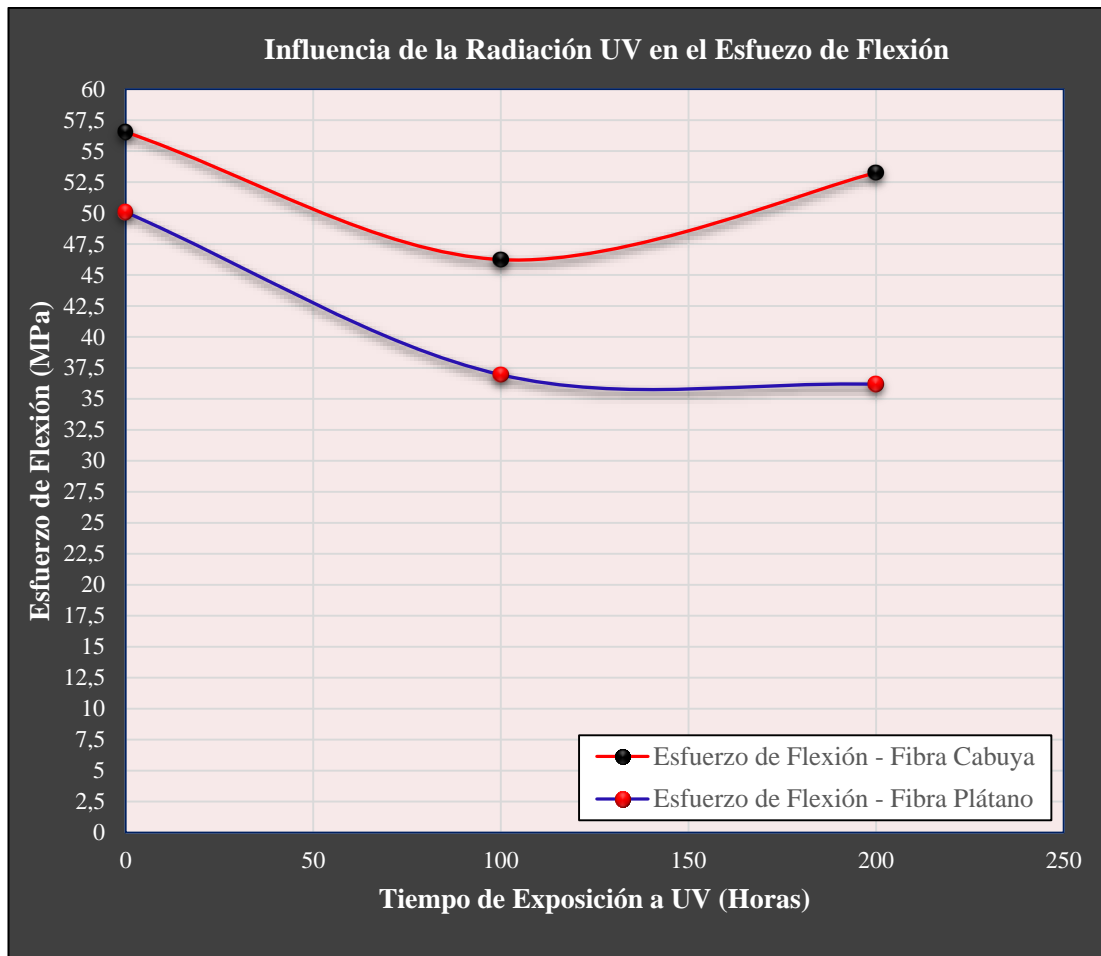


Figura 4.10. Influencia de la Radiación UV en el Esfuerzo de Flexión [Autor].

En la Figura 4.10, se puede observar que el composite con refuerzo de fibra de cabuya proporciona un mayor esfuerzo de flexión respecto al que utiliza como refuerzo fibra de plátano. Este concepto indicado se mantiene para el intervalo de 100 a 200 horas de exposición a Radiación UV, toda vez que si bien es cierto, existe reducción del valor del esfuerzo de flexión en las primeras 100 horas de exposición para los dos casos y para las 200 horas de exposición el composite con refuerzo de fibra de plátano tiende a mantener su propiedad adquirida en 100 horas de exposición, mientras que el composite de fibra de cabuya ofrece un incremento en el esfuerzo de flexión, siempre de acuerdo al gráfico el composite con refuerzo de fibra de cabuya tiene la bondad de proporcionar un mayor esfuerzo de flexión.

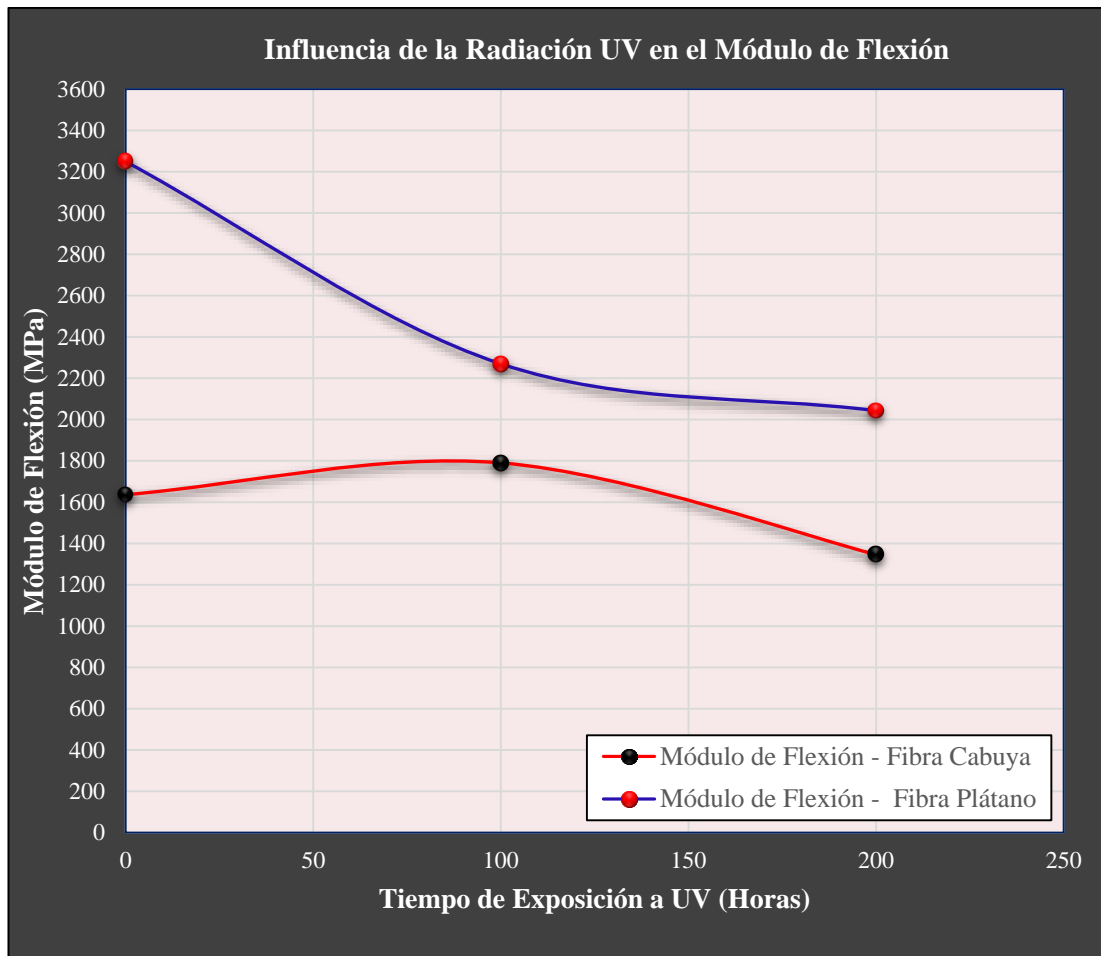


Figura 4.11. Influencia de la Radiación UV en el Módulo de Flexión [Autor].

La Figura 4.11, en primera instancia nos permite indicar que el composite con fibra de refuerzo de cabuya en forma general ofrece un mayor módulo de flexión con respecto al que utiliza como refuerzo fibra de plátano.

En el composite con refuerzo de fibra de cabuya el módulo de flexión sufre un decremento de mayor escala durante las 100 primeras de exposición a Radiación UV que durante en el intervalo de exposición entre 100 y 200 horas.

En lo que respecta al composite con refuerzo de fibra de plátano presenta a las 100 primeras horas de exposición a Radiación UV un incremento en menor escala en su módulo de flexión respecto al tiempo de exposición de 0 horas (sin exposición), para posterior disminuir su módulo de flexión en el tiempo de exposición a UV de 200 horas en mayor escala al del incremento, presentando un valor de módulo de flexión por debajo del determinado para 0 horas de exposición.

4.3.1.1 Porcentajes de pérdida de las propiedades mecánicas por los efectos de Radiación UV en los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano

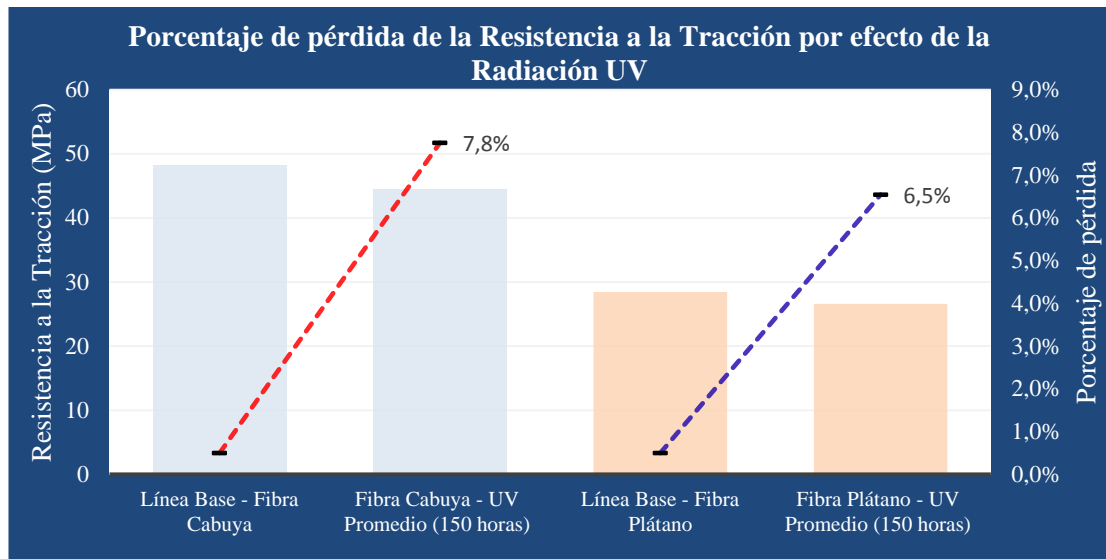


Figura 4.12. Porcentaje de pérdida de la Resistencia a la Tracción por efecto de la Radiación UV [Autor].

En la Figura 4.12, se muestra que el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su resistencia a la tracción en 7.8%, mientras que el que utiliza fibra de plátano pierde su resistencia a la tracción en 6.5%, siendo más resistente en un 1.3% a radiación UV.

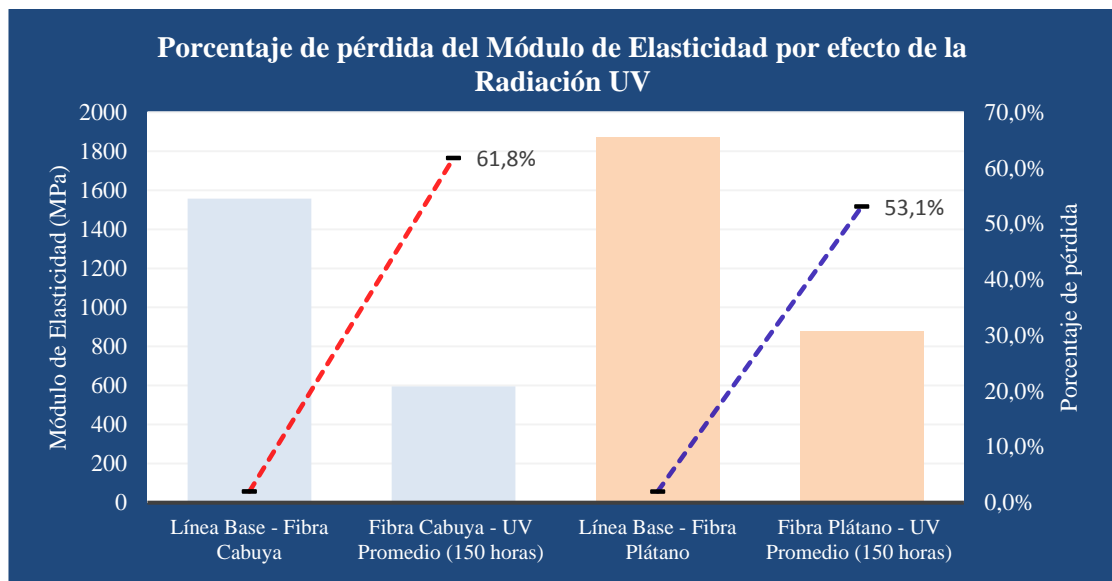


Figura 4.13. Porcentaje de pérdida del Módulo de Elasticidad por efecto de la Radiación UV [Autor].

En la Figura 4.13, el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su módulo de elasticidad en 61.8%, mientras que el que utiliza fibra de plátano en un 53.1%, siendo más resistente a radiación UV el de fibra de plátano en un 8.7%.

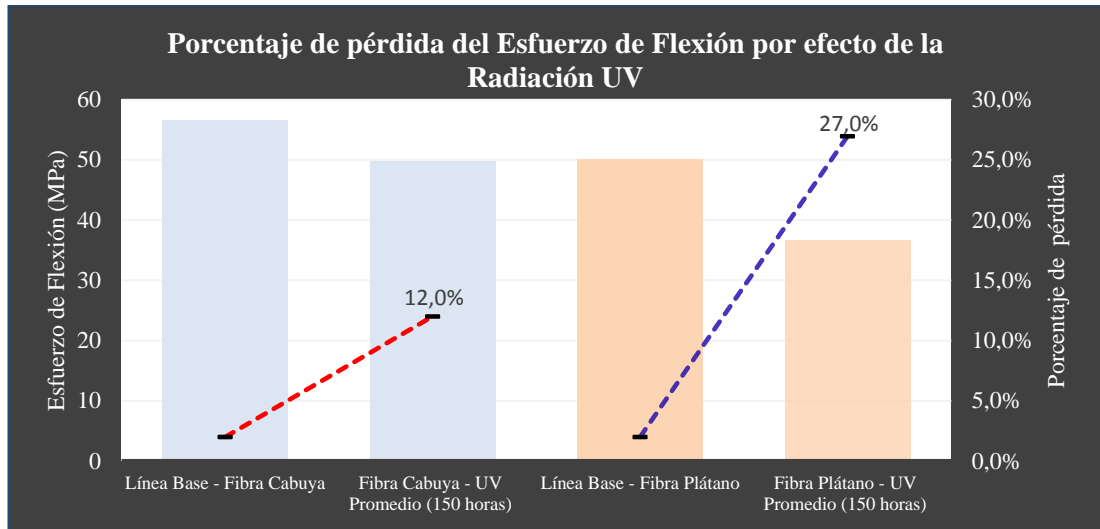


Figura 4.14. Porcentaje de pérdida del Esfuerzo de Flexión por efecto de la Radiación UV [Autor].

En la Figura 4.14, el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su esfuerzo de flexión en 12.0%, mientras que el que utiliza fibra de plátano en un 27.0%, siendo más resistente a radiación UV el de fibra de cabuya en un 15%.

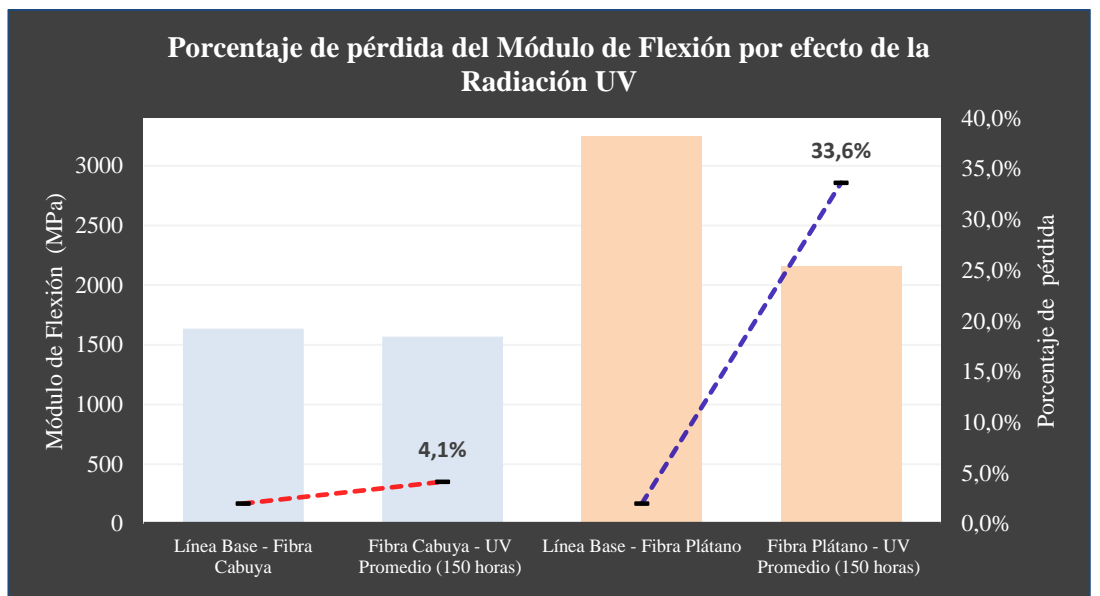


Figura 4.15. Porcentaje de pérdida del Módulo de Flexión por efecto de la Radiación UV [Autor].

En la Figura 4.15, el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su módulo de flexión en 4.1%, mientras que el que utiliza fibra de plátano en un 33.6%, siendo más resistente a radiación UV el de fibra de cabuya en un 29.5%.

4.3.2 Tendencia de Absorción de Humedad para los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano

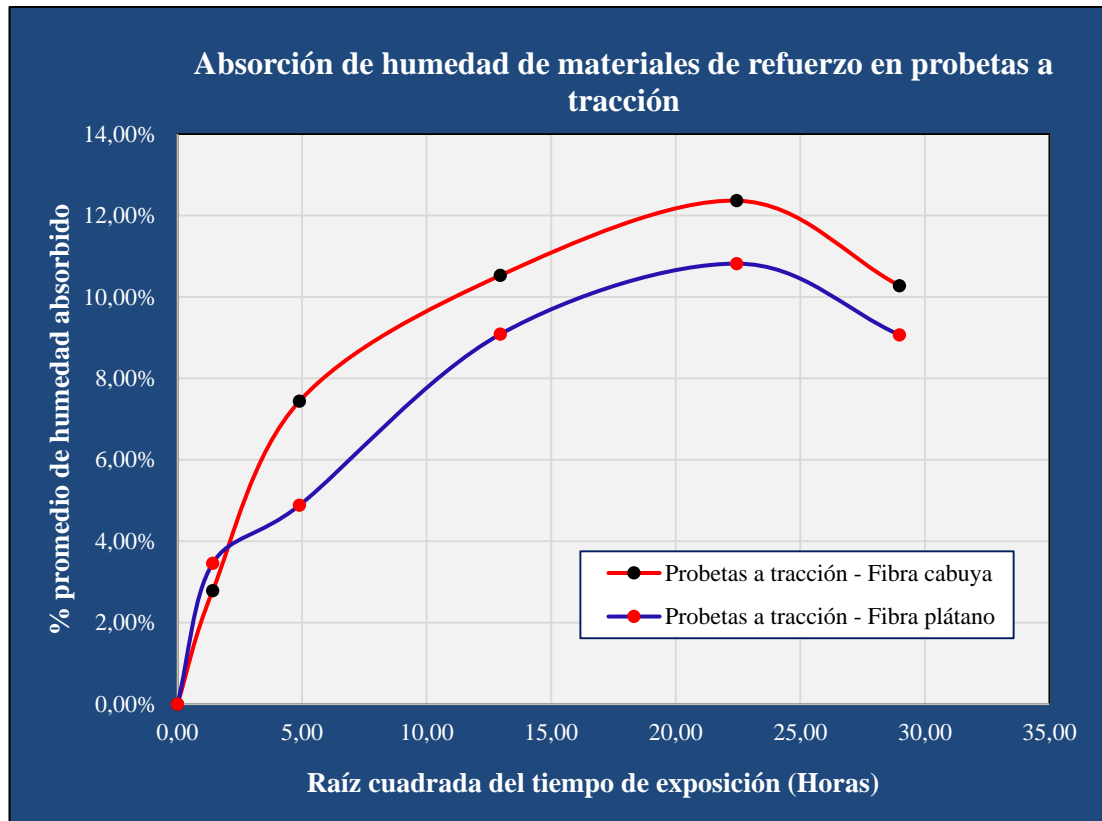


Figura 4.16. Absorción de humedad de materiales de refuerzo en probetas a tracción [Autor].

Los resultados de la Figura 4.16, refleja el comportamiento de absorción de humedad de composites de matriz de resina poliéster con refuerzo de fibra de cabuya y plátano, mismos que se sumergieron en agua desionizada a temperatura ambiente. Se estudió según la norma ASTM D 570.

Para estudiar la cinética de la absorción de humedad, las muestras que se utilizaron fueron probetas del tamaño dimensional para realizar ensayo de tracción a sabiendas que a posteriori se pretende determinar el efecto de la humedad en la resistencia a la tracción.

El porcentaje de absorción de humedad se representó en función de la raíz cuadrada del tiempo (horas) como se muestra en la Figura 4.16.

La Figura 4.16, permite atribuir que para los dos composites de estudio; la absorción de humedad alcanza el pico más alto para 504 horas (raíz 22.45 del tiempo en horas). Para luego descender su capacidad de absorción de humedad. Además muestra que el composite con refuerzo fibra de plátano tiene una capacidad de absorción de humedad menor al que utiliza como refuerzo fibra de cabuya, a pesar que en la etapa inicial a 2 horas (raíz 1.41 del tiempo en horas) de sumergido en el líquido de ensayo presenta una mayor capacidad de absorción de humedad.

El uso de refuerzo de fibra de plátano en matriz de resina poliéster disminuye el porcentaje de absorción de agua, lo que se interpreta efecto de su hidrofobicidad y, consecuentemente, como resultado de la buena adhesión interfacial y transferencia de tensiones entre el poliéster y la fibra. Este criterio, induce al aumento de resistencia a la humedad ó degradación del material.

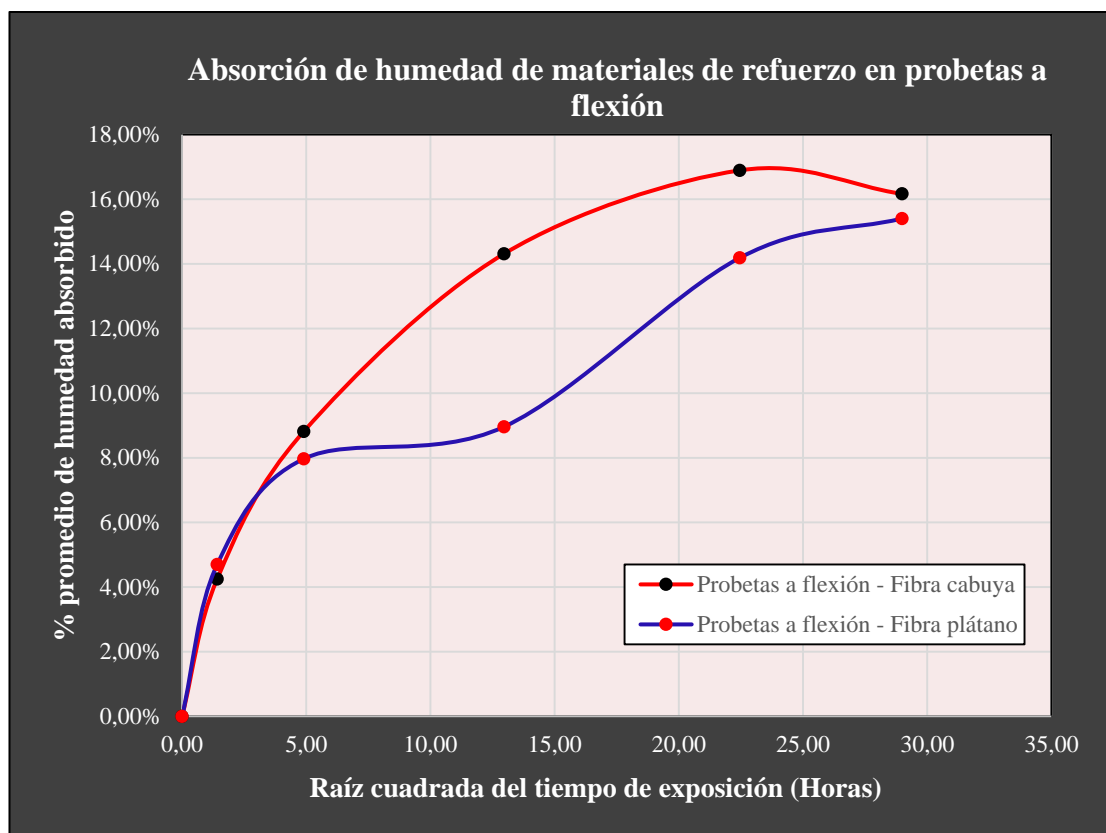


Figura 4.17. Absorción de humedad de materiales de refuerzo en probetas a flexión

[Autor].

Como parte del objeto del trabajo de investigación es también conocer el efecto de la humedad en el esfuerzo de flexión aplicado a los dos composites de estudio. Entonces con este fin para estudiar la cinética de la absorción de humedad, las muestras que se utilizaron fueron probetas del tamaño dimensional para realizar ensayo de flexión. En ese marco el porcentaje de absorción de humedad se representó en función de la raíz cuadrada del tiempo (horas) como se muestra en la Figura 4.17.

La Figura 4.17, muestra que el composite con refuerzo fibra de plátano tiene una capacidad de absorción de humedad menor al que utiliza como refuerzo fibra de cabuya, esto hasta el tiempo de 840 horas de inmersión (raíz 28.98 del tiempo en horas), lo que ratifica lo indicado en la Figura 4.16. Esto a pesar que la tendencia de absorción de humedad del composite con refuerzo de plátano presenta una diferencia bien marcada referente a su comportamiento de tendencia mostrado en la Figura 4.16.

4.3.3 Tendencia de los efectos de la Humedad en las propiedades mecánicas de los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano

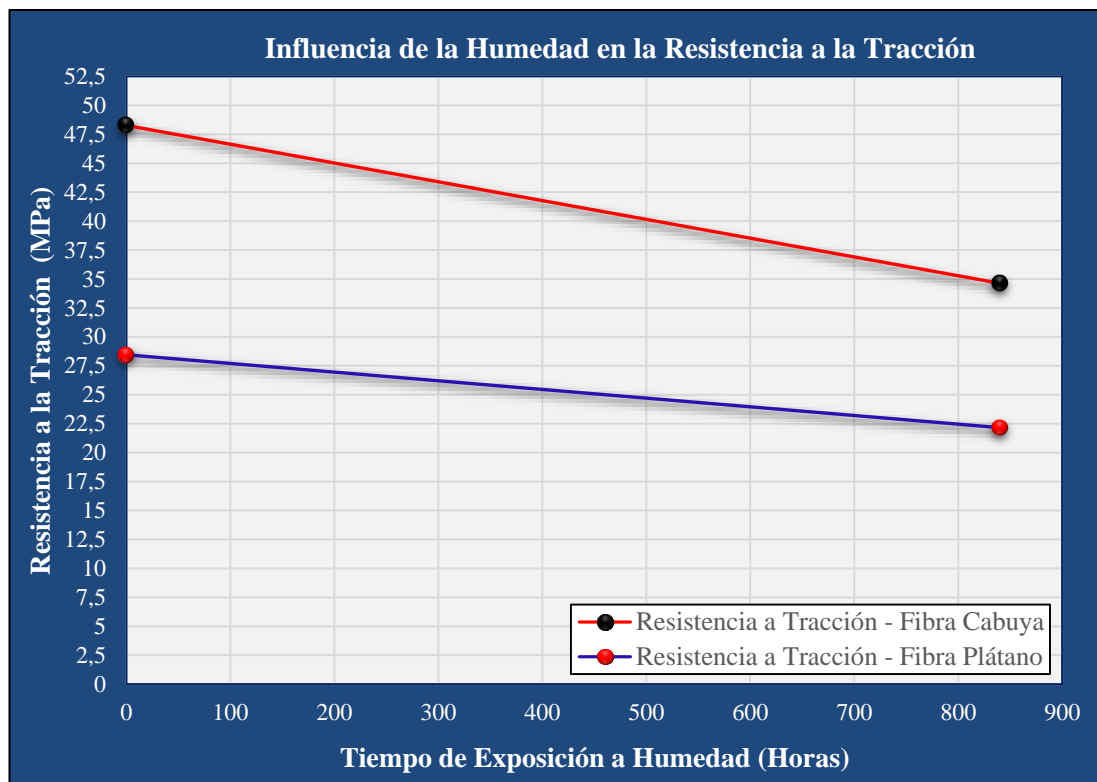


Figura 4.18. Influencia de la Humedad en la Resistencia a la Tracción [Autor].

En la Figura 4.18, se denota que existe un claro efecto negativo de la humedad en la resistencia a la tracción de los dos composites de estudio, reduciendo su resistencia de 48.26 MPa a 34.63 MPa para el caso del composite con refuerzo de fibra de cabuya y de 28.45 MPa a 22.16MPa para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano. Esta reducción se genera para un tiempo de inmersión en agua desionizada de 840 horas.

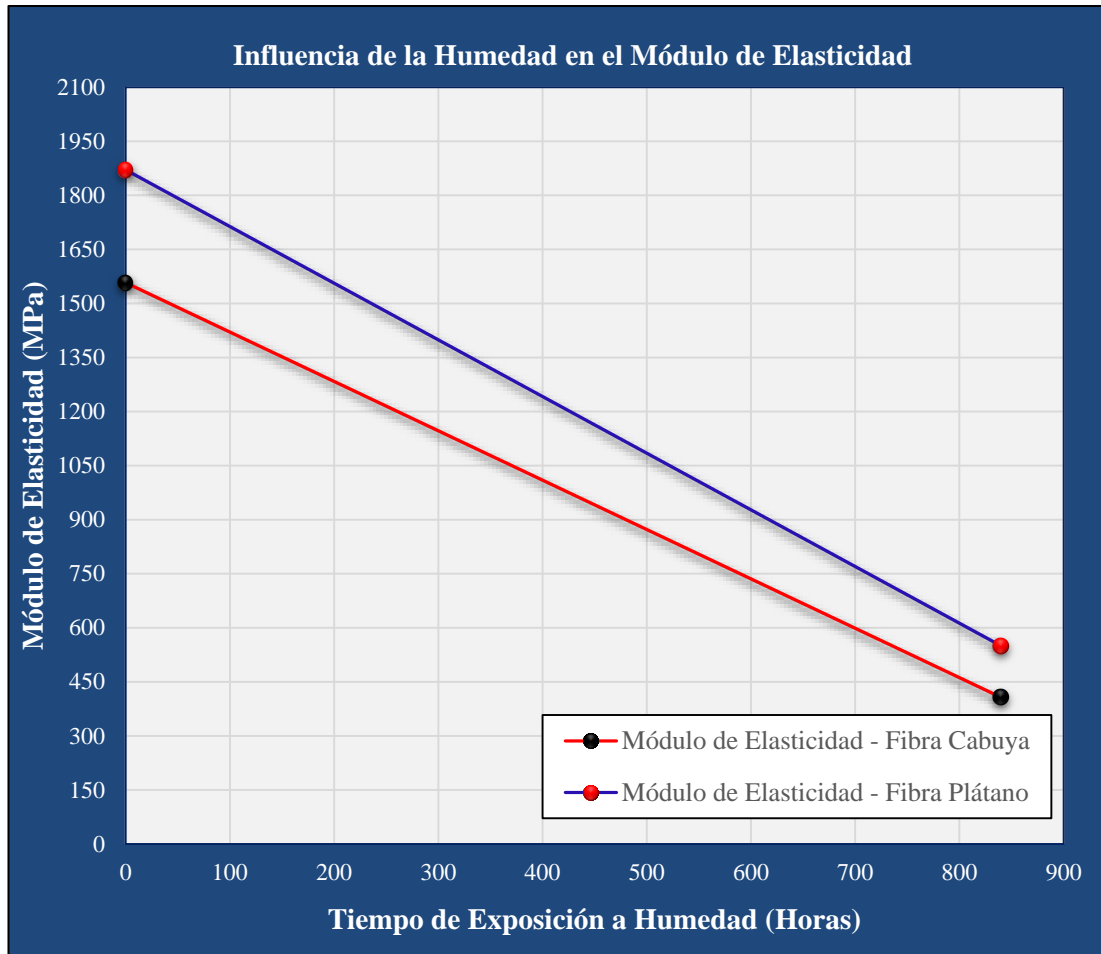


Figura 4.19. Influencia de la Humedad en el Módulo de Elasticidad [Autor].

En la Figura 4.19, se denota que existe un claro efecto negativo de la humedad en el módulo de elasticidad en los composites de estudio, reduciendo esta propiedad de 1557.55 MPa a 406.89 MPa para el caso del composite con refuerzo de fibra de cabuya y de 1870.72 MPa a 549.82 MPa para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano. Esta reducción se genera para un tiempo de inmersión en agua desionizada de 840 horas.

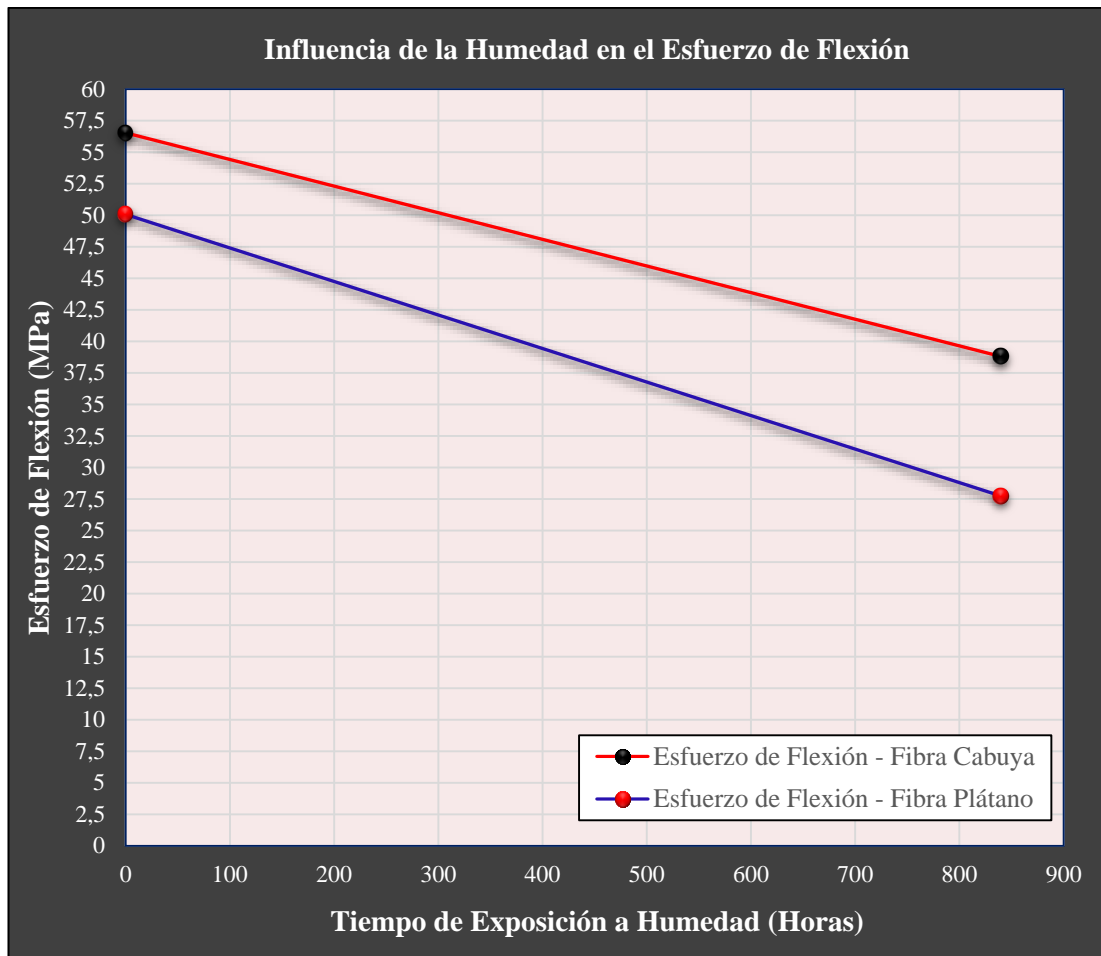


Figura 4.20. Influencia de la Humedad en el Esfuerzo de Flexión [Autor].

La Figura 4.20, describe claramente que el composite con refuerzo de cabuya tiene la bondad de ofrecer un esfuerzo de flexión superior al del composite con refuerzo de plátano, esto en todas las instancias.

También se denota que existe un claro efecto negativo de la humedad en el esfuerzo de flexión en los composites de estudio, reduciendo esta propiedad de 56.53 MPa a 38.80 MPa para el caso del composite con refuerzo de fibra de cabuya y de 50.06 MPa a 27.74 MPa para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano. Esta reducción se genera para un tiempo de inmersión en agua desionizada de 840 horas.

Se considera importante hacer notar que antes de la exposición a la humedad (tiempo a 0 horas) la diferencia del esfuerzo de flexión entre los composites es menor que después de las 840 horas de inmersión, en donde la diferencia de dicha propiedad es mayor entre los mismos.

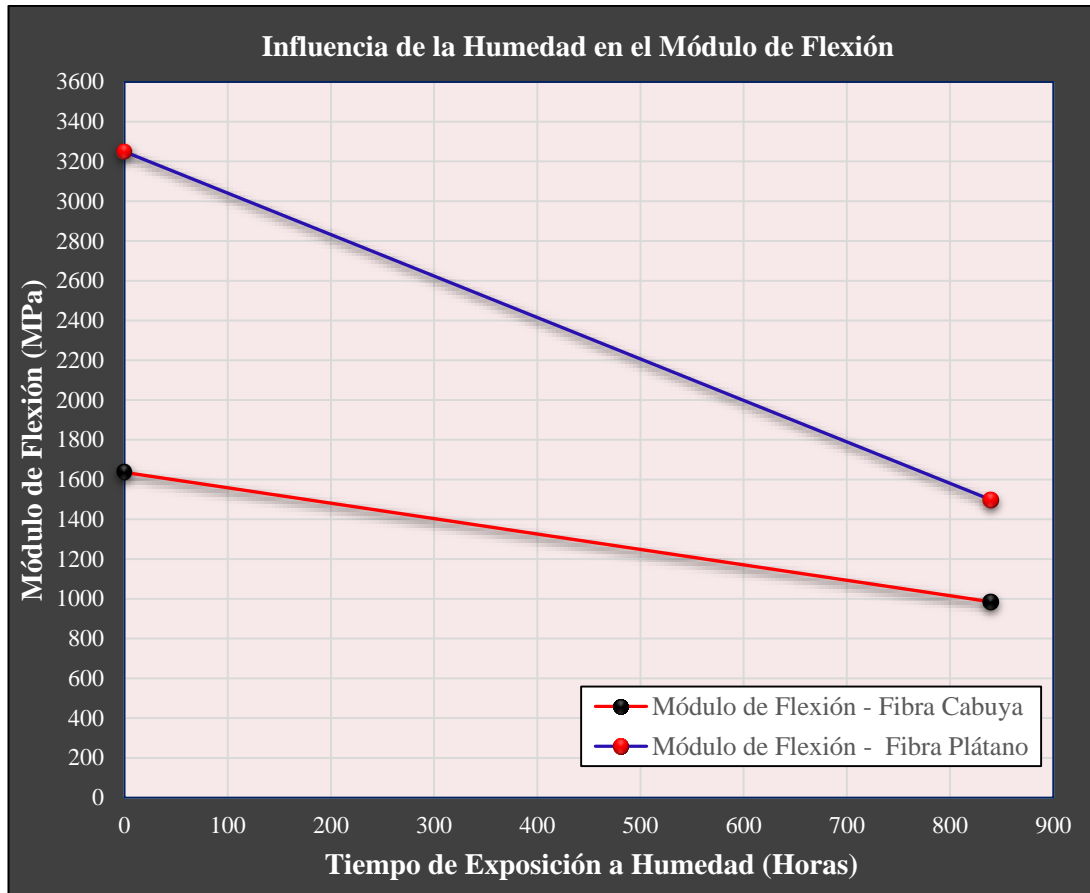


Figura 4.21. Influencia de la Humedad en el Módulo de Flexión [Autor].

La Figura 4.21, describe claramente que el composite con refuerzo de plátano tiene la bondad de ofrecer un módulo de flexión mayor al del composite con refuerzo de plátano, esto en todas las instancias.

Los trazos que se plasman en la figura también denota que existe un claro efecto negativo de la humedad en el módulo de flexión en los composites de estudio, reduciéndose el mismo de 1636.17 MPa a 984.71 MPa para el caso del composite con refuerzo de fibra de cabuya y de 3249.17 MPa a 1497.46 MPa para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano. Esta reducción se genera para un tiempo de inmersión en agua desionizada de 840 horas.

Mostrándose también en la gráfica en cuestión que, antes de la exposición a la humedad (tiempo a 0 horas) la diferencia del módulo de flexión entre los composites es mayor que después de las 840 horas de inmersión, en donde la diferencia de dicha propiedad es menor entre los mismos.

4.3.3.1 Porcentaje de pérdida de las propiedades mecánicas por los efectos del Ensayo de Humedad en los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano

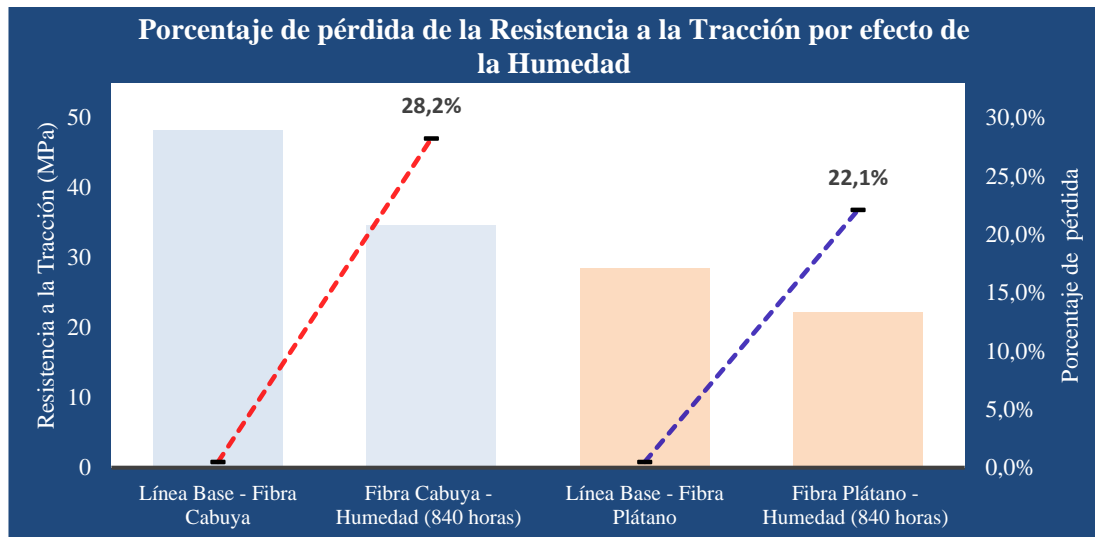


Figura 4.22. Porcentaje de pérdida de la Resistencia a la Tracción por efecto de la Humedad [Autor].

En la Figura 4.22, el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su resistencia a la tracción en 28.2%, mientras que el que utiliza fibra de plátano en un 22.1%, siendo más resistente a la humedad el de fibra de plátano en un 6.1%.

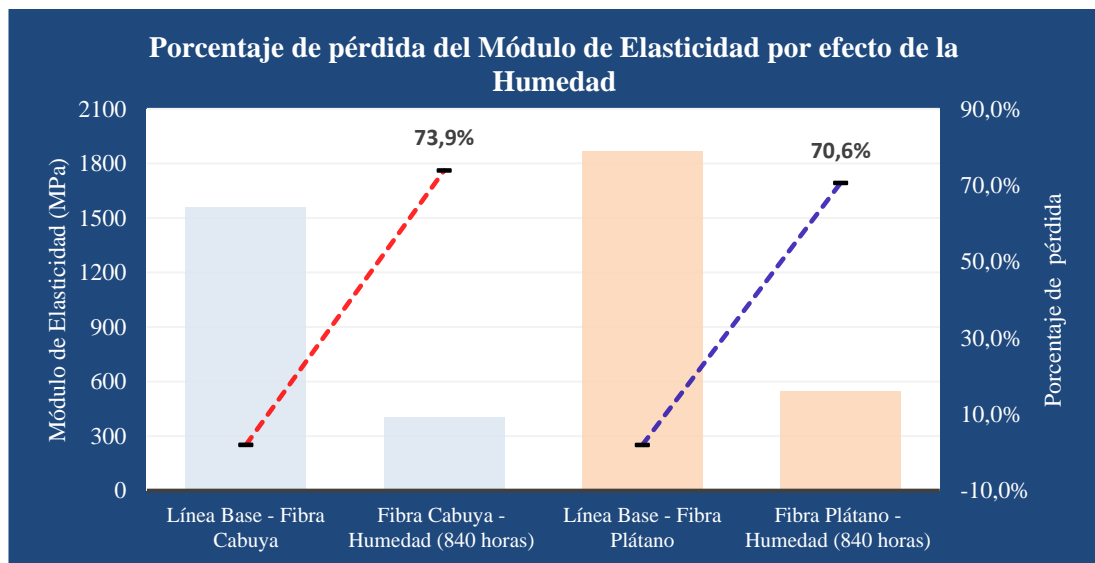


Figura 4.23. Porcentaje de pérdida de la Resistencia a la Tracción por efecto de la Humedad [Autor].

En la Figura 4.23, el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su módulo de elasticidad en 73.9%, mientras que el que utiliza fibra de plátano en un 70.6%, siendo más resistente a la humedad el de fibra de plátano en un 3.3%.

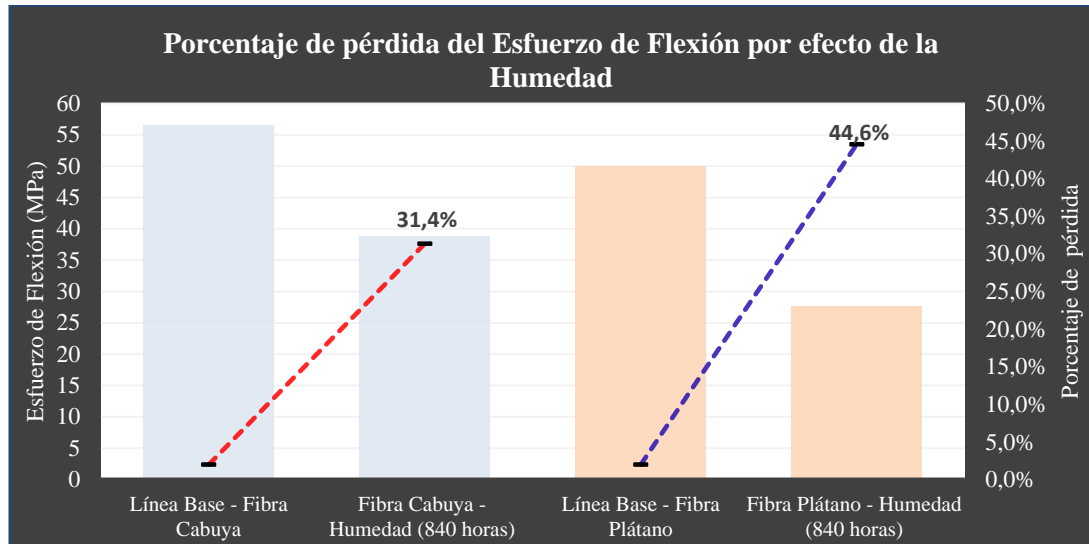


Figura 4.24. Porcentaje de pérdida de Esfuerzo de Flexión por efecto de la Humedad [Autor].

En la Figura 4.24, el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su esfuerzo de flexión en 31.4%, mientras que el que utiliza fibra de plátano en un 44.6%, siendo más resistente a la humedad el de fibra de cabuya en un 13.2%.

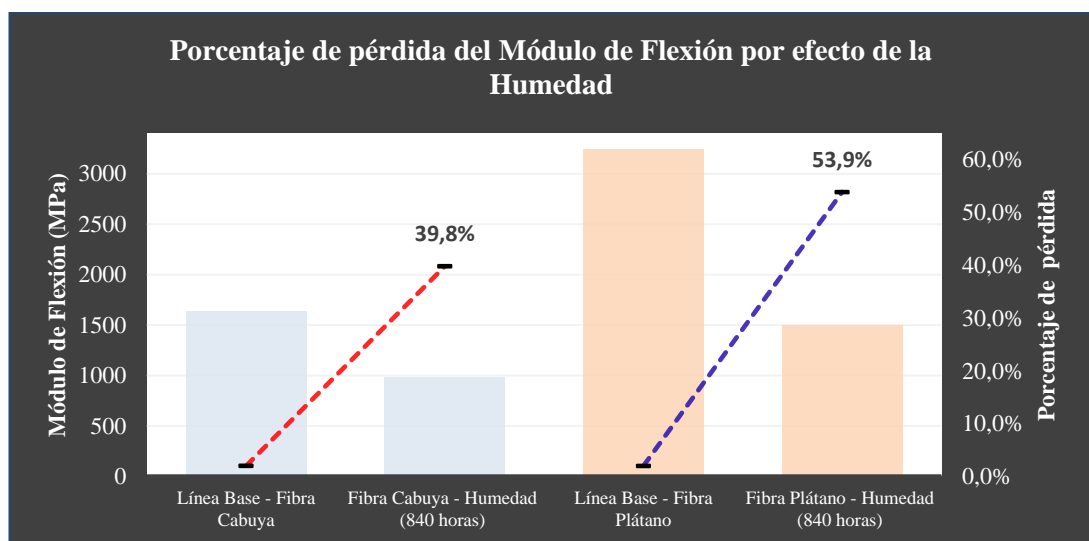


Figura 4.25. Porcentaje de pérdida del Módulo de Flexión por efecto de la Humedad [Autor].

En la Figura 4.25, el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su módulo de flexión en 39.8%, mientras que el que utiliza fibra de plátano en un 53.9%, siendo más resistente a la humedad el de fibra de cabuya en un 14.1%.

4.3.4 Efecto de las Pruebas Tecnológicas en las propiedades mecánicas de los composites de fibra de cabuya y plátano

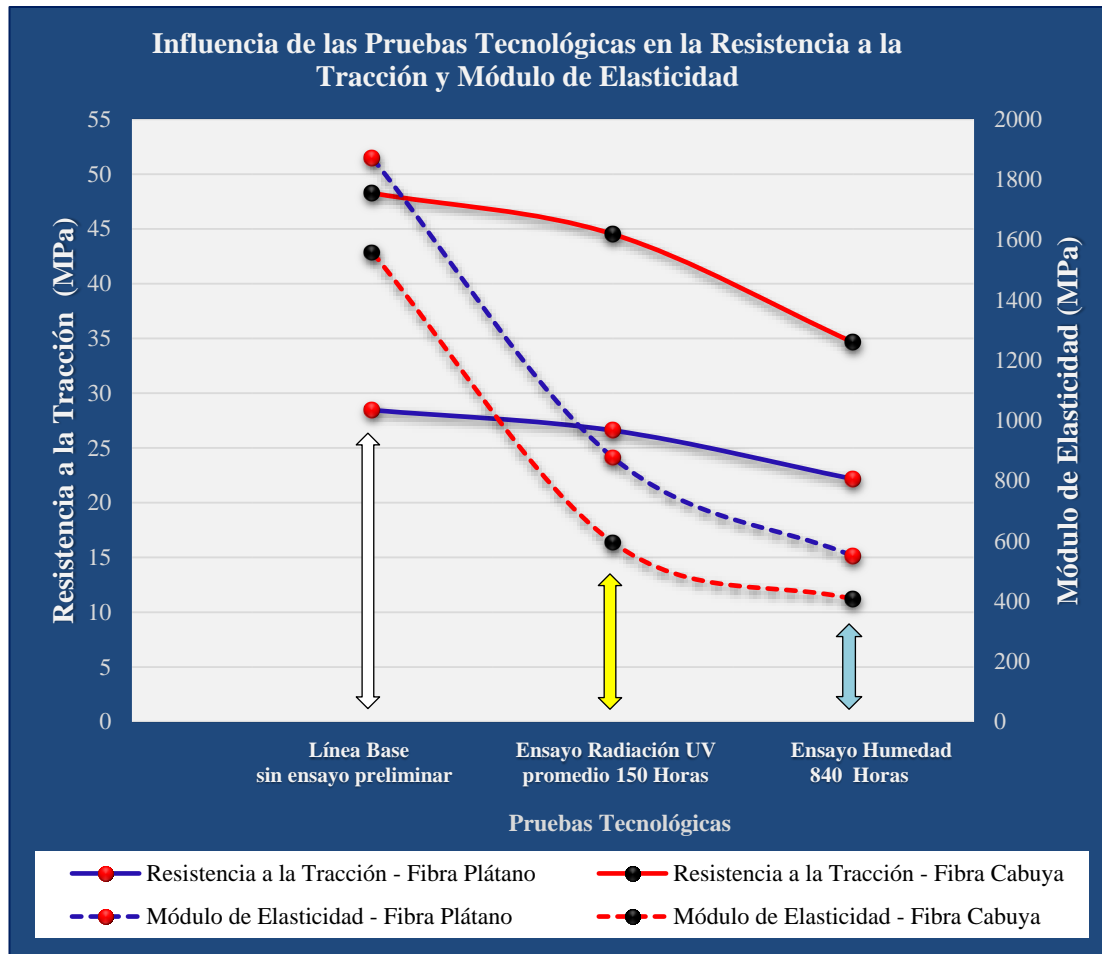


Figura 4.26. Influencia de las Pruebas Tecnológicas en la Resistencia a la Tracción y Módulo de Elasticidad [Autor].

El enfoque de la Figura 4.26, es observar como varía la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad tanto para el composite con refuerzo de fibra de cabuya como para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano, con el efecto de la aplicación de los ensayos tecnológicos de Radiación UV y Humedad. Bajo aquel contexto se puede observar que la prueba tecnológica de Radiación UV produce una menor influencia en la reducción de la resistencia a la tracción frente al efecto que ocasiona la prueba de

humedad (840 horas de inmersión). El mismo concepto de influencia de las pruebas tecnológicas se produce en lo que respecta a sus módulos de elasticidad.

Adicional en la Figura 4.26, se refleja que inicialmente (línea base sin ensayo preliminar) el composite con refuerzo de cabuya presenta una resistencia a la tracción pero un menor módulo de elasticidad, produciéndose lo contrario con el composite que emplea refuerzo de fibra de plátano. Este mismo criterio se mantiene a pesar de haber sometido a los composites a las pruebas tecnológicas de Radiación UV y Humedad.

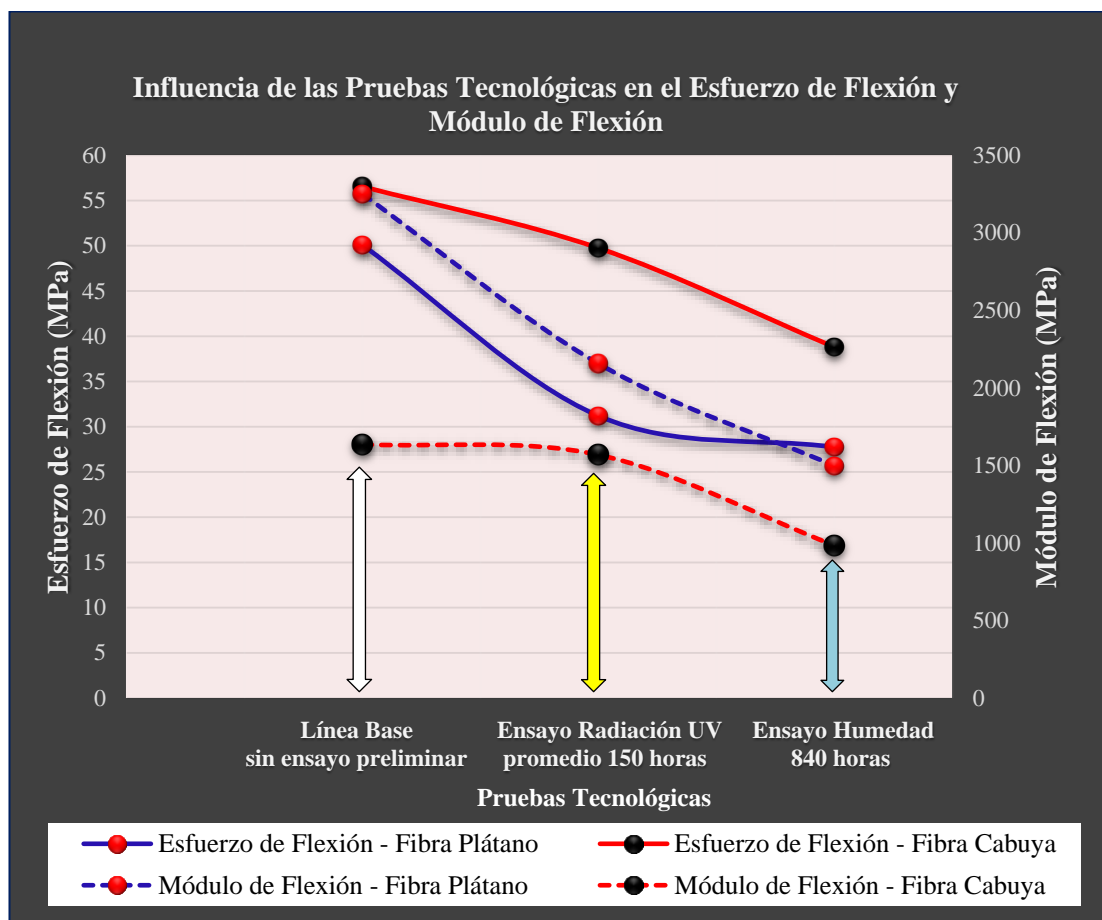


Figura 4.27. Influencia de las Pruebas Tecnológicas en el Esfuerzo de Flexión y Módulo de Flexión [Autor].

En este caso, mediante la Figura 4.27, se indica como varía el esfuerzo de flexión y el módulo de flexión tanto para el composite con refuerzo de fibra de cabuya como para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano, con el efecto de la aplicación de los ensayos tecnológicos de Radiación UV y Humedad. En ese marco se puede apreciar que la prueba tecnológica de Radiación UV produce una menor influencia en la reducción

del esfuerzo de flexión en comparación al efecto que ocasiona la prueba de humedad (840 horas de inmersión). El mismo concepto de influencia de las pruebas tecnológicas se produce en lo que respecta a sus módulos de flexión.

Adicional en la Figura 4.27, refleja que inicialmente (línea base sin ensayo preliminar) el composite con refuerzo de cabuya presenta un esfuerzo de flexión mayor pero con un menor módulo de elasticidad, produciéndose lo contrario con el composite que emplea refuerzo de fibra de plátano. Este mismo criterio se mantiene a incluso al haber sometido a los composites a las pruebas tecnológicas de Radiación UV y Humedad.

4.3.4.1 Porcentaje de pérdida de las propiedades mecánicas por influencia de las pruebas Tecnológicas en los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano

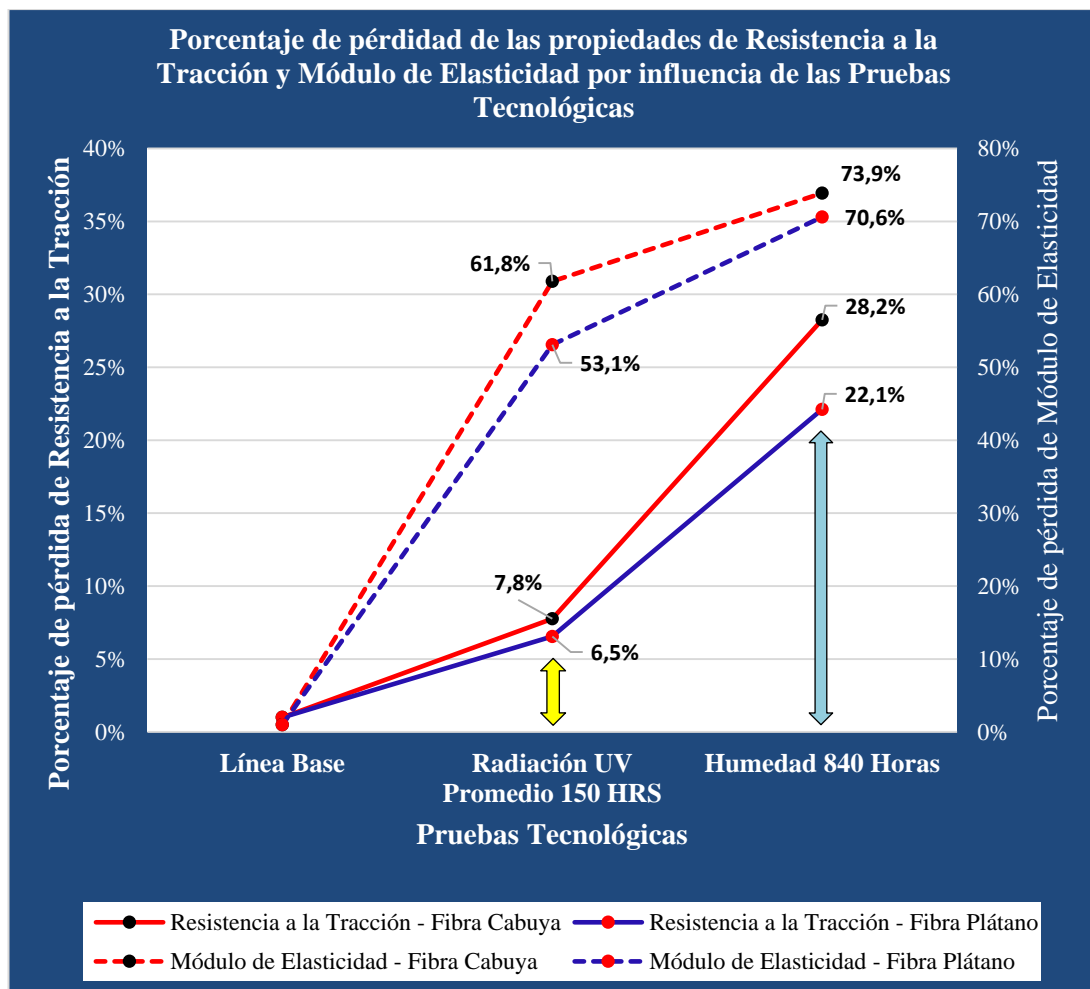


Figura 4.28. Porcentaje de pérdida de las propiedades de Resistencia a la Tracción y Módulo de Elasticidad por influencia de las Pruebas Tecnológicas [Autor].

Como primer aspecto a analizar en la Figura 4.28, es el porcentaje de pérdida de la resistencia a la tracción en los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano, influenciados por el efecto de las pruebas tecnológicas de Radiación UV y Humedad. Notablemente se puede apreciar que el porcentaje de pérdida de la propiedad en cuestión para el composite con refuerzo de fibra de cabuya es de 7.8% y de 6.5% para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano, estos porcentajes de pérdida con relación al efecto de la Radiación UV.

En lo que respecta a la prueba de Humedad esta ocasiona una reducción de la resistencia a la tracción en un 28.2% en el composite con refuerzo de fibra de cabuya y de 22.1% para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano.

Lo que implica que ante la exposición de la Radiación UV el composite con refuerzo de fibra de plátano presenta un mejor oposición a perder su resistencia a la tracción en 1.3% respecto al composite con refuerzo de fibra de cabuya. En tanto que a la Humedad en un 6.1% en el mismo contexto.

Ahora otro punto de análisis en la Figura 4.28, es el porcentaje de pérdida del módulo de elasticidad en los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano, influenciados por el efecto de las pruebas tecnológicas de Radiación UV y Humedad. Donde se evidencia que el porcentaje de pérdida del módulo de elasticidad para el composite con refuerzo de fibra de cabuya es de 61.8% y de 53.1% para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano, estos porcentajes de pérdida con relación al efecto de la Radiación UV.

En relación al efecto que produce la prueba de Humedad, ésta ocasiona una reducción del módulo de elasticidad en un 73.9% en el composite con refuerzo de fibra de cabuya y de 70.6% para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano.

Lo que conlleva a indicar que ante la exposición de la Radiación UV el composite con refuerzo de fibra de plátano presenta un mejor oposición a perder su módulo de elasticidad en 8.7% respecto al composite con refuerzo de fibra de cabuya. En tanto que a la Humedad en un 3.3% en el mismo contexto.

Cabe destacar que el efecto de pérdida del módulo de elasticidad que produce la prueba tecnológica de Humedad en promedio es de un 14.8% superior al que causa la Radiación UV.

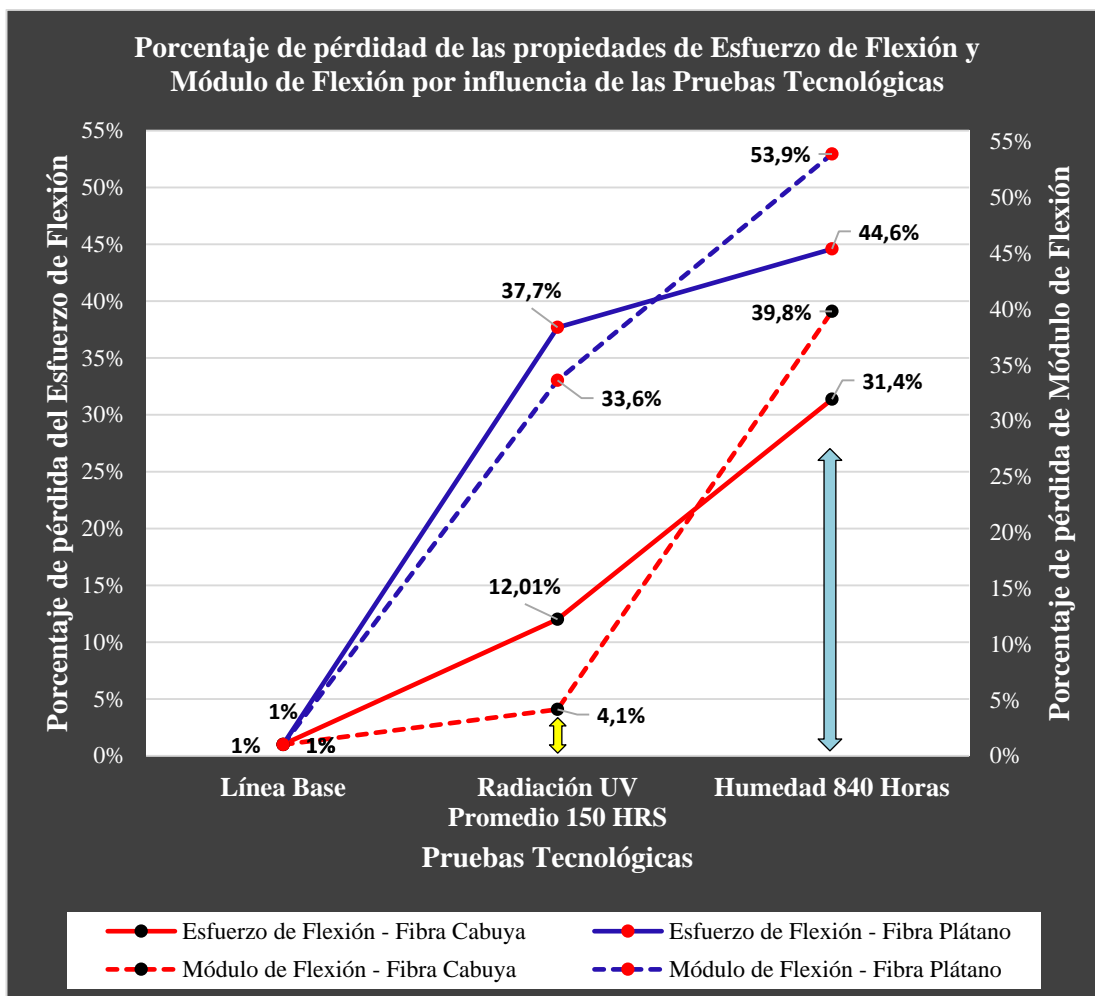


Figura 4.29. Porcentaje de pérdida de las propiedades de Esfuerzo de Flexión y Módulo de Flexión por influencia de las Pruebas Tecnológicas [Autor].

En la Figura 4.29, en primera instancia se pretende analizar el porcentaje de pérdida del esfuerzo de flexión en los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano, influenciados por el efecto de las pruebas tecnológicas de Radiación UV y Humedad. Notablemente se puede apreciar que el porcentaje de pérdida del esfuerzo de flexión para el composite con refuerzo de fibra de cabuya es de 12.01% y de 37.7% para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano, estos porcentajes de pérdida con relación al efecto de la Radiación UV. En lo que respecta a la prueba de Humedad esta ocasiona una reducción de la propiedad en cuestión en un 31.4% en el composite con refuerzo de fibra de cabuya y de 44.6% para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano. Esto implica que ante la exposición de la Radiación UV el composite con refuerzo de fibra de cabuya presenta un mejor oposición a perder su esfuerzo de flexión en un 25.69%

respecto al composite con refuerzo de fibra de cabuya. En tanto que a la Humedad en un 13.2% en el mismo contexto.

Ahora si nos centramos en otro punto de análisis en la Figura. 4.29, en lo concerniente al porcentaje de pérdida del módulo de flexión en los composites con refuerzo de fibra de cabuya y plátano, influenciados por el efecto de las pruebas tecnológicas de Radiación UV y Humedad. Se evidencia que el porcentaje de pérdida del módulo de flexión para el composite con refuerzo de fibra de cabuya es de 4.1% y de 33.6% para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano, estos porcentajes de pérdida con relación al efecto de la Radiación UV. En relación al efecto que produce la prueba de Humedad, ésta ocasiona una reducción del módulo de flexión en un 39.8% en el composite con refuerzo de fibra de cabuya y de 53.9% para el que utiliza refuerzo de fibra de plátano.

Lo que conlleva a indicar que ante la exposición de la Radiación UV el composite con refuerzo de fibra de cabuya presenta una mejor oposición a perder su módulo de flexión en 29.5% respecto al composite con refuerzo de fibra de cabuya. En tanto que a la Humedad en un 14.1% en el mismo contexto. Cabe destacar que el efecto de pérdida del módulo de flexión que produce la prueba tecnológica de Humedad en termino promedio es de un 28% superior al que causa la Radiación UV.

4.3.5 Desarrollo del diseño experimental planteado (DOE)

A continuación se desarrolla los diseños experimentales planteados en el numeral 4.1.3, con las respectivas mediciones obtenidas de los respectivos ensayos.

Tabla 4.16. Diseño factorial – Mediciones de Resistencia a Tracción - UV [Autor].

| | | Factor B: Tiempo de exposición a UV | | |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | | 0 Horas | 100 Horas | 200 Horas |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 47,77 | 44,97 | 38,33 |
| | | 46,29 | 47,92 | 47,92 |
| | | 46,52 | 49,41 | 41,4 |
| | | 48,52 | 43,91 | 41,56 |
| | 52,22 | 44,13 | 45,65 | |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 25,65 | 31,15 | 28,00 |
| | | 29,38 | 27,71 | 26,23 |
| | | 32,32 | 24,13 | 26,25 |
| 25,47 | | 23,61 | 27,01 | |
| 29,46 | 24,45 | 27,36 | | |

Del desarrollo del experimento mostrado en Tabla 4.16. se tiene los siguientes resultados:

Tabla 4.17. Análisis de varianza de resistencia a la tracción por efecto UV [Autor].

| Fuente | GL | SC | MC | Valor F | Valor p |
|---|----|---------|---------|---------|---------|
| Tipo de composite | 1 | 2582,44 | 2582,44 | 341,51 | 1,1e-15 |
| Tiempo de exposición a UV | 2 | 59,27 | 29,64 | 3,92 | 0,034 |
| Interacción - Tipo de composite*Tiempo de exposición a UV | 2 | 24,46 | 12,23 | 1,62 | 0,219 |
| Error | 24 | 181,48 | 7,56 | | |
| Total | 29 | 2847,66 | | | |

Trabajando con un nivel de significación típico de 0.05, permite indicar en función de los datos mostrados en la Tabla 4.17, que el valor de p es menor al nivel de significación para el caso del tipo de composite y el tiempo de exposición a UV, por tanto los mismos tienen influencia significativa en la resistencia a la tracción. Sin embargo el efecto interacción entre ambas variables tiene asociado un nivel crítico de $0,219 > 0,05$ lo que indica que el efecto de la interacción no es significativo.

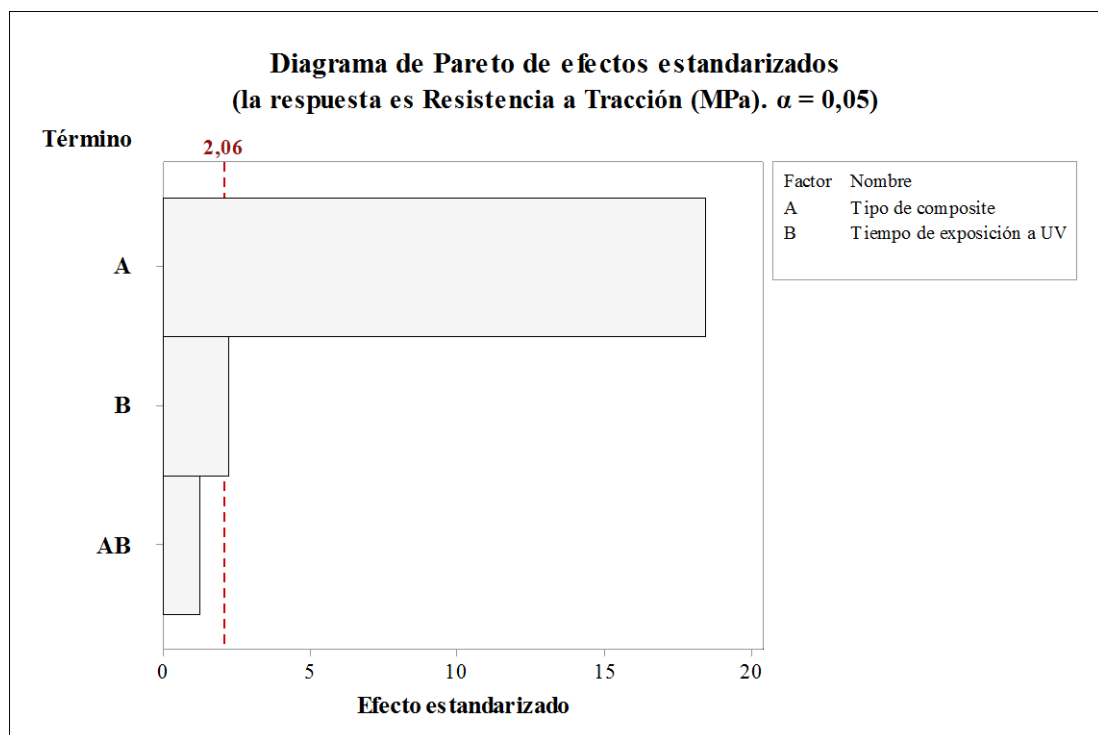


Figura 4.30. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Resistencia a la Tracción por efectos UV [Autor].

En la Figura 4.30, muestra que el efecto A (tipo de composite) es mayor al efecto B (tiempo de exposición a UV). El diagrama también muestra una línea de referencia para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos con un nivel de confianza de 95%. Acorde a ello el efecto AB de interacción no es estadísticamente significativo.

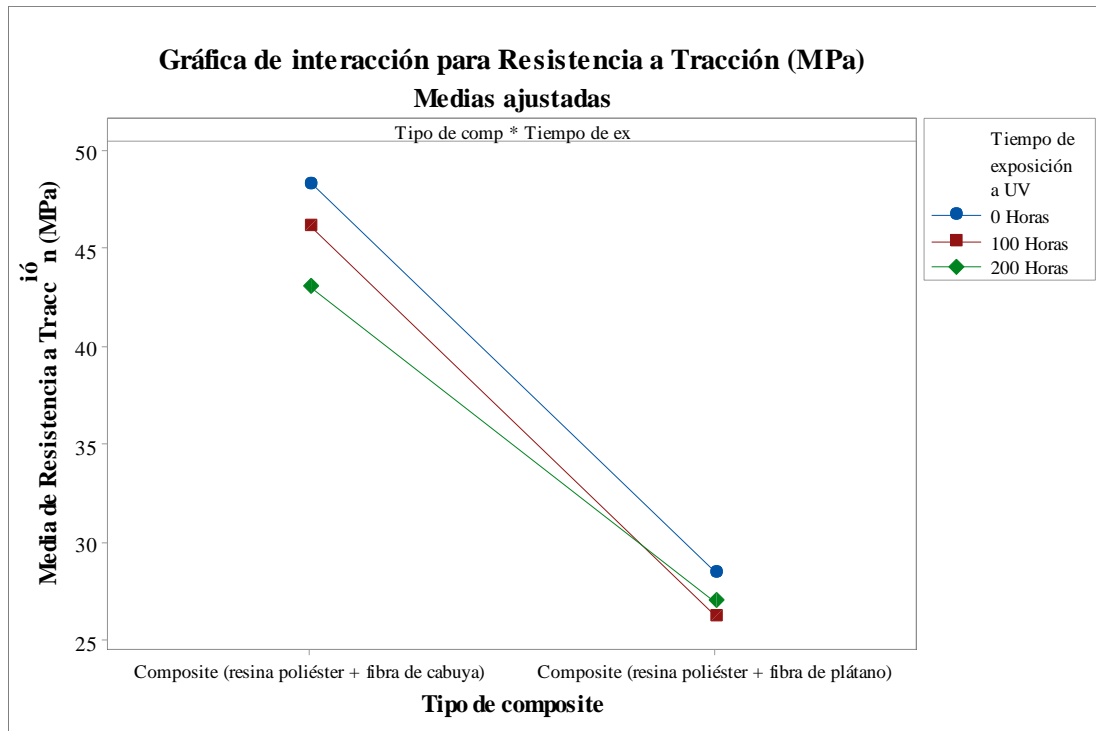


Figura 4.31. Interacción para Resistencia a la Tracción por efecto UV [Autor].

Esta figura indica una interacción entre el tipo de composite y el tiempo de exposición a Radiación UV. El composite tiene una resistencia a la tracción más alta cuando utiliza refuerzo de fibra cabuya y mas bajo cuando utiliza refuerzo de fibra de plátano. Para el caso del composite con refuerzo de cabuya su pérdida a la resistencia a la tracción se da a medida que el tiempo de exposición a la Radiación UV se incrementa de 0 a 100 y 200 horas. Sin embargo, para el caso del del composite con refuerzo de fibra de plátano se observa que su resistencia a la tracción es menor a las 100 horas de exposición a UV que a las 200 horas de exposición, claro que a este tiempo su resistencia a la tracción es inferior al adquirido en cero horas de exposición.

Tabla 4.18. Diseño factorial – Mediciones de Esfuerzo de Flexión (UV) [Autor].

| | | Factor B: Tiempo de exposición a UV | | |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | | 0 Horas | 100 Horas | 200 Horas |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 70,34 | 50,23 | 57,75 |
| | | 60,48 | 46,89 | 58,38 |
| | | 50,61 | 42,28 | 43,84 |
| | | 49,50 | 45,47 | 59,29 |
| | 51,75 | 46,35 | 47,00 | |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 44,23 | 37,28 | 33,36 |
| | | 44,61 | 40,55 | 32,62 |
| | | 58,33 | 27,05 | 34,89 |
| 43,12 | | 41,13 | 43,61 | |
| 60,04 | 38,74 | 36,42 | | |

Del desarrollo del experimento mostrado en Tabla 4.18. se tiene los siguientes resultados:

Tabla 4.19. Análisis de varianza de esfuerzo de flexión por efectos UV [Autor].

| Fuente | GL | SC | MC | Valor F | Valor p |
|---|----|--------|--------|---------|---------|
| Tipo de composite | 1 | 898,5 | 898,50 | 20,61 | 0,0001 |
| Tiempo de exposición a UV | 2 | 734,7 | 367,36 | 8,43 | 0,0017 |
| Interacciones - Tipo de composite*Tiempo de exposición a UV | 2 | 150,7 | 75,36 | 1,73 | 0,1988 |
| Error | 24 | 1046,1 | 43,59 | | |
| Total | 29 | 2830,0 | | | |

En función de los resultados mostrados en la Tabla 4.19, y trabajando con un nivel de significación típico de 0.05, permite indicar que, el valor que alcanza p es menor al nivel de significación para el caso del tipo de composite ($0.0001 < 0.05$) fundamentando de esta forma que este factor tiene un nivel significativo de influencia en el esfuerzo de flexión. En lo que corresponde al factor tiempo de exposición a UV, éste de igual forma presenta un valor de p inferial al nivel de significación ($0.0017 < 0.05$) por tanto el mismo tiene también una influencia significativa en el esfuerzo de flexión. Indicando además que el efecto de interacción entre ambas variables en cuestión que está asociado un nivel crítico de p en $0,1988 > 0,05$, lo que implica que el efecto de la interacción estadísticamente no es significativo en el esfuerzo de flexión.

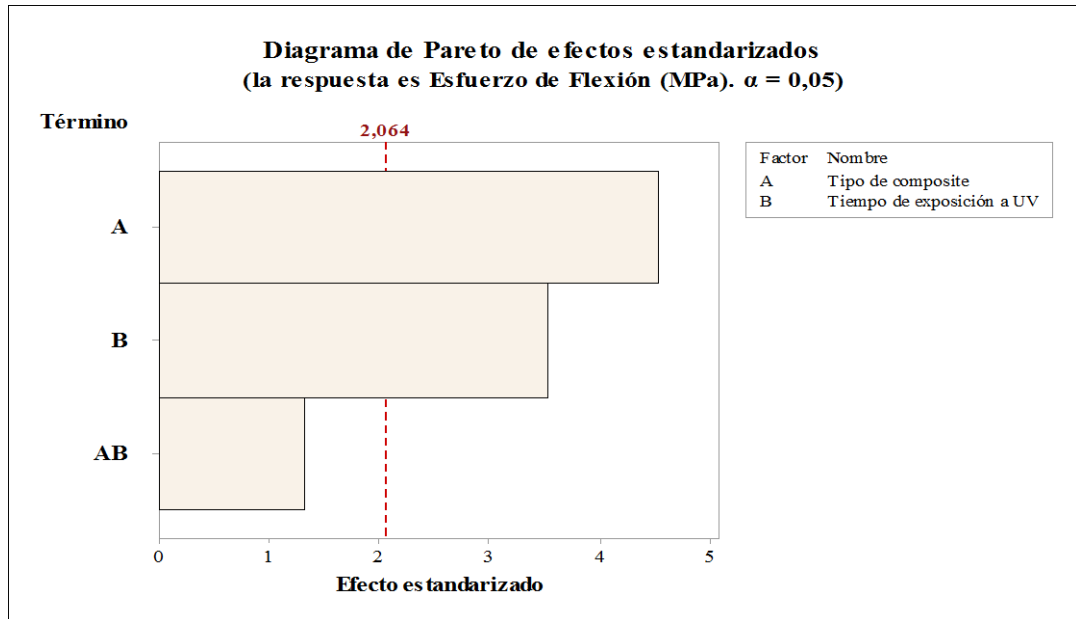


Figura 4.32. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Esfuerzo de Flexión por efectos UV [Autor].

En la Figura 4.32, muestra que el efecto A (tipo de composite) es mayor al efecto B (tiempo de exposición a UV). Los cuales son estadísticamente significativos con un nivel de confianza de 95%. No así el efecto AB de interacción.

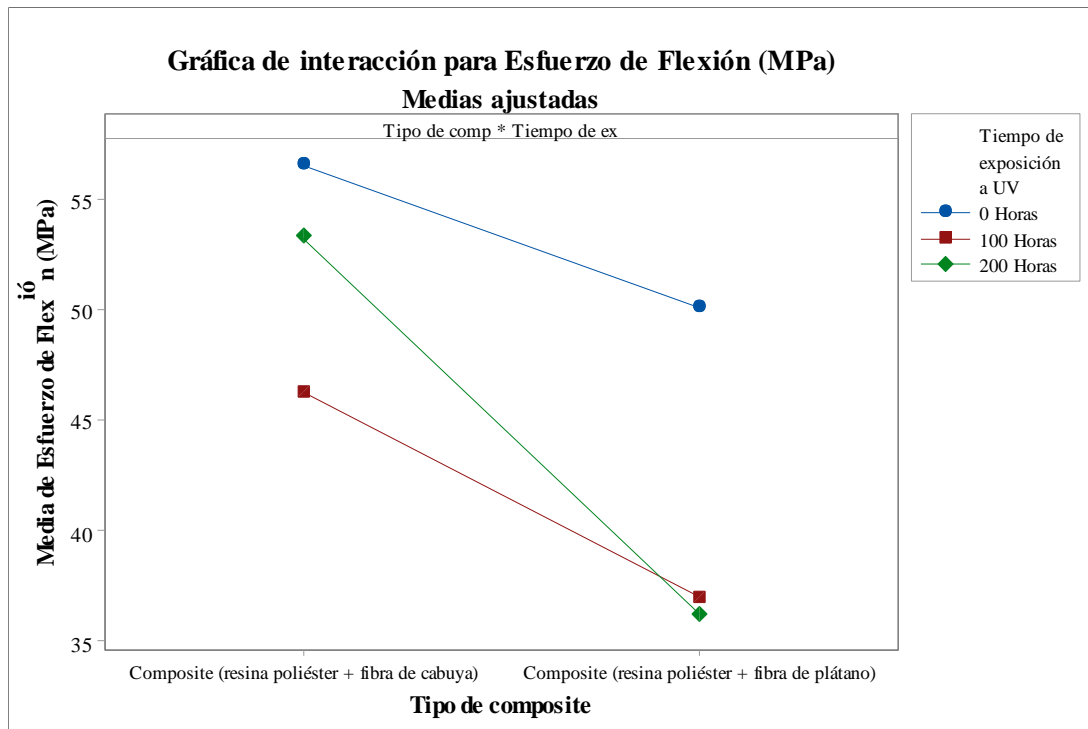


Figura 4.33. Interacción para Esfuerzo de Flexión por efecto UV [Autor].

En la Figura 4.33, indica una interacción entre el tipo de composite y el tiempo de exposición a Radiación UV. El composite tiene un esfuerzo de flexión más alto cuando utiliza refuerzo de fibra cabuya y mas bajo cuando utiliza refuerzo de fibra de plátano. Para el caso del composite con refuerzo de fibra de plátano su pérdida del esfuerzo de flexión se da a medida que el tiempo de exposición a la Radiación UV se incrementa de 0 a 100 y 200 horas. Sin embargo, para el caso del del composite con refuerzo de fibra de cabuya, se observa que su esfuerzo de flexión alcanza su menor valor a las 100 horas de exposición a UV que a las 200 horas de exposición, claro que a este tiempo su resistencia a la tracción es inferior al adquirido en cero horas de exposición.

Tabla 4.20. Diseño factorial – Mediciones del % de Humedad de absorción [Autor].

| | | Factor B: Tiempo de exposición a Humedad | | | | | |
|--------------------------------|---|--|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0 Horas | 2 Horas | 24 Horas | 168 Horas | 504 Horas | 840 Horas |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | 0,00% | 2,71% | 6,75% | 9,72% | 12,13% | 9,82% |
| | | 0,00% | 2,73% | 7,24% | 11,30% | 14,26% | 12,76% |
| | | 0,00% | 3,51% | 8,16% | 10,42% | 12,01% | 9,09% |
| | | 0,00% | 2,45% | 7,52% | 10,73% | 11,81% | 9,81% |
| | | 0,00% | 2,54% | 7,54% | 10,46% | 11,60% | 9,89% |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | 0,00% | 3,30% | 3,80% | 6,72% | 8,78% | 7,18% |
| | | 0,00% | 2,77% | 4,78% | 9,28% | 10,91% | 9,08% |
| | | 0,00% | 3,43% | 5,22% | 9,18% | 11,91% | 9,27% |
| | | 0,00% | 4,06% | 5,71% | 10,22% | 11,76% | 10,77% |
| | | 0,00% | 3,74% | 4,92% | 10,04% | 10,72% | 9,05% |

Del desarrollo del experimento mostrado en Tabla 4.20, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 4.21. Análisis de varianza del % de humedad de absorción [Autor].

| Fuente | GL | SC | MC | Valor F | Valor p |
|--|----|---------|---------|---------|---------|
| Tipo de composite | 1 | 15,41 | 15,407 | 18,78 | 7,47e-5 |
| Tiempo de exposición a Humedad | 5 | 1003,51 | 200,702 | 244,57 | 0,000 |
| Interacciones - Tipo de composite*Tiempo de exposición a Humedad | 5 | 16,88 | 3,375 | 4,11 | 0,003 |
| Error | 48 | 39,39 | 0,821 | | |
| Total | 59 | 1075,18 | | | |

Trabajando con un nivel de significación típico de 0.05, permite indicar en función de los datos mostrados en la Tabla 4.21, que el valor de p es menor al nivel de significación para el caso del tipo de composite y el tiempo de exposición a Humedad, por tanto los mismos tienen influencia significativa en el porcentaje de absorción. Para este caso, el efecto de interacción entre ambas variables al tener asociado un nivel crítico de $0,003 < 0,05$, indica que el efecto de la interacción también es estadísticamente significativo en el porcentaje de absorción de humedad.

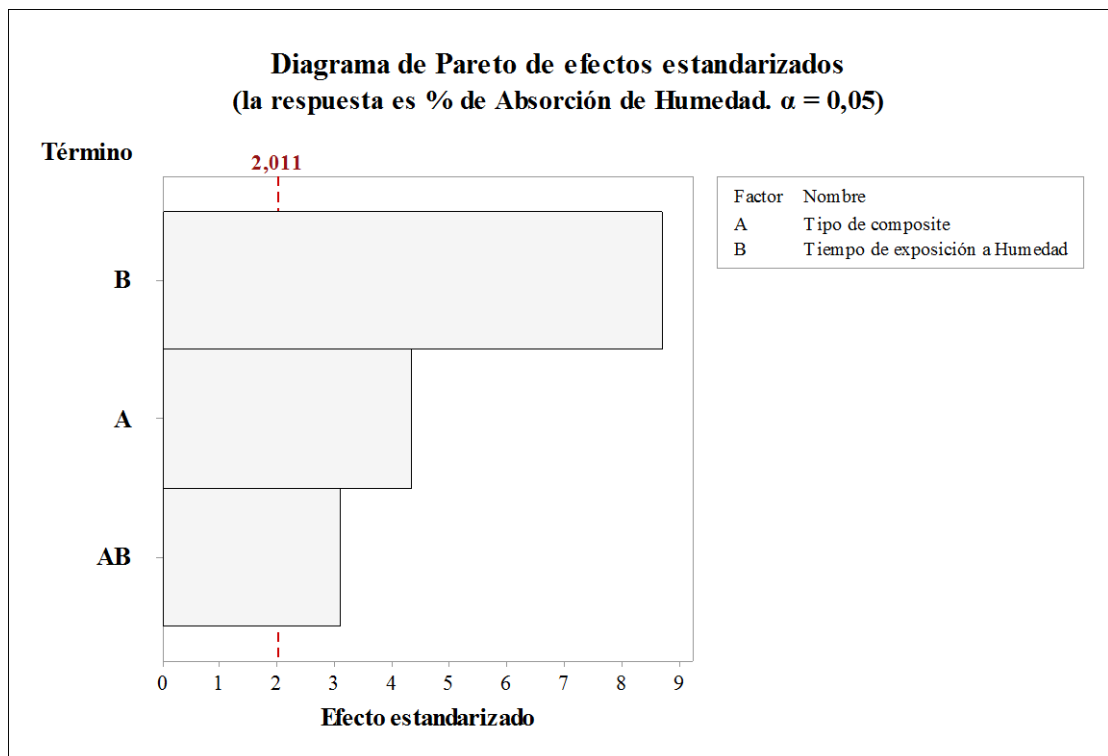


Figura 4.34. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – % de Absorción de Humedad [Autor].

En la Figura 4.34, nos permite identificar los efectos en orden de importancia. En ese marco, el efecto A (tipo de composite) es menor al efecto B (tiempo de exposición a Humedad), cuyo factor es el más importante a la hora de evaluar el porcentaje de absorción de humedad. En la figura también por medio de una línea de referencia permite diferenciar e indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos con un nivel de confianza de 95%. Es importante rescatar que el efecto AB de interacción también es estadísticamente significativo en el porcentaje de absorción de humedad.

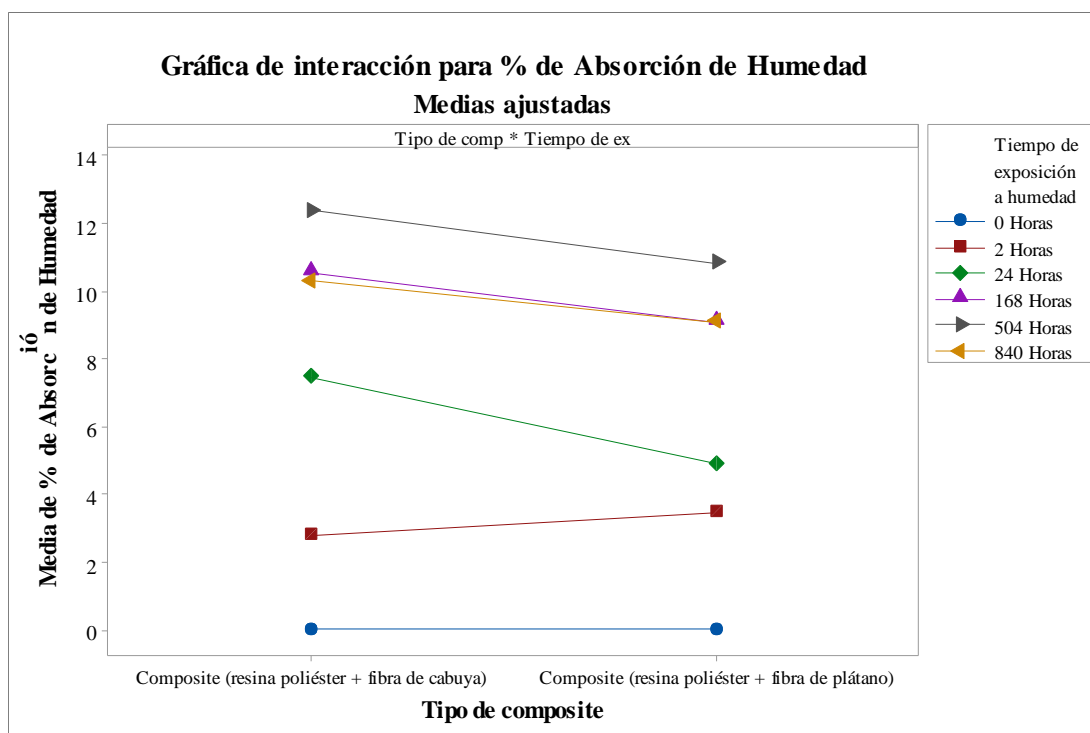


Figura 4.35. Interacción para el % de Absorción de Humedad [Autor].

En la Figura 4.35, se observa que para el tiempo de exposición a humedad de 2 horas, el composite con refuerzo de fibra de cabuya presenta un porcentaje de absorción de humedad menor que el que utiliza como refuerzo fibra de plátano, sin embargo ya para las primeras 24 horas de exposición, el material con refuerzo de fibra de cabuya supera en el porcentaje de absorción de humedad que la que presenta el composite con refuerzo de fibra de plátano.

Para el tiempo de exposición a humedad de 168 horas, se aprecia que vuelve a absorber más humedad el composite con el refuerzo de fibra de plátano con respecto al obtenido para el tiempo de 24 horas. Pese a este particular el otro composite presenta al mismo nivel de tiempo de exposición, un porcentaje de absorción mayor. Para el tiempo de 504 horas en los dos tipos de composites se presenta un porcentaje similar de incremento en la absorción de humedad. Al incrementar el tiempo de exposición a humedad a 840 horas se produce el efecto inverso a lo anterior, es decir los dos composites, tienen el comportamiento de reducir su porcentaje de absorción de humedad.

Cabe denotar que de acuerdo a la Figura 4.35, el composite que ofrece un menor porcentaje de absorción de humedad es aquel que utiliza refuerzo de fibra de plátano.

Tabla 4.22. Diseño factorial – Mediciones de Resistencia a la Tracción por efectos del ensayo de Humedad [Autor].

| | | Factor B: Tiempo de exposición a Humedad | |
|--------------------------------|---|--|-------------------|
| | | 0 Horas | 840 Horas |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 47,77 | 35,31 |
| | | 46,29 | 36,19 |
| | | 46,52 | 29,08 |
| | | 48,52 | 31,68 |
| | 52,22 | 40,89 | |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 25,65 | 18,71 |
| | | 29,38 | 26,01 |
| | | 32,32 | 23,1 |
| 25,47 | | 17,73 | |
| 29,46 | 25,25 | | |

Del desarrollo del experimento mostrado en Tabla 4.22, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 4.23. Análisis de varianza de la resistencia a la tracción por efectos del ensayo de Humedad [Autor].

| Fuente | GL | SC | MC | Valor F | Valor p |
|--|----|---------|---------|---------|---------|
| Tipo de composite | 1 | 1302,34 | 1302,34 | 106,94 | 1.71e-8 |
| Tiempo de exposición a Humedad | 1 | 496,51 | 496,51 | 40,77 | 9,03e-6 |
| Interacciones - Tipo de composite*Tiempo de exposición a Humedad | 1 | 67,31 | 67,31 | 5,53 | 0,032 |
| Error | 16 | 194,85 | 12,18 | | |
| Total | 19 | 2061,00 | | | |

Al trabajando con un nivel de significación típico de 0.05, permite indicar en función de los datos mostrados en la Tabla 4.23, que el valor de p es menor al nivel de significación para el caso del tipo de composite y el tiempo de exposición a humedad, por tanto los mismos tienen influencia significativa en la resistencia a la tracción. Igual

a ello se produce el efecto interacción entre ambas variables, que tiene asociado un nivel crítico de $0,032 < 0,05$ lo que indica que el efecto de la interacción estadísticamente es significativo.

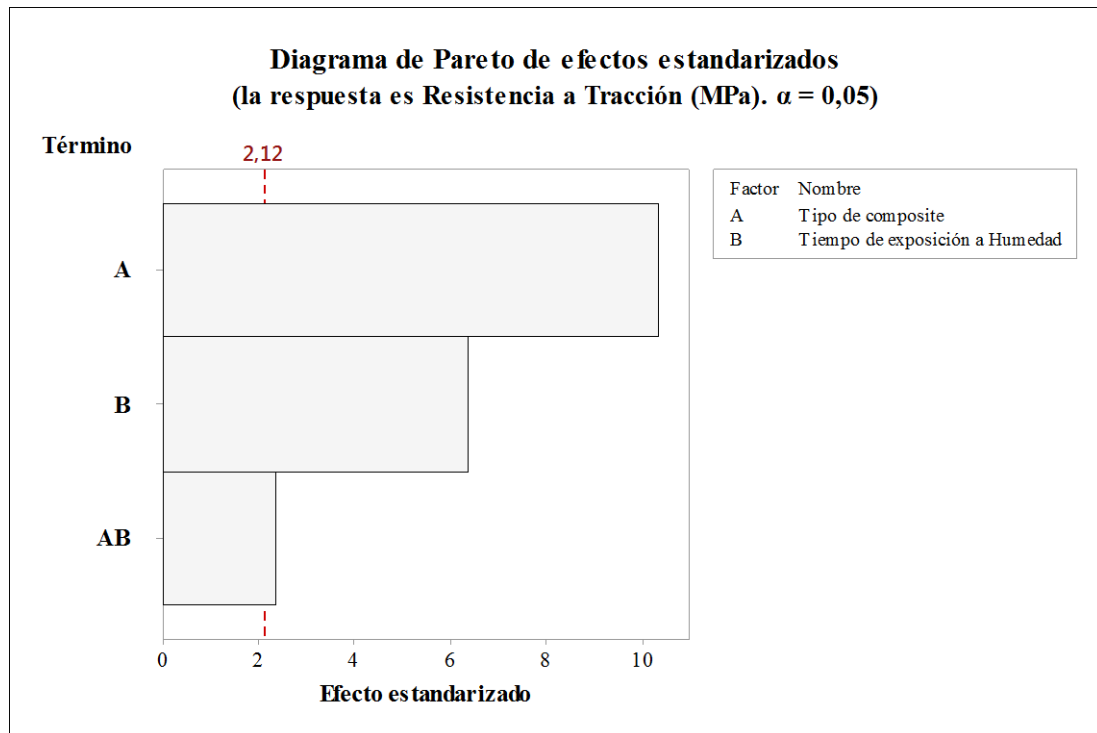


Figura 4.36. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Resistencia a la Tracción por efectos de Humedad [Autor].

En la Figura 4.36, muestra que el efecto A (tipo de composite) es mayor al efecto B (tiempo de exposición a Humedad). El diagrama también muestra una línea de referencia para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos con un nivel de confianza de 95%. Acorde a ello el efecto AB de interacción también es estadísticamente significativo.

En la siguiente Figura 4.37, indica una interacción entre el tipo de composite y el tiempo de exposición a Humedad. El composite tiene una resistencia a la tracción más alto cuando utiliza refuerzo de fibra cabuya y mas bajo cuando utiliza refuerzo de fibra de plátano. Para el caso de los dos composite con refuerzo de fibra de cabuya el uno y el otro con refuerzo de fibra de plátano, su pérdida de la resistencia a la tracción se da a medida que el tiempo de exposición a la Humedad se incrementa de 0 a 840 horas. Sin embargo, para el caso del composite con refuerzo de fibra de cabuya, se observa

que su resistencia a la tracción se reduce en mayor escala que en la que se efectúa con el de refuerzo de fibra de plátano.

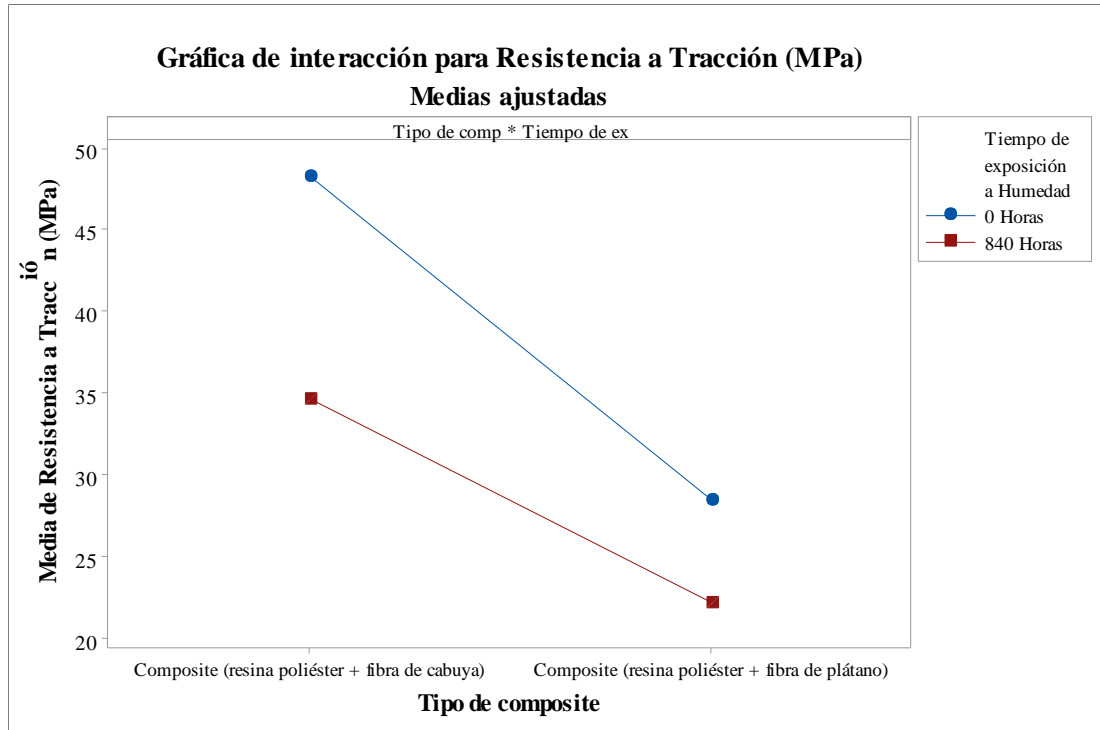


Figura 4.37. Interacción para Resistencia a la Tracción por efectos de Humedad [Autor].

Tabla 4.24. Diseño factorial – Mediciones de Esfuerzo de Flexión por efectos del ensayo de Humedad [Autor].

| | | Factor B: Tiempo de exposición a Humedad | |
|--------------------------------|---|--|-------------------|
| | | 0 Horas | 840 Horas |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 70,34 | 37,52 |
| | | 60,48 | 28,05 |
| | | 50,61 | 43,91 |
| | | 49,5 | 46,11 |
| | 51,75 | 38,39 | |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 44,23 | 36,47 |
| | | 44,61 | 25,15 |
| | | 58,33 | 29,59 |
| 43,12 | | 23,38 | |
| 60,04 | 24,09 | | |

Del desarrollo del experimento mostrado en Tabla 4.24, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 4.25. Análisis de varianza de esfuerzo de flexión por efectos del ensayo de Humedad [Autor].

| Fuente | GL | SC | MC | Valor F | Valor p |
|--|----|---------|---------|---------|---------|
| Tipo de composite | 1 | 384,13 | 384,13 | 6,76 | 0,01934 |
| Tiempo de exposición a Humedad | 1 | 2007,01 | 2007,01 | 35,32 | 0,00002 |
| Interacción - Tipo de composite*Tiempo de exposición a Humedad | 1 | 26,34 | 26,34 | 0,46 | 0,50572 |
| Error | 16 | 909,07 | 56,82 | | |
| Total | 19 | 3326,54 | | | |

Con un nivel de significación de 0.05, y en función de los datos mostrados en la Tabla 4.25, permite indicar que el valor de p es menor al nivel de significación para el caso del tipo de composite y el tiempo de exposición a Humedad, por ello tienen influencia significativa en el esfuerzo de flexión. Así mismo el efecto interacción entre ambas variables estadísticamente no es significativo al ser $0.505 > 0.05$.

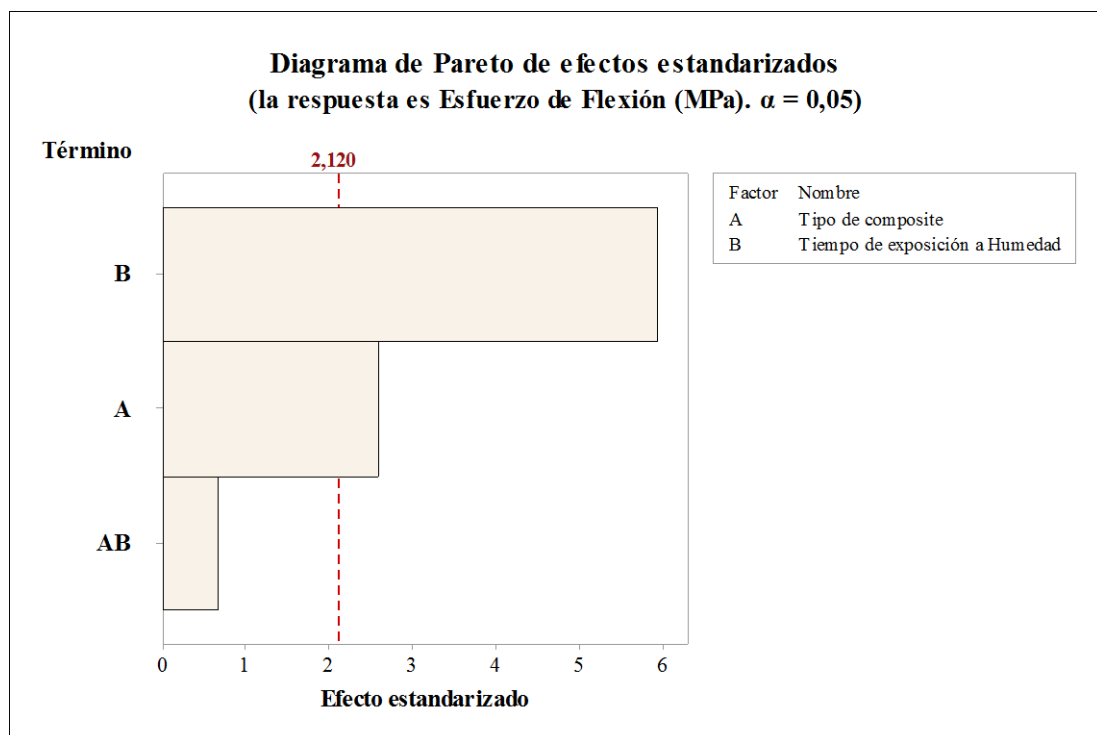


Figura 4.38. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Esfuerzo de Flexión por efectos de Humedad [Autor].

En la Figura 4.38, muestra que el efecto A (tipo de composite) es menor al efecto B (tiempo de exposición a Humedad). El diagrama también muestra una línea de referencia para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos con un nivel de confianza de 95%. Acorde a ello el efecto AB de interacción no es estadísticamente significativo.

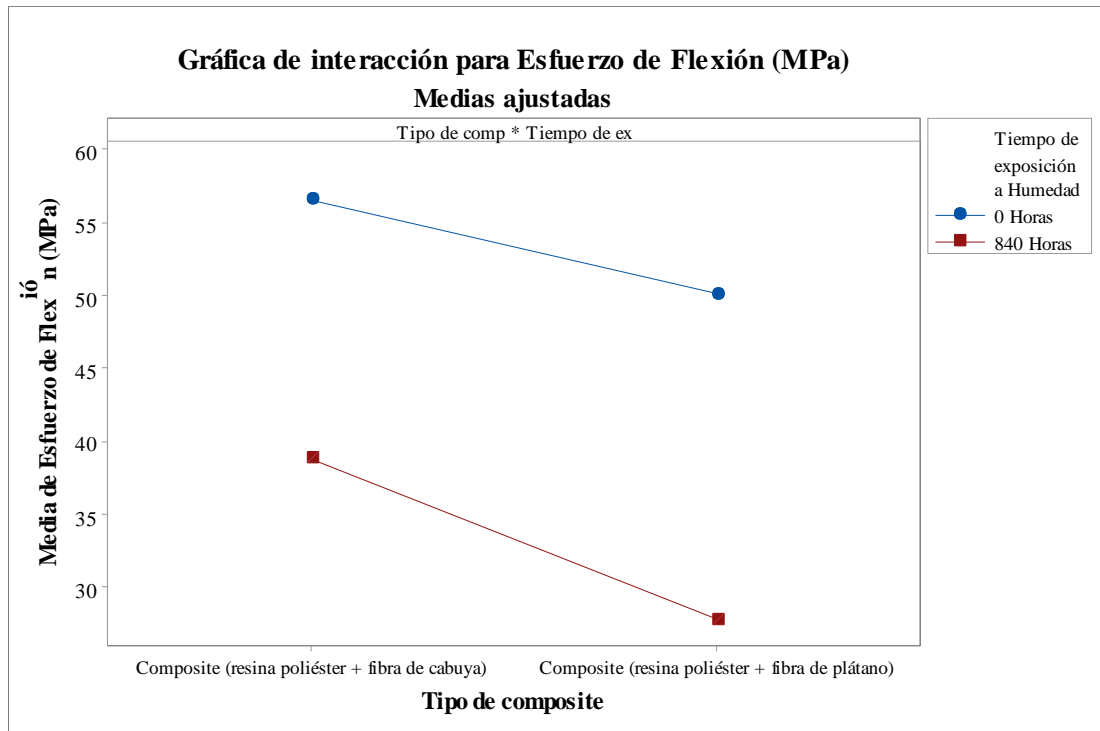


Figura 4.39. Interacción para Esfuerzo de Flexión por efectos de Humedad [Autor].

En la siguiente Figura 4.39, indica una interacción entre el tipo de composite y el tiempo de exposición a Humedad. El composite tiene un esfuerzo de flexión más alto cuando utiliza refuerzo de fibra cabuya y mas bajo cuando utiliza refuerzo de fibra de plátano. Para el caso de los dos composite con refuerzo de fibra de cabuya el uno y el otro con refuerzo de fibra de plátano, su decremento en el esfuerzo de flexión se da a medida que el tiempo de exposición a la Humedad se incrementa de 0 a 840 horas. Sin embargo, para el caso del composite con refuerzo de fibra de cabuya, se observa que su esfuerzo de flexión se reduce en menor escala, que en la que se produce con el de refuerzo de fibra de plátano.

Tabla 4.26. Diseño factorial – Mediciones de Resistencia a Tracción por efectos de las Pruebas Tecnológicas [Autor].

| | | Factor B: Pruebas Tecnológicas | |
|--------------------------------|---|--------------------------------|---------------------|
| | | UV (promedio) | Humedad (840 horas) |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 41,65 | 35,31 |
| | | 47,92 | 36,19 |
| | | 45,41 | 29,08 |
| | | 42,74 | 31,68 |
| | | 44,89 | 40,89 |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 29,58 | 18,71 |
| | | 26,97 | 26,01 |
| | | 25,19 | 23,10 |
| 25,31 | | 17,73 | |
| | 25,91 | 25,25 | |

Del desarrollo del experimento mostrado en Tabla 4.26, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 4.27. Análisis de varianza de la resistencia a la tracción por efectos de las pruebas tecnológicas [Autor].

| Fuente | GL | SC | MC | Valor F | Valor p |
|--|----|---------|---------|---------|------------|
| Tipo de composite | 1 | 1155,20 | 1155,20 | 105,38 | 0,00000002 |
| Pruebas Tecnológicas | 1 | 256,33 | 256,33 | 23,38 | 0,00018260 |
| Interacciones - Tipo de composite*Pruebas Tecnológicas | 1 | 37,26 | 37,26 | 3,40 | 0,08382245 |
| Error | 16 | 175,40 | 10,96 | | |
| Total | 19 | 1624,19 | | | |

Con un nivel de significación de 0.05, y en función de los datos mostrados en la Tabla 4.25, permite indicar que el valor de p es menor al nivel de significación para el caso del tipo de composite y para las pruebas tecnológicas aplicadas, por ello tienen influencia significativa en la resistencia a la tracción. Así mismo el efecto interacción entre ambas variables estadísticamente no es significativo al ser $0.08 > 0.05$.

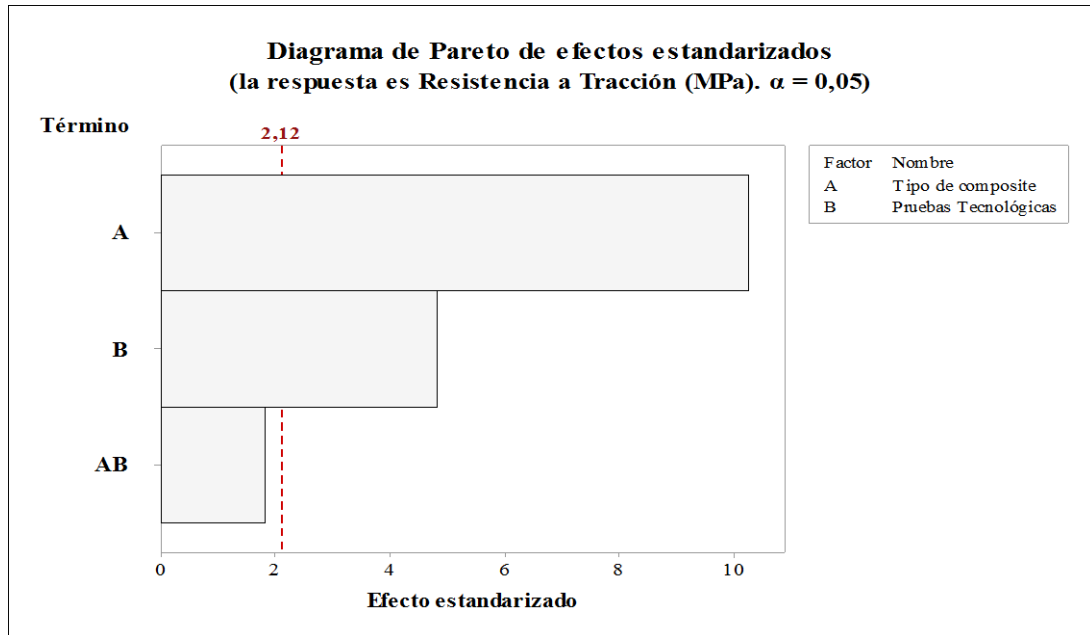


Figura 4.40. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Resistencia a la Tracción por efectos de las Pruebas Tecnológicas [Autor].

En la Figura 4.40, muestra que el efecto A (tipo de composite) es mayor al efecto B (prueba tecnológica). Lo cuales estadísticamente significativos con un nivel de confianza de 95%. Acorde a ello el efecto AB de interacción no es estadísticamente significativo.

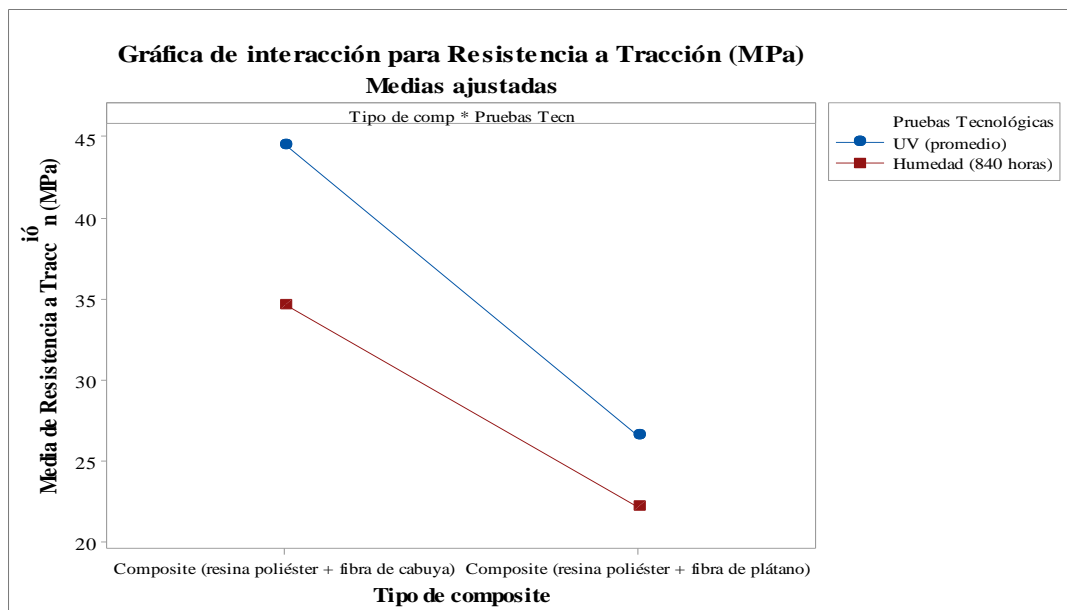


Figura 4.41. Interacción para Resistencia a Tracción por efectos por efectos de las Pruebas Tecnológicas [Autor].

La Figura 4.41, indica una interacción entre el tipo de composite y la prueba tecnológica aplicada. El composite tiene una resistencia a la tracción más alta cuando utiliza refuerzo de fibra cabuya y mas bajo cuando utiliza refuerzo de fibra de plátano. Para el caso de los dos composite con refuerzo de fibra de cabuya el uno y el otro con refuerzo de fibra de plátano, su decremento en la resistencia a la tracción es mayor cuando se aplica la prueba tecnológica de humedad que cuando se aplica la prueba de Radiación UV.

Tabla 4.28. Diseño factorial – Mediciones de Esfuerzo de Flexión por efectos de las Pruebas Tecnológicas [Autor].

| | | Factor B: Pruebas Tecnológicas | |
|--------------------------------|---|--------------------------------|---------------------|
| | | UV (promedio) | Humedad (840 horas) |
| Factor A: Tipo de composite | Composite (resina poliéster + fibra de cabuya) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 53,99 | 37,52 |
| | | 52,64 | 28,05 |
| | | 43,06 | 43,91 |
| | | 52,38 | 46,11 |
| | 46,68 | 38,39 | |
| | Composite (resina poliéster + fibra de plátano) | Mediciones (MPa): | Mediciones (MPa): |
| | | 35,32 | 36,47 |
| | | 36,59 | 25,15 |
| | | 30,97 | 29,59 |
| 42,37 | | 23,38 | |
| 37,58 | 24,09 | | |

Del desarrollo del experimento mostrado en Tabla 4.28, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 4.29. Análisis de varianza de esfuerzo de flexión por efectos de las pruebas tecnológicas [Autor].

| Fuente | GL | SC | MC | Valor F | Valor p |
|--|----|---------|---------|---------|----------|
| Tipo de composite | 1 | 734,65 | 734,654 | 24,98 | 0,000131 |
| Pruebas Tecnológicas | 1 | 489,11 | 489,110 | 16,63 | 0,000876 |
| Interacción - Tipo de composite*Pruebas Tecnológicas | 1 | 5,63 | 5,634 | 0,19 | 0,667483 |
| Error | 16 | 470,60 | 29,413 | | |
| Total | 19 | 1700,00 | | | |

Con un nivel de significación de 0.05, y en función de los datos mostrados en la Tabla 4.29, permite indicar que el valor de p es menor al nivel de significación para el caso del tipo de composite y para las pruebas tecnológicas aplicadas, por ello tienen influencia significativa en el esfuerzo de flexión. Así mismo el efecto interacción entre ambas variables estadísticamente no es significativo al ser $0.66 > 0.05$.

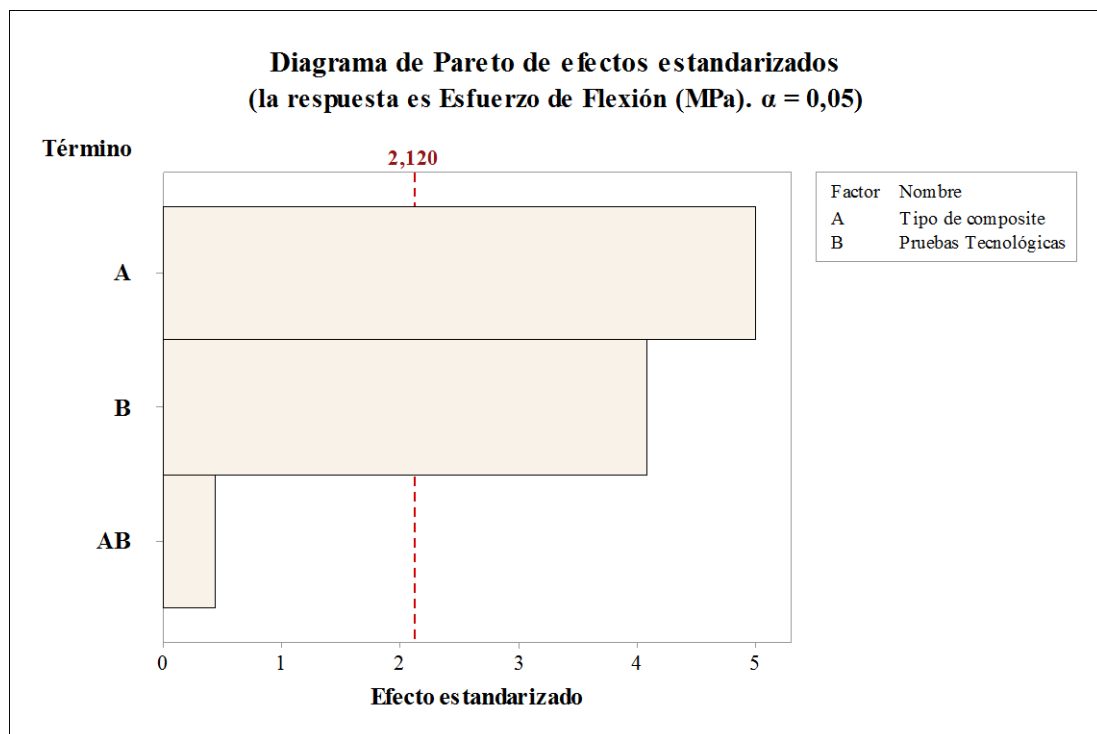


Figura 4.42. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados – Esfuerzo de Flexión por efectos de las Pruebas Tecnológicas [Autor].

En la Figura 4.42, muestra que el efecto A (tipo de composite) es mayor al efecto B (prueba Tecnológica). El diagrama también muestra una línea de referencia para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos con un nivel de confianza de 95%. Acorde a ello el efecto AB de interacción no es estadísticamente significativo.

En la siguiente Figura 4.43, indica una interacción entre el tipo de composite y la prueba tecnológica aplicada. El composite tiene un esfuerzo de flexión más alto cuando utiliza refuerzo de fibra cabuya y mas bajo cuando utiliza refuerzo de fibra de plátano. Para el caso de los dos composite con refuerzo de fibra de cabuya el uno y el otro con refuerzo de fibra de plátano, su decremento en el esfuerzo de flexión es mayor

cuando se aplica la prueba tecnológica de humedad, que cuando se aplica la prueba de Radiación UV.

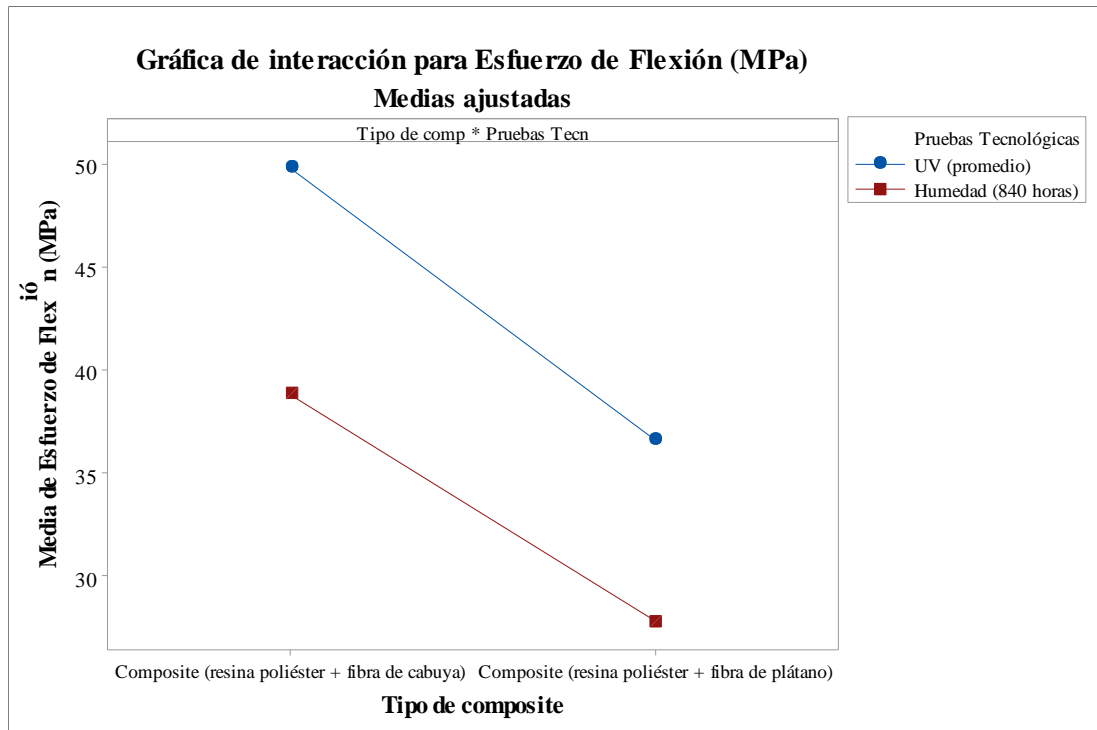


Figura 4.43. Interacción para Esfuerzo de Flexión por efectos de las Pruebas Tecnológicas [Autor].

4.5 Verificación de hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis que se planteó en capítulos anteriores de este trabajo de investigación, la cual expresa que:

Las pruebas tecnológicas de UV y humedad en los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales bajo norma ASTM influenciará significativamente sobre las propiedades mecánicas del composite.

Se estructura la misma en las dos posibles alternativas:

Como hipótesis nula; H0: Las pruebas tecnológicas de UV y humedad en los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales bajo norma ASTM no influenciará significativamente sobre las propiedades mecánicas del composite.

Como hipótesis de trabajo; H1: Las pruebas tecnológicas de UV y humedad en los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales bajo norma ASTM si influenciará significativamente sobre las propiedades mecánicas del composite.

Para el efecto de verificación de la hipótesis, se sustenta en los resultados de análisis de varianza obtenidos dentro del desarrollo de los respectivos diseños experimentales. En ese marco a continuación se presenta un resumen de los mismos:

Tabla 4.30. Resumen del valor-p asociado al efecto de la prueba tecnológica sobre las propiedades mecánicas [Autor].

| Item | Referencia | Descripción / Prueba Tecnológica | Propiedad Mecánica | Valor - p | Nivel de significación |
|------|------------|-----------------------------------|--------------------|-----------|------------------------|
| 01 | Tabla 4.17 | Exposición a UV | Tracción | 0.034 | 0.05 |
| 02 | Tabla 4.19 | Exposición a UV | Flexión | 0.0017 | 0.05 |
| 03 | Tabla 4.23 | Exposición a Humedad | Tracción | 9.03e-6 | 0.05 |
| 04 | Tabla 4.25 | Exposición a Humedad | Flexión | 0.00002 | 0.05 |
| 05 | Tabla 4.27 | Pruebas Tecnológicas (UV-Humedad) | Tracción | 0.0001826 | 0.05 |
| 06 | Tabla 4.29 | Pruebas Tecnológicas (UV-Humedad) | Flexión | 0.000876 | 0.05 |

Acorde de la Tabla 4.30, con elección del nivel de significación habitual de $\alpha = 0,05$, como vemos, el valor – p asociado al efecto que produce la prueba tecnológica de exposición a UV (0,034) es menor que α , por lo que se rechaza la hipótesis nula H0. Consecuentemente, existen diferencias significativas entre las medias, esto es, al menos un tratamiento de los tiempos de exposición dan lugar a valores medios distintos de la resistencia a la tracción en los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales de estudio. Por tanto en primera instancia la prueba tecnológica de exposición a radiación UV si influye significativamente en la propiedad de tracción de los composites de estudio.

Ahora, en lo que respecta a la propiedad de flexión, se verifica de igual forma al anterior con elección del nivel de significación de $\alpha = 0,05$, y el valor $-p$ que se muestra en la Tabla 4.30 en el ítem 02, mismo que asociado al efecto que produce la prueba tecnológica de exposición a UV responde a un valor de 0,0017, menor que α , por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 . Por ello se acepta hipótesis de trabajo H_1 , ya que se demuestra que existen diferencias significativas entre las medias, esto es, al menos un tratamiento de los tiempos de exposición dan lugar a valores medios distintos del esfuerzo de flexión en los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales de estudio. Por tanto la prueba tecnológica de exposición a radiación UV si influye significativamente en la propiedad de flexión de los composites de estudio.

Para el caso de la prueba tecnológica de exposición a humedad, ésta acorde a los datos mostrados en la Tabla 4.30, en sus ítems 03 y 04 que se enmarca en las propiedades de tracción y flexión respectivamente, indica que el valor $-p$ es mucho menor que el nivel de significación de 0,05. Lo que indica que, existen diferencias significativas entre las medias, esto es, al menos un tratamiento de los tiempos de exposición dan lugar a valores medios distintos de la resistencia a la tracción y del esfuerzo de flexión en los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales de estudio. Por lo que la prueba tecnológica de exposición a humedad, si influye significativamente en la propiedad de tracción y flexión de los composites de estudio, aceptando la hipótesis de trabajo H_1 y rechazando la hipótesis nula H_0 .

Finalmente, se verifica si existe diferencia de efectos entre las dos pruebas tecnológicas de exposición a radiación UV y humedad, ésta acorde a los datos mostrados en la Tabla 4.30, en sus ítems 05 y 06 que se enmarca en las propiedades de tracción y flexión respectivamente, indica que el valor $-p$ es mucho menor que el nivel de significación de 0,05. Lo que indica que, existen diferencias significativas entre las medias, esto es, que entre las pruebas tecnológicas se presentan valores medios distintos de la resistencia a la tracción y del esfuerzo de flexión en los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales de estudio. Con lo indicado se ratifica que las pruebas tecnológicas de exposición a radiación UV y humedad, si influyen significativamente en la propiedad de tracción y flexión de los composites de estudio, aceptando la hipótesis de trabajo H_1 y rechazando la hipótesis

nula H_0 . Determinando también que existen diferencias significativas entre los efectos que produce cada prueba tecnológica en las propiedades de los composites de estudio.

Todos estos puntos expuestos como medidas de control, permiten comprobar la hipótesis planteada, satisfaciendo el objetivo principal que es determinar si estadísticamente es significativo la influencia de las pruebas tecnológicas de UV y humedad en las propiedades mecánicas de los compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales que se estudiaron en la presente investigación.

Estableciendo finalmente, que el impacto de influencia de las pruebas tecnológicas de UV y humedad en las propiedades mecánicas de tracción y flexión, surte con un efecto menor en el material compuesto de matriz de resina poliéster con refuerzo de fibra de plátano.

CAPÍTULO V

5.1. Conclusiones

Del proceso experimental investigativo desarrollado en el capítulo anterior, permite redactar las siguientes conclusiones:

- Se ha identificado varios estudios referenciales que en su desarrollo se enfocan en la caracterización de materiales compuestos reforzados con diferentes fibras naturales, en cuyos estudios que se analizaron generalmente se centran de forma particular al estudio del efecto de las pruebas de radiación UV y otros al efecto que produce la exposición a humedad, pero no conjugándose los mismos en un solo estudio, como se realiza en la presente investigación (criterio determinado en función del espectro bibliográfico revisado y citado en este estudio). Haciendo remembranza a los estudios revisados y en función de su metodología, estos indudablemente han permitido obtener resultados satisfactorios dentro del desarrollo de la presente investigación.
- Por los factores y niveles que se manejan en la experimentación de la investigación, se ha desarrollado un diseño de experimento de tipo factorial, mismo que ha permitido dar el adecuado tratamiento a los datos obtenidos en los diferentes ensayos, permitiendo realizar el análisis de la influencia de la radiación UV y la humedad en las propiedades mecánicas de los composites de forma objetiva.
- Se ha determinado, bajo la consideración inicial que los composites de estudio aún no han sido expuestos a ninguna prueba tecnológica, que el composite de matriz de resina poliéster con refuerzo de fibra de cabuya responde ante el ensayo de tracción con una resistencia de 48.264 MPa frente al composite que utiliza refuerzo de fibra de plátano que ofrece una resistencia a la tracción de 28.454 MPa. Lo que implica que en un 41% el composite con fibra de cabuya es mas resistente del que utiliza fibra de plátano, en concordancia a datos de laboratorio obtenidos.

- El estudio revela que antes de someter a los composites de estudio a prueba tecnológica alguna. El esfuerzo de flexión que presenta el composite con refuerzo de fibra de cabuya es de 56.535 MPa, mientras del que utiliza fibra de plátano presenta un valor de 50.067 MPa. Denotando que el que utiliza refuerzo de cabuya ofrece un mayor esfuerzo de flexión en un 11.44%, acorde a datos experimentales obtenidos en el laboratorio.
- Se concluye que, ante la exposición de los composites de estudio a radiación UV, el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su resistencia a la tracción en 7.8%, mientras que el que utiliza fibra de plátano pierde su resistencia a la tracción en 6.5%, siendo más resistente en un 1.3% a la radiación UV.
- Resulta que el efecto de la radiación UV, produce a través de su acción degradante, que el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su esfuerzo de flexión en 12.0%, mientras que el que utiliza fibra de plátano en un 27.0%, siendo más resistente a radiación UV el de fibra de cabuya en un 15%. Esto en lo que respecta a su esfuerzo de flexión.
- El presente estudio ha demostrado a nivel de conocimiento ingenieril, que al aplicar la prueba tecnológica de humedad a los composites de estudio, el composite con refuerzo de fibra de plátano en general es el que tiene una capacidad de manera promedial de absorción de humedad menor en un 1.28% al que utiliza refuerzo de fibra de cabuya.
- Luego de ejecutar la prueba tecnológica de humedad, permite concluir que el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierde su resistencia a la tracción en 28.2%, mientras que el que utiliza fibra de plátano en un 22.1%, siendo más resistente a la humedad el de fibra de plátano en un 6.1%, acorde a datos experimentales de laboratorio.
- El efecto de la humedad sobre la propiedad mecánica de flexión, da lugar a que el composite con refuerzo de fibra de cabuya pierda su esfuerzo de flexión en 31.4%, mientras que el que utiliza fibra de plátano en un 44.6%, siendo más resistente a la humedad el de fibra de cabuya en un 13.2%.

- En función de los datos promediales de resistencia a la tracción obtenidos, se destaca a partir de ello, la conclusión que el efecto de pérdida de la resistencia a la tracción que produce la prueba tecnológica de humedad en promedio es de un 18% superior al que causa la radiación UV.
- Con respecto a los datos promediales de esfuerzo de flexión obtenidos, permite redactar la conclusión, que el efecto de pérdida del esfuerzo de flexión que produce la prueba tecnológica de humedad en promedio es de un 13.14% superior al que causa la radiación UV.

5.2. Recomendaciones

- Es importante que previo a realizar estudios de investigación se prevea que los equipos que se pretendan utilizar, sean accesibles y que estén disponibles en nuestro medio, obviamente en sus respectivos laboratorios calificados.
- Durante la preparación de las probetas se debe realizar el corte a la dimensión que rija la respectiva norma lo más exacto posible. Se recomienda se utilice corte láser.
- Con el fin de manejar sin confusión los resultados experimentales de cada composite de estudio. Es apropiado asignarle un código y/o un TAG de identificación a cada una de las probetas de estudio.
- A fin de tener resultados fiables, para el caso de la realización de los ensayos tecnológicos de radiación UV y humedad se torna sine qua non proceder bajo lo estipulado en sus respectivas normas.
- En el caso de la realización de la prueba de radiación UV, es importante se programe que durante el tiempo de exposición de las probetas de estudio, exista en todo momento control de la cámara e insumos de la misma por el laboratorista encargado.
- Para realizar el ensayo de humedad, las probetas se debe limpiar bien, asegurándose que no existan ningún tipo de impurezas, que entorpezcan las mediciones del peso de las mismas.

- Previo a realizar la inmersión de las probetas para la prueba de humedad, es prioridad dar a las mismas un pre acondicionamiento, ingresando las probetas a un horno infrarrojo para un secado por 24 horas, para garantizar que los resultados sean fiables.
- Coordinar para que los ensayos destructivos se ejecuten a medida de lo posible inmediatamente después de haber sido las probetas expuestas a los ensayos tecnológicos de radiación UV y humedad.
- A fin de que no se produzca deslizamiento de las probetas durante la ejecución de los ensayos a tracción, es importante que se pegue en los extremos de la probeta (en la zona de agarre del equipo) tela de esmeril con un pegante que tenga la característica de adherirse fuertemente al composite, pues a medida que avanza el ensayo, si no existe un agarre preciso entre el mandíbula de agarre del equipo y la probeta, esto puede ocasionar se afloje y registre lecturas irreales e incluso se puede llegar a soltar.
- Utilizar guantes para la manipulación de las fibras y probetas en todo momento del desarrollo de la etapa experimental para evitar cualquier efecto negativo en la piel del investigador.

CAPÍTULO VI

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA TIPO LÁMINA BASADA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COMPUESTO DE RESINA POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRAS DE PLÁTANO UTILIZANDO SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS PARA FUNDAMENTAR SU EMPLEO EN EL FORRADO INTERIOR DEL TECHO DE AUTOBUSES”

6.1. Datos informativos

Una vez realizado los análisis de la influencia de pruebas tecnológicas de radiación UV y Humedad sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzados con fibra de cabuya y plátano, y recopilados todos los datos relativos a la caracterización mecánica de los composites planteados en el presente estudio, se considera que el composite que ofrece mayores bondades en lo que respecta a su resistencia a las pruebas tecnológicas es el composite con matriz de resina poliéster reforzado con fibra de plátano (ver figura 6.1). Ante ello y acorde al objetivo planteado se considera bajo criterio conservador que su aplicabilidad idónea dentro de la industria automotriz – carrocería más adecuada esta enmarcada para la formación de módulos de estructuras tipo lámina como forro para el interior de autobuses. Con ésta consideración, se realizará el respectivo análisis del comportamiento mecánico de una sección de dicho material utilizando las características y/o propiedades mecánicas del mencionado material compuesto, utilizando para ello software especializado de elementos finitos.

Es importante en hacer remembranza el aporte del presente estudio para el sector industrial que están inmiscuidos en el área de fabricación de carrocerías de autobuses. A sabiendas que podran contar con un referente en cuanto a un material alternativo para la realización de forrado interior del autobus. Además tomando en consideración que el análisis por el método de los elementos finitos proporcionará datos muy aproximados a la realidad.

Finalmente se considera oportuno dar a conocer que los ensayos tecnológicos y destructivos se realizó en el laboratorios de reconocimiento a nivel nacional como lo son los de la Escuela Politécnica Nacional – Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (EPN-CIAP), de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero que garantizan las propiedades de la caracterización mecánica del material compuesto que se va utilizar dentro del análisis por elementos finitos por medio de software.

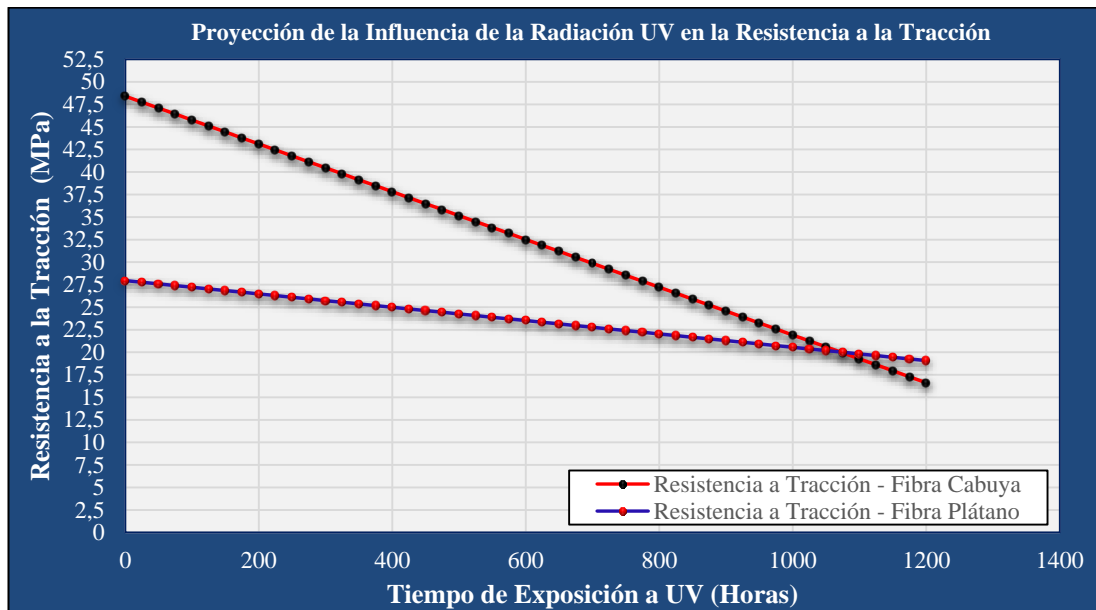


Figura 6.1. Proyección de la Influencia de la Radiación UV en la Resistencia a la Tracción [Autor].

6.2. Antecedentes de la propuesta

Generalmente existen proyectos anteriores de investigación sobre materiales compuestos con la utilización de resina poliéster como matriz y con la utilización de diversas fibras naturales con cabuya, plátano, coco, mora, etc, llegando a caracterizar los mismos mediante la determinación de sus propiedades mecánicas por medio de los respectivos ensayos y en algunos casos otorgándole una aplicabilidad industrial a los mismos. Claro y es obvio que están considerando que las propiedades del composite al ambiente que este expuesto no está causando un efecto degradante en sus propiedades mecánicas. Lo cual mediante el presente estudio se determina que las

propiedades de los composites reforzados con fibras naturales si tienen un factor degradante al exponer a una simulación ambiental acelerada a radiación UV y humedad, que para efectos de esta investigación son considerados como los factores y/o parámetros ambientales más representativos (criterio conservador del autor) a los cuales por lo general estarían expuestos los materiales en servicio a la interperie.

Determinando, luego de efectuada la investigación qué, el material compuesto y/o biocomposite que ofrece mejores bondades antidegradante en sus propiedades mecánicas es el que está conformado con matriz de resina poliéster con refuerzo de fibra de plátano. Se infiere en ese marco como propuesta de aplicación del mencionado material para la formación de secciones de estructura tipo lámina para el forrado del interior del techo de autobuses, mismo que tendrá como alcance dentro del presente trabajo la modelación del fenómeno y el respectivo análisis del comportamiento mecánico de una sección utilizando las características y/o propiedades mecánicas del mencionado material compuesto, con el soporte para su desarrollo del método de elementos finitos a través del empleo de software especializado.

6.3 Justificación

Bajo la consideración que el presente trabajo investigativo esta enfocado, ya una vez caracterizado mecánicamente a los composites de estudio post la influencia de las pruebas tecnológicas (UV y Humedad) en proponer una aplicabilidad al material compuesto que tenga la bondad de ofrecer mejores prestaciones antidegradante a las mencionadas pruebas, permite a partir de ello como primer aspecto justificar el desarrollo del modelo geométrico de una superficie y/o estructura tipo laminar - modular con carácter para actuar como forro interior para techos de autobuses, incluyendo para sustento de lo indicado, la realización del análisis de su comportamiento a las correspondientes solicitaciones de carga siguiendo la analogía de ensayo de impacto que se efectúan a los vidrios templados por medio de software especializado, claro esta, desición que se acoge, considerando que:

- La aplicabilidad del material compuesto formado por matriz de resina poliéster y refuerzo de fibra de plátano, si bien es cierto proporciona características mejores para resistir a la radiación UV y humedad, sin embargo también se degrada. Ante ello se considera que su aplicación debe ser para elementos de estructura

secundaria que trabajen en el interior, con el fin que la durabilidad del material ofrezca un mayor tiempo de vida útil.

- Toda vez que en la Provincia de Tungurahua una de las principales industrias dentro de su actividad económica resulta ser la carrocera y por obvias razones esto hace objeto que los beneficios para el sector carrocerero serían convenientes, toda vez que disponer de información que les permita contar con una alternativa para realizar el forrado interior del techo del autobús sustentado en su análisis de su comportamiento estructural será de gran utilidad.

A más de dar a conocer y/o aportar en nuestra Académia con conocimiento científico que permitan dar soluciones a nuestra industria local en el marco del comportamiento de los composites se refiera.

6.4. Objetivos

6.4.1 General

Análizar la estructura tipo lámina basada en las propiedades mecánicas de compuestos de resina poliéster reforzado con fibras de plátano por medio de software especializado de elementos finitos para garantizar su empleo como forro interior del techo de autobuses.

6.4.2 Específicos

- Establecer el ensayo, las condiciones de borde y solicitudes de carga sobre la estructura tipo lámina que permitan su evaluación objetivamente y garantizar su uso para forrado interior de techos de autobuses.
- Analizar mediante simulación, la resistencia de la estructura tipo lámina utilizada como probeta de estudio con respecto a las respectivas solicitaciones de carga para permitir su empleo como forro interior de techos de autobuses.
- Proporcionar una metodología descriptiva técnico - elemental para el desarrollo de análisis de materiales compuestos en software especializado de elementos finitos.

6.5 Análisis de factibilidad

La presente propuesta se basa acorde a la información recolectada y presentada en el capítulo IV que corresponde al análisis de resultados, donde se presentan los ensayos representativos y datos de tracción, flexión, pre y post la realización de las pruebas tecnológicas y además características básicas de tendencia del comportamiento que adquiere el composite de matriz de resina poliéster con refuerzo de fibra de plátano que permite caracterizar el composite; que será la base fundamental de la cual se obtendrán las propiedades mecánicas principales y mediante cálculo las propiedades complementarias que se emplearán dentro del análisis mediante simulación por elementos finitos de una sección estructural tipo lámina cuyo aspecto dimensional estará acorde al respectivo ensayo, incluyendo las propiedades mecánicas del material compuesto indicado, con el fin utilizarse la misma para el forrado interior de techos de autobuses.

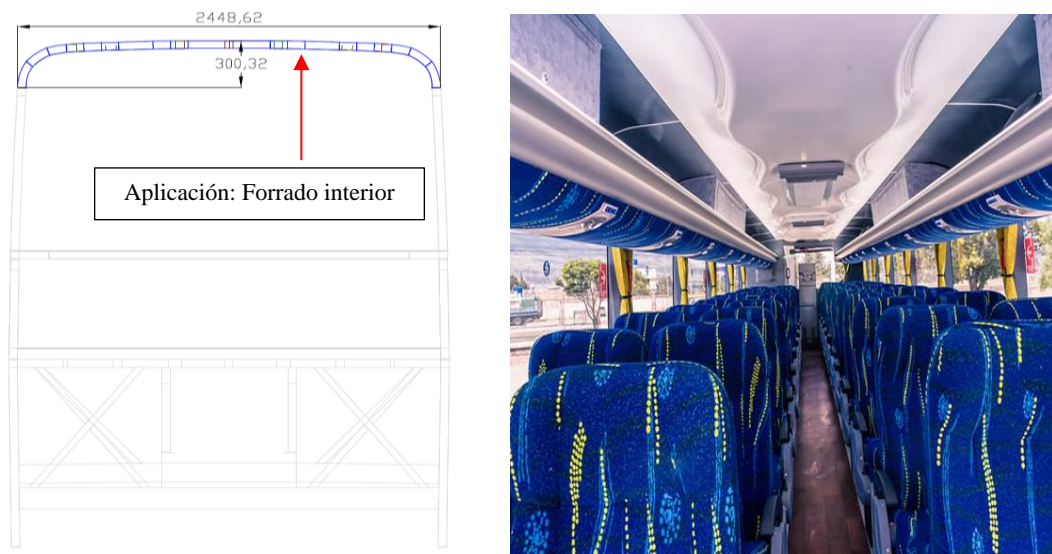


Figura 6.2. a) Arco patrón de la estructura del techo de autobuses, b) Modelo de forro interior de techo de autobuses [Autor].

En ese marco, bajo criterio conservador del autor, se considera que el desarrollo de ésta propuesta es factible de plasmarla, en vista que cuenta con la información necesaria para adquirir el conocimiento para la realización de análisis de composites a través de los módulos ACP (pre) y Explicit Dynamics del paquete computacional especializado para análisis por elementos finitos, además de contar con el recurso

humano especializado (catedráticos) de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, que apoyarán indudablemente con sus directrices categóricas, todo ello hace que ésta propuesta planteada sea factible de realizarse.

6.6 Fundamentación

Para el desarrollo de la presente propuesta se basa en primera instancia en la información recolectada en la teoría del Capítulo II, IV y V que tiene relación con el marco teórico, con resultados de la etapa experimental, conclusiones y recomendaciones, respectivamente.

En función de lo indicado y con la consideración de requerimiento de mayor argumentación para el desarrollo de propuesta, se presenta a continuación el desarrollo del respectivo espectro referente al marco de la fundamentación requerida.

1. *Propiedades mecánicas a utilizarse dentro de la simulación por elementos finitos mediante software.*

Tomando en consideración que la aplicación del material compuesto con matriz de resina poliéster y refuerzo de fibra de plátano es para uso interior, se empleará las propiedades exclusivas obtenidas del composite sin considerar los efectos de las pruebas tecnológicas, las mismas que se presentan a continuación:

Tabla 6.1. Propiedades mecánicas del compuesto (resina poliéster + fibra de plátano)
[Autor].

| RESULTADOS | | |
|--|----------|-----------------------------|
| PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COMPUESTO (resina poliéster + fibra de plátano) | | |
| Resistencia a la Tracción (MPa) | 28,454 | Observación: Valor promedio |
| Módulo de Elasticidad (MPa) | 1870,728 | Observación: Valor promedio |
| Densidad (g/cm³) | 1,300 | Observación: Valor promedio |
| % de Elongación | 1,523 | Observación: Valor promedio |

2. *Ensayo a realizar al material compuesto.*

Bajo la consideración que su aplicabilidad pretendida es para la parte interna como forro del techo de autobuses, este material compuesto como mínimo debe cumplir con las exigencias que demanda para un vidrio de techo que se coloca en la parte superior del vehículo, en concordancia a la normativa NTE INEN 1669:2011, numeral 2.1.7, garantizando de esta manera su fiabilidad. Con este antecedente el ensayo analógico que permite sustentar la aplicabilidad del composite para el propósito establecido es el de *Impacto con esfera de acero*, como si tratase de un vidrio templado en lineamiento con lo dispuesto en la normativa NTE INEN 1723.

6.7 Metodología

- **Probeta de estudio**

De acuerdo al numeral 5.1 de la normativa NTE INEN 1723, el material que va a ensayarse corresponde dimensionalmente a 300 mm X 300 mm.

- **Condición de carga**

Con respecto a la condición de carga bajo la cual estará sometida la probeta, consistirá fundamentalmente con el cumplimiento del principio de dejar caer, sin impulso, la esfera de acero de 227 g + - 2 g desde una altura de 2,0 m + 5 -0 mm, medida desde la parte inferior de la esfera a la superficie superior de la muestra establecido en el numeral 6.1.4 de la normativa NTE INEN 1723 para espesores menores o hasta 3.5 mm. Para nuestro caso de análisis, emplearemos un espesor de 2,5 mm de material compuesto.

- **Determinación del diámetro de la esfera de prueba**

Dentro de la simulación, a tal esfera de prueba, se le asignará un material de acero estructural con una densidad (ρ) de 7850 kg/m³, y en función de su masa establecida en 227 g, se determina el radio de la esfera para su modelación y utilización dentro del ensayo.

Determinación del volumen:

$$\rho = \frac{M}{V} \qquad \text{Ec: (2.1)}$$

Donde:

ρ = Densidad

M = Masa

V = Volumen

$$V = \frac{0,227 \text{ Kg}}{7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0,0000289 \text{ m}^3$$

Determinación del radio de la esfera:

$$V = \frac{4}{3} * \pi * R^3 \quad \text{Ec: (2.2)}$$

Donde:

R = Radio

V = Volumen

$$R = \left(\frac{3}{4 * \pi} * V \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$R = \left(\frac{3}{4 * \pi} * 0,0000289 \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$R = 0,0190 \text{ m} \cong 19,04 \text{ mm}$$

- **Determinación de la velocidad de impacto**

Como requisito para el ensayo pretendido es importante determinar la velocidad con la que la esfera entra en contacto con la superficie del material a evaluar, para lo cual utilizamos la ley de la conservación de la energía, como se muestra a continuación:

Energía potencial de la esfera a la altura de 2 metros:

$$E_{\text{esfera}} = m * g * h \quad \text{Ec: (2.3)}$$

Donde:

E_{esfera} = Energía potencial de la esfera

m = Masa de la esfera

g = Gravedad

h = Altura

$$E_{\text{pesfera}} = 0,227 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2\text{m}$$

$$E_{\text{pesfera}} = 4,453 \text{ J}$$

Energía cinética de la esfera después de descender la altura de los 4 metros:

$$E_{\text{esfera}} = \frac{1}{2} * m * V^2 \quad \text{Ec: (2.4)}$$

Donde:

E_{esfera} = Energía cinética de la esfera

m = Masa de la esfera

V = Velocidad con la que entra en contacto la esfera con la superficie

$$E_{\text{esfera}} = E_{\text{pesfera}} \quad \text{Ec: (2.5)}$$

$$\frac{1}{2} * 0,227 \text{ Kg} * V^2 = 4,453 \text{ J}$$

$$V = 6,263 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Propiedades del material compuesto de estudio**

Con el objeto de realizar el análisis con las propiedades que corresponde al composite. Para tal efecto es importante determinar otras propiedades a parte de las indicadas en la Tabla 6.1, en ese contexto con modelos matemáticos preescritos se determinan las propiedades adicionales requeridas partiendo de los datos proporcionados en la Tabla 6.1.

Poisson XY

A partir de La Ley de las Mezclas que fue propuesta por Voigt (1889) es la técnica de homogeneización más simple que puede aplicarse en un material compuesto. Se considera que el coeficiente de Poisson de un material compuesto viene dado por:

$$v_{xy} = v_f * V_f + v_m * V_m \quad \text{Ec: (2.6)}$$

Donde:

v_{xy} : Coeficiente de Poisson del compuesto,

v_f : Coeficiente de Poisson de la fibra,

v_m : Coeficiente de Poisson de la matriz,

V_f : Fracción de Volumen de fibras,

V_m : Fracción de Volumen de matriz.

Por [44] se conoce que v_f del refuerzo es 0,28 y v_m de la matriz es 0,38 (valor promedio) de acuerdo presentado en la Tabla 2.2 [15]. Y a sabiendas que se trabajó con la fracción volumétrica 30% fibra – 70% matriz, se calcula un coeficiente aproximado del coeficiente de Poisson del composite, como se indica a continuación:

$$v_{xy} = 0,28 * 0,30 + 0,38 * 0,70$$

$$v_{xy} = 0,35$$

Tabla 6.2. Tabulación de propiedades mecánicas del compuesto (resina poliéster + fibra de plátano) [Autor].

| RESULTADOS | | |
|---|----------|--|
| PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COMPUESTO (resina poliéster + fibra de plátano) | | |
| Resistencia a la Tracción (MPa) | 28,454 | Observación: Valor promedio experimental |
| Módulo de Elasticidad (MPa) | 1870,728 | Observación: Valor promedio experimental |
| Poisson | 0,350 | Observación: Valor calculado |
| Densidad (g/cm3) | 1,300 | Observación: Valor promedio experimental |
| % de Elongación | 1,523 | Observación: Valor promedio experimental |

- Estructura del proyecto para el análisis por elementos finitos mediante software especializado



Figura 6.3. Proyecto para análisis por elementos finitos [Autor].

Pre proceso

Definición del material

Para ello es necesario crearlo dentro del software especializado e introducimos las principales propiedades presentadas en la Tabla 6.2.

| | A | B | C | D | E |
|---|----------------------------------|---|---|---------------------|---|
| 1 | Contents of Engineering Data | | | Source | Description |
| 2 | Material | | | | |
| 3 | FIBRAPLATANO | | | D:\LSA\1. MAESTRI | |
| 4 | Structural Steel | | | General_Materials.x | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |
| * | Click here to add a new material | | | | |

| Properties of Outline Row 3: FIBRAPLATANO | | | | | |
|---|---------------------------|----------------|--------------------|---|---|
| | A | B | C | D | E |
| 1 | Property | Value | Unit | | |
| 2 | Material Field Variables | Table | | | |
| 3 | Density | 1,3 | g cm ⁻³ | | |
| 4 | Isotropic Elasticity | | | | |
| 5 | Derive from | Young's Mod... | | | |
| 6 | Young's Modulus | 1870,7 | MPa | | |
| 7 | Poisson's Ratio | 0,35 | | | |
| 8 | Bulk Modulus | 2,0786E+09 | Pa | | |
| 9 | Shear Modulus | 6,9286E+08 | Pa | | |
| 10 | Tensile Ultimate Strength | 28,454 | MPa | | |

Figura 6.4. Proyecto para análisis por elementos finitos [Autor].

Modelación geométrica del fenómeno equivalente para el ensayo

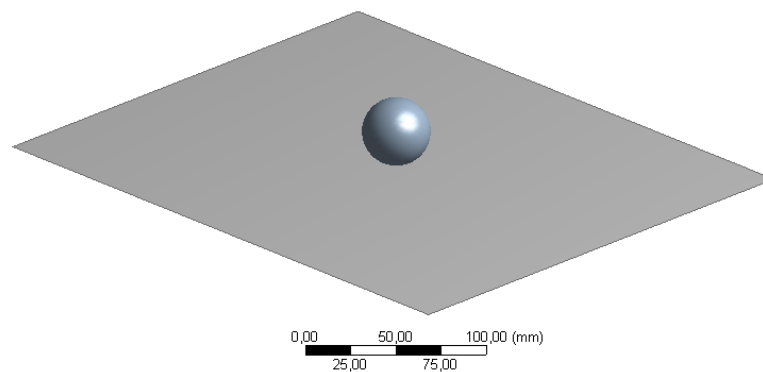


Figura 6.5. Modelo geométrico para el análisis por elementos finitos [Autor].

El modelo geométrico responde a un sistema equivalente para el ensayo de impacto que determina la normativa NTE INEN 1723.

Definiciones de la geometría del fenómeno equivalente para el procesamiento en ACP (pre)

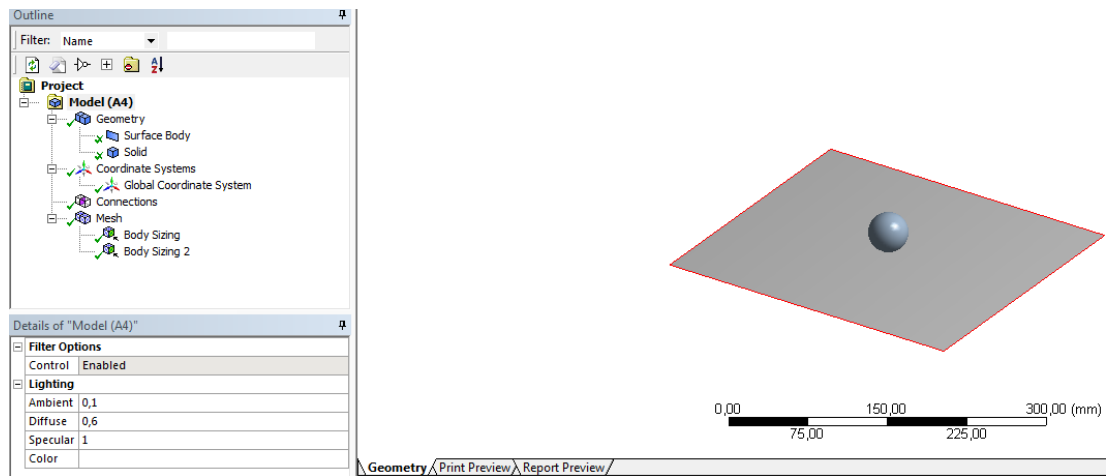


Figura 6.6. Definiciones preliminares del proyecto para el procesamiento en ACP (pre) [Autor].

En la Figura 6.6, se define fundamentalmente la geometría de cada elemento y/o cuerpo que interactúa en el ensayo, estableciendo si actúa como sólido o flexible, además el tipo de conexión y características de mallado de los elementos.

Estructuración del material compuesto en ACP (pre)

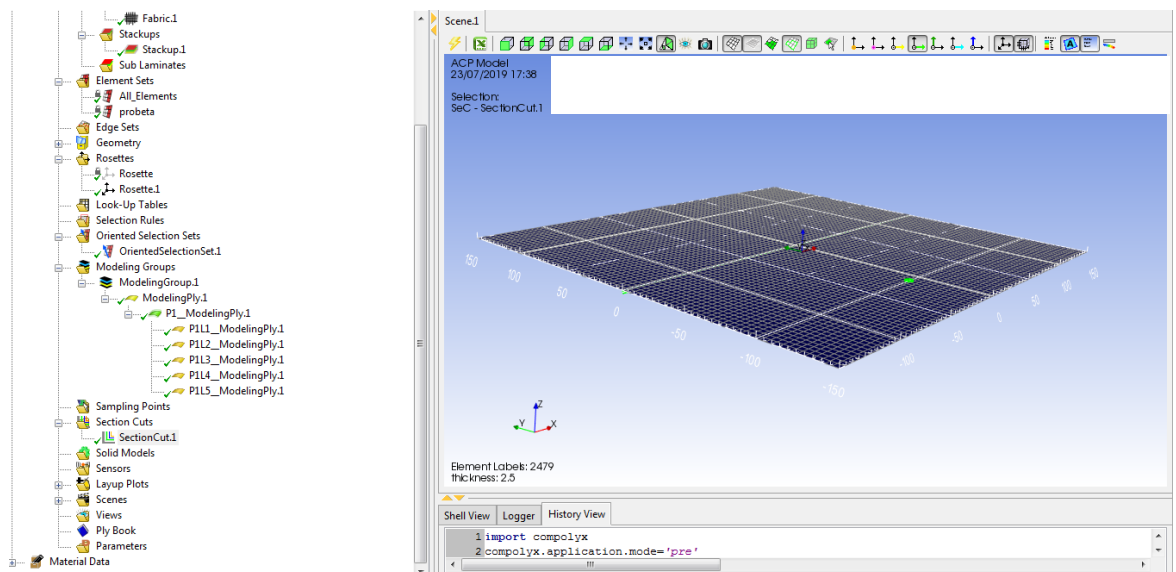


Figura 6.7. Material compuesto resina - fibra de plátano en ACP (pre) [Autor].

Después de desarrollar los diferentes requerimientos del ACP (pre), permite establecer el ModelingGroup.1, como se puede observar en la figura se ha creado 5 capas dentro del mismo, cada una con un espesor de 0,5 mm, implicando un espesor total de 2,5 mm, que es el espesor de nuestra probeta de estudio.

Definición de restricciones y cargas para el análisis a impacto mediante Explicit dynamic

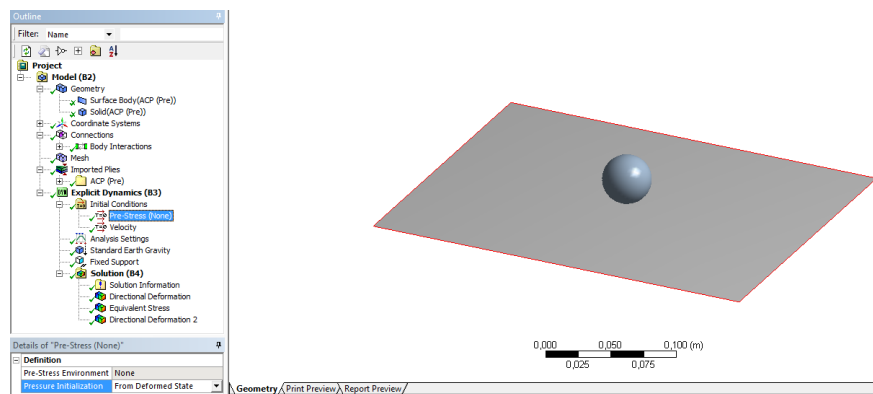


Figura 6.8. Aplicación de condiciones de borde al modelo [Autor].

Fundamentalmente se establece una restricción fija a la probeta, la velocidad de impacto a la esfera, la gravedad estándar dentro del sistema y el tiempo de análisis dentro del Explicit Dynamics, como se muestra la Figura 6.8.

Verificación de la calidad de mallado

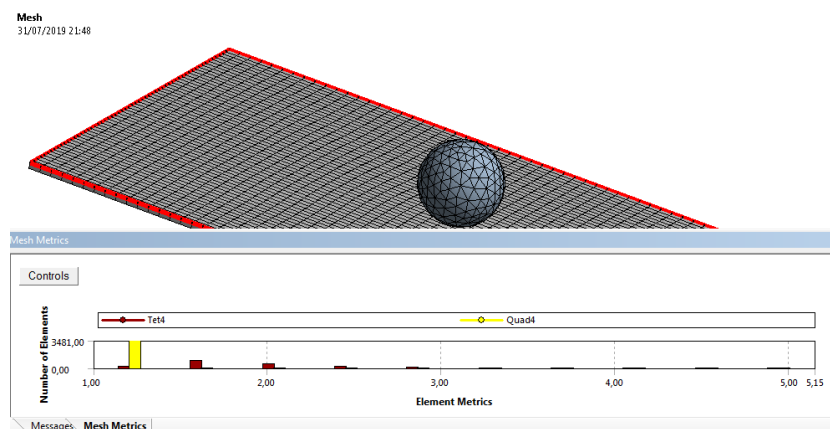


Figura 6.9. Verificación de calidad de mallado de la geometría – Aspect Ratio [Autor].

En la Figura 6.9, la relación de aspecto muestra tendencia a 1 (uno), lo cual permite considerar que los resultados serán muy prolijos en el desarrollo del análisis respectivo.

- **Proceso**

El software especializado internamente procede con la solución del problema a través de matrices y ecuaciones tomando como referencia las restricciones físicas y cargas mencionadas anteriormente.

- **Post proceso**

Resultados del análisis por elementos finitos mediante software especializado

Para este análisis se ha aplicado una velocidad de impacto de 6,263 m/s a una esfera de 227 g de masa, que es lo necesario para demostrar que la probeta de material compuesto de estudio tiene la capacidad de resistir e impedir que dicha esfera atraviese sobre la misma.

En el primer análisis mostrado en la Figura 6.10., se reflejan los resultados de la deformación direccional en el eje de coordenadas Z del sistema compuesto por la probeta y esfera después de ser sometida a una impacto de la esfera de masa 227 g. Donde se puede observar la deformación de la probeta. La interpretación de colores esta dada por el color rojo que representa el desplazamiento máximo positivo, que en su defecto corresponde a la esfera luego del impacto y el color azul representa la deformación mínima, que a su vez resulta ser la deformación máxima de la probeta – esfera (sistema), que corresponde a un valor de 16,41 mm.

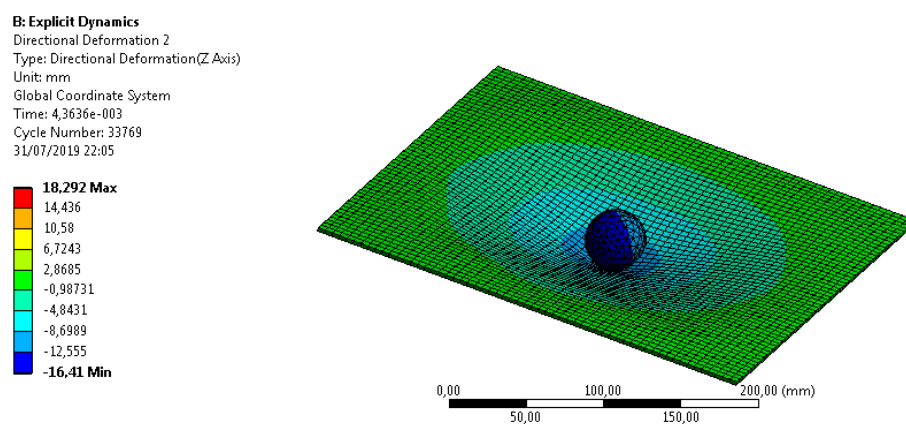


Figura 6.10. Deformación direccional en el eje de coordenadas Z del sistema [Autor].

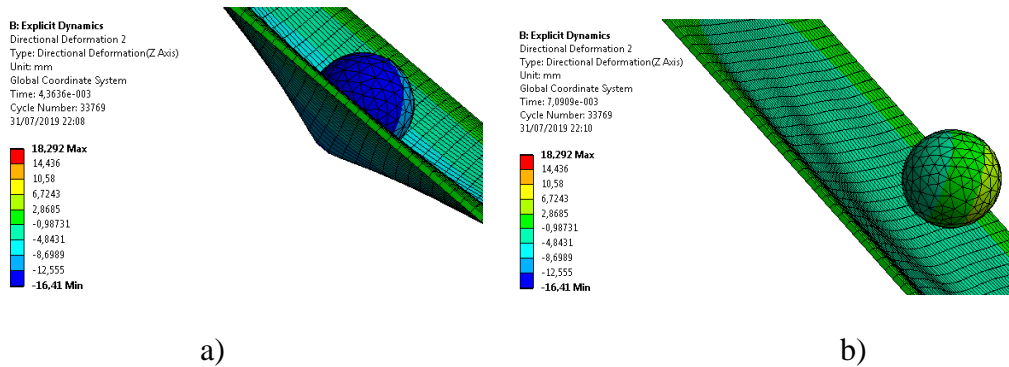


Figura 6.11. a) Deformación máxima direccional en el eje Z del sistema y b) Restitución del sistema luego del impacto [Autor].

De acuerdo a la Figura 6.11. a) la mayor deformación del sistema se produce para el tiempo de análisis de 0,00405 segundos.

Deformación en la probeta de material compuesto de estudio

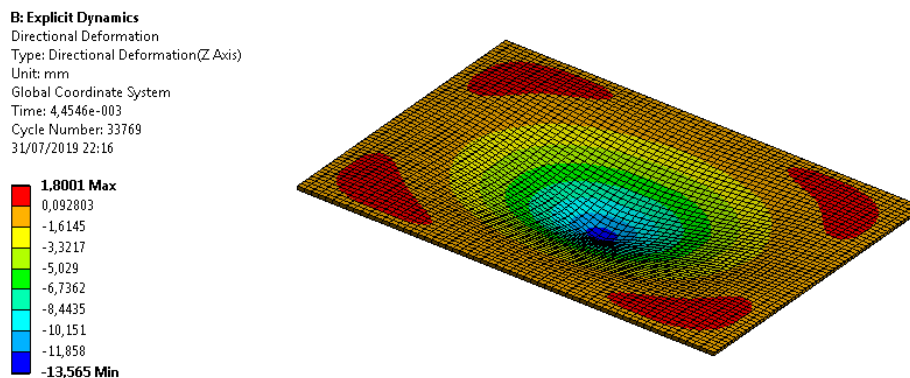


Figura 6.12. Deformación direccional en el eje de coordenadas Z de la probeta de estudio [Autor].

La Figura 6.12., muestra el comportamiento exclusivo de la probeta de espesor de 2,5 mm con propiedades mecánicas que responden al material compuesto con matriz de resina poliéster y refuerzo de fibra de plátano ensayado experimentalmente. De la cual es notable observar que tiene la capacidad de resistir al impacto en concordancia a las características del ensayo establecido y/o considerado. Indicando que su deformación máxima llega a -13,565 mm en un tiempo de 0,00405 segundos de prueba.

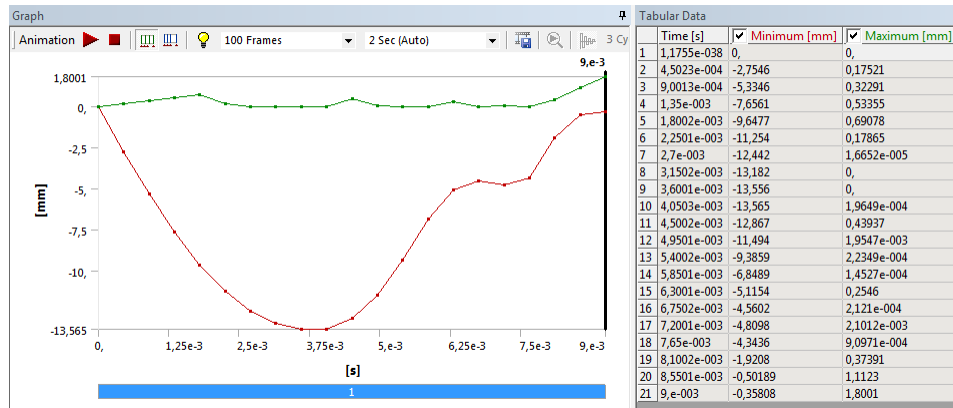


Figura 6.13. Comportamiento de la deformación direccional en el eje de coordenadas Z de la probeta de estudio [Autor].

Esfuerzos equivalentes presentes en la probeta de material compuesto de estudio

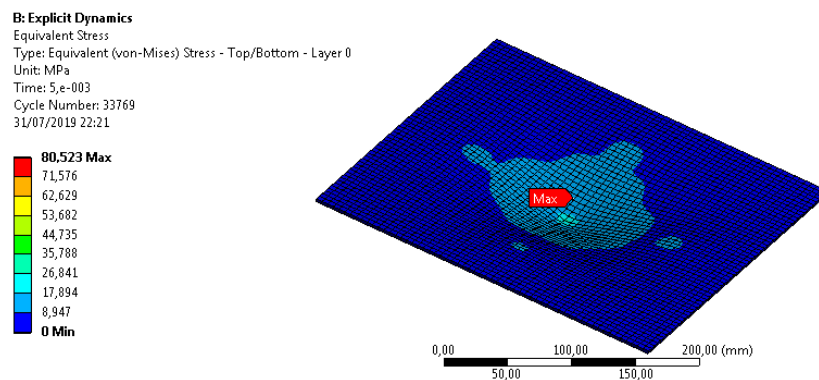


Figura 6.14. Esfuerzos equivalentes en el material compuesto de estudio [Autor].

Esto indica que el composite es capaz de resistir las tensiones que le transmite el impacto. Validando que la aplicación propuesta para dicho material.

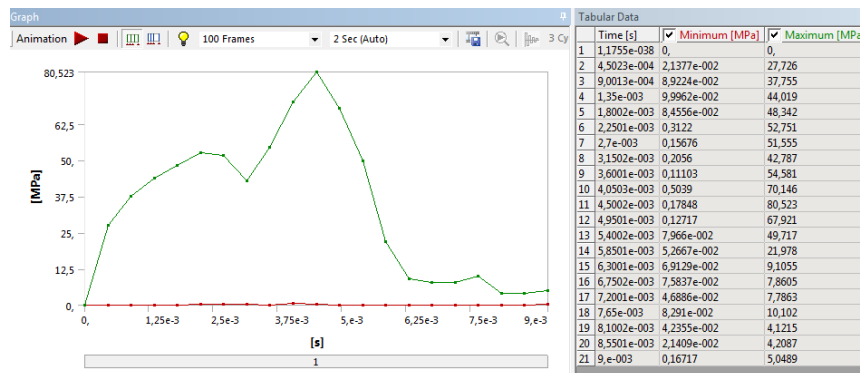


Figura 6.15. Distribución de esfuerzos equivalentes en la probeta de estudio [Autor].

Acorde a la Figura 6.15, en el tiempo de 0,0045 segundos se presenta el pico mayor de 80,523 MPa que representa el esfuerzo equivalente mayor que sufre el material compuesto de estudio. Para luego apreciar la existencia del descenso del esfuerzo equivalente en oscilaciones entre un rango de 6 y 13 MPa aproximadamente.

- **Prototipo de aplicación del material compuesto estudiado**

Con el antecedente del comportamiento del material compuesto estudiado a través del método de los elementos mediante software especializado, se considera oportuno utilizar el mismo como forro para el interior de techo de autobuses con un espesor mínimo de 2,5 mm, formado por dos capas de fibra de plátano en matriz de resina poliéster.

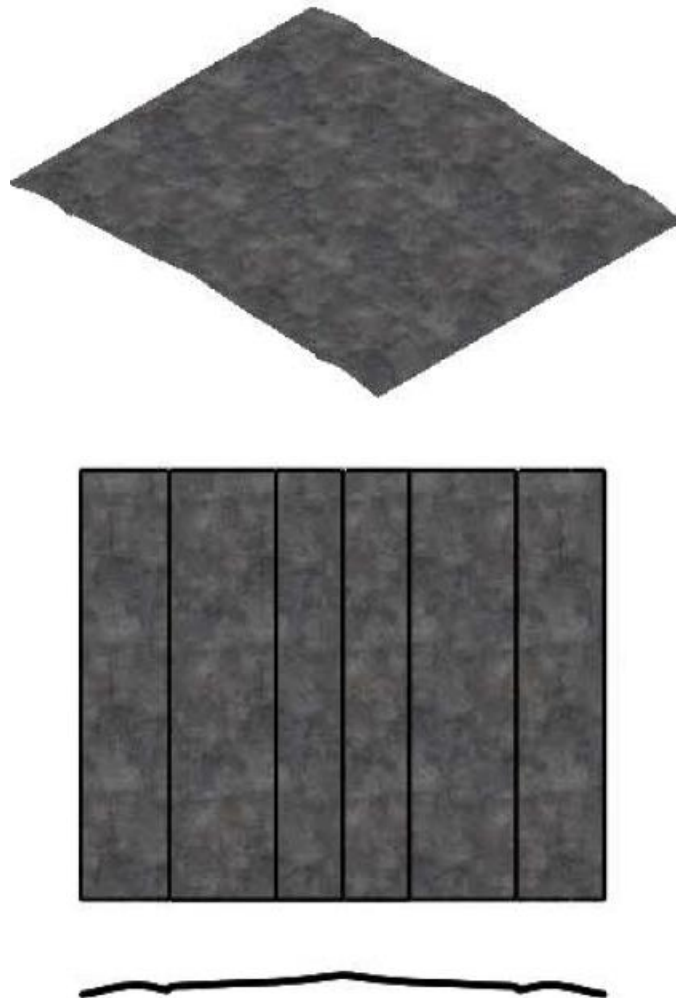


Figura 6.16. a) Prototipo modular para forro interior del techo de autobuses [Autor].

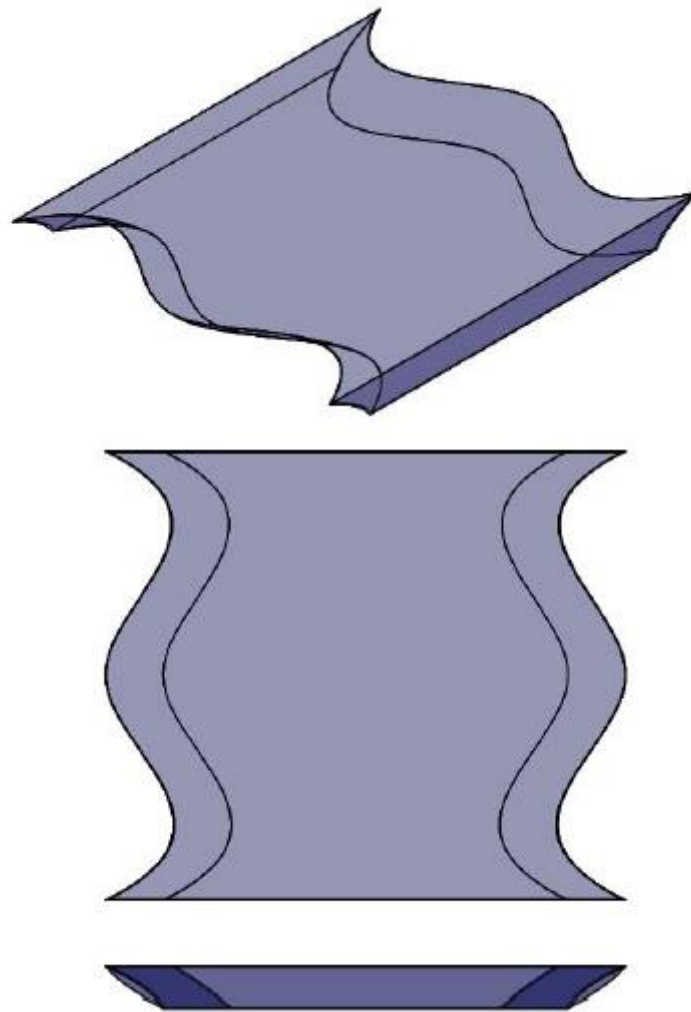


Figura 6.16. b) Prototipo modular para forro interior decorativo del techo de autobuses [Autor].

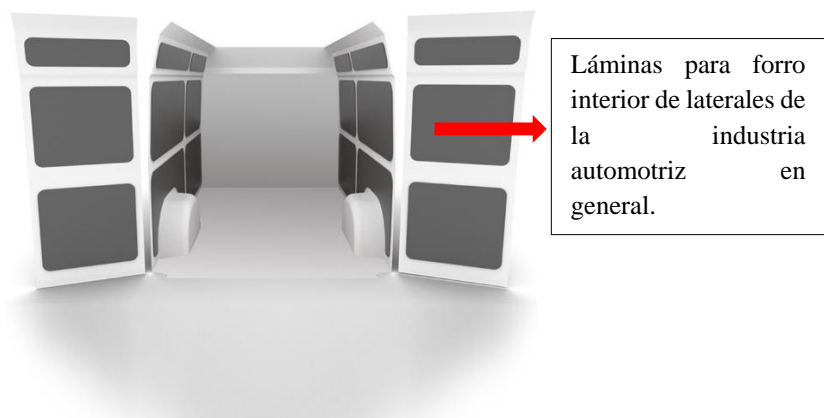


Figura 6.17. Despliegue de otras aplicaciones para el material compuesto analizado [Autor].

6.8 Administración

Dentro de la parte administrativa se considera pertinente realizar un análisis de costo, para ello los recursos relevantes que se utilizará en la presente investigación correspondiente a la realización de los ensayos, propuesta y en definitiva de toda la investigación se indican en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Presentación de costos [Autor].

| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | TARIFA UNITARIA | CANTIDAD | TOTAL USD. |
|---|--------|-----------------|----------|--------------------|
| Para la realización de los ensayos: | | | | |
| Materiales | | | | |
| Fibra de refuerzo de plátano | Kg. | \$ 2,25 | 8,00 | \$ 18,00 |
| Fibra de refuerzo de cabuya | Kg. | \$ 1,90 | 8,00 | \$ 15,20 |
| Tejido de fibras (cabuya y plátano) | m2 | \$ 50,00 | 1,44 | \$ 72,00 |
| Resina poliéster (geal coat, mek, desengrasante, otros) | litro | \$ 5,79 | 4,32 | \$ 25,00 |
| Mano de obra (incluye herramientas, fabricación de planchas y desmolde) | Día | \$ 2,00 | 20,00 | \$ 40,00 |
| Corte láser de probetas | U | \$ 1,00 | 80,00 | \$ 80,00 |
| Transporte - pasajes | Global | | | \$ 35,00 |
| Subtotal 1 | | | | \$ 285,20 |
| Equipos | | | | |
| Ensayos de tracción | U | \$ 7,50 | 40,00 | \$ 300,00 |
| Ensayos de flexión | U | \$ 7,50 | 40,00 | \$ 300,00 |
| Ensayos de UV | Hora | \$ 2,15 | 300,00 | \$ 645,00 |
| Ensayo de humedad | U | \$ 5,00 | 20,00 | \$ 100,00 |
| Subtotal 2 | | | | \$ 1.345,00 |
| Para el desarrollo de la propuesta: | | | | |
| Medios | | | | |
| Software | Hora | \$ 150,00 | 1,00 | \$ 150,00 |
| Bibliografía | Global | | | \$ 30,00 |
| Computador | Hora | \$ 0,10 | 70,00 | \$ 7,00 |
| Subtotal 3 | | | | \$ 187,00 |
| Recursos varios para tramitología | | | | |
| Resma de hojas | U | \$ 5,00 | 3,00 | \$ 15,00 |
| Impresiones | U | \$ 0,15 | 1300,00 | \$ 195,00 |
| Copias | U | \$ 0,03 | 747,00 | \$ 22,41 |
| Anillados | U | \$ 3,00 | 6,00 | \$ 18,00 |
| CDs - Carátulas | U | \$ 5,00 | 3,00 | \$ 15,00 |
| Horas de internet | Hora | \$ 0,75 | 200,00 | \$ 150,00 |
| Transporte - pasajes | Global | | | \$ 25,00 |
| Subtotal 4 | | | | \$ 440,41 |
| SUBTOTAL (1-2-3-4) | | | | \$ 2.257,61 |
| I.V.A 12% | | | | \$ 270,91 |
| TOTAL | | | | \$ 2.528,52 |

En función de la Tabla 6.3., se aprecia que para la investigación, suma los recursos en un monto real de 2528,52 dólares. Sin considerar a este presupuesto el recurso humano del Ingeniero Mecánico toda vez que es una actividad propia del autor.

6.9 Previsión de la evaluación

Una vez concluido el presente trabajo de investigación, mismo que la parte experimental fue desarrollado en los Laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional – Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (EPN-CIAP), de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero y toda vez que los resultados obtenidos son favorables dentro de lo que respecta a la caracterización mecánica de los materiales compuestos que se han trabajado, se torna importante que se considere la presente investigación de “Análisis de la influencia de pruebas tecnológicas sobre las propiedades mecánicas de compuestos de resina polimérica reforzado con fibras naturales del Ecuador bajo norma ASTM”, en investigaciones futuras de pregrado como también de posgrado enfocadas a diseñar, analizar y/o acondicionar partes estructurales secundarias enfocadas para la industria automotriz – carrocería, ya que se puede incurcionar una gama de diseños y modelos para tal industria.

7. Referencias bibliográficas

- [1] Carus, M., Eder, A., Dammer, L., et al., “Wood-Plastic Composites (WPC) and Natural Fibre Composites (NFC)”, European and Global Markets 2012 and Future Trends, Hurth, Nova-Institut GmbH, 2014.
- [2] V. Mittal, R. Saini, S. Sinha, “Natural fiber-mediated epoxy composites e A review”, Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology, Roorkee, 247667, Uttarakhand, India, 2016.
- [3] Kin-tak Lau, Pui-yan Hung, Min-Hao Zhu, David Hui, “Properties of natural fibre composites for structural engineering applications”, Faculty of Science, Engineering and Technology, Swinburne University of Technology. Hawthorn, Melbourne, VIC 3122, Australia, 2018.
- [4] Juan Daniel Trejos T. “Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio”, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Mecánica, Colombia - Pereira, 2014.
- [5] Manuel F. Gómez B., Paúl W. Méndez T., “Polipropileno Reforzado con Fibra Natural para Fabricación de Paneles Internos de las Puertas de un Automóvil”, Universidad Internacional del Ecuador – Sede Guayaquil / Universidad Politécnica Salesiana-Sede Cuenca, Vol. 2, INNOVA Research Journal, Ecuador, 2017.
- [6] C. Elanchezhian, B.Vijaya R., G. Ramakrishnan, M. Rajendrakumar, V. Naveenkumar, “Review on mechanical properties of natural fiber composites”, Selection and Peer-review under responsibility of International Conference on Processing of Materials, Minerals and Energy, Ongole, Andhra Pradesh, India, 2016 , pp. 2-6.
- [7] Marcos V. Fonseca F., Anna C. Cerqueira N., Caroline G. de Oliveira, Felipe P. Duarte L., Frederico Muylaert M., Carlos M. Fontes V., Sergio Neves M., “Thermogravimetric characterization of polyester matrix composites reinforced with eucalyptus fibers”, Paper was a contribution part of the 3rd Pan American Materials Congress, Brazilian, 2017, pp. 1-4.

- [8] Dittenber DB, GangaRao HVS, “Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure”, *Compos A Appl Sci Manuf*, 2012; 43:1419–29.
- [9] Araújo JR, Waldman WR, De Paoli MA., “Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres”, Coupling agent effect. *Polym Degrad Stabil*, 2008, 93:1770-5.
- [10] Z.N. Azwa, B.F. Yousif, A.C. Manalo, W. Karunasena, “A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres”, Centre of Excellence in Engineered Fibre Composites (CEEFC), Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, Toowoomba, 4350 QLD, Australia, 2012, pp. 1-15.
- [11] William D. Callister, Jr., “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, 7 ma. ed., New York, NY., John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- [12] D. Askeland, “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, 6ta ed., México DF, Cengage, 2011.
- [13] E. Calderón F., “Comparativa del módulo de elasticidad de materiales biocomposites entre el ensayo dinámico y estático”, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, España, Valencia, 2016.
- [14]. Mokhtari, A., M.O. Ouali, and N. Tala-Ighil, “Damage modelling in thermoplastic composites reinforced with natural fibres under compressive loading”, *International Journal of Damage Mechanics*, 2015. 24(8), pp. 1239-1260.
- [15] Paris F., “Introducción al análisis y diseño de materiales Compuestos”, Universidad de Sevilla, España, 2006.
- [16] Stupenengo F. “Materiales y material primas”, Instituto Nacional de Educación Tecnológica, Saavedra 789. INET, Buenos Aires, Argentina, 2011.
- [17] Mohini S, Asokan P, Anusha S, Ruhi H, Sonal W., “Composite materials from natural resources: recent trends and future potentials”, Tesinova P, editor. *Advances in composite materials – analysis of natural and man-made materials*. InTech; 2011.
- [18] Bledzki AK, Gassan J., “Composites reinforced with cellulose based fibres”, *Prog Polym Sci* 1999; 24 (2):221–74.

- [19] Lee SM., “Handbook of composite reinforcements”, New York, USA: John Wiley & Sons; 1992.
- [20] Satyanarayana K, Sukumaran K, Mukherjee P, Pavithran C, Pillai S., “Natural fibre–polymer composites”, *Cement Concrete Compos* 1990; 12 (2):117–36.
- [21] Alleman JE, Mossman BT., “Asbestos revisited”, *Sci Am* 1997; 277 (1):54–7.
- [22] Feughelman M., “Natural protein fibers”, *J Appl Polym Sci* 2002; 83 (3):489–507.
- [23] Kimura T, Aoki S., “Application of silk composite to decorative laminate”, *Adv Compos Mater* 2007; 16 (4):349–60.
- [24] Anandjiwala RD, Blouw S., “Composites from bast fibres-prospects and potential in the changing market environment”, *J Nat Fibers* 2007; 4 (2):91–901.
- [25] Zampaloni M, Pourboghraat F, Yankovich SA, Rodgers BN, Moore J, Drzal LT., “Kenaf natural fiber reinforced polypropylene composites: a discussion on manufacturing problems and solutions”, *Compos Part A Appl Sci Manuf* 2007; 38 (6):1569–80.
- [26] Pickering K., “Properties and performance of natural-fibre composites”, New York, NY: Elsevier; 2008.
- [27] Luis A. Granda G., “Evaluación de las propiedades de materiales compuestos fabricados a partir de fibras semiquímicas de *Leucaena collinsii* y polipropileno”, Programa de Doctorado en Tecnología, Universitat de Girona, España, Girona, 2016.
- [28] Lukkassen, D., & Meidell, A., “Advanced materials and structures and their fabrication processes”, 3ra. ed., Narvik University College, 2, (2007).
- [29] Hull, D., “An introduction to composite materials”, *Igarss* 2014, (1), pp. 1–5.
- [30] Michaeli, W., “Introducción a la tecnología de los plásticos”, Ed. Hanser, España (2000).
- [31] “Materiales compuestos. Tecnologías de producción”, Centro tecnológico de materiales INASMET, San Sebastián, España (1998).
- [32] Morales G. Antigüedad., “Procesado y caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con nanofibras de carbono para aplicaciones

tecnológicas”, Universidad Complutense de Madrid., Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Madrid, España, 2018.

[33] Michaeli, W., Wegener, M., Capella, F., “Tecnología de los composites/plásticos reforzados”, Ed. Hanser, España (1989).

[34] Mazumdar S., “Composites Manufacturing: Materials, Product and Process Engineering”, CRC Press, 2002.

[35] Campbell F.C., “Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials”, Elsevier, 2006.

[36] Groover, M.P., “Fundamentos de manufactura moderna”, Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, México, 1997.

[37] Gavilán, B., “Relación que existe entre las estructuras y propiedades mecánicas de un acero corrugado después de un tratamiento térmico de recocido, normalizado, temple y revenido”, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú, 2014.

[38] ASTM - Designation: D 155 – 13, “Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials”, This standard is copyrighted by ASTM International, United States.

[39] ASTM - Designation: D 570 – 98, “Standard Test Method for Water Absorption of Plastics” This standard is copyrighted by ASTM International, United States.

[40] V.H. Guerrero, J. Davila, S. Gales, P. Pontón, N Rosas., “Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales, Primera Edición, ISBN: 978-9978-383-20-9. Quito, 2011.

[41] C. J. González., “Caracterización de material compuesto (poliuretano de baja densidad) reforzado con fibras cortas naturales (guadua) obtenido por el método de inyección”, Universidad Libre – Facultad de Ingeniería Mecánica, Bogotá, Colombia, 2017.




[42] A.J. Peacock, A. Calhoun, “Rheological properties of polymeric materials”, in: J. Peacock, A. Calhoun (Eds.), Polymer Science, Hanser, Cincinnati, OH, 2006, pp. 103-113.

[43] L.W. McKeen, "Introduction to the physical, mechanical, and thermal properties of plastics and elastomers", *The Effect of Long Term Thermal Exposure on Plastics and Elastomers*, William Andrew Publishing, Oxford, 2014, pp. 43-71.

[44] Mithun K., Kennath J., Ligin C., Mohammed M., Kripa S., "Mechanical Behaviors of Banana Fibres with Different Mechanical Properties", Department of Mechanical Engineering, Shree Devi Institute of Technology Mangalore, *International Journal of Mechanical Engineering (IJME)*, Mangalore, 2016, pp. 01-12.

ANEXOS

Anexo A: Informe de ensayo de tracción - línea base

| | | | | |
|---|--|---|--|---------------------------|
|  | Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero |  | Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua | |
| RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS | | | | |
| Informe N°: 180375471020190129-ETC | | | | |
| DATOS DEL CLIENTE | | | | |
| Empresa / Cliente: Sr. Luis Geovanny Salán Guevara. | | | | |
| Dirección: Barrio San Vicente-km 1/2 Vía al Puyo. | | | | |
| Núm. de cédula / RUC: 1803754710 | | Teléfono: 0985831879 | | |
| E-mail: cris_fps@hotmail.com | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Laboratorio: Resistencia de Materiales | | | | |
| Designación del material: Materiales compuestos con resina polimérica. | | | | |
| Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polimérica. | | | | |
| Número de Probetas cuantificadas | | | | |
| N° | Identificación del grupo | Código | Configuración | Probetas a Ensayar |
| 1 | 180375471020190129-ETC 01 | PFC-T-ET | Resina poliéster más fibra de cabuya | 5 |
| 2 | 180375471020190129-ETC 02 | PFP-T-ET | Resina poliéster más fibra de plátano | 5 |
| Total | | | | 10 |
| Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente. | | | | |
|  | | | | |
| Código: RG-RM-001 Fecha de Elaboración: 06-07-2016 Fecha de última aprobación: 02-02-2018 Revisión: 3 | | RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS | | Página 1 de 2 |



| ENSAYO SOLICITADO | | | |
|-------------------|-----------------------------|--|------------------|
| No. | No. DE PROBETA | DESCRIPCIÓN | FECHAS RECEPCIÓN |
| 1 | 180375471020190129-ETC 01-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 2 | 180375471020190129-ETC 01-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 3 | 180375471020190129-ETC 01-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 4 | 180375471020190129-ETC 01-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 5 | 180375471020190129-ETC 01-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 6 | 180375471020190129-ETC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 7 | 180375471020190129-ETC 02-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 8 | 180375471020190129-ETC 02-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 9 | 180375471020190129-ETC 02-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 10 | 180375471020190129-ETC 02-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

| | |
|---|---|
| | |
| Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| Cliente | |



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180375471020190129-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_010
Empresa / Cliente: Sr. Luis Geovanny Salán Guevara.
RUC/C.I.: 1803754710 **Ciudad:** Baños.
Dirección: Barrio San Vicente-km 172 Vía al Puyo.
Teléfono: 0985831879 **Correo:** cris_fps@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Ambato/Catigлата. Toronto y Río de Janeiro.
Método de ensayo: ASTM D3039-2015: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz de polimérica.
Tipo de ensayo: Cuantitativo **Tipo de probeta:** Plana
Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50KN
Modelo: MTE-50. **Serie:** 8210M002
Velocidad de ensayo: 10 mm/min **Precarga:** 0 KN
Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/02/12 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2019/02/12
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *materiales compuestos de matriz polimérica*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Código | Configuración | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|----------|---------------------------------------|--------------------|
| 1 | 180375471020190129-ETC 01 | PFC-T-ET | Resina poliéster más fibra de cabuya | 5 |
| 2 | 180375471020190129-ETC 02 | PPF-T-ET | Resina poliéster más fibra de plátano | 5 |
| Total | | | | 10 |

Nota: La fabricación y configuración de las probetas es declarada por el cliente.

Observaciones: Ninguna.

| | | |
|---|---|--|
| | | |
| Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. | Ing. Fernando Tibán R. | Aprobado por: Ing. Esteban López-E. MEng. |
| Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 15 de febrero de 2019

N° de Factura: 001-002-000006398





Resultados:

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|---------|-----------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | |
| 1 | 180375471020190129-ETC 01-1 | 24,5 | 50,5 | 24,88 | 2,46 | 2923,68 | 47,77 | 1792,32 | 2,67 | LGM | |
| 2 | 180375471020190129-ETC 01-2 | 24,5 | 50,5 | 24,94 | 2,56 | 2955,23 | 46,29 | 1345,85 | 3,44 | LGM | |
| 3 | 180375471020190129-ETC 01-3 | 24,5 | 50,5 | 24,92 | 2,53 | 2933,14 | 46,52 | 1505,59 | 3,09 | LAT | |
| 4 | 180375471020190129-ETC 01-4 | 24,5 | 50,5 | 24,95 | 2,38 | 2881,07 | 48,52 | 1490,31 | 3,26 | LGM | |
| 5 | 180375471020190129-ETC 01-5 | 24,5 | 50,5 | 24,79 | 2,24 | 2900,01 | 52,22 | 1653,72 | 3,16 | LAT | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 2918,626 | 48,264 | 1557,557 | 3,122 | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 28,866 | 2,395 | 170,589 | 0,287 | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 0,989 | 4,962 | 10,952 | 9,194 | | |

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|---------|-----------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | |
| 6 | 180375471020190129-ETC 02-1 | 24,5 | 50,6 | 24,91 | 2,63 | 1680,36 | 25,65 | 1670,30 | 1,54 | LAT | |
| 7 | 180375471020190129-ETC 02-2 | 24,5 | 50,6 | 24,86 | 2,72 | 1986,46 | 29,38 | 1804,05 | 1,63 | LGM | |
| 8 | 180375471020190129-ETC 02-3 | 24,5 | 50,6 | 24,84 | 2,39 | 1918,61 | 32,32 | 1957,68 | 1,65 | LAT | |
| 9 | 180375471020190129-ETC 02-4 | 24,5 | 50,6 | 24,78 | 2,50 | 1577,81 | 25,47 | 1925,39 | 1,32 | LGM | |
| 10 | 180375471020190129-ETC 02-5 | 24,5 | 50,6 | 24,86 | 2,48 | 1816,05 | 29,46 | 1996,21 | 1,48 | LGM | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 1795,858 | 28,454 | 1870,728 | 1,523 | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 167,846 | 2,897 | 133,147 | 0,132 | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 9,346 | 10,180 | 7,117 | 8,684 | | |

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

| Primer carácter | Tipo de falla | Segundo carácter | Área de la falla | Tercer carácter | Localización de falla |
|-----------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| L | Lateral | A | En el agarre | T | Parte superior |
| G | Agarre | I | Dentro del agarre | U | Desconocido |
| A | Angular | G | Zona calibrada | M | Medio |

Anexo B: Informe de ensayo de flexión - línea base



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

| | |
|--|----------------------|
| Informe N°: 180375471020190129-EFC | |
| DATOS DEL CLIENTE | |
| Empresa / Cliente: Sr. Luis Geovanny Salán Guevara. | |
| Dirección: Barrio San Vicente-km 1/2 Vía al Puyo. | |
| Núm. de cédula / RUC: 1803754710 | Teléfono: 0985831879 |
| E-mail: cris_fps@hotmail.com | |
| DATOS INFORMATIVOS | |
| Laboratorio: Resistencia de Materiales | |
| Designación del material: Materiales compuestos con resina polimérica. | |
| Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero. | |

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Código | Configuración | Probetas a Ensayar |
|-------|---------------------------|----------|---------------------------------------|--------------------|
| 1 | 180375471020190129-EFC 01 | PFC-T-EF | Resina poliéster más fibra de cabuya | 5 |
| 2 | 180375471020190129-EFC 02 | PPF-T-EF | Resina poliéster más fibra de plátano | 5 |
| Total | | | | 10 |

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



| ENSAYO SOLICITADO | | | |
|-------------------|-----------------------------|--|------------------|
| No. | No. DE PROBETA | DESCRIPCIÓN | FECHAS RECEPCIÓN |
| 1 | 180375471020190129-EFC 01-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 2 | 180375471020190129-EFC 01-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 3 | 180375471020190129-EFC 01-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 4 | 180375471020190129-EFC 01-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 5 | 180375471020190129-EFC 01-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 6 | 180375471020190129-EFC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 7 | 180375471020190129-EFC 02-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 8 | 180375471020190129-EFC 02-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 9 | 180375471020190129-EFC 02-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |
| 10 | 180375471020190129-EFC 02-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 04/02/2019 |

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

| | |
|--|---|
| | |
| Elaborado por: | Aprobado por: |
| Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| Cliente | |



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180375471020190129-EFC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_010

Empresa / Cliente: Sr. Luis Geovanny Salán Guevara.

RUC/C.I.: 1803754710

Ciudad: Baños.

Dirección: Barrio San Vicente-km 1/2 Vía al Puyo.

Teléfono: 0985831879

Correo: cris_fps@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglata, Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Procedimiento: A

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN

Modelo: MTE 50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min. **Precarga:** 0 N **Distancia entre apoyos:** 120 mm

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/02/12 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2019/02/12

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *materiales compuestos de matriz polimérica*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Código | Configuración | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|----------|---------------------------------------|--------------------|
| 1 | 180375471020190129-EFC 01 | PFC-T-EF | Resina poliéster más fibra de cabuya | 5 |
| 2 | 180375471020190129-EFC 02 | PPF-T-EF | Resina poliéster más fibra de plátano | 5 |
| Total | | | | 10 |

Observaciones: Ninguna.

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
|---|---|---|

Elaborado por:

Ing. Fernando Galarza Mg.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Ing. Fernando Tibán R.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Aprobado por:

Ing. Esteban López E. MEng.
Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y Fecha de emisión de Informe: Ambato, 13 de febrero de 2019

N° Factura: 001-002-000006398



Resultados:

| Prueba | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo máximo flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Deformación máxima (%) (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|--------|-----------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|----------------|-------------------------------|---|------------------------------------|------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | | |
| 1 | 180375471020190129-E1C 01-1 | 24,7 | 50,2 | 13,02 | 4,13 | 86,78 | 21,923 | 70,34 | 1864,41 | 3,77 | OLB | |
| 2 | 180375471020190129-E1C 01-2 | 24,7 | 50,2 | 13,06 | 4,24 | 78,89 | 24,672 | 60,48 | 1387,59 | 4,36 | OLB | |
| 3 | 180375471020190129-E1C 01-3 | 24,7 | 50,2 | 13,05 | 4,30 | 67,84 | 18,384 | 50,61 | 1536,43 | 3,29 | OLB | |
| 4 | 180375471020190129-E1C 01-4 | 24,7 | 50,2 | 13,04 | 4,40 | 69,42 | 18,439 | 49,50 | 1464,18 | 3,38 | OLB | |
| 5 | 180375471020190129-E1C 01-5 | 24,7 | 50,2 | 13,05 | 4,35 | 71,00 | 14,808 | 51,75 | 1928,27 | 2,68 | OLB | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 74,786 | 19,645 | 56,535 | 1636,177 | | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 7,938 | 3,772 | 8,854 | 244,303 | | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 10,615 | 19,199 | 15,662 | 14,931 | | | |




| Prueba | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo máximo flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Deformación máxima (%) (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|--------|-----------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|----------------|-------------------------------|---|------------------------------------|------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | | |
| 6 | 180375471020190129-E1C 02-1 | 27,1 | 50,5 | 12,84 | 4,95 | 77,31 | 8,221 | 44,23 | 2608,64 | 1,70 | OLB | |
| 7 | 180375471020190129-E1C 02-2 | 27,1 | 50,5 | 12,65 | 4,43 | 61,53 | 6,814 | 44,61 | 3547,05 | 1,26 | OLB | |
| 8 | 180375471020190129-E1C 02-3 | 27,1 | 50,5 | 12,71 | 4,42 | 80,47 | 7,619 | 58,33 | 4157,26 | 1,40 | OLB | |
| 9 | 180375471020190129-E1C 02-4 | 27,1 | 50,5 | 12,67 | 4,56 | 63,11 | 8,577 | 43,12 | 2645,91 | 1,63 | OLB | |
| 10 | 180375471020190129-E1C 02-5 | 27,1 | 50,5 | 12,66 | 4,45 | 83,62 | 9,851 | 60,04 | 3287,00 | 1,83 | OLB | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 73,208 | 8,216 | 50,067 | 3249,172 | | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 10,202 | 1,132 | 8,364 | 649,806 | | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 13,936 | 13,777 | 16,706 | 19,999 | | | |

Nomenclatura de tipo de falla evaluado:

El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D7264-2015.

| Primer carácter | Segundo carácter | Área de falla | Tercer carácter | Ubicación de falla |
|-----------------|------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| O | Otros | | | |
| | A | En el punto de carga | B | Fondo |
| | L | Entre la carga y el punto de apoyo | V | Varios |
| | U | No conocido | R | Derecha |
| | | | M | Medio |
| | | | U | Desconocido |
| | | | L | Izquierda |
| | | | T | Parte superior |

Anexo C: Informe de ensayo de UV

| | | |
|--|--|---|
|  | ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB) CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS C I A P |  |
| <small>Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253 Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es Quito- Ecuador</small> | | |
| INFORME DE ANÁLISIS ORDEN DC-OT0009-2019 | | |
| Proforma: | DC-P0610-2019 | |
| Empresa solicitante: | Luis Salan | |
| Dirección: | La Vicentina | |
| Fecha de recepción de muestra: | 01-02-2019 | |
| Fecha de entrega de resultados: | 19-02-2019 | |
| Análisis solicitados: | 200 Horas de Exposición en Cámara de Xe. Elaboración de Informe por cada ensayo Revisión por cada muestra. | |
| |  | |



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS
C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte, Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO

ORDEN: DC-OT0009-2019

IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S) Y SERVICIO (S)

| No. muestra | ID Muestra | Descripción de muestra | Servicio/Analito | Laboratorio |
|-------------|------------|------------------------|---|-------------|
| 1 | DC-MU4859 | MUESTRAS COMPUESTAS | 200 horas exposición en cámara de xenón | CIAP |
| 1 | DC-MU4859 | MUESTRAS COMPUESTAS | Revisión por cada muestra | CIAP |
| 1 | DC-MU4859 | MUESTRAS COMPUESTAS | Elaboración de informe por cada ensayo | CIAP |

1. Ensayo en cámara de arco de xenón

Antecedentes:

Sobre las muestras que se presentan a continuación, el cliente solicitó realizar ensayos de degradación en cámara de arco de xenón (para simular el ataque de la radiación UV) con un ciclo total de 100 y 200 horas de ensayo, de acuerdo con la norma ASTM G 155 "Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials".

El cliente hizo la entrega de 2 muestras. Las mismas que se detallan a continuación:

Muestra # 1: DE FIBRA DE CABUYA (PFC)

Muestra #2: DE FIBRA DE PLÁTANO (PFP)



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS
C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elizabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



Metodología:

- ✓ Se procedió a realizar el ensayo directamente sobre las muestras, tal cual fueron entregadas por el cliente, sin que se las haya sometido a ningún proceso preparativo o limpieza. Se siguió el procedimiento estipulado en la norma ASTM G 155- 13 "*Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials*", con las siguientes condiciones:
 - LONGITUD DE ONDA: 340 nm
 - RADIACIÓN: 0.35W/m²
 - TEMPERATURA: 60±5 °C
 - ENERGÍA DE EXPOSICIÓN: ~2.0kJ/m².h
 - ASPERSIÓN DE AGUA

- ✓ Se realizó una evaluación visual de las muestras para evaluar los cambios registrados con respecto a su estado inicial, para lo cual se tomaron registros fotográficos al inicio y cada 100 y 200 horas del ensayo.

Equipos:

- ✓ Cámara de arco de xenón Q-SUN

Resultados:

JXN



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLIMEROS

C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
 Personas de Contacto: Tíga Elizabeth Venegas
 Troncat: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@lepn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
 Quito- Ecuador



| MUESTRA DE FIBRA DE CABUYA – 100 HORAS | | | | | |
|--|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| PATRÓN TESTIGO | MUESTRA 1 | MUESTRA 2 | MUESTRA 3 | MUESTRA 4 | MUESTRA 5 |
| PFC-T-EF-01 | PFC-EUV100-EF-01 | PFC-EUV100-EF-02 | PFC-EUV100-EF-03 | PFC-EUV100-EF-04 | PFC-EUV100-EF-05 |
| | | | | | |
| OBSERVACIONES | COLOR: Se toma de un color amarillento leve TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable | | | | |



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS**

C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orrellana Ricuarte, Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tija. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121 E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



| MUESTRA DE FIBRA DE CABUYA – 100 HORAS | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| PATRÓN TESTIGO | MUESTRA 6 | MUESTRA 7 | MUESTRA 8 | MUESTRA 9 | MUESTRA 10 |
| PFC-T-ET-01 | PFC-EUV100-ET-01 | PFC-EUV100-ET-02 | PFC-EUV100-ET-03 | PFC-EUV100-ET-04 | PFC-EUV100-ET-05 |
| | | | | | |
| OBSERVACIONES COLOR: Se torna de un color amarillento leve TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable | | | | | |









**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS**

C I A P

Campus Politécnico- José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tga. Elizabeth Venegas
Troncat: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121.E-mail: elizabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



| MUESTRA DE FIBRA DE CABUYA – 200 HORAS | | | | | |
|--|---|--|---|--|--|
| PATRÓN TESTIGO | MUESTRA 11 | MUESTRA 12 | MUESTRA 13 | MUESTRA 14 | MUESTRA 15 |
|  |  |  |  |  |  |
| OBSERVACIONES | COLOR: Se torna de un color amarillento leve TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable | | | | |









**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLIMEROS**

C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tígar. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



| MUESTRA DE FIBRA DE CABUYA – 200 HORAS | | | | | |
|--|--|--|---|--|--|
| PATRÓN TESTIGO | MUESTRA 16 | MUESTRA 17 | MUESTRA 18 | MUESTRA 19 | MUESTRA 20 |
| PFC-T-ET-01 | PFC-EUV200-ET-01 | PFC-EUV200-ET-02 | PFC-EUV200-ET-03 | PFC-EUV200-ET-04 | PFC-EUV200-ET-05 |
|  |  |  |  |  |  |
| OBSERVACIONES | COLOR: Se toma de un color amarillento leve TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable | | | | |



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS
C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
 Personales de Contacto: Tigo. Elizabeth Venegas
 Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
 Quito- Ecuador



| MUESTRA DE FIBRA DE PLÁTANO – 100 HORAS | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| PATRÓN TESTIGO | MUESTRA 21 | MUESTRA 22 | MUESTRA 23 | MUESTRA 24 | MUESTRA 25 |
| PPF-T-EF-01 | PPF-EUV100-EF-01 | PPF-EUV100-EF-02 | PPF-EUV100-EF-03 | PPF-EUV100-EF-04 | PPF-EUV100-EF-05 |
| | | | | | |
| OBSERVACIONES | COLOR: Se torna de un color amarillento leve TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable | | | | |



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS**

C I A P

Campus Politécnico José Rubén Oriellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121 E-mail: elizabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



| MUESTRA DE FIBRA DE PLÁTANO – 100 HORAS | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| PATRÓN TESTIGO | MUESTRA 26 | MUESTRA 27 | MUESTRA 28 | MUESTRA 29 | MUESTRA 30 |
| PPF-T-ET-01 | PPF-EUV100-ET-01 | PPF-EUV100-ET-02 | PPF-EUV100-ET-03 | PPF-EUV100-ET-04 | PPF-EUV100-ET-05 |
| | | | | | |
| OBSERVACIONES | COLOR: Se toma de un color amarillento leve TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable | | | | |



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS**

C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tíga. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121 E-mail: elizabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



| MUESTRA DE FIBRA DE PLÁTANO – 200 HORAS | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| PATRÓN TESTIGO | MUESTRA 31 | MUESTRA 32 | MUESTRA 33 | MUESTRA 34 | MUESTRA 35 |
| PPP-T-EF-01 | PPP-EUV200-EF-01 | PPP-EUV200-EF-02 | PPP-EUV200-EF-03 | PPP-EUV200-EF-04 | PPP-EUV200-EF-05 |
| COLOR: Se torna de un color amarillento leve TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable | | | | | |



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS**

C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Troncat: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121 E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



| MUESTRA DE FIBRA DE PLÁTANO – 200 HORAS | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| PATRÓN TESTIGO | MUESTRA 36 | MUESTRA 37 | MUESTRA 38 | MUESTRA 39 | MUESTRA 40 |
| PPP-T-ET-01 | PPP-EUV200-ET-01 | PPP-EUV200-ET-02 | PPP-EUV200-ET-03 | PPP-EUV200-ET-04 | PPP-EUV200-ET-05 |
| | | | | | |
| OBSERVACIONES | COLOR: Se torna de un color amarillento leve TEXTURA: No hay cambio apreciable ASPECTO: No hay cambio apreciable | | | | |



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS A POLÍMEROS
C I A P

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte. Direc.: Ladrón de Guevara E11-253
Personas de Contacto: Tlga. Elizabeth Venegas
Troncal: 2976300 ext. 2122, 2120, 2121. E-mail: elisabeth.venegas@epn.edu.ec / lizvenegas4@yahoo.es
Quito- Ecuador



PROFESIONAL RESPONSABLE
DEL ANÁLISIS


Tlga. Elizabeth Venegas

AUTORIDAD AUTÉNTICADORA
(DIRECTOR (E) CIAP)


Francisco Cadena

QUEJAS Y SUGERENCIAS

El cliente puede canalizar las quejas sobre los resultados de los análisis, sobre el tiempo de entrega del informe u otro aspecto, a través del Jefe del DECAB (francisco.quiroz@epn.edu.ec) hasta 8 días después de la entrega del informe. En el DECAB se mantiene un registro de quejas y sugerencias con el fin de mejorar el servicio.

El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo realizado antes de la entrega de las muestras al DECAB, pero si se responsabiliza de las muestras recibidas en las condiciones tal como las entrega el cliente.

Anexo D: Informe de ensayo de tracción post exposición a 100 y 200 horas a UV



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carroceros



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

| | |
|---|-----------------------------|
| Informe N°: 180375471020190226-ETC | |
| DATOS DEL CLIENTE | |
| Empresa / Cliente: Luis Geovanny Salan Guevara. | |
| Dirección: Barrio San Vicente-Km 1/2 Vía al Puyo. | |
| Núm. de cédula / RUC: 1803754710 | Teléfono: 0987854474 |
| E-mail: cris_fps@hotmail.com | |
| DATOS INFORMATIVOS | |
| Laboratorio: Resistencia de Materiales | |
| Designación del material: Materiales compuestos de fibra de cabuya resina poliéster, fibra de plátano resina poliéster. | |
| Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polimérica. | |

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Código | Configuración | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|---------------|---|--------------------|
| 1 | 180375471020190226-ETC 01 | PFC-EUV100-ET | Resina poliéster más fibra de cabuya, 100 horas UV | 5 |
| 2 | 180375471020190226-ETC 02 | PFP-EUV100-ET | Resina poliéster más fibra de plátano, 100 horas UV | 5 |
| 1 | 180375471020190226-ETC 03 | PFC-EUV200-ET | Resina poliéster más fibra de cabuya, 200 horas UV | 5 |
| 2 | 180375471020190226-ETC 04 | PFP-EUV200-ET | Resina poliéster más fibra de plátano, 200 horas UV | 5 |
| Total | | | | 20 |

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



| ENSAYO SOLICITADO | | | |
|-------------------|-----------------------------|--|------------------|
| No. | No. DE PROBETA | DESCRIPCIÓN | FECHAS RECEPCIÓN |
| 1 | 180375471020190226-ETC 01-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 2 | 180375471020190226-ETC 01-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 3 | 180375471020190226-ETC 01-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 4 | 180375471020190226-ETC 01-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 5 | 180375471020190226-ETC 01-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 6 | 180375471020190226-ETC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 7 | 180375471020190226-ETC 02-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 8 | 180375471020190226-ETC 02-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 9 | 180375471020190226-ETC 02-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 10 | 180375471020190226-ETC 02-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 11 | 180375471020190226-ETC 03-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 12 | 180375471020190226-ETC 03-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 13 | 180375471020190226-ETC 03-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 14 | 180375471020190226-ETC 03-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 15 | 180375471020190226-ETC 03-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 16 | 180375471020190226-ETC 04-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 17 | 180375471020190226-ETC 04-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 18 | 180375471020190226-ETC 04-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 19 | 180375471020190226-ETC 04-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 20 | 180375471020190226-ETC 04-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

| | |
|---|---|
| | |
| Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| Cliente | |



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180375471020190226-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_019

Empresa / Cliente: Luis Geovanny Salan Guevara.

RUC/C.I.: 1803754710

Ciudad: Baños.

Dirección: Barrio San Vicente - Km 1/2 Vía al Puyo.

Teléfono: 0987854474

Correo: cris_fps@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglatá. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.

Tipo de ensayo: Cuantitativo **Tipo de probeta:** Plana

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50KN

Modelo: MTE-50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min

Precarga: 0,01 N

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/03/07 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2019/03/08

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *materiales compuestos de matriz polimérica*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Código | Configuración | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|---------------|---|--------------------|
| 1 | 180375471020190226-ETC 01 | PFC-EUV100-ET | Resina poliéster más fibra de cabuya, 100 horas UV | 5 |
| 2 | 180375471020190226-ETC 02 | PPF-EUV100-ET | Resina poliéster más fibra de plátano, 100 horas UV | 5 |
| 3 | 180375471020190226-ETC 03 | PFC-EUV200-ET | Resina poliéster más fibra de cabuya, 200 horas UV | 5 |
| 4 | 180375471020190226-ETC 04 | PPF-EUV200-ET | Resina poliéster más fibra de plátano, 200 horas UV | 5 |
| Total | | | | 20 |

Nota: La fabricación y configuración de las probetas es declarada por el cliente.

Observaciones: Ninguna.

| | | |
|--|---|--|
| | | |
| Elaborado por: | Aprobado por: | |
| Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Ing. Esteban López E. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 14 de marzo de 2019

N° de Factura: 001-002-000006611



Resultados:

| Prob eta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|---------|-------------------------|--|--|--------------------------------|------------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | |
| 1 | 180375471020190226-ETC-01-1 | 20,0 | 60,6 | 24,79 | 2,6 | 2898,43 | 44,97 | 655,76 | 6,86 | LGT | |
| 2 | 180375471020190226-ETC-01-2 | 20,0 | 60,6 | 24,97 | 2,45 | 2931,56 | 47,92 | 649,54 | 7,38 | LGT | |
| 3 | 180375471020190226-ETC-01-3 | 20,0 | 60,6 | 24,92 | 2,65 | 3262,9 | 49,41 | 608,37 | 8,12 | LGU | |
| 4 | 180375471020190226-ETC-01-4 | 20,0 | 60,6 | 24,79 | 2,67 | 2906,32 | 43,91 | 549,84 | 7,99 | LGT | |
| 5 | 180375471020190226-ETC-01-5 | 20,0 | 60,6 | 24,73 | 2,52 | 2750,12 | 44,13 | 550,70 | 8,01 | LGT | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 2949,866 | 46,067 | 602,841 | 7,671 | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 188,922 | 2,461 | 51,332 | 0,540 | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 6,404 | 5,342 | 8,515 | 7,042 | | |

| Prob eta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|---------|-------------------------|--|--|--------------------------------|------------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | |
| 6 | 180375471020190226-ETC-02-1 | 19,6 | 62,6 | 24,79 | 2,55 | 1969,1 | 31,15 | 912,36 | 3,41 | LGT | |
| 7 | 180375471020190226-ETC-02-2 | 19,6 | 62,6 | 24,78 | 2,84 | 1950,17 | 27,71 | 954,46 | 2,90 | LGU | |
| 8 | 180375471020190226-ETC-02-3 | 19,6 | 62,6 | 24,91 | 2,74 | 1647,23 | 24,13 | 886,74 | 2,72 | LGM | |
| 9 | 180375471020190226-ETC-02-4 | 19,6 | 62,6 | 24,82 | 2,77 | 1623,56 | 23,61 | 788,48 | 3,00 | LGM | |
| 10 | 180375471020190226-ETC-02-5 | 19,6 | 62,6 | 24,87 | 2,81 | 1708,76 | 24,45 | 845,57 | 2,89 | LGT | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 1779,764 | 26,212 | 877,521 | 2,985 | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 167,252 | 3,193 | 63,575 | 0,259 | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 9,397 | 12,183 | 7,245 | 8,687 | | |



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

| Prob eta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|---------|-------------------------|--|--|--------------------------------|------------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | |
| 11 | 180375471020190226-ETC-03-1 | 20,3 | 59,6 | 24,88 | 2,97 | 2832,16 | 38,33 | 544,36 | 7,04 | LGU | |
| 12 | 180375471020190226-ETC-03-2 | 20,3 | 59,6 | 24,81 | 2,56 | 3043,59 | 47,92 | 630,18 | 7,60 | LGU | |
| 13 | 180375471020190226-ETC-03-3 | 20,3 | 59,6 | 24,69 | 2,84 | 2903,16 | 41,40 | 569,18 | 7,27 | LGU | |
| 14 | 180375471020190226-ETC-03-4 | 20,3 | 59,6 | 24,88 | 2,82 | 2915,79 | 41,56 | 569,68 | 7,30 | LGM | |
| 15 | 180375471020190226-ETC-03-5 | 20,3 | 59,6 | 24,92 | 2,52 | 2866,87 | 45,65 | 623,23 | 7,33 | LGT | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 2912,314 | 42,972 | 587,328 | 7,308 | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 80,342 | 3,798 | 37,460 | 0,200 | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 2,759 | 8,838 | 6,378 | 2,743 | | |

| Prob eta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|---------|-------------------------|--|--|--------------------------------|------------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | |
| 16 | 180375471020190226-ETC-04-1 | 20,8 | 57,9 | 24,95 | 2,83 | 1976,99 | 28,00 | 832,90 | 3,36 | LGM | |
| 17 | 180375471020190226-ETC-04-2 | 20,8 | 57,9 | 24,79 | 2,79 | 1814,48 | 26,23 | 834,38 | 3,14 | LGM | |
| 18 | 180375471020190226-ETC-04-3 | 20,8 | 57,9 | 24,81 | 2,97 | 1934,39 | 26,25 | 858,61 | 3,06 | LGU | |
| 19 | 180375471020190226-ETC-04-4 | 20,8 | 57,9 | 24,96 | 2,78 | 1874,43 | 27,01 | 891,78 | 3,03 | LGM | |
| 20 | 180375471020190226-ETC-04-5 | 20,8 | 57,9 | 24,91 | 2,76 | 1880,74 | 27,36 | 967,77 | 2,83 | LGT | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 1896,206 | 26,971 | 877,087 | 3,084 | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 62,001 | 0,753 | 56,028 | 0,194 | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 3,270 | 2,791 | 6,388 | 6,293 | | |

Código: RG-RM-004

Fecha de Elaboración: 11-05-2016

Fecha de última aprobación: 21-06-2017

Revisión: 7

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 3 de 4



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura:

Tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

| Primer caracter | Tipo de falla | Segundo caracter | Área de la falla | Tercer caracter | Localización de falla |
|-----------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| L | Lateral | A | En el agarre | T | Parte superior |
| G | Agarre | I | Dentro del agarre | U | Desconocido |
| A | Angular | G | Zona calibrada | M | Medio |

Anexo E: Informe de ensayo de flexión post exposición a 100 y 200 horas a UV



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

| | |
|---|-----------------------------|
| Informe N°: 180375471020190226-EFC | |
| DATOS DEL CLIENTE | |
| Empresa / Cliente: Luis Geovanny Salan Guevara. | |
| Dirección: Barrio San Vicente-Km 1/2 Vía al Puyo. | |
| Núm. de cédula / RUC: 1803754710 | Teléfono: 0987854474 |
| E-mail: cris_fps@hotmail.com | |
| DATOS INFORMATIVOS | |
| Laboratorio: Resistencia de Materiales | |
| Designación del material: Materiales compuestos de fibra de cabuya resina poliéster, fibra de plátano resina poliéster. | |
| Método de ensayo: ASTM D7264-2015; Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero. | |

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Código | Configuración | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|---------------|---|--------------------|
| 1 | 180375471020190226-EFC 01 | PFC-EUV100-ET | Resina poliéster más fibra de cabuya, 100 horas UV | 5 |
| 2 | 180375471020190226-EFC 02 | PPF-EUV100-ET | Resina poliéster más fibra de plátano, 100 horas UV | 5 |
| 1 | 180375471020190226-EFC 03 | PFC-EUV200-ET | Resina poliéster más fibra de cabuya, 200 horas UV | 5 |
| 2 | 180375471020190226-EFC 04 | PPF-EUV200-ET | Resina poliéster más fibra de plátano, 200 horas UV | 5 |
| Total | | | | 20 |

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



| ENSAYO SOLICITADO | | | |
|-------------------|-----------------------------|--|------------------|
| No. | No. DE PROBETA | DESCRIPCIÓN | FECHAS RECEPCIÓN |
| 1 | 180375471020190226-EFC 01-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 2 | 180375471020190226-EFC 01-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 3 | 180375471020190226-EFC 01-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 4 | 180375471020190226-EFC 01-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 5 | 180375471020190226-EFC 01-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 6 | 180375471020190226-EFC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 7 | 180375471020190226-EFC 02-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 8 | 180375471020190226-EFC 02-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 9 | 180375471020190226-EFC 02-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 10 | 180375471020190226-EFC 02-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 11 | 180375471020190226-EFC 03-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 12 | 180375471020190226-EFC 03-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 13 | 180375471020190226-EFC 03-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 14 | 180375471020190226-EFC 03-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 15 | 180375471020190226-EFC 03-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 16 | 180375471020190226-EFC 04-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 17 | 180375471020190226-EFC 04-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 18 | 180375471020190226-EFC 04-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 19 | 180375471020190226-EFC 04-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |
| 20 | 180375471020190226-EFC 04-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 26/02/2019 |

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

| | |
|---|---|
| | |
| Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| Cliente | |



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180375471020190226-EFC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2019_019

Empresa / Cliente: Luis Geovanny Salan Guevara.

RUC/C.I.: 1803754710

Ciudad: Baños.

Dirección: Barrio San Vicente- Km 172 Vía al Puyo. **Teléfono:** 0987854474

Correo: cris_fps@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglata, Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Procedimiento: A

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polimeros Metrotest 50 KN

Modelo: MTE 50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min. **Precarga:** 100 N. **Distancia entre apoyos:** 128 mm

Fecha de Inicio de Ensayo: 2018/10/11 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2018/10/11.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *materiales compuestos de matriz polimérica*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Código | Configuración | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|---------------|---|--------------------|
| 1 | 180375471020190226-ETC 01 | PFC-EUV100-ET | Resina poliéster más fibra de cabuya, 100 horas UV | 5 |
| 2 | 180375471020190226-ETC 02 | PPP-EUV100-ET | Resina poliéster más fibra de plátano, 100 horas UV | 5 |
| 3 | 180375471020190226-ETC 03 | PFC-EUV200-ET | Resina poliéster más fibra de cabuya, 200 horas UV | 5 |
| 4 | 180375471020190226-ETC 04 | PPP-EUV200-ET | Resina poliéster más fibra de plátano, 200 horas UV | 5 |
| Total | | | | 20 |

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.

Observaciones: Ninguna.

| | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|

Elaborado por:

Ing. Fernando Galarza Mg.
Analista Técnico Área de
Ensayos e Inspecciones CFPMC

Ing. Fernando Tibán R.
Analista Técnico Área de
Ensayos e Inspecciones CFPMC

Aprobado por:

Ing. Esteban López E. MEng.
Director Técnico Área de Ensayos
e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 14 de marzo de 2019

N° de Factura: 001-002-000006611



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo máximo de flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Deformación máxima (%) (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|---------|-----------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|----------------|----------------------------------|---|------------------------------------|------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | | |
| 1 | 180375471020190226-EFC 01-1 | 24.5 | 49.7 | 13.01 | 3.97 | 53.64 | 21.85 | 50.23 | 1581.10 | 3.18 | OAB | |
| 2 | 180375471020190226-EFC 01-2 | 24.5 | 49.7 | 12.94 | 4.12 | 53.64 | 19.869 | 46.89 | 1564.07 | 3.00 | OAB | |
| 3 | 180375471020190226-EFC 01-3 | 24.5 | 49.7 | 12.98 | 4.58 | 59.96 | 21.52 | 42.28 | 1171.43 | 3.61 | OAB | |
| 4 | 180375471020190226-EFC 01-4 | 24.5 | 49.7 | 12.84 | 4.20 | 53.64 | 21.319 | 45.47 | 1386.69 | 3.28 | OAB | |
| 5 | 180375471020190226-EFC 01-5 | 24.5 | 49.7 | 13.00 | 4.54 | 64.69 | 8.584 | 46.35 | 3247.93 | 1.43 | OAB | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 57.114 | 18.63 | 46.24 | 1790.24 | 2.90 | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 5.042 | 5.67 | 2.85 | 831.49 | 0.85 | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 8.829 | 30.42 | 6.17 | 46.45 | 29.39 | | |

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo máximo de flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Deformación máxima (%) (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|---------|-----------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|----------------|----------------------------------|---|------------------------------------|------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | | |
| 6 | 180375471020190226-EFC 02-1 | 23.2 | 51 | 12.54 | 4.83 | 56.8 | 8.584 | 37.28 | 2455.22 | 1.52 | OAB | |
| 7 | 180375471020190226-EFC 02-2 | 23.2 | 51 | 12.75 | 4.78 | 61.53 | 9.957 | 40.55 | 2326.67 | 1.74 | OAB | |
| 8 | 180375471020190226-EFC 02-3 | 23.2 | 51 | 12.65 | 4.61 | 37.87 | 7.155 | 27.05 | 2239.04 | 1.21 | OAB | |
| 9 | 180375471020190226-EFC 02-4 | 23.2 | 51 | 12.63 | 4.89 | 64.69 | 10.765 | 41.13 | 2133.35 | 1.93 | OAB | |
| 10 | 180375471020190226-EFC 02-5 | 23.2 | 51 | 12.61 | 4.79 | 58.38 | 10.061 | 38.74 | 2195.19 | 1.76 | OAB | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 55.854 | 9.30 | 36.95 | 2269.89 | 1.63 | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 10.500 | 1.44 | 5.74 | 125.24 | 0.28 | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 18.799 | 15.45 | 15.54 | 5.52 | 17.06 | | |



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo máximo de flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Deformación máxima (%) (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|---------|------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|----------------|----------------------------------|---|------------------------------------|------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | | |
| 11 | 180375471020190226- EFC 03-1 | 25.5 | 50.5 | 12.92 | 4.03 | 63.11 | 27.329 | 57.75 | 1431.75 | 4.03 | OAB | |
| 12 | 180375471020190226- EFC 03-2 | 25.5 | 50.5 | 13.07 | 4.32 | 74.16 | 27.001 | 58.38 | 1366.57 | 4.27 | OAB | |
| 13 | 180375471020190226- EFC 03-3 | 25.5 | 50.5 | 12.91 | 4.45 | 58.38 | 20.953 | 43.84 | 1284.05 | 3.41 | OAB | |
| 14 | 180375471020190226- EFC 03-4 | 25.5 | 50.5 | 12.90 | 4.45 | 78.89 | 32.385 | 59.29 | 1123.51 | 5.28 | OAB | |
| 15 | 180375471020190226- EFC 03-5 | 25.5 | 50.5 | 12.84 | 4.07 | 52.07 | 20.668 | 47.00 | 1525.85 | 3.08 | OAB | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 65.322 | 25.67 | 53.25 | 1346.35 | 4.02 | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 11.078 | 4.92 | 7.25 | 152.85 | 0.85 | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 16.959 | 19.17 | 13.62 | 11.35 | 21.18 | | |

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo máximo de flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Deformación máxima (%) (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|---------|------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|----------------|----------------------------------|---|------------------------------------|------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | | |
| 16 | 180375471020190226- EFC 04-1 | 25.6 | 48.1 | 12.66 | 5.01 | 55.22 | 8.545 | 33.36 | 2128.18 | 1.57 | OAB | |
| 17 | 180375471020190226- EFC 04-2 | 25.6 | 48.1 | 12.73 | 4.98 | 53.64 | 9.122 | 32.62 | 1960.89 | 1.66 | OAB | |
| 18 | 180375471020190226- EFC 04-3 | 25.6 | 48.1 | 12.70 | 4.75 | 52.07 | 9.492 | 34.89 | 2113.08 | 1.65 | OAB | |
| 19 | 180375471020190226- EFC 04-4 | 25.6 | 48.1 | 12.77 | 5.11 | 75.73 | 11.238 | 43.61 | 2073.46 | 2.10 | OAB | |
| 20 | 180375471020190226- EFC 04-5 | 25.6 | 48.1 | 12.73 | 4.85 | 56.8 | 10.569 | 36.42 | 1940.13 | 1.88 | OAB | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 58.692 | 9.79 | 36.18 | 2043.14 | 1.77 | | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 9.686 | 1.09 | 4.40 | 87.20 | 0.22 | | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 16.504 | 11.17 | 12.16 | 4.27 | 12.25 | | |

Código: RG-RM-005
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 18-04-2018
Revisión: 9

INFORME DE ENSAYO DE FLEXIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 3 de 4

Nomenclatura de tipo de falla evaluado:

El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D7264-2015.

| Primer carácter | | Segundo carácter | Área de falla | Tercer carácter | Ubicación de falla |
|-----------------|-------|------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| O | Otros | A | En el punto de carga | B | Fondo |
| | | L | Entre la carga y el punto de apoyo | V | Varios |
| | | U | No conocido | R | Derecha |
| | | | | M | Medio |
| | | | | U | Desconocido |
| | | | | L | Izquierda |
| | | | | T | Parte superior |

Anexo F: Informe de ensayo de humedad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA EN MATERIALES
POLIMÉRICOS



MARZO DE 2019
AMBATO – ECUADOR



LABORATORIO MATERIALES



INFORME TÉCNICO

Lb1-0001-2019

Objetivo

Determinar el porcentaje de absorción de agua que poseen los materiales poliméricos.

Alcance

- ❖ El método de prueba está destinado a aplicarse a la prueba de todos los tipos de Plásticos, incluidos los moldeados, moldeados en caliente y resinosos moldeados en frío.
- ❖ Proceso de medida bajo normas ASTM D 570 – 98: "Método de prueba estándar para Absorción de agua de plásticos"
- ❖ Referencias a Normas ASTM D 647 "Práctica para el diseño de moldes para muestras de ensayo de Materiales de moldeo de plástico", Norma ISO: "Plásticos ISO 62 - Determinación de la absorción de agua".

ANTECEDENTES:

Con fecha 15 de enero de 2019, el Sr. Luis Geovanny Salán Guevara, domiciliado en la ciudad de Baños – Tungurahua, solicita al Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para evaluar la absorción de humedad bajo norma ASTM D 5670-98 de dos materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras naturales (Cabuya y Plátano).

Se reciben N° muestras o probetas, según los grupos:

- ❖ Grupo 1: 5 muestras ingresadas bajo el nombre de: (Resina poliéster combinado con fibra de Cabuya) de forma rectangular (probeta para ensayos de tracción: 235x25mm, espesor 3mm+/- 0.5mm).
- ❖ Grupo 2: 5 muestras ingresadas bajo el nombre de: (Resina poliéster combinado con fibra de Plátano) de forma rectangular (probeta para ensayos de tracción: 235x25mm, espesor 3mm+/- 0.5mm).
- ❖ Grupo 3: 5 muestras ingresadas bajo el nombre de: (Resina poliéster combinado con fibra de Cabuya) de forma rectangular (probeta para ensayos de flexión: 120x10mm, espesor 4mm+/-0.5mm).
- ❖ Grupo 1: 5 muestras ingresadas bajo el nombre de: (Resina poliéster combinado con fibra de Plátano) de forma rectangular (probeta para ensayos de flexión: 120x10mm, espesor 4mm+/-0.5mm).

PROCESO GENERAL:

Lo especificado en la norma ASTM D 570 – 98, Bajo procedimiento de prueba a largo tiempo de inmersión (inciso 7.4 de la norma)



LABORATORIO MATERIALES



En diferentes períodos de tiempo, se calculó el porcentaje de ganancia de peso y se representó gráficamente frente a la raíz cuadrada del tiempo de inmersión en agua. Como resultado, se reportó el valor promedio. La diferencia de peso entre la muestra en condiciones secas y después de la inmersión en agua en el momento mediante la siguiente fórmula:

$$M_t(\%) = \frac{m_t - m_i}{m_i} * 100$$

Donde m_t es el peso de la muestra en el momento t durante la inmersión en agua y m_i es el peso de la muestra seca en el momento inicial.

CONDICIONES DE ENSAYO

- ❖ Temperatura prom. de ensayo: 20 °C
- ❖ Acondicionamiento: Secado a horno infrarrojo por 24 horas
- ❖ Tipo de inmersión: Agua desionizada a temperatura ambiente
- ❖ Tiempo de inmersión: Procedimiento de inmersión a largo plazo

EQUIPOS Y MATERIALES

- ❖ Balanza electrónica en gramos digital de tres cifras decimales
- ❖ Contenedor para sumergir muestras
- ❖ Agua desionizada

RESULTADOS

Fotografía pesaje de muestras





LABORATORIO MATERIALES



| Probeta de flexión (Resina poliéster + Plátano) | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|----------|--------|--------|--------|--------|-------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|
| Nº | Tiempo | Peso (g) | | | | | Índice de humedad | | | | | Índice de humedad promedio |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 0 hrs | 9,346 | 9,266 | 9,487 | 9,111 | 8,823 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 2 | 2 hrs | 9,776 | 9,752 | 9,912 | 9,526 | 9,23 | 4,60% | 5,24% | 4,48% | 4,55% | 4,61% | 4,70% |
| 3 | 1 día | 10,063 | 10,078 | 10,236 | 9,8 | 9,524 | 7,67% | 8,76% | 7,90% | 7,56% | 7,95% | 7,97% |
| 4 | 1 sem | 10,078 | 10,135 | 10,368 | 10,001 | 9,576 | 7,83% | 9,38% | 9,29% | 9,77% | 8,53% | 8,96% |
| 5 | 3 sem | 10,567 | 10,694 | 10,827 | 10,329 | 10,143 | 13,06% | 15,41% | 14,12% | 13,37% | 14,96% | 14,19% |
| 6 | 5 sem | 10,647 | 10,940 | 10,929 | 10,399 | 10,207 | 13,92% | 18,07% | 15,20% | 14,14% | 15,69% | 15,40% |

| Probeta de tracción (Resina poliéster + Plátano) | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|----------|--------|--------|--------|--------|-------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|
| Nº | Tiempo | Peso (g) | | | | | Índice de humedad | | | | | Índice de humedad promedio |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 0 hrs | 15,330 | 14,522 | 15,102 | 14,007 | 14,964 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 2 | 2 hrs | 15,836 | 14,924 | 15,62 | 14,575 | 15,524 | 3,30% | 2,77% | 3,43% | 4,06% | 3,74% | 3,46% |
| 3 | 1 día | 15,912 | 15,216 | 15,89 | 14,807 | 15,7 | 3,80% | 4,78% | 5,22% | 5,71% | 4,92% | 4,88% |
| 4 | 1 sem | 16,36 | 15,869 | 16,488 | 15,438 | 16,466 | 6,72% | 9,28% | 9,18% | 10,22% | 10,04% | 9,09% |
| 5 | 3 sem | 16,676 | 16,107 | 16,901 | 15,654 | 16,568 | 8,78% | 10,91% | 11,91% | 11,76% | 10,72% | 10,82% |
| 6 | 5 sem | 16,430 | 15,840 | 16,502 | 15,515 | 16,318 | 7,18% | 9,08% | 9,27% | 10,77% | 9,05% | 9,07% |

| Probeta de flexión (Resina poliéster + Cabuya) | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|----------|--------|-------|--------|-------|-------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|
| Nº | Tiempo | Peso (g) | | | | | Índice de humedad | | | | | Índice de humedad promedio |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 0 hrs | 8,861 | 8,58 | 8,193 | 8,496 | 8,414 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 2 | 2 hrs | 9,181 | 8,953 | 8,563 | 8,874 | 8,778 | 3,61% | 4,35% | 4,52% | 4,45% | 4,33% | 4,25% |
| 3 | 1 día | 9,545 | 9,363 | 8,934 | 9,282 | 9,165 | 7,72% | 9,13% | 9,04% | 9,25% | 8,93% | 8,81% |
| 4 | 1 sem | 9,996 | 9,827 | 9,343 | 9,844 | 9,618 | 12,81% | 14,53% | 14,04% | 15,87% | 14,31% | 14,31% |
| 5 | 3 sem | 10,168 | 10,009 | 9,519 | 10,151 | 9,877 | 14,75% | 16,66% | 16,18% | 19,48% | 17,39% | 16,89% |
| 6 | 5 sem | 10,284 | 10,130 | 9,210 | 9,819 | 9,989 | 16,06% | 18,07% | 12,41% | 15,57% | 18,72% | 16,17% |

| Probeta de tracción (Resina poliéster + Cabuya) | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|----------|--------|--------|--------|--------|-------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|
| Nº | Tiempo | Peso (g) | | | | | Índice de humedad | | | | | Índice de humedad promedio |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 0 hrs | 14,699 | 14,416 | 14,169 | 14,106 | 15,477 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 2 | 2 hrs | 15,097 | 14,81 | 14,667 | 14,451 | 15,87 | 2,71% | 2,73% | 3,51% | 2,45% | 2,54% | 2,79% |
| 3 | 1 día | 15,691 | 15,459 | 15,325 | 15,167 | 16,644 | 6,75% | 7,24% | 8,16% | 7,52% | 7,54% | 7,44% |
| 4 | 1 sem | 16,128 | 16,045 | 15,646 | 15,62 | 17,096 | 9,72% | 11,30% | 10,42% | 10,73% | 10,46% | 10,53% |
| 5 | 3 sem | 16,482 | 16,472 | 15,87 | 15,772 | 17,273 | 12,13% | 14,26% | 12,01% | 11,81% | 11,60% | 12,36% |
| 6 | 5 sem | 16,143 | 16,255 | 15,457 | 15,490 | 17,008 | 9,82% | 12,76% | 9,09% | 9,81% | 9,89% | 10,27% |



LABORATORIO MATERIALES



.....
Ing. Cristian Pérez, Mg.
Docente Investigador FICM



.....
Gustavo Pomaquero
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo G: Informe de ensayo de tracción post exposición a humedad



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

| | |
|---|-----------------------------|
| Informe N°: 180375471020190403-ETC | |
| DATOS DEL CLIENTE | |
| Empresa / Cliente: Luis Geovanny Salan Guevara. | |
| Dirección: Barrio San Vicente-Km 1/2 Vía al Puyo. | |
| Núm. de cédula / RUC: 1803754710 | Teléfono: 0987854474 |
| E-mail: cris_fps@hotmail.com | |
| DATOS INFORMATIVOS | |
| Laboratorio: Resistencia de Materiales | |
| Designación del material: Materiales compuestos de fibra de cabuya resina poliéster, fibra de plátano resina poliéster. | |
| Método de ensayo: ASTM D 3039/D 3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polimérica. | |

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Configuración | Probetas a Ensayar |
|-------|---------------------------|--|--------------------|
| 1 | 180375471020190403-ETC 01 | Resina poliéster más fibra de plátano. Inmersión en agua desionizada aproximadamente 5 semanas | 5 |
| 2 | 180375471020190403-ETC 02 | Resina poliéster más fibra de cabuya. Inmersión en agua desionizada aproximadamente 5 semanas | 5 |
| Total | | | 10 |

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



| ENSAYO SOLICITADO | | | |
|-------------------|-----------------------------|--|------------------|
| No. | No. DE PROBETA | DESCRIPCIÓN | FECHAS RECEPCIÓN |
| 1 | 180375471020190403-ETC 01-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 2 | 180375471020190403-ETC 01-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 3 | 180375471020190403-ETC 01-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 4 | 180375471020190403-ETC 01-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 5 | 180375471020190403-ETC 01-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 6 | 180375471020190403-ETC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 7 | 180375471020190403-ETC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 8 | 180375471020190403-ETC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 9 | 180375471020190403-ETC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 10 | 180375471020190403-ETC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

| | |
|---|---|
| | |
| Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| Cliente | |



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180375471020190403-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM-2019-026

Empresa / Cliente: Luis Geovanny Salan Guevara.

RUC/C.I.: 1803754710

Ciudad: Baños.

Dirección: Barrio San Vicente - Km 1/2 Vía al Puyo.

Teléfono: 0987854474

Correo: cris_fps@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglatá. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D3039-2017; Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Tipo de probeta: Plana

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50KN

Modelo: MTE-50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min

Precarga: 0,01 N

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/04/03

Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/04/03

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *materiales compuestos de matriz polimérica*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Configuración | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|--|--------------------|
| 1 | 180375471020190403-ETC 01 | Resina poliéster más fibra de plátano. Inmersión en agua desionizada aproximadamente 5 semanas | 5 |
| 2 | 180375471020190403-ETC 02 | Resina poliéster más fibra de cabuya. Inmersión en agua desionizada aproximadamente 5 semanas | 5 |
| Total | | | 10 |

Nota: La fabricación y configuración de las probetas es declarada por el cliente.

Observaciones: Ninguna.

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Elaborado por: | Aprobado por: | |
| Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Ing. Esteban López E. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 04 de abril de 2019

N° de Factura: 001-002-000006767





Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico-Carroceros



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado |
|---------|-----------------------------|------------------|----------------------|----------------|---------|-------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|------------------------|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | |
| 1 | 180375471020190403-ETC 01-1 | 23.2 | 59,8 | 24,82 | 2,82 | 1309,58 | 18,71 | 564,70 | 3,976 | LAT |
| 2 | 180375471020190403-ETC 01-2 | 23.2 | 59,8 | 24,88 | 2,45 | 1585,70 | 26,01 | 677,89 | 4,605 | LAT |
| 3 | 180375471020190403-ETC 01-3 | 23.2 | 59,8 | 24,73 | 2,50 | 1427,91 | 23,10 | 505,38 | 5,484 | LGT |
| 4 | 180375471020190403-ETC 01-4 | 23.2 | 59,8 | 24,81 | 2,31 | 1016,11 | 17,73 | 340,96 | 6,24 | LGM |
| 5 | 180375471020190403-ETC 01-5 | 23.2 | 59,8 | 24,87 | 2,57 | 1614,10 | 25,25 | 660,22 | 4,59 | LAT |
| | | | | | | Promedio \bar{X} | 22,161 | 549,829 | 4,979 | |
| | | | | | | Desviación estándar S_{n-1} | 3,769 | 136,390 | 0,886 | |
| | | | | | | Coefficiente de variación CV | 17,474 | 24,806 | 17,801 | |

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado |
|---------|-----------------------------|------------------|----------------------|----------------|---------|-------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|------------------------|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | |
| 6 | 180375471020190403-ETC 02-1 | 22,8 | 61,0 | 24,96 | 2,56 | 2256,26 | 35,31 | 367,85 | 11,519 | LAT |
| 7 | 180375471020190403-ETC 02-1 | 22,8 | 61,0 | 24,87 | 2,30 | 2070,08 | 36,19 | 459,31 | 9,455 | LAT |
| 8 | 180375471020190403-ETC 02-1 | 22,8 | 61,0 | 24,90 | 2,58 | 1868,12 | 29,08 | 369,34 | 9,448 | LGM |
| 9 | 180375471020190403-ETC 02-1 | 22,8 | 61,0 | 24,88 | 2,43 | 1915,46 | 31,68 | 475,59 | 7,994 | LGM |
| 10 | 180375471020190403-ETC 02-1 | 22,8 | 61,0 | 24,90 | 2,54 | 2586,02 | 40,89 | 362,40 | 13,539 | LGM |
| | | | | | | Promedio \bar{X} | 34,630 | 406,899 | 10,391 | |
| | | | | | | Desviación estándar S_{n-1} | 4,516 | 55,634 | 2,162 | |
| | | | | | | Coefficiente de variación CV | 13,039 | 13,673 | 20,804 | |

Código: RG-RM-004

Fecha de Elaboración: 11-05-2016

Fecha de última aprobación: 21-06-2017

Revisión: 7

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 2 de 3



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carroceros



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura:

Tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2017.

| Primer caracter | Tipo de falla | Segundo caracter | Área de la falla | Tercer caracter | Localización de falla |
|-----------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| L | Lateral | A | En el agarre | T | Parte superior |
| G | Agarre | I | Dentro del agarre | U | Desconocido |
| A | Angular | G | Zona calibrada | M | Medio |

Anexo H: Informe de ensayo de flexión post exposición a humedad



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

| | |
|---|-----------------------------|
| Informe N°: 180375471020190403-EFC | |
| DATOS DEL CLIENTE | |
| Empresa / Cliente: Luis Geovanny Salan Guevara. | |
| Dirección: Barrio San Vicente-Km 1/2 Vía al Puyo. | |
| Núm. de cédula / RUC: 1803754710 | Teléfono: 0987854474 |
| E-mail: cris_fps@hotmail.com | |
| DATOS INFORMATIVOS | |
| Laboratorio: Resistencia de Materiales | |
| Designación del material: Materiales compuestos de fibra de cabuya resina poliéster, fibra de plátano resina poliéster. | |
| Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero. | |

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Configuración | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|--|--------------------|
| 1 | 180375471020190403-EFC 01 | Resina poliéster más fibra de plátano. Inmersión en agua desionizada aproximadamente 5 semanas | 5 |
| 2 | 180375471020190403-EFC 02 | Resina poliéster más fibra de cabuya. Inmersión en agua desionizada aproximadamente 5 semanas | 5 |
| Total | | | 10 |

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



| ENSAYO SOLICITADO | | | |
|-------------------|-----------------------------|--|------------------|
| No. | No. DE PROBETA | DESCRIPCIÓN | FECHAS RECEPCIÓN |
| 1 | 180375471020190403-EFC 01-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 2 | 180375471020190403-EFC 01-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 3 | 180375471020190403-EFC 01-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 4 | 180375471020190403-EFC 01-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 5 | 180375471020190403-EFC 01-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 6 | 180375471020190403-EFC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 7 | 180375471020190403-EFC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 8 | 180375471020190403-EFC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 9 | 180375471020190403-EFC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |
| 10 | 180375471020190403-EFC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 03/04/2019 |

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

| | |
|---|---|
|  |  |
| Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| Cliente |  |



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180375471020190403-EFC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM-2019-026

Empresa / Cliente: Luis Geovanny Salan Guevara.

RUC/C.I.: 1803754710

Ciudad: Baños.

Dirección: Barrio San Vicente- Km 172 Vía al Puyo. **Teléfono:** 0987854474

Correo: cris_fps@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglatá. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Procedimiento: A

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN

Modelo: MTE 50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min. **Precarga:** 100 N. **Distancia entre apoyos:** 120 mm

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/04/03 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2019/04/03

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *materiales compuestos de matriz polimérica*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

| N° | Identificación del grupo | Configuración | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|--|--------------------|
| 1 | 180375471020190403-EFC 01 | Resina poliéster más fibra de plátano. Inmersión en agua desionizada aproximadamente 5 semanas | 5 |
| 2 | 180375471020190403-EFC 02 | Resina poliéster más fibra de cabuya. Inmersión en agua desionizada aproximadamente 5 semanas | 5 |
| Total | | | 10 |

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.

Observaciones: Ninguna.

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Elaborado por: | Aprobado por: | |
| Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Ing. Esteban López E. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 04 de abril de 2019

N° de Factura: 001-002-000006767





Resultados:

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo máximo de flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Deformación máxima (%) (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|---------|-----------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|----------------|----------------------------------|---|------------------------------------|------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | | |
| 1 | 180375471020190403-EFC 01-1 | 23,3 | 60,1 | 12,53 | 4,86 | 59,96 | 12,004 | 36,47 | 1500,24 | 2,43 | OAB | |
| 2 | 180375471020190403-EFC 01-2 | 23,3 | 60,1 | 12,74 | 5,07 | 45,76 | 8,082 | 25,15 | 1473,19 | 1,71 | OLB | |
| 3 | 180375471020190403-EFC 01-3 | 23,3 | 60,1 | 12,62 | 5,01 | 52,07 | 8,578 | 29,59 | 1652,39 | 1,79 | OLB | |
| 4 | 180375471020190403-EFC 01-4 | 23,3 | 60,1 | 12,66 | 5,09 | 42,60 | 8,209 | 23,38 | 1342,81 | 1,74 | OAB | |
| 5 | 180375471020190403-EFC 01-5 | 23,3 | 60,1 | 12,65 | 4,63 | 36,29 | 8,222 | 24,09 | 1518,66 | 1,59 | OLB | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 47,336 | 9,02 | 27,74 | 1497,46 | | 1,85 | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 9,065 | 1,68 | 5,45 | 110,64 | | 0,33 | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 19,151 | 18,61 | 19,64 | 7,39 | | 17,97 | |

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm | | Fuerza máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo máximo de flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | Deformación máxima (%) (Calculado) | Tipo de falla evaluado | |
|---------|-----------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|----------------|----------------------------------|---|------------------------------------|------------------------|--|
| | | | | Ancho | Espesor | | | | | | | |
| 6 | 180375471020190403-EFC 02-1 | 23,1 | 59,8 | 12,65 | 4,51 | 53,64 | 17,785 | 37,52 | 1122,79 | 3,34 | OAB | |
| 7 | 180375471020190403-EFC 02-1 | 23,1 | 59,8 | 12,96 | 5,00 | 50,49 | 20,973 | 28,05 | 641,97 | 4,37 | OLB | |
| 8 | 180375471020190403-EFC 02-1 | 23,1 | 59,8 | 12,89 | 4,13 | 53,64 | 25,592 | 43,91 | 997,16 | 4,40 | OLB | |
| 9 | 180375471020190403-EFC 02-1 | 23,1 | 59,8 | 12,96 | 4,25 | 59,96 | 25,578 | 46,11 | 1017,90 | 4,53 | OAB | |
| 10 | 180375471020190403-EFC 02-1 | 23,1 | 59,8 | 13,02 | 4,33 | 52,07 | 18,607 | 38,39 | 1143,72 | 3,36 | OLB | |
| | | | | Promedio \bar{X} | | 53,960 | 21,71 | 38,80 | 984,71 | | 4,00 | |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | | 3,599 | 3,73 | 7,02 | 201,92 | | 0,60 | |
| | | | | Coeficiente de variación CV | | 6,670 | 17,18 | 18,08 | 20,51 | | 14,93 | |



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carroceros



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Nomenclatura de tipo de falla evaluado:

El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D7264-2015.

| Primer carácter | | Segundo carácter | Área de falla | Tercer carácter | Ubicación de falla |
|-----------------|-------|------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| O | Otros | A | En el punto de carga | B | Fondo |
| | | L | Entre la carga y el punto de apoyo | V | Varios |
| | | U | No conocido | R | Derecha |
| | | | | M | Medio |
| | | | | U | Desconocido |
| | | | | L | Izquierda |
| | | | | T | Parte superior |

Anexo I: Norma NTE INEN 1723:2011

CDU: 666.155:666.181.629.11.011.67
ICS: 43.040.60



CIIU: 3620
SG 05.01-302

| | | |
|--|---|---|
| <p>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</p> | <p>VIDRIOS DE SEGURIDAD. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO CON ESFERA DE ACERO.</p> | <p>NTE INEN 1723:2011 Primera revisión 2011-09</p> |
|--|---|---|

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3899 – Baquerizo Moreno EB-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método para determinar la resistencia al impacto en vidrios de seguridad para automotores.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a los vidrios de seguridad laminados y templados considerando que tiene la resistencia mínima bajo el impacto de un objeto que se aproxima desde el exterior para vidrio templado y desde el interior para vidrio laminado.

3. RESUMEN

3.1 Consiste en dejar caer desde una altura determinada, sin que se de ningún impulso, una esfera sólida de acero endurecido de masa definida para los diferentes tipos de vidrios, dentro de un círculo de 25 mm de radio medidos desde el centro de la probeta o muestra de ensayo.

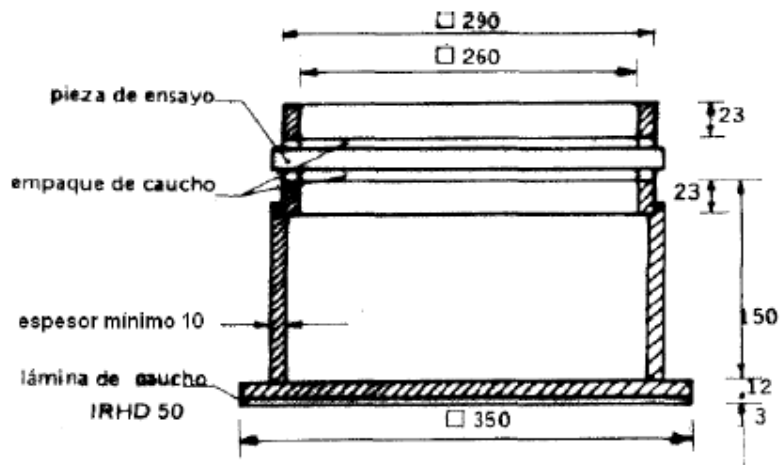
4. INSTRUMENTAL

4.1 Esfera sólida de acero, con una masa de $227 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$.

4.2 Esfera sólida de acero, con una masa de $2,26 \text{ kg} \pm 20 \text{ g}$.

4.3 Soporte (ver figura 1)

FIGURA 1. Soporte para ensayo de la esfera de acero (Dimensiones en mm)



(Continúa)

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, vidros de seguridad para automotores, parabrisas, lunetas, laterales, techo, ensayos, ensayos mecánicos, ensayo de impacto.

4.3.1 La probeta de ensayo será colocada sobre el soporte indicado en la figura 1 que consiste en dos marcos de metal u otros materiales resistentes, con bordes maquinados de 15 mm de ancho, que se ajuste el uno sobre el otro y que tengan en la superficie empaquetaduras de caucho de más o menos 3 mm de espesor y 15 mm de ancho, con una dureza de 50 IRHD (International Rubber Hardness Degrass) (Dureza Shore A.50).

4.3.2 El marco inferior descansará sobre una caja de metal u otro material resistente de aproximadamente 150 mm de altura.

4.3.3 La probeta de ensayo se mantendrá en su lugar por medio de un marco superior que debe tener una masa aproximada de 3 kg o abrazaderas que eviten el movimiento de la muestra.

4.3.4 El aparato debe estar sujeto a una lámina de metal de 12 mm de espesor que descansa sobre una lámina de caucho de dureza 50 IRHD y de aproximadamente 3 mm de espesor, colocada sobre una base rígida por ejemplo una base de hormigón.

5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

5.1 El material que va a ensayarse consiste en cuatro probetas de 300 mm · 300 mm que han sido fabricadas en el proceso normal de producción.

5.2 Inmediatamente antes del ensayo las muestras deben ser acondicionadas como mínimo durante 4 horas a $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 2\%$.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 Vidrio templado

6.1.1 Tomar cuatro muestras por cada espesor nominal de vidrio a ensayarse, preparadas como se indica en el numeral 5.1 y tabla 1 de la presente norma.

6.1.2 Colocar la probeta de ensayo sobre el soporte como se indica en 4.3.

6.1.3 Dejar caer, sin que se le de ningún impulso, la esfera de acero de $227\text{ g} \pm 2\text{ g}$ desde una altura especificada para cada espesor nominal del vidrio. La esfera de acero debe caer dentro de un círculo de 25 mm de radio medidos desde el centro de la probeta o muestra de ensayo.

6.1.3.1 La altura de caída (medida desde la parte inferior de la esfera a la superficie superior de la muestra) será tal como se indica en la tabla 1.

6.1.4 Se procede a establecer el resultado del ensayo de conformidad con lo enunciado en el literal a) del numeral 5.1.1.2 de la NTE INEN 1669.

TABLA 1. Espesores nominales

| Espesor nominal del vidrio (e) mm | Altura de caída |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| $e \leq 3,5$ | $2\text{ m}^{+5}_0\text{ mm}$ |
| $3,5 < e \leq 6,5$ | $2,5\text{ m}^{+5}_0\text{ mm}$ |
| $6,5 < e$ | $2,5\text{ m}^{+5}_0\text{ mm}$ |

6.2 Vidrio laminado

6.2.1 Tomar cuatro muestras preparadas como se indica en 5.1.

6.2.2 Colocar la probeta de ensayo sobre el soporte, como se indica en 4.3.

(Continúa)

6.2.3 Dejar caer, sin que se le de ningún impulso, la esfera de acero de $2,26 \text{ kg} \pm 20 \text{ g}$ desde una altura de $4,0 \text{ m}^{+5}_0 \text{ mm}$, medida desde la parte inferior de la esfera a la superficie superior de la muestra.

6.2.4 Se procede a establecer el resultado del ensayo de conformidad con lo enunciado en el literal b) del numeral 5.1.1.2 de la NTE INEN 1669.

7. INFORME DE RESULTADOS

7.1 El informe de resultados debe contener lo siguiente:

- a) Tipo y número de muestra o cualquier otra identificación,
- b) Ensayo efectuado y método aplicado,
- c) Resultado del ensayo,
- d) Condiciones de temperatura y humedad relativa para la preparación de la muestra,
- e) Fecha de ensayo,
- f) Nombre de la persona que realizó el ensayo
- g) Nombre del laboratorio de ensayos.

(Continúa)

APENDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1669. *Vidrios de seguridad para automotores. Requisitos (1R)*

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma Británica BSI 5282. *Especificación para vidrios de seguridad para vehiculos de carretera.* British Standards Institution, Londres, 1980.

Norma Sudafricana SABS 1191. *Safety Glass for vehicles. High penetration resistant laminated.* Safety glass for vehicles. 1997.

Norma Sudafricana SABS 1193. *Toughened safety glass for vehicles.* 2005.

Norma Venezolana COVENIN 199 *Automotriz. Vidrios de seguridad. (3ra. Revisión).* Comisión Venezolana de Normas Industriales. FONDONORMA. Caracas, 2000.

Norma Norteamericana ANSI Z 26.1 *American National Standard for Safety Glazing Materials for Glazing Motor Vehicles Operating on Land Highways Safety Standard.* American National Standards Institute. Nueva York, 1997.

Anexo J: Norma NTE INEN 1669:2011

CDU: 666.155.666.181.829.11.011.67
ICS: 43.040.60



CIIU: 3620
SG 05.01-401

| | | |
|--|--|--|
| <p>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</p> | <p>VIDRIOS DE SEGURIDAD PARA AUTOMOTORES. REQUISITOS.</p> | <p>NTE INEN 1669:2011 Primera revisión 2011-09</p> |
| <p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los vidrios de seguridad para automotores terrestres (parabrisas, lunetas, ventanas laterales fijas y móviles), que se fabriquen y/o comercialicen en el país.</p> <p style="text-align: center;">2. DEFINICIONES</p> <p>2.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las siguientes definiciones:</p> <p>2.1.1 <i>Vidrio de seguridad.</i> Es aquel vidrio que ha sido procesado o combinado con otros materiales, de tal manera que, si se rompe sea mínima la probabilidad de causar heridas o cortaduras.</p> <p>2.1.2 <i>Vidrio de seguridad laminado.</i> Consiste en dos o más láminas de vidrio, unidas firmemente entre sí, por una o varias capas plásticas transparentes y que al romperse, las piezas de vidrio se mantienen unidas al material plástico y conservan su forma y posición originales.</p> <p>2.1.3 <i>Vidrio de seguridad templado.</i> Es aquel vidrio de seguridad que consta de una sola lámina de vidrio, tratada térmicamente, de manera que al romperse en cualquier punto, la pieza entera se desintegra en fragmentos pequeños (pedazos granulares no cortantes). El vidrio de seguridad templado, no puede cortarse o perforarse después de tratado.</p> <p>2.1.4 <i>Parabrisas.</i> Es el vidrio de seguridad laminado que va en la parte frontal del vehículo.</p> <p>2.1.5 <i>Luneta.</i> Es el vidrio de seguridad laminado o templado que va en la parte posterior del vehículo en un plano paralelo al parabrisas.</p> <p>2.1.6 <i>Vidrio lateral.</i> Vidrio de seguridad laminado o templado que se ubica a los costados del vehículo.</p> <p>2.1.7 <i>Vidrio de techo.</i> Vidrio de seguridad laminado o templado, que se coloca en la parte superior del vehículo.</p> <p>2.1.8 <i>Red desempañante.</i> Líneas metálicas que van en el vidrio para que no se empañen.</p> <p>2.1.9 <i>Vidrio lateral delantero.</i> Es todo aquel vidrio lateral que está colocado por delante del respaldar del asiento delantero del conductor a los costados del vehículo.</p> <p>2.1.10 <i>Vidrio lateral posterior.</i> Es todo aquel vidrio lateral que está colocado por detrás del respaldar del asiento delantero del conductor a los costados del vehículo.</p> <p style="text-align: center;">3. CLASIFICACION</p> <p>3.1 Los vidrios de seguridad para automotores, de acuerdo con el proceso de fabricación, se clasifican en los siguientes tipos:</p> <p>3.1.1 Laminado</p> <p>3.1.2 Templado</p> <p>3.2 Los vidrios de seguridad para automotores, de acuerdo con su ubicación, se clasifican en:</p> <p>3.2.1 Parabrisas</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <p>DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, vidrios de seguridad para automotores, parabrisas, lunetas, laterales, techo, requisitos.</p> | | |

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno Es-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

3.2.2 Luneta**3.2.3 Lateral****3.2.4 De techo****4. DISPOSICIONES GENERALES**

4.1 Los vidrios de seguridad deben ser transparentes y no deben causar ningún tipo de distorsión en los objetos vistos a través de ellos. No deben causar ningún tipo de confusión entre los colores de señalización usados en el tránsito vehicular.

4.2 Todos los vidrios de seguridad deben ser de tal naturaleza, que al momento de una eventual fragmentación, el peligro de causar heridas a los ocupantes del vehículo se reduzca al mínimo, y deben ser capaces de soportar el tratamiento normal en el servicio para el cual fueron diseñados.

4.3 El material plástico para vidrio laminado será Polivinil Butiral (PVB) u otro material que le confiera al vidrio las propiedades específicas que exige esta norma.

4.4 No deben ser destinados como parabrisas los vidrios de seguridad de tipo templado.

4.5 Los vidrios de seguridad (parabrisas, lunetas, vidrios laterales y vidrios de techo) deben tener la siguiente zonificación:

4.5.1 Zona AA. Es el área de visibilidad del conductor (ver figura 1).

4.5.2 Zona A. Es el área de visibilidad del pasajero (ver figura 1).

4.5.3 Zona B. Es el área central de la luneta, vidrio lateral y vidrio de techo. En los parabrisas, esta zona se ubica entre la zona A y AA y la zona C ó D (ver figuras 1, 2, 3, 4, 5).

4.5.4 Zona C. Es aquella área pintada no recubierta por la moldura cuando el vidrio está instalado. (ver figuras 1, 2, 3, 4, 5).

4.5.5 Zona D. Es aquella área no visible al estar el vidrio instalado (ver figuras 1, 2, 3, 4, 5)

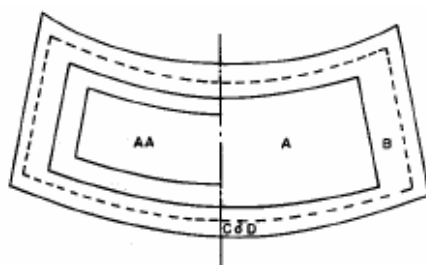
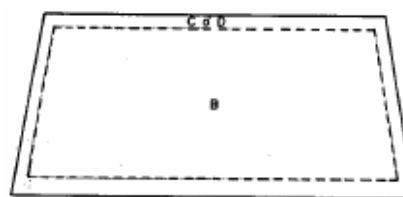
FIGURA 1. Parabrisas**FIGURA 2. Luneta***(Continúa)*

FIGURA 3. Vidrio lateral delantero

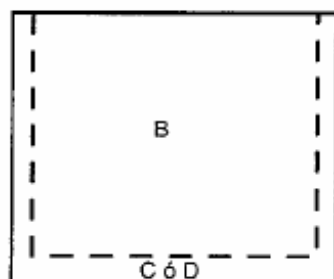


FIGURA 4. Vidrio lateral posterior

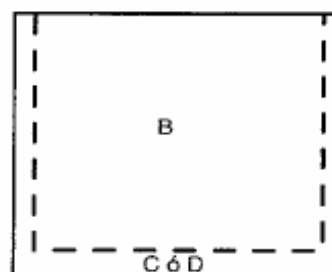
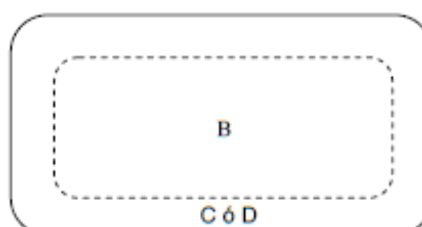


FIGURA 5. Vidrio de techo



5. REQUISITOS

5.1 Requisitos específicos

5.1.1 Los vidrios de seguridad para automotores deben cumplir con los requisitos indicados en la tabla 1.

TABLA 1. Requisitos para vidrios de seguridad

| REQUISITOS | LAMINADO | TEMPLADO | METODO DE ENSAYO |
|--|----------|----------|------------------|
| Fragmentación | | X | NTE INEN 1722* |
| Impacto con esfera de acero | X | X | NTE INEN 1723* |
| Impacto de la cabeza ensayo de maniquí (1) | X | | NTE INEN 1724* |
| Impacto con dardo | X | | NTE INEN 1725* |
| Resistencia a alta temperatura | X | | NTE INEN 1726* |
| Transmisión luminosa (2) (3) | X | X | NTE INEN 1727** |
| Estabilidad luminosa (3) | X | X | NTE INEN 1728** |
| Resistencia a la abrasión (3) | X | X | NTE INEN 1730* |
| Resistencia a la humedad | X | | NTE INEN 1731** |
| Distorsión óptica (4) | X | X | NTE INEN 1729** |
| Defectos visuales | X | X | Numeral 5.12.1** |
| Dimensionales | X | X | Numeral 5.12.2** |

(1) Opcional se aplica a parabrisas, y puede efectuarse si el cliente lo solicita.
 (2) No aplica para vidrios de techo
 (3) Solo aplica para matea prima
 (4) Solo para lunetas
 * Ensayo destructivo ED
 ** Ensayo no destructivo END

(Continúa)

5.1.1.1 Fragmentación. Los vidrios de seguridad templados, ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1722 deben cumplir con lo siguiente:

- a) Se debe considerar que el ensayo ha dado resultados positivos si la fragmentación satisface todas las condiciones dadas a continuación:
 - a.1) El número de fragmentos encontrados en un cuadrado de 50 mm · 50 mm trazado sobre el área de vidrio que presente fragmentos de mayor tamaño, se encuentre entre 40 y 400, o el peso del fragmento mayor debe ser de un máximo de 4,25 g.
 - a.1.1) Los fragmentos interceptados por los bordes del cuadrado, se contarán como mitades.
 - a.1.2) No se controlará la fragmentación de una tira de 20 mm de ancho alrededor de todo el borde y de las perforaciones de las muestras, que representan el marco del vidrio ó dentro de un radio de 75 mm alrededor del punto de impacto.
 - a.1.3) No son admitidos fragmentos de forma alargada con tamaño superior a los 75 mm.
- b) Se debe considerar que un grupo de muestras sometidas a ensayo es satisfactorio, con relación al ensayo de fragmentación si cumple una de las condiciones indicadas a continuación:
 - b.1) Todos los ensayos llevados a cabo, usando los puntos de impacto prescritos en 6.2 de la NTE INEN 1 722, dan un resultado positivo.
 - b.2) Máximo tres ensayos entre todos aquellos llevados a cabo, usando los puntos de impacto prescritos en 6.2 de la NTE INEN 1722, han dado un resultado negativo, y una serie de ensayos posteriores llevados a cabo sobre un nuevo grupo de muestras no da ningún resultado negativo

5.1.1.2 Impacto con esfera de acero. Los vidrios de seguridad laminados y templados ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1723 deben cumplir con lo siguiente:

- a) Vidrio templado
 - a.1) Se considera que el ensayo de impacto de la esfera de acero ha dado resultados positivos si la probeta de ensayos no se rompe.
 - a.2) Se considera que un grupo de cuatro probetas sometidas a ensayo, es satisfactorio, si cumple cualquiera de las condiciones dadas a continuación:
 - a.2.1) No más de una probeta de ensayo da un resultado negativo.
 - a.2.2) Dos ensayos que han dado un resultado negativo, pero una serie posterior de ensayos llevados a cabo sobre un nuevo grupo de cuatro probetas no da ningún resultado negativo.
- b) Vidrio laminado
 - b.1) Se considera que el ensayo de impacto de la esfera de acero ha dado un resultado positivo si la esfera de acero no pasa a través del vidrio dentro de los 5 s después del impacto.
 - b.2) Se considera que un grupo de cuatro probetas sometidas para ensayo es satisfactorio, si se cumplen cualquiera de las condiciones dadas a continuación:
 - b.2.1) Todos los ensayos dan un resultado positivo.
 - b.2.2) Un ensayo ha dado un resultado negativo, pero una serie posterior de ensayos llevados a cabo sobre un nuevo grupo de cuatro probetas no dan ningún resultado negativo.

5.1.1.3 Impacto simulado de la cabeza (ensayo del maniquí). Los vidrios de seguridad laminados, ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1724, deben cumplir con lo siguiente:

(Continúa)

- a) Se considera que el ensayo del maniquí ha dado resultados positivos si se cumplen las condiciones dadas a continuación:
- a.1) Si la muestra se fractura mostrando numerosas rajaduras circulares centradas aproximadamente sobre el punto de impacto, las rajaduras más cercanas deben estar máximo a 80 mm del punto de impacto.
 - a.2) Si las capas de vidrio se adhieren todavía a la intercapa, se permiten unos pocos sitios en los cuales el vidrio se ha despejado dentro de un círculo de 60 mm de diámetro alrededor del punto de impacto, siempre que los fragmentos todavía se adhieran a la intercapa.
 - a.3) En el lado del impacto se aplican las condiciones dadas a continuación:
 - a.3.1) No debe estar expuesta más de 200 mm² de la intercapa.
 - a.3.2) La masa total de las astillas que se despegan no debe exceder los 20 g.
 - a.3.3) Se puede permitir en la intercapa una rajadura máxima de 30 mm de longitud permisible.
- b) Se considera que un grupo de cuatro probetas sometidas para ensayo es satisfactorio si se cumplen cualquiera de las condiciones dadas a continuación:
- b.1) Todos los ensayos dan un resultado positivo.
 - b.2) Un ensayo ha dado resultado negativo, pero una serie posterior de ensayos realizados en un nuevo grupo de probetas no da ningún resultado negativo.

5.1.1.4 Impacto con dardo. Los vidrios de seguridad laminados, ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1725, deben cumplir con lo siguiente:

- a) El cuerpo del dardo no debe pasar por completo a través de la probeta.
- b) La probeta de ensayo no debe romperse en piezas grandes separadas.
- c) La lámina intercalada no debe quedar expuesta como resultado de los pequeños fragmentos de vidrio que se separan de la probeta de ensayo, excepto dentro de un radio de 25 mm del punto de impacto; y
- d) No debe existir pérdida de adherencia entre el vidrio y la lámina intercalada en una distancia mayor de 37 mm desde cualquier grieta (se permite el desconchado de la superficie del vidrio opuesta al punto del impacto y adyacente al área de impacto).

5.1.1.5 Resistencia a alta temperatura. Los vidrios de seguridad laminados, ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1726, deben cumplir con lo siguiente:

- a) Se considera que el ensayo ha dado resultados positivos, si no se forman burbujas u otros defectos a más de 13 mm desde el filo exterior de la probeta de ensayo, o desde cualquier rajadura que pudiera ocurrir durante el ensayo.
- b) Cuando la probeta de ensayo sea cortada de un parabrisas, no deben aparecer burbujas o defectos a más de 15 mm del borde no cortado del parabrisas, o a más de 25 mm del borde cortado de la probeta y a más de 10 mm de cualquier fisura que se forme durante la prueba.
- c) Se considera que un grupo de cuatro probetas sometidas a ensayo de alta temperatura, es satisfactorio si cualquiera de las condiciones dadas a continuación se cumplen:
 - c.1) Todos los ensayos dan resultados positivos.
 - c.2) Un ensayo ha dado un resultado negativo, pero una serie posterior de ensayos, llevados a cabo en un nuevo grupo de cuatro (4) probetas de ensayo, no da un resultado negativo.

Continúa)

d) Si el vidrio de seguridad se agrieta hasta tal punto que no puede llegarse a una conclusión definitiva, repetir el ensayo usando un nuevo grupo de 4 probetas.

5.1.1.6 Transmisión luminosa. Los vidrios de seguridad laminados y templados, ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1727, para la adecuada visibilidad del conductor deben cumplir con lo siguiente:

- a) Los parabrisas laminados y vidrios laterales delanteros no deben presentar una transmisión luminosa menor del 70%.
- b) Los vidrios laterales posteriores y lunetas en vehículos dotados de espejos retrovisores externos a ambos lados del vehículo, no deben presentar una transmisión luminosa menor del 14%. Para vehículos que solo poseen un espejo retrovisor externo, este requisito no debe ser menor del 70%. Este requisito no es aplicable a los vidrios de techo.

5.1.1.7 Estabilidad luminosa. Los vidrios de seguridad laminados y templados, ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1728, deben cumplir con lo siguiente:

- a) La transmisión luminosa final, determinada después de irradiar las probetas y someterlas a la variación de temperatura, podrá variar máximo el 2% de la transmisión luminosa originalmente medida.
- b) No deben desarrollarse burbujas u otros defectos en la parte irradiada de las probetas.

5.1.1.8 Distorsión óptica. Los vidrios de seguridad laminados y templados, ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1729, deben cumplir con lo siguiente:

- a) No deben presentar deformaciones sobre las franjas negras horizontales de la pantalla en las zonas AA y A de los vidrios laminados, ni en la zona B para los vidrios laterales posteriores y lunetas. Se exceptúa este defecto en las zonas curvadas.
- b) Se considera que los vidrios ensayados son satisfactorios, si no distorsionan las bandas de la pantalla.

5.1.1.9 Resistencia a la abrasión. Los vidrios de seguridad laminados y templados, ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1730, deben cumplir con lo siguiente:

- a) Presentar un porcentaje de luz dispersada no mayor del 2% para cada probeta.

5.1.1.10 Resistencia a la humedad. Los vidrios de seguridad laminados, ensayados de acuerdo con la NTE INEN 1731, deben cumplir con lo siguiente:

- a) No debe desarrollarse ninguna separación del material, salvo pequeñas manchas ocasionales, ninguna de las cuales debe extenderse hacia adentro desde el borde adyacente de la probeta a una profundidad no mayor de 6,35 mm.

5.1.1.11 Defectos visuales. Los vidrios de seguridad laminados y templados al ser sometidos al método visual de inspección normal según el numeral 7.1, deben cumplir con lo establecido en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6.

(Continúa)

TABLA 2. Defectos visuales. Imperfecciones aceptables

| Características | Zona AA/A | | Zona B | | Zona C | |
|--|--|-----------------------|--|-----------------------|---|-----------------------|
| | Magnitud | Frecuencia | Magnitud | Frecuencia | Magnitud | Frecuencia |
| Burbujas en el vidrio | Máximo dos de 0,6 mm ó uno de 1,6 mm x 0,20 mm | Separadas | Máximo uno de 2,3 mm de diámetro ó dos de 1,5 mm x 0,3 mm | Separadas | Máximo: uno de 2,3 mm de diámetro ó dos de 1,5 mm x 0,3 mm | Separadas |
| Burbuja abierta | uno de 0,6 mm diámetro máximo | ----- | uno de 0,6 mm diámetro máximo | ----- | uno de 1,2 mm ó uno de 0,5 mm x | Separadas |
| Burbuja en el plástico | uno de 0,6 mm diámetro máximo | | dos de 1,5 mm diámetro máximo | Ampliamente separadas | dos de 1,5 mm diámetro máximo | Ampliamente separadas |
| Puntos luminosos, piedras y partículas de vidrio fundido | uno de 0,6 mm diámetro máximo | ----- | dos de 0,8 mm | Ampliamente separadas | Aceptable | |
| Cabello de ángel | 150 mm | En cualquier cantidad | 150 mm | En cualquier cantidad | Admisible | En cualquier cantidad |
| Raya ligera | 50 mm | Separadas | 75 mm | Separadas | 100 mm | Ampliamente separadas |
| Raya media | 25 mm solamente en la zona A | | 50 mm | Ampliamente separadas | 50 mm | Ampliamente separadas |
| Raya fuerte | No son aceptables en ninguna zona del vidrio a excepción de la zona d | | No son aceptables en ninguna zona del vidrio a excepción de la zona D | | No son aceptables en ninguna zona del vidrio a excepción de la zona D | |
| Ojo de buey | No son aceptables | | Se permiten siempre y cuando no afecte la funcionalidad del vidrio y no sea visible cuando se evalúe por el método normal de inspección visual | | Aceptables | |
| Rayas en el plástico y marcas de creyón | No son aceptables, si son visibles por el método normal de inspección visual | | No son aceptables, si son visibles por el método normal de inspección visual | | Aceptables | |
| Bandas | No son aceptables | | No son aceptables | | Aceptables | |
| Plástico faltante | No aplica | | No aplica | | No aplica | |
| Penetración de aceite | No aplica | | No aplica | | No aplica | |
| Fisura, resquebrajamiento, de laminación | No son aceptables | | No son aceptables | | No son aceptables | |
| Mancha de estano | No son aceptables | | No son aceptables | | No son aceptables | |

Los requisitos para la zona D, son que los esfuerzos a los cuales está sometido el vidrio no desmejoren su resistencia mecánica y la penetración de aceite tenga una profundidad máxima de 5,0 mm desde el borde del vidrio, a menos que el plano de diseño especifique lo contrario.

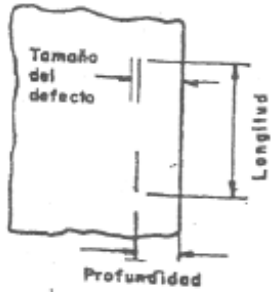
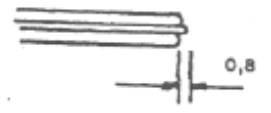
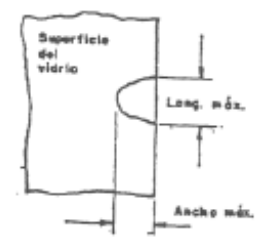
(Continúa)

TABLA 3. Requisitos del tipo de borde

| Tipo de borde | Descripción | Dimensiones | tipo de uso | Calidad del borde (Consideraciones esenciales) |
|---------------|--|--|--|--|
| I | Borde satinado Brillo Radio Desconchado | Radios Máx. 6,5 mm Min $\frac{1}{2}$ del espesor del vidrio | Para vidrios templados. Debe ser usado en todos los bordes expuestos. | Brillo en los bordes. Para los bordes del tipo I no se permitirá una zona brillante. Desconchado del borde: Ocasional y con un tamaño máximo aceptable de 0,5 mm de diámetro. |
| II | Borde semi-satinado Brillo Radio | Radios Máx. 6,5 mm Min $\frac{1}{2}$ del espesor del vidrio | Para bordes no expuestos y que deslizan en canales | Brillo en los bordes. Este se puede extender, pero no puede extenderse hacia el interior de la superficie. Desconchado del borde: son aceptables (ver imperfecciones aceptables en los bordes) |
| III | 45° Ancho Solapamiento | El borde biselado es de aproximadamente 45° Ancho: 0,8 mm a 1 mm Solapamiento: Máx. 1,0 mm | Para vidrio laminado. Este tipo de borde es típico para instalaciones fijas | Desconchado del borde: son aceptables (ver imperfecciones aceptables en los bordes) NOTA: Para el vidrio templado se deben considerar todos los requisitos anteriores a excepción del solapamiento. |
| IV | 45° Ancho Solapamiento | El borde biselado es de aproximadamente 45° Ancho: 0,8 mm \pm 0,4 mm Solapamiento: + 0,25 mm - 1,5 mm | Para vidrio laminado. Este tipo de borde es típico para instalaciones cuyo borde de vidrio está cubierto muy poco. | Desconchado del borde: son aceptables (ver imperfecciones aceptables en los bordes) NOTA: Para el vidrio templado se deben considerar todos los requisitos anteriores a excepción del solapamiento. |

(Continúa)

TABLA 4. Imperfecciones aceptables en los bordes de los vidrios laminados

| Características | Tolerancia | Observaciones |
|---|--|--|
| Astillado | No son aceptables | |
| Marca de molde | Deben ser aprobadas previa acuerdo Cliente-Proveedor | |
| Plástico faltante | Profundidad máxima: 3 mm Longitud máxima: 100 mm La acumulación total de rechupes no debe exceder los 300 mm por parte |  |
| Exceso de plástico | El exceso de plástico no debe exceder los 0,8 mm y siempre que no interfiera con la instalación del vidrio |  |
| Desconchado del borde: Estas tolerancias aplican si en la calificación del tipo de borde no se tienen ninguna consideración especial | El desconchado del borde es aceptable hasta una longitud máxima de 6 mm a lo largo del borde, con un anillo de 5 mm de longitud máxima dentro de la superficie del vidrio y hasta una profundidad máxima del 10% del espesor del vidrio. | <p>La longitud máxima del desconchado no puede ser superior al borde del tamaño del desconchado especificado</p>  |

(Continúa)

TABLA 5. Imperfecciones aceptables en los bordes de los vidrios templados

| Características | Tolerancias (para vidrios cuyo borde está cubierta muy poco) | Otros bordes del vidrio | |
|-----------------------|--|--|--|
| Marcas de molde | Debe ser aprobado por el cliente | Aceptable solamente en el área "D" | |
| Marcas de pinza | No son aceptables en un área visible | Aceptable solamente en el área "D" | |
| Astilladura | No son aceptables | No son aceptables | |
| Desconchado del borde | No se aceptan desconchados mayores a 5 mm. Entre 4 mm y 5 mm no se aceptan más de cuatro por vidrio y separados entre sí por una distancia no menor a 50 mm. Son permisibles desconchados entre 2,5 mm y 4 mm en grupos de cuatro en 120 mm. Pero no más de cuatro por grupo. Desconchados menores a 2,5 mm son aceptables siempre y cuando los esfuerzos a los cuales está sometido el vidrio no desmejoren su resistencia mecánica | El tamaño máximo del desconchado es de 6,5 mm en la superficie con una profundidad máxima de 1/3 del espesor del vidrio. Desconchados entre 4,0 mm y 6,5 mm nos se aceptan más de cuatro por vidrio y separados entre sí a una distancia no menor a 50 mm. Son permisibles desconchados entre 2,5 mm y 4 mm. En grupos de cuatro en 150 mm, pero no más de cuatro por grupo Desconchados menores a 2,5 mm no son aceptables siempre y cuando los esfuerzos a los cuales está sometido el vidrio no desmejoren su resistencia mecánica. | La profundidad máxima del desconchado del borde no debe ser superior a 1/3 del espesor del vidrio. El tamaño máximo del desconchado en un vidrio del tipo borde 1 no debe ser mayor a 2,3 mm La longitud máxima no debe ser superior al doble de lo especificado en el tamaño del desconchado. |

TABLA 6. Requisitos de la pintura cerámica

| Características | Tolerancias (Para vidrios cuyo borde está cubierto muy poco o está expuesto) | Otros bordes del vidrio |
|--------------------------------|--|---|
| Borde claro o libre de pintura | Del borde del vidrio 1,5 mm como máximo | 5 mm máximo si el borde del vidrio está cubierto |
| Sombra de pintura | No son aceptables usando el método normal de inspección visual | No son aceptables usando el método normal de inspección visual |
| Poros o vacíos: Circulares: | Poros hasta 1,5 mm son aceptables en grupos de cuatro y ampliamente separados (más de 300 mm). Poros hasta de 1 mm son aceptables si se encuentran separados (a más de 75 mm pero a menos de 300 mm) Poros de 0,5 mm o menores son aceptables si ellos no están aglomerados y no afectan su apariencia | Poros hasta 1,5 mm son aceptables en grupos de cuatro y ampliamente separados (más de 300 mm) Poros hasta de 1 mm son aceptables si se encuentran separados a (más de 75 mm pero a menos de 300 mm) Poros de 0,5 mm o menores son aceptables si ellos no están aglomerados y no afectan su apariencia |
| Poros o vacíos: Elongados | Poros de 0,5 mm - 4 mm son aceptables ampliamente separados (más de 300 mm) | Poros de 0,5 mm - 4 mm son aceptables ampliamente separados (más de 300 mm) |
| Borde interno | No objetable usando el método normal de inspección visual | No objetable usando el método normal de inspección visual |
| Borde externo | Poros vacíos de pintura de hasta 1,5 mm de ancho y 50 mm de longitud, están permitidos pero no más de dos por borde y ampliamente separados. | No hay límites en el área "D" |
| Área "D" | Poros o vacíos en esta área son aceptables siempre y cuando estos no interfieren con la adhesión y no sean visibles después de instalado en el vehículo. | Poros o vacíos en esta área son aceptables siempre y cuando estos no interfieren con la adhesión y no sean visibles después de instalado en el vehículo. |

(Continúa)

5.1.1.12 Dimensionales: Espesor

- a) Los espesores medidos a lo largo del borde del vidrio de seguridad, según el numeral 7.2, deben cumplir con lo especificado en la tabla 7.

TABLA 7. Espesores de los vidrios de seguridad

| Espesor (mm) | Límite (mm) | |
|--------------|-------------|--------|
| | Mínimo | Máximo |
| 3 | 2,5 | 3,6 |
| 4 | 3,7 | 4,5 |
| 5 | 4,6 | 5,3 |
| 6 | 5,4 | 6,5 |
| 7 | 6,6 | 7,5 |
| 8 | 7,6 | 8,3 |

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo. El muestreo para determinar la calidad de los lotes a ser comercializados se efectuarán de acuerdo con la NTE INEN 1721, a menos que exista un acuerdo entre el cliente y el proveedor.

6.2 Aceptación o rechazo

6.2.1 En la muestra extraída se efectuarán los ensayos establecidos para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el numeral 5 de esta norma.

6.2.2 Si la muestra ensayada no cumple según lo indicado en la NTE INEN 1721, se toma una segunda muestra y si en esta muestra falla uno de los ensayos indicados, se rechaza el lote.

7. METODO DE ENSAYO**7.1 Método visual de inspección normal**

7.1.1 Resumen. Visualmente el operador establecerá las imperfecciones de los vidrios de seguridad en las zonas AA/A, B y C, la calidad y las imperfecciones de los bordes y de la pintura cerámica.

7.1.2 Instrumental. Fuente de luz difusa natural o artificial.

7.1.3 Preparación de la muestra. La muestra a ensayar consiste de un vidrio de seguridad laminado o templado, completo.

7.1.4 Procedimiento

7.1.4.1 Se coloca la muestra a ensayar a una distancia equivalente a la que hay entre las manos y los ojos del observador, cuando los brazos están totalmente extendidos.

7.1.4.2 Se hace incidir directamente sobre la muestra a ensayar la luz proveniente de la fuente indicada en el numeral 7.1.2 de la presente norma.

7.1.4.3 Se mira perpendicularmente a través de la muestra a ensayar.

7.1.4.4 Se procede a verificar los requisitos enunciados en el numeral 5.1.1.11 de la presente norma.

7.1.5 Informe de los ensayos

7.1.5.1 Nombre y dirección del laboratorio de ensayo

7.1.5.2 Tipo y número de muestra o cualquier otra identificación

7.1.5.3 Informe del muestreo de acuerdo con la NTE INEN**7.1.5.4 Método aplicado****7.1.5.5 Resultado de la inspección****7.1.5.6 Fecha de la inspección****7.1.5.7 Nombre de la persona que realizó la inspección.****7.2 Determinación del espesor**

7.2.1 Resumen: Se mide el espesor en los bordes de los vidrios de seguridad

7.2.2 Instrumental: un micrómetro de una capacidad de medición de 10 mm a 20 mm con un intervalo de escala de 0,01 mm .

7.2.3 Preparación de la muestra: La muestra a ensayar consiste del mismo vidrio de seguridad laminado o templado completo utilizado en el método visual de inspección normal.

7.2.4 Procedimiento: Se toman los espesores de al menos cuatro puntos equidistantes.

8. ETIQUETADO Y EMBALAJE

8.1 Cada vidrio de seguridad debe llevar marcado con caracteres indelebles en un lugar visible por lo menos lo siguiente:

- a) razón social del fabricante o marca comercial,
- b) denominación del tipo de vidrio de acuerdo con el numeral 3,
- c) Identificación del lote de producción
- d) Espesor
- e) Norma Técnica de fabricación del producto,
- d) trazabilidad del producto que permita identificar mes y año de fabricación.

8.2 Los vidrios de seguridad deben embalarse en forma adecuada, de manera que no sufran deterioros durante el almacenamiento, manipulación y transporte.

(Continúa)

APÉNDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

| | |
|---|--|
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1721 | <i>Vidrios de seguridad. Muestreo</i> |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1722 | <i>Vidrios de seguridad. Determinación de la fragmentación</i> |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1723 | <i>Vidrios de seguridad. Determinación de la resistencia al impacto con esfera de acero</i> |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1724 | <i>Vidrios de seguridad. Determinación del comportamiento bajo el impacto simulado de la cabeza. (Ensayo del maniquí).</i> |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1725 | <i>Vidrios de seguridad. Determinación de la resistencia al impacto con dardo.</i> |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1726 | <i>Vidrios de seguridad. Determinación de la resistencia a alta temperatura</i> |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1727 | <i>Vidrios de seguridad. Determinación de la transmisión luminosa</i> |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1728 | <i>Vidrios de seguridad. Determinación de la estabilidad luminosa</i> |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1729 | <i>Vidrios de seguridad. Determinación de la distorsión óptica</i> |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1730 | <i>Vidrios de seguridad. Determinación de la resistencia a la abrasión</i> |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1731 | <i>Vidrios de seguridad. Determinación de la resistencia a la humedad.</i> |

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma Internacional ISO 3537 Road vehicles – Safety glazing materials. Mechanical Tests. International Organization for Standardization. Ginebra, 1999.

Norma Británica BSI BS 5282. *Road vehicles safety glass*. British Standards Institution, London, 1980.

Norma Venezolana COVENIN 199 *Automotriz. Vidrios de seguridad* (3ra. Revisión). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 2000

Norma Sudafricana SABS 1191. Safety Glass for vehicles. High penetration resistant laminated. Safety glass for vehicles. 1997.

Norma Sudafricana SABS 1193. *Toughened safety glass for vehicles*. 2005.

Norma Norteamericana ANSI Z 26.1 *American National Standard for Safety Glazing Materials for Glazing Motor Vehicles Operating on Land Highways-Safety Standard*. American National Standards Institute. Nueva York, 1997.

Norma Oficial Mexicana NOM-146-SCFI-2001, Productos de vidrio – Vidrio de seguridad usado en la construcción – Especificaciones y métodos de prueba. México, D. F. 2001.

Anexo K: Norma ASTM D 3039 / D 3039M



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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3 *Symbols:*

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

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

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

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

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

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

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

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

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

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16 w —coupon width.

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

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

3.3.19 δ —extensional displacement.

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

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

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

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

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

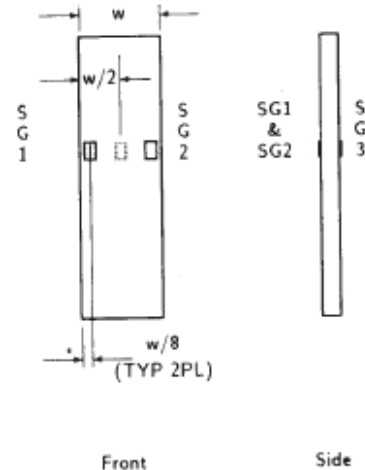


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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

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

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

where:

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

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

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

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

The total bending component is:

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

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

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

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

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/vapor level-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 <i>General Requirements</i> | Mandatory Shape and Tolerances |
| 8.2.2 <i>Specific Recommendations</i> | Nonmandatory Suggested Dimensions |
| 8.2.3 <i>Detailed Examples</i> | Nonmandatory Typical Practices |

8.2.1 *General Requirements:*

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

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

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 | ±1 % tab thickness |
| tabs | |
| 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.

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 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^a

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

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

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

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

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

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

where:

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

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

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

8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

9. Calibration

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

10. Conditioning

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

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 General Instructions:

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

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

DRAWING NOTES

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1993, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

| | | |
|------------|---------|---------|
| NO DECIMAL | X | XX |
| ± 3 | ± 3 | ± 3 |
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN $\pm 5^\circ$.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED $1.6\sqrt{\text{R}}$ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

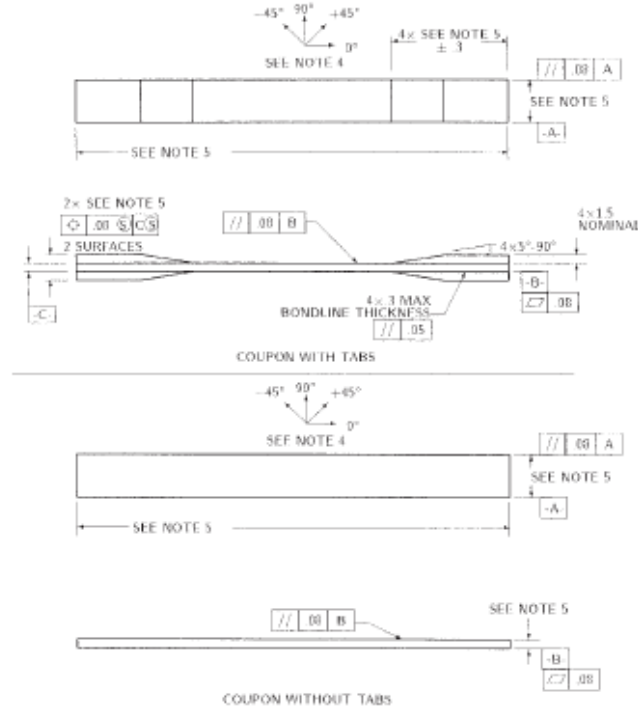


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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

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

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

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

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

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

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

DRAWING NOTES:

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

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

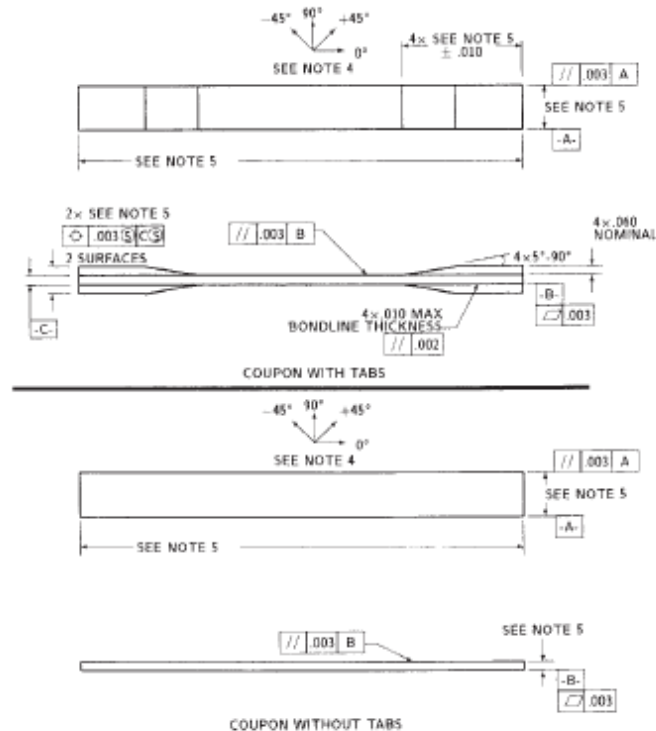


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

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

^A 1000 $\mu\epsilon$ = 0.001 absolute strain.
^B This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

12. Calculation

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

12.3 *Tensile Modulus of Elasticity*:

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

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

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

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

where:

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

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

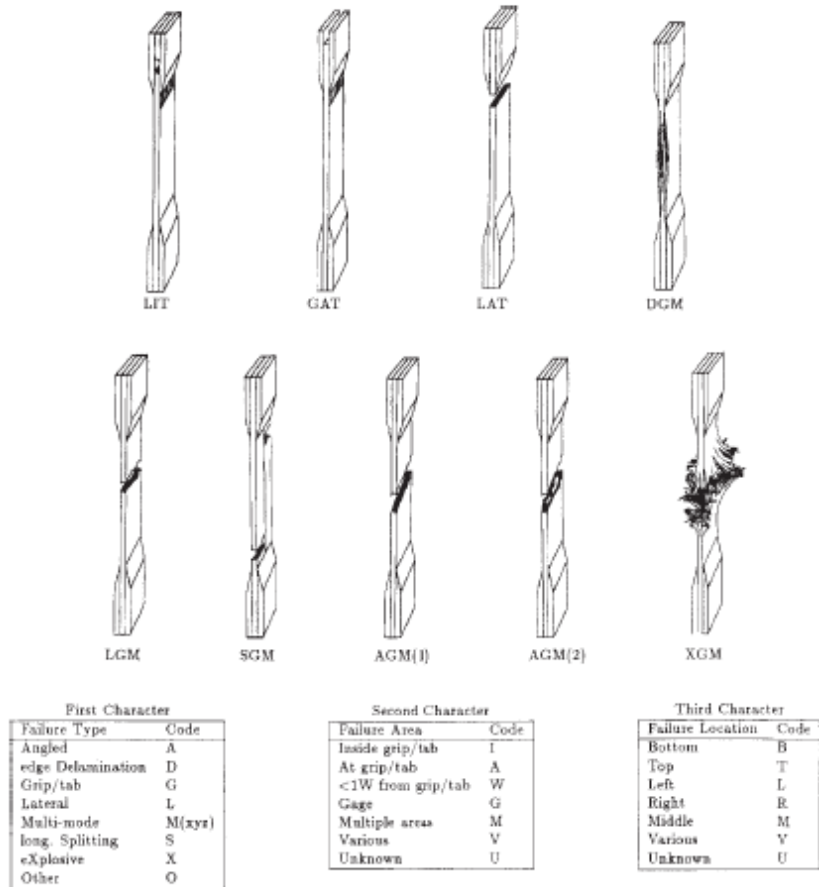


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

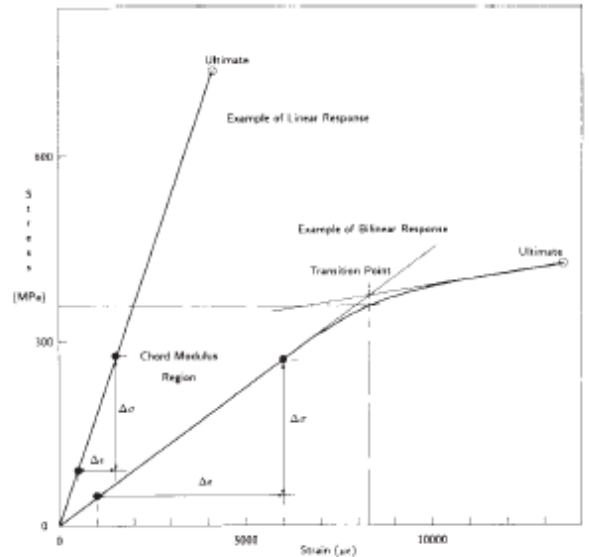


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

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

where:

- ν = Poisson's ratio;
- $\Delta \epsilon_l$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and
- $\Delta \epsilon_t$ = 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:

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

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

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

where:

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

13. Report

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

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

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

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

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

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

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

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

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

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

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

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

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

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

- A IM-63501-6 uni-tape (0)n
- B IM-63501-6 uni-tape (90)n
- C IM-63501-6 uni-tape (90/0)n
- F Glass/epoxy fabric (7781
glass/Ciba R 7376 Epoxy)-
warp aligned
- G Carbon/epoxy fabric (66108
carbon/Ciba R 6376

TABLE 4 Precision Statistics

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

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_r/\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 5 Averages of the Coefficients of Variation

| Parameter | Average of S/X , % | Average of S_y/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 L: Norma ASTM G 155 - 13

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: G155 – 13

Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation G155; 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 reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

1. Scope*

1.1 This practice covers the basic principles and operating procedures for using xenon arc light and water apparatus intended to reproduce the weathering effects that occur when materials are exposed to sunlight (either direct or through window glass) and moisture as rain or dew in actual use. This practice is limited to the procedures for obtaining, measuring, and controlling conditions of exposure. A number of exposure procedures are listed in an appendix; however, this practice does not specify the exposure conditions best suited for the material to be tested.

NOTE 1—Practice G151 describes performance criteria for all exposure devices that use laboratory light sources. This practice replaces Practice G26, which describes very specific designs for devices used for xenon-arc exposures. The apparatus described in Practice G26 is covered by this practice.

1.2 Test specimens are exposed to filtered xenon arc light under controlled environmental conditions. Different types of xenon arc light sources and different filter combinations are described.

1.3 Specimen preparation and evaluation of the results are covered in ASTM methods or specifications for specific materials. General guidance is given in Practice G151 and ISO 4892-1. More specific information about methods for determining the change in properties after exposure and reporting these results is described in Practice D5870.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.5 *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.

1.5.1 *Should any ozone be generated from the operation of the lamp(s), it shall be carried away from the test specimens and operating personnel by an exhaust system.*

1.6 This practice is technically similar to the following ISO documents: ISO 4892-2, ISO 11341, ISO 105 B02, ISO 105 B04, ISO 105 B05, and ISO 105 B06.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D3980 Practice for Interlaboratory Testing of Paint and Related Materials (Withdrawn 1998)³

D5870 Practice for Calculating Property Retention Index of Plastics

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

G26 Practice for Operating Light-Exposure Apparatus (Xenon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials (Discontinued 2001) (Withdrawn 2000)³

G113 Terminology Relating to Natural and Artificial Weathering Tests of Nonmetallic Materials

G151 Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources

2.2 CIE Standards:

CIE-Publ. No. 85: Recommendations for the Integrated Irradiance and the Spectral Distribution of Simulated Solar Radiation for Testing Purposes⁴

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G03 on Weathering and Durability and is the direct responsibility of Subcommittee G03.03 on Simulated and Controlled Exposure Tests.

Current edition approved June 1, 2013. Published August 2013. Originally approved in 1997. Last previous edition approved in 2005 as G155 – 05a. DOI: 10.1520/G0155-13.

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 The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

⁴ Available from American National Standards Institute, 11 W. 42d St., 13th floor, New York, NY 10036.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue May 8 09:46:19 EDT 2018 1
Downloaded/printed by

Escuela Politécnica Nacional (Escuela Politécnica Nacional) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

2.3 International Standards Organization Standards:

ISO 1134 Paint and Varnishes—Artificial Weathering Exposure to Artificial Radiation to Filtered Xenon Arc Radiation⁵

ISO 105 B02 Textiles—Tests for Colorfastness—Part B02 Colorfastness to Artificial Light: Xenon Arc Fading Lamp Test⁵

ISO 105 B04 Textiles—Tests for Colorfastness—Part B04 Colorfastness to Artificial Weathering: Xenon Arc Fading Lamp Test⁵

ISO 105 B05 Textiles—Tests for Colorfastness—Part B05 Detection and Assessment of Photochromism⁵

ISO 105 B06 Textiles—Tests for Colorfastness—Part B06 Colorfastness to Artificial Light at High Temperatures: Xenon Arc Fading Lamp Test⁵

ISO 4892-1 Plastics—Methods of Exposure to Laboratory Light Sources, Part 1, General Guidance⁵

ISO 4892-2 Plastics—Methods of Exposure to Laboratory Light Sources, Part 2, Xenon-Arc Sources⁵

2.4 Society of Automotive Engineers' Standards:

SAE J2412 Accelerated Exposure of Automotive Interior Trim Components Using a Controlled Irradiance Xenon-Arc Apparatus⁶

SAE J2527 Accelerated Exposure of Automotive Exterior Materials Using a Controlled Irradiance Xenon-Arc Apparatus⁶

3. Terminology

3.1 Definitions—The definitions given in Terminology G113 are applicable to this practice.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 As used in this practice, the term *sunlight* is identical to the terms *daylight* and *solar irradiance*, *global* as they are defined in Terminology G113.

4. Summary of Practice

4.1 Specimens are exposed to repetitive cycles of light and moisture under controlled environmental conditions.

4.1.1 Moisture is usually produced by spraying the test specimen with demineralized/deionized water or by condensation of water vapor onto the specimen.

4.2 The exposure condition may be varied by selection of:

- 4.2.1 Lamp filter(s),
- 4.2.2 The lamp's irradiance level,
- 4.2.3 The type of moisture exposure,
- 4.2.4 The timing of the light and moisture exposure,
- 4.2.5 The temperature of light exposure,
- 4.2.6 The temperature of moisture exposure, and
- 4.2.7 The timing of a light/dark cycle.

4.3 Comparison of results obtained from specimens exposed in the same model of apparatus should not be made unless reproducibility has been established among devices for the material to be tested.

4.4 Comparison of results obtained from specimens exposed in different models of apparatus should not be made unless correlation has been established among devices for the material to be tested.

5. Significance and Use

5.1 The use of this apparatus is intended to induce property changes associated with the end use conditions, including the effects of sunlight, moisture, and heat. These exposures may include a means to introduce moisture to the test specimen. Exposures are not intended to simulate the deterioration caused by localized weather phenomena, such as atmospheric pollution, biological attack, and saltwater exposure. Alternatively, the exposure may simulate the effects of sunlight through window glass. Typically, these exposures would include moisture in the form of humidity.

NOTE 2—Caution: Refer to Practice G151 for full cautionary guidance applicable to all laboratory weathering devices.

5.2 Variation in results may be expected when operating conditions are varied within the accepted limits of this practice. Therefore, no reference shall be made to results from the use of this practice unless accompanied by a report detailing the specific operating conditions in conformance with the Report Section.

5.2.1 It is recommended that a similar material of known performance (a control) be exposed simultaneously with the test specimen to provide a standard for comparative purposes. It is best practice to use control materials known to have relatively poor and good durability. It is recommended that at least three replicates of each material evaluated be exposed in each test to allow for statistical evaluation of results.

6. Apparatus

6.1 *Laboratory Light Source*—The light source shall be one or more quartz jacketed xenon arc lamps which emit radiation from below 270 nm in the ultraviolet through the visible spectrum and into the infrared. In order for xenon arcs to simulate terrestrial daylight, filters must be used to remove short wavelength UV radiation. Filters to reduce irradiance at wavelengths shorter than 310 nm must be used to simulate daylight filtered through window glass. In addition, filters to remove infrared radiation may be used to prevent unrealistic heating of test specimens that can cause thermal degradation not experienced during outdoor exposures.

6.1.1 The following factors can affect the spectral power distribution of filtered xenon arc light sources as used in these apparatus:

6.1.1.1 Differences in the composition and thickness of filters can have large effects on the amount of short wavelength UV radiation transmitted.

6.1.1.2 Aging of filters can result in changes in filter transmission. The aging properties of filters can be influenced

⁵ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>. Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

⁶ Available from SAE International (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096-0001, <http://www.sae.org>.

TABLE 1 Relative Ultraviolet Spectral Power Distribution Specification for Xenon Arc with Daylight Filters^{A,B}

| Spectral Bandpass Wavelength λ in nm | Minimum Percent ^C | Benchmark Solar Radiation Percent ^{D,E,F} | Maximum Percent ^C |
|--|------------------------------|--|------------------------------|
| $\lambda < 290$ | | | 0.15 |
| $290 \leq \lambda \leq 320$ | 2.6 | 5.8 | 7.9 |
| $320 < \lambda \leq 360$ | 28.3 | 40.0 | 40.0 |
| $360 < \lambda \leq 400$ | 54.2 | 54.2 | 67.5 |

^AData in Table 1 are the irradiance in the given bandpass expressed as a percentage of the total irradiance from 290 to 400 nm. The manufacturer is responsible for determining conformance to Table 1. Annex A1 states how to determine relative spectral irradiance.

^BThe data in Table 1 are based on the rectangular integration of 112 spectral power distributions for water and air cooled xenon-arcs with daylight filters of various lots and ages. The spectral power distribution data is for filters and xenon-burners within the aging recommendations of the device manufacturer. The minimum and maximum data are at least the three sigma limits from the mean for all measurements.

^CThe minimum and maximum columns will not necessarily sum to 100 % because they represent the minimum and maximum for the data used. For any individual spectral power distribution, the calculated percentage for the bandpasses in Table 1 will sum to 100 %. For any individual xenon-lamp with daylight filters, the calculated percentage in each bandpass must fall within the minimum and maximum limits of Table 1. Test results can be expected to differ between exposures using xenon arc devices in which the spectral power distributions differ by as much as that allowed by the tolerances. Contact the manufacturer of the xenon-arc devices for specific spectral power distribution data for the xenon-arc and filters used.

^DThe benchmark solar radiation data is defined in ASTM G177 and is for atmospheric conditions and altitude chosen to maximize the fraction of short wavelength solar UV. This data is provided for comparison purposes only.

^EPrevious versions of this standard used solar radiation data from Table 4 of CIE Publication Number 85. See Appendix X4 for more information comparing the solar radiation data used in this standard with that for CIE 85 Table 4.

^FFor the benchmark solar spectrum, the UV irradiance (290 to 400 nm) is 9.8 % and the visible irradiance (400 to 800 nm) is 90.2 % expressed as a percentage of the total irradiance from 290 to 800 nm. The percentages of UV and visible irradiances on samples exposed in xenon arc devices may vary due to the number and reflectance properties of specimens being exposed.

by the composition. Aging of filters can result in a significant reduction in the short wavelength UV emission of a xenon burner.

6.1.1.3 Accumulation of deposits or other residue on filters can effect filter transmission.

6.1.1.4 Aging of the xenon burner itself can result in changes in lamp output. Changes in lamp output may also be caused by accumulation of dirt or other residue in or on the burner envelope.

6.1.2 Follow the device manufacturer's instructions for recommended maintenance.

6.1.3 *Spectral Irradiance of Xenon Arc with Daylight Filters*—Filters are used to filter xenon arc lamp emissions in a simulation of terrestrial sunlight. The spectral power distribution of xenon arcs with new or pre-aged filters^{7,8} shall comply with the requirements specified in Table 1.

6.1.4 *Spectral Irradiance of Xenon Arc With Window Glass Filters*—Filters are used to filter xenon arc lamp emissions in

⁷ Ketola, W., Skogland, T., Fischer, R., "Effects of Filter and Burner Aging on the Spectral Power Distribution of Xenon Arc Lamps," *Durability Testing of Non-Metallic Materials, ASTM STP 1294*, Robert Herling, Editor, ASTM, Philadelphia, 1995.

⁸ Searle, N. D., Giesecke, P., Kinmonth, R., and Hitt, R. C., "Ultraviolet Spectral Distributions and Aging Characteristics of Xenon Arcs and Filters," *Applied Optics*, Vol. No. 8, 1964, pp. 923-927.

TABLE 2 Relative Ultraviolet Spectral Power Distribution Specification for Xenon-Arc with Window Glass Filters^{A,B}

| Spectral Bandpass Wavelength λ in nm | Minimum Percent ^C | Window Glass Filtered Solar Radiation Percent ^{D,E,F} | Maximum Percent ^C |
|--|------------------------------|--|------------------------------|
| $\lambda < 300$ | | 0.0 | 0.29 |
| $300 \leq \lambda \leq 320$ | 0.1 | ≤ 0.5 | 2.8 |
| $320 < \lambda \leq 360$ | 23.8 | 34.2 | 35.5 |
| $360 < \lambda \leq 400$ | 62.5 | 65.3 | 76.1 |

^AData in Table 2 are the irradiance in the given bandpass expressed as a percentage of the total irradiance from 300 to 400 nm. The manufacturer is responsible for determining conformance to Table 2. Annex A1 states how to determine relative spectral irradiance.

^BThe data in Table 2 are based on the rectangular integration of 36 spectral power distributions for water cooled and air cooled xenon-arcs with window glass filters of various lots and ages. The spectral power distribution data is for filters and xenon-burners within the aging recommendations of the device manufacturer. The minimum and maximum data are at least the three sigma limits from the mean for all measurements.

^CThe minimum and maximum columns will not necessarily sum to 100 % because they represent the minimum and maximum for the data used. For any individual spectral power distribution, the calculated percentage for the bandpasses in Table 2 will sum to 100 %. For any individual xenon-lamp with window glass filters, the calculated percentage in each bandpass must fall within the minimum and maximum limits of Table 2. Test results can be expected to differ between exposures using xenon arc devices in which the spectral power distributions differ by as much as that allowed by the tolerances. Contact the manufacturer of the xenon-arc devices for specific spectral power distribution data for the xenon-arc and filters used.

^DThe window glass filtered solar data is for a solar spectrum with atmospheric conditions and altitude chosen to maximize the fraction of short wavelength solar UV (defined in ASTM G177) that has been filtered by window glass. The glass transmission is the average for a series of single strength window glasses tested as part of a research study for ASTM Subcommittee G3.02.⁹ While this data is provided for comparison purposes only, it is desirable for a xenon-arc with window glass filters to provide a spectrum that is a close match to this window glass filtered solar spectrum.

^EPrevious versions of this standard used window glass filtered solar radiation data based on Table 4 of CIE Publication Number 85. See Appendix X4 for more information comparing the solar radiation data used in the standard with that for CIE 85 Table 4.

^FFor the benchmark window glass filtered solar spectrum, the UV irradiance (300 to 400 nm) is 8.2 % and the visible irradiance (400 to 800 nm) is 91.8 % expressed as a percentage of the total irradiance from 300 to 800 nm. The percentages of UV and visible irradiances on samples exposed in xenon arc devices with window glass filters may vary due to the number and reflectance properties of specimens being exposed, and the UV transmission of the window glass filters used.

a simulation of sunlight filtered through window glass.⁹ Table 2 shows the relative spectral power distribution limits for xenon arcs filtered with window glass filters. The spectral power distribution of xenon arcs with new or pre-aged filters shall comply with the requirements specified in Table 2.

6.1.5 *Spectral Irradiance of Xenon Arc With Extended UV Filters*—Filter that transmit more short wavelength UV are sometimes used to accelerate test result. Although this type of filter has been specified in some tests, they transmit significant radiant energy below 300 nm (the typical cut-on wavelength for terrestrial sunlight) and may result in aging processes not occurring outdoors. The spectral irradiance for a xenon arc with extended UV filters shall comply with the requirements of Table 3.

⁹ Ketola, W., Robbins, J. S., "UV Transmission of Single Strength Window Glass," *Accelerated and Outdoor Durability Testing of Organic Materials, ASTM STP 1202*, Warren D. Ketola and Douglas Grossman, Editors, ASTM, Philadelphia, 1993.

TABLE 3 Relative Ultraviolet Spectral Power Distribution Specification for Xenon Arc with Extended UV Filters^{A,B}

| Spectral Bandpass Wavelength λ in nm | Minimum Percent ^C | Benchmark Solar Radiation Percent ^{D,E,F} | Maximum Percent ^C |
|---|---------------------------------|---|---------------------------------|
| 250 $\leq \lambda <$ 290 | 0.1 | | 0.7 |
| 290 $\leq \lambda \leq$ 320 | 5.0 | 5.8 | 11.0 |
| 320 $< \lambda \leq$ 360 | 32.3 | 40.0 | 37.0 |
| 360 $< \lambda \leq$ 400 | 52.0 | 54.2 | 62.0 |

^AData in Table 3 are the irradiance in the given bandpass expressed as a percentage of the total irradiance from 250 to 400 nm. The manufacturer is responsible for determining conformance to Table 3. Annex A1 states how to determine relative spectral irradiance.

^BThe data in Table 3 are based on the rectangular integration of 81 spectral power distributions for water cooled and air cooled xenon arcs with extended UV filters of various lots and ages. The spectral power distribution data is for filters and xenon-burners within the aging recommendations of the device manufacturer. The minimum and maximum data are at least the three sigma limits from the mean for all measurements.

^CThe minimum and maximum columns will not necessarily sum to 100 % because they represent the minimum and maximum for the data used. For any individual spectral power distribution, the calculated percentage for the bandpasses in Table 3 will sum to 100 %. For any individual xenon-arc lamp with extended UV filters, the calculated percentage in each bandpass must fall within the minimum and maximum limits of Table 3. Test results can be expected to differ between exposures using xenon arc devices in which the spectral power distributions differ by as much as that allowed by the tolerances. Contact the manufacturer of the xenon-arc devices for specific spectral power distribution data for the xenon-arc and filters used.

^DThe benchmark solar radiation data is defined in ASTM G177 and is for atmospheric conditions and altitude chosen to maximize the fraction of short wavelength solar UV. This data is provided for comparison purposes only.

^EPrevious versions of this standard used solar radiation data from Table 4 of CIE Publication Number 85. See Appendix X4 for more information comparing the solar radiation data used in the standard with that for CIE 85 Table 4.

^FFor the benchmark solar spectrum, the UV irradiance (290 to 400 nm) is 9.8 % and the visible irradiance (400 to 800 nm) is 90.2 % expressed as a percentage of the total irradiance from 290 to 800 nm. The percentages of UV and visible irradiances on samples exposed in xenon arc devices may vary due to the number and reflectance properties of specimens being exposed.

6.1.6 The actual irradiance at the tester's specimen plane is a function of the number of xenon burners used, the power applied to each, and the distance between the test specimens and the xenon burner. If appropriate, report the irradiance and the bandpass in which it was measured.

6.2 *Test Chamber*—The design of the test chamber may vary, but it should be constructed from corrosion resistant material and, in addition to the radiant source, may provide for means of controlling temperature and relative humidity. When required, provision shall be made for the spraying of water on the test specimen, for the formation of condensate on the exposed face of the specimen or for the immersion of the test specimen in water.

6.2.1 The radiation source(s) shall be located with respect to the specimens such that the irradiance at the specimen face complies with the requirements in Practice G151.

6.3 *Instrument Calibration*—To ensure standardization and accuracy, the instruments associated with the exposure apparatus (that is, timers, thermometers, wet bulb sensors, dry bulb sensors, humidity sensors, UV sensors, radiometers) require periodic calibration to ensure repeatability of test results. Whenever possible, calibration should be traceable to national or international standards. Calibration schedule and procedure should be in accordance with manufacturer's instructions.

6.4 *Radiometer*—The use of a radiometer to monitor and control the amount of radiant energy received at the specimen

is recommended. If a radiometer is used, it shall comply with the requirements in Practice ASTM G151.

6.5 *Thermometer*—Either insulated or un-insulated black or white panel thermometers may be used. Thermometers shall conform to the descriptions found in Practice G151. The type of thermometer used, the method of mounting on specimen holder, and the exposure temperature shall be stated in the test report.

6.5.1 The thermometer shall be mounted on the specimen rack so that its surface is in the same relative position and subjected to the same influences as the test specimens.

6.5.2 Some specifications may require chamber air temperature control. Positioning and calibration of chamber air temperature sensors shall be in accordance with the descriptions found in Practice G151.

6.6 *Moisture*—The test specimens may be exposed to moisture in the form of water spray, condensation, immersion, or high humidity.

6.6.1 *Water Spray*—The test chamber may be equipped with a means to introduce intermittent water spray onto the front or the back of the test specimens, under specified conditions. The spray shall be uniformly distributed over the specimens. The spray system shall be made from corrosion resistant materials that do not contaminate the water employed.

6.6.1.1 *Quality of Water for Sprays and Immersion*—Spray water must have a conductivity below 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, contain less than 1-ppm solids, and leave no observable stains or deposits on the specimens. Very low levels of silica in spray water can cause significant deposits on the surface of test specimens. Care should be taken to keep silica levels below 0.1 ppm. In addition to distillation, a combination of deionization and reverse osmosis can effectively produce water of the required quality. The pH of the water used should be reported. See Practice G151 for detailed water quality instructions.

6.6.1.2 *Condensation*—A spray system designed to cool the specimen by spraying the back surface of the specimen or specimen substrate may be required when the exposure program specifies periods of condensation.

6.6.2 *Relative Humidity*—The test chamber may be equipped with a means to measure and control the relative humidity. Such instruments shall be shielded from the lamp radiation.

6.6.3 *Water Immersion*—The test chamber may be equipped with a means to immerse specimens in water under specified conditions. The immersion system shall be made from corrosion resistant materials that do not contaminate the water employed.

6.7 *Specimen Holders*—Holders for test specimens shall be made from corrosion resistant materials that will not affect the test results. Corrosion resistant alloys of aluminum or stainless steel have been found acceptable. Brass, steel, or copper shall not be used in the vicinity of the test specimens.

6.7.1 The specimen holders are typically, but not necessarily, mounted on a revolving cylindrical rack that is rotated around the lamp system at a speed dependent on the type of equipment and that is centered both horizontally and vertically with respect to the exposure area.

6.7.2 Specimen holders may be in the form of an open frame, leaving the back of the specimen exposed, or they may provide the specimen with a solid backing. Any backing used may affect test results and shall be agreed upon in advance between the interested parties.

6.7.3 Specimen holders may rotate on their own axis. When these holders are used, they may be filled with specimens placed back to back. Rotation of the holder on its axis alternately exposes each specimen to direct radiation from the xenon burner.

6.8 *Apparatus to Assess Changes in Properties*—Use the apparatus required by the ASTM or other standard that describes determination of the property or properties being monitored.

7. Test Specimen

7.1 Refer to Practice G151.

8. Test Conditions

8.1 Any exposure conditions may be used as long as the exact conditions are detailed in the report. Appendix XI lists some representative exposure conditions. These are not necessarily preferred and no recommendation is implied. These conditions are provided for reference only.

9. Procedure

9.1 Identify each test specimen by suitable indelible marking, but not on areas to be used in testing.

9.2 Determine which property of the test specimens will be evaluated. Prior to exposing the specimens, quantify the appropriate properties in accordance with recognized international standards. If required (for example, destructive testing), use unexposed file specimens to quantify the property. See Practice D5870 for detailed guidance.

9.3 *Mounting of Test Specimens*—Attach the specimens to the specimen holders in the equipment in such a manner that the specimens are not subject to any applied stress. To assure uniform exposure conditions, fill all of the spaces, using blank panels of corrosion resistant material if necessary.

Note 3—Evaluation of color and appearance changes of exposed materials must be made based on comparisons to unexposed specimens of the same material which have been stored in the dark. Masking or shielding the face of test specimens with an opaque cover for the purpose of showing the effects of exposure on one panel is not recommended. Misleading results may be obtained by this method, since the masked portion of the specimen is still exposed to temperature and humidity that in many cases will affect results.

9.4 *Exposure to Test Conditions*—Program the selected test conditions to operate continuously throughout the required number of repetitive cycles. Maintain these conditions throughout the exposure. Interruptions to service the apparatus and to inspect specimens shall be minimized.

9.5 *Specimen Repositioning*—Periodic repositioning of the specimens during exposure is not necessary if the irradiance at the positions farthest from the center of the specimen area is at least 90 % of that measured at the center of the exposure area. Irradiance uniformity shall be determined in accordance with Practice G151.

9.5.1 If irradiance at positions farthest from the center of the exposure area is between 70 and 90 % of that measured at the center, one of the following three techniques shall be used for specimen placement.

9.5.1.1 Periodically reposition specimens during the exposure period to ensure that each receives an equal amount of radiant exposure. The repositioning schedule shall be agreed upon by all interested parties.

9.5.1.2 Place specimens only in the exposure area where the irradiance is at least 90 % of the maximum irradiance.

9.5.1.3 To compensate for test variability, randomly position replicate specimens within the exposure area that meets the irradiance uniformity requirements as defined in section 9.5.1.

9.6 *Inspection*—If it is necessary to remove a test specimen for periodic inspection, take care not to handle or disturb the test surface. After inspection, the test specimen shall be returned to the test chamber with its test surface in the same orientation as previously tested.

9.7 *Apparatus Maintenance*—The test apparatus requires periodic maintenance to maintain uniform exposure conditions. Perform required maintenance and calibration in accordance with manufacturer's instructions.

9.8 Expose the test specimens for the specified period of exposure. See Practice G151 for further guidance.

9.9 At the end of the exposure, quantify the appropriate properties in accordance with recognized international standards and report the results in conformance with Practice G151.

Note 4—Periods of exposure and evaluation of test results are addressed in Practice G151.

10. Report

10.1 The test report shall conform to Practice G151.

11. Precision and Bias

11.1 Precision:

11.1.1 The repeatability and reproducibility of results obtained in exposures conducted according to this practice will vary with the materials being tested, the material property being measured, and the specific test conditions and cycles that are used. In round-robin studies conducted by Subcommittee G03.03, the 60° gloss values of replicate PVC tape specimens exposed in different laboratories using identical test devices and exposure cycles showed significant variability. The variability shown in these round-robin studies restricts the use of "absolute specifications" such as requiring a specific property level after a specific exposure period.

11.1.2 If a standard or specification for general use requires a definite property level after a specific time or radiant exposure in an exposure test conducted according to this practice, the specified property level shall be based on results obtained in a round-robin that takes into consideration the variability due to the exposure and the test method used to measure the property of interest. The round-robin shall be conducted according to Practice E691 or Practice D3980 and

shall include a statistically representative sample of all laboratories or organizations who would normally conduct the exposure and property measurement.

11.1.3 If a standard or specification for use between two or three parties requires a definite property level after a specific time or radiant exposure in an exposure test conducted according to this practice, the specified property level shall be based on statistical analysis of results from at least two separate, independent exposures in each laboratory. The design of the experiment used to determine the specification shall take into consideration the variability due to the exposure and the test method used to measure the property of interest.

11.1.4 The round-robin studies cited in 11.1.1 demonstrated that the gloss values for a series of materials could be ranked with a high level of reproducibility between laboratories. When reproducibility in results from an exposure test conducted

according to this practice have not been established through round-robin testing, performance requirements for materials shall be specified in terms of comparison (ranked) to a control material. The control specimens shall be exposed simultaneously with the test specimen(s) in the same device. The specific control material used shall be agreed upon by the concerned parties. Expose replicates of the test specimen and the control specimen so that statistically significant performance differences can be determined.

11.2 *Bias*—Bias cannot be determined because no acceptable standard weathering reference materials are available.

12. Keywords

12.1 accelerated; accelerated weathering; durability; exposure; laboratory weathering; light; lightfastness; non-metallic materials; temperature; ultraviolet; weathering; xenon arc

ANNEX

A1. DETERMINING CONFORMANCE TO RELATIVE SPECTRAL POWER DISTRIBUTION TABLES

(Mandatory Information for Equipment Manufacturers)

A1.1 Conformance to the relative spectral power distribution tables is a design parameter for xenon-arc source with the different filters provided. Manufacturers of equipment claiming conformance to this standard shall determine conformance to the spectral power distribution tables for all lamp/filter combinations provided, and provide information on maintenance procedures to minimize any spectral changes that may occur during normal use.

A1.2 The relative spectral power distribution data for this standard were developed using the rectangular integration technique. Eq A1.1 is used to determine the relative spectral irradiance using rectangular integration. Other integration techniques can be used to evaluate spectral power distribution data, but may give different results. When comparing relative spectral power distribution data to the spectral power distribution requirements of this standard, use the rectangular integration technique.

A1.3 To determine whether a specific lamp for a xenon-arc device meets the requirements of Table 1, Table 2, or Table 3, measure the spectral power distribution from 250 nm to 400 nm. Typically, this is done at 2 nm increments. If the manufacturer's spectral measurement equipment cannot measure wavelengths as low as 250 nm, the lowest measurement wavelength must be reported. The lowest wavelength mea-

sured shall be no greater than 270 nm. For determining conformance to the relative spectral irradiance requirements for a xenon-arc with extended UV filters, measurement from 250 nm to 400 nm is required. The total irradiance in each wavelength bandpass is then summed and divided by the specified total UV irradiance according to Eq A1.1. Use of this equation requires that each spectral interval must be the same (for example, 2 nm) throughout the spectral region used.

$$I_R = \frac{\sum_{\lambda_1=A}^{\lambda_2=B} E_{\lambda_1}}{\sum_{\lambda_1=C}^{\lambda_2=D} E_{\lambda_1}} \times 100 \tag{A1.1}$$

where:

- I_R = relative irradiance in percent,
- E = irradiance at wavelength λ_1 (irradiance steps must be equal for all bandpasses),
- A = lower wavelength of wavelength bandpass,
- B = upper wavelength of wavelength bandpass,
- C = lower wavelength of total UV bandpass used for calculating relative spectral irradiance (250 nm for daylight filters, 300 nm for window glass filters, or 250 nm for extended UV filters), and
- λ_1 = wavelength at which irradiance was measured.

APPENDICES

(Nonmandatory Information)

X1. APPARATUS WITH AIR-COOLED XENON ARC LAMPS

X1.1 This test apparatus uses one or more air-cooled xenon arc lamps as the source of radiation. Different type and different size lamps operating in different wattage ranges may be utilized in different sizes and types of apparatus.

X1.2 The radiation system consists of either one or more xenon-arc lamps, depending on the type of apparatus. A heat-absorbing system may be used.

X2. APPARATUS WITH WATER-COOLED XENON ARC LAMPS

X2.1 The test apparatus uses a water-cooled xenon arc lamp as the source of radiation. Different size lamps operating in different wattage ranges may be utilized in different sizes and types of apparatus.

the necessary accessories. To cool the lamp, distilled or deionized water is circulated over the burner tube and then directed out of the lamp between the inner and outer glass filters.

X2.2 The xenon-arc lamp used consists of a xenon burner tube, an inner filter of glass or quartz, an outer glass filter, and

X3. EXPOSURE CONDITIONS

X3.1 Any exposure conditions may be used, as long as the exact conditions are detailed in the report. Following are some representative exposure conditions. These are not necessarily preferred and no recommendation is implied. These conditions are provided for reference only (see Table X3.1).

temperature. The specimen temperature permissible for the accelerated test depends on the material to be tested and on the aging criterion under consideration.

NOTE X3.1—These exposure conditions are brief summaries of the actual exposure procedures. Consult the applicable test method or material specification for detailed operating instructions and procedures. Historical convention has established Cycle 1 as a very commonly used exposure cycle. Other cycles may give a better simulation of the effects of outdoor exposure. Cycle 3 has been used for exterior grade textile materials. Cycle 4 has been used for indoor plastics. Cycles 5 and 6 have been commonly used for indoor textile materials. Cycle 7 has been used for automotive exterior materials. Cycle 8 has been used for automotive interior components.

NOTE X3.6—The relative humidity of the air as measured in the test chamber is not necessarily equivalent to the relative humidity of the air very close to the specimen surface. This is because test specimens having varying colors and thicknesses may be expected to vary in temperature.

NOTE X3.2—Cycle 7 corresponds to the test cycles specified in SAE J2527. Cycle 8 corresponds to the test cycles specified in SAE J2412. Consult the appropriate test procedure for detailed cycle descriptions, operating instructions, and a description of the filters used in this application. The filter system specified in these procedures is characterized in 6.1.4.

X3.2 Unless otherwise specified, operate the apparatus to maintain the operational fluctuations specified in Table X3.2 for the parameters in Table X3.1. If the actual operating conditions do not agree with the machine settings after the equipment has stabilized, discontinue the test and correct the cause of the disagreement before continuing.

NOTE X3.3—More complex cycles may be programmed in conjunction with dark periods that allow high relative humidities and the formation of condensate at elevated chamber temperatures. Condensation may be produced on the face of the specimens by spraying the rear side of the specimens to cool them below the dew point.

NOTE X3.7—Set points and operational fluctuations could either be listed independently of each other, or they could be listed in the format: Set point \pm operational fluctuations. The set point is the target condition for the sensor used at the operational control point as programmed by the user. Operational fluctuations are deviations from the indicated set point at the control point indicated by the readout of the calibrated control sensor during equilibrium operation and do not include measurement uncertainty. At the operational control point, the operational fluctuation can exceed no more than the listed value at equilibrium. When a standard calls for a particular set point, the user programs that exact number. The operational fluctuations specified with the set point do not imply that the user is allowed to program a set point higher or lower than the exact set point specified.

NOTE X3.4—For special tests, a high operating temperature may be desirable, but this will increase the tendency for thermal degradation to adversely influence the test results.

NOTE X3.5—Surface temperature of specimens is an essential test quantity. Generally, degradation processes accelerate with increasing

X3.3 For conversion of test cycles from G26 to G155 see Table X3.3.

TABLE X3.1 Common Exposure Conditions

| Cycle | Filter | Irradiance | Wavelength | Exposure Cycle |
|-------|--------------|-----------------------------|------------|--|
| 1 | Daylight | 0.35 W/(m ² ·nm) | 340 nm | 102 min light at 63°C black panel temperature 18 min light and water spray (air temp. not controlled) |
| 2 | Daylight | 0.35 W/(m ² ·nm) | 340 nm | 102 min light at 63°C black panel temperature 18 min light and water spray (air temp. not controlled) repeated nine times for a total of 18h; followed by 6 h dark at 95 (±4.0) % RH, at 24°C black panel temperature |
| 3 | Daylight | 0.35 W/(m ² ·nm) | 340 nm | 1.5 h light, 70 % RH, at 77°C black panel temperature 0.5 h light and water spray (air temp. not controlled) |
| 4 | Window Glass | 0.30 W/(m ² ·nm) | 340 nm | 100 % light, 55 % RH, at 55°C black panel temperature |
| 5 | Window Glass | 1.10 W/(m ² ·nm) | 420 nm | 102 min light, 35 % RH, at 63°C black panel temperature 18 min light and water spray (air temp. not controlled) |
| 6 | Window Glass | 1.10 W/(m ² ·nm) | 420 nm | 3.8 h light, 35 % RH, at 63 °C black panel temperature 1 h dark, 90 % RH, at 43 ° C black panel temperature |
| 7 | Extended UV | 0.55 W/(m ² ·nm) | 340 nm | 40 min light, 50 % RH, at 70 (±2) °C black panel temperature and 47 (±2) °C chamber air temperature 20 min light and water spray on specimen face 60 min light, 50 % RH, at 70 (±2) °C black panel temperature; and 47 (±2) °C chamber air temperature 60 min dark and water spray on specimen front and back, 95 % RH, 38 (±2) °C black panel temperature and 38 (±2) °C chamber air temperature |
| 7A | Daylight | 0.55 W/(m ² ·nm) | 340 nm | 40 min light, 50 (±5.0) % RH, at 70 (±2) °C black panel temperature and 47 (±2) °C chamber air temperature 20 min light and water spray on specimen face; 60 min light, 50 % RH, at 70 (±2) °C black panel temperature; and 47 (±2) °C chamber air temperature 60 min dark and water spray on specimen front and back, 95 % RH, 38 (±2) °C black panel temperature and 38 (±2) °C chamber air temperature |
| 8 | Extended UV | 0.55 W/m ² ·nm | 340 nm | 3.8 h light, 50 % RH, at 89 (±3) °C black panel temperature and 62 (±2) °C chamber air temperature 1.0 h dark, 95 % RH, at 38 (±2) °C black panel temperature and 38 (±2) °C chamber air temperature |
| 9 | Daylight | 180 W/m ² | 300–400 nm | 102 min light at 63°C black panel temperature 18 min light and water spray (temperature not controlled) |
| 10 | Window Glass | 162 W/m ² | 300–400 nm | 100 % light, 50 % RH, at 89°C black panel temperature |
| 11 | Window Glass | 1.5 W/(m ² ·nm) | 420 nm | Continuous light at 63°C black panel temperature, 30 % RH |
| 12 | Daylight | 0.35 W/(m ² ·nm) | 340 nm | 18 h consisting of continuous light at 63°C black panel temperature 30 % RH 6 h dark at 90 % RH, at 35°C chamber air temperature |

TABLE X3.2 Operational Fluctuations on Exposure Conditions

| Parameter | Maximum Allowable Deviations from the Set Point at the Control Point Indicated by the Readout of the Calibrated Control Sensor During Equilibrium Operation |
|--------------------------------------|---|
| Black Panel Temperature | ±2.5°C |
| Chamber Air Temperature | ±2°C |
| Relative Humidity | ±10 % |
| Irradiance (monitored at 340 nm) | ±0.02 W/(m ² ·nm) |
| Irradiance (monitored at 420 nm) | ±0.02 W/(m ² ·nm) |
| Irradiance (monitored at 300–400 nm) | ±2 W/m ² |

TABLE X3.3 Conversion of Test Cycles from G26 to G155

| G26 Test Cycle Description for | Corresponding Test Cycle In G155 |
|--|---|
| <p>G26, Method A — Continuous light with intermittent water spray</p> <p>The following test cycle is the only specific condition described</p> <p>102 min light only (uninsulated black panel temperature at $63 \pm 3^\circ\text{C}$)</p> <p>18 min light + water spray The type of filter and relative humidity during the light period are not specified</p> | <p>Three cycles in G155, Table X3.1 use continuous light and the same water spray times as the conditions described in G26, Method A</p> <p>Cycle 1 uses daylight filters with 340 nm irradiance controlled at $0.35\text{W/m}^2/\text{nm}$ (the suggested minimum 340 nm irradiance for daylight filters in G26, Method A)</p> <p>Cycle 5 uses window glass filters with 420 nm irradiance controlled at $1.10\text{W/m}^2/\text{nm}$ (the suggested minimum 340 nm irradiance for window glass filters in G26 is $0.7\text{W/m}^2/\text{nm}$)</p> <p>Cycle 9 uses daylight filters and 340 nm irradiance controlled at $1.55\text{W/m}^2/\text{nm}$ ($180\text{W/m}^2/\text{nm}$ from 300–400 nm).</p> |
| <p>G26 – Method B — alternate exposure to light and dark and intermittent exposure to water spray</p> <p>No specific light/dark/water cycle described</p> <p>The only conditions during the light period that are described are those of Method A. The length of dark period is not specified, nor are temperature or relative humidity conditions during the dark period.</p> | <p>G155, Table X3.1 describes several specific cycles that combine light/dark periods with periods of water spray</p> <p>Cycle 2 in Table X3.1 has an 18h light period using the same conditions described in G26, Method A followed by a 6 h dark period at a very high relative humidity</p> |
| <p>G26 – Method C — continuous exposure to light with no water spray</p> <p>Uses window glass filters Uninsulated black panel temperature is $63 \pm 3^\circ\text{C}$, relative humidity is $30 \pm 5\%$ Typical irradiance is $1.5\text{W/m}^2/\text{nm}$</p> | <p>G155, Table X3.1, Cycle 11</p> |
| <p>G26 – Method D — alternate exposure to light and darkness without water spray</p> <p>No specific periods of light/dark are described</p> <p>Type of filter not specified Irradiance is not specified. Suggested minimum irradiance is 0.35W/m^2 at 340 nm with daylight filters or 0.7W/m^2 at 420 nm with window glass filters RH controlled to $35 \pm 5\%$ during light period</p> <p>Dark cycle requires a dry bulb temperature of $35 \pm 3^\circ\text{C}$ and $50 \pm 5\%$ RH</p> | <p>G155, Table X3.1 Cycle 12</p> |

TABLE X3.4 Comparison of Basic Atmospheric Conditions Used for Benchmark Solar Spectrum and CIE 85 Table 4 Solar Spectrum

| Atmospheric Condition | Benchmark Solar Spectrum | CIE 85 Table 4 Solar Spectrum |
|-------------------------------------|---|---|
| Ozone (atm-cm) | 0.30 | 0.34 |
| Precipitable water vapor (cm) | 0.57 | 1.42 |
| Altitude (m) | 2000 | 0 |
| Tilt angle | 37° facing Equator | 0° (horizontal) |
| Air mass | 1.05 | 1.00 |
| Albedo (ground reflectance) | Light Soil wavelength dependent | Constant at 0.2 |
| Aerosol extinction | Shettle & Fenn Rural (humidity dependent) | Equivalent to Linke Turbidity factor of about 2.8 |
| Aerosol optical thickness at 500 nm | 0.05 | 0.10 |

TABLE X3.5 Irradiance and Relative Irradiance Comparison for Benchmark Solar Spectrum and CIE 85 Table 4 Solar Spectrum

| Bandpass | Benchmark Solar Spectrum | CIE 85 Table 4 Solar Spectrum |
|---|--------------------------|-------------------------------|
| Irradiance (W/m ²) in stated bandpass | | |
| $\lambda < 290$ | 0.000 | 0.000 |
| $290 \leq \lambda \leq 320$ | 3.748 | 4.060 |
| $320 < \lambda \leq 360$ | 25.661 | 28.450 |
| $360 < \lambda \leq 400$ | 34.762 | 42.050 |
| $290 \leq \lambda \leq 400$ | 64.171 | 74.560 |
| $290 \leq \lambda \leq 800$ | 652.300 | 678.780 |
| Percent of 290 to 400 nm irradiance | | |
| $\lambda < 290$ | 0.0 % | 0.0 % |
| $290 < \lambda \leq 320$ | 5.8 % | 5.4 % |
| $320 < \lambda \leq 360$ | 40.0 % | 38.2 % |
| $360 < \lambda \leq 400$ | 54.2 % | 56.4 % |
| Percent of 290 to 800 nm irradiance | | |
| $290 \leq \lambda \leq 400$ | 9.8 % | 11.0 % |

X4. COMPARISON OF BENCHMARK SOLAR UV SPECTRUM AND CIE 85 TABLE 4 SOLAR SPECTRUM

X4.1 This standard uses a benchmark solar spectrum based on atmospheric conditions that provide for a very high level of solar ultraviolet radiation. This benchmark solar spectrum is published in ASTM G177, Standard Tables for Reference Solar Ultraviolet Spectral Distributions: Hemispherical on 37 degree Tilted Surface. The solar spectrum is calculated using the SMARTS2 solar radiation model.^{10,11,12} ASTM Adjunct ADJG0173, SMARTS2 Solar Radiation Model for Spectral Radiation provides the program and documentation for calcu-

lating solar spectral irradiance.

X4.2 Previous versions of this standard used CIE 85 Table 4 as the benchmark solar spectrum. Table X3.4 compares the basic atmospheric conditions used for the benchmark solar spectrum and CIE 85 Table 4 solar spectrum.

X4.3 Table X3.5 compares irradiance (calculated using rectangular integration) and relative irradiance for the benchmark solar spectrum and CIE 85 Table 4 solar spectrum, in the bandpasses used in this standard.

¹⁰ Gueymard, C., "Parameterized Transmittance Model for Direct Beam and Circumsolar Spectral Irradiance," *Solar Energy*, Vol 71, No. 5, 2001, pp. 325-346.

¹¹ Gueymard, C. A., Myers, D., and Emery, K., "Proposed Reference Irradiance Spectra for Solar Energy Systems Testing," *Solar Energy*, Vol 73, No 6, 2002, pp. 443-467.

¹² Myers, D. R., Emery, K., and Gueymard, C., "Revising and Validating Spectral Irradiance Reference Standards for Photovoltaic Performance Evaluation," *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Journal of Solar Energy Engineering*, Vol 126, pp 567-574, Feb. 2004.

SUMMARY OF CHANGES

Committee G03 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (G155 – 05a) that may impact the use of this standard. (Approved June 1, 2013.)

- (1) Deleted obsolete Referenced Documents from listings in 2.1 Society of Automotive Engineers' Standards and Note X3.7 (SAE J1885 and SAE J1960).
(2) Harmonized 5.2.1 with other industry standards.
(3) Table X3.1: Harmonized format for all cycles; harmonized Cycle 2 with Practice G152; corrected Cycle 7; deleted redundant operational fluctuations; deleted unnecessary "uninsulated" descriptors for black panel temperature; harmonized with Terminology G3.
(4) Changed allowable operational fluctuation in Table X3.2 for humidity control from $\pm 5\%$ to $\pm 10\%$; harmonized with other industry standards.
(5) Added "Summary of Changes."

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 approved 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 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT/).



Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D 3878 Terminology for Composite Materials

D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation

D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials

E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

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

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases

E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases

2.2 Other Documents:

ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³

ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

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

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

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

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

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

3.3 Symbols:

b = specimen width

CV = sample coefficient of variation, in percent

$E_{f, \text{chord}}$ = flexural chord modulus of elasticity

$E_{f, \text{secant}}$ = 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

d = mid-span deflection of the specimen

e = strain at the outer surface at mid-span of the specimen

s = 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

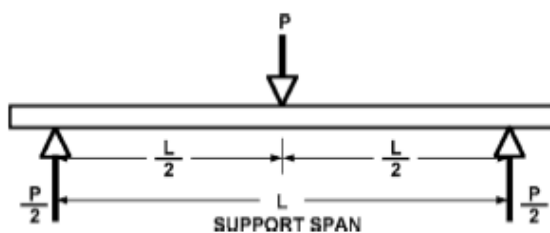


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

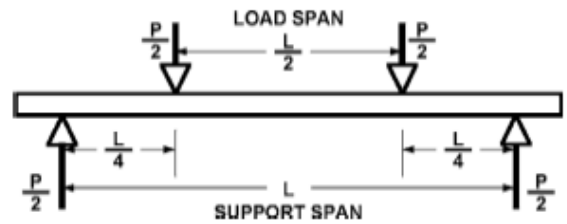


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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 D 2344/D 2344M.

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

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.

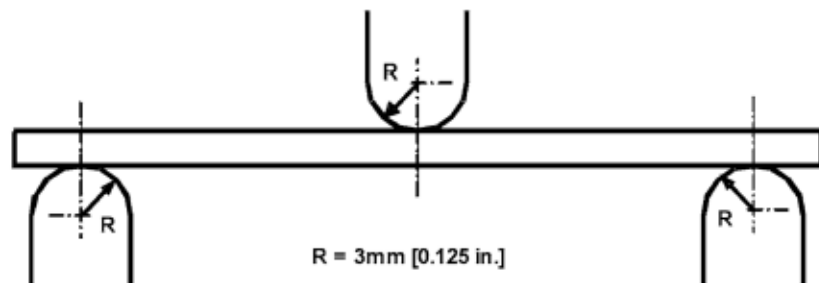
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

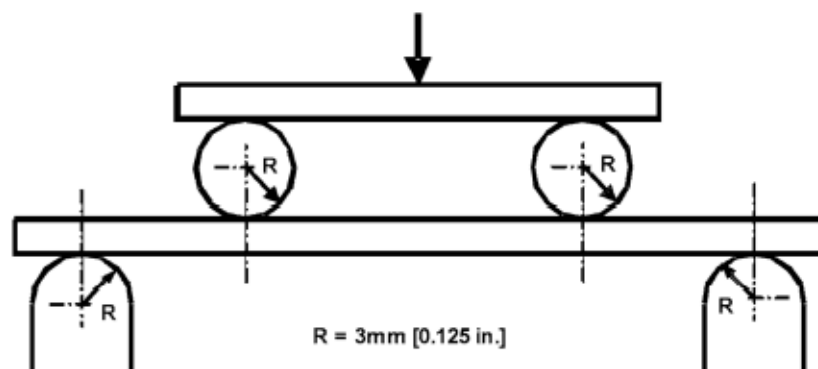
7. Apparatus

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 61 % of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1 % of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces of radius 3.00 mm [0.125 in.] as shown in Fig. 3, with a hardness of 60 to 62 HRC, as specified in Test Methods E 18, and shall have finely



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



Four-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Rolling Loading Noses

FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)

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 0.1 % 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 0.1°C [0.2°F] and the required vapor level to within 0.3 % relative humidity, as outlined in Test Method D 5229/ D 5229M. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 *Environmental Test Chamber*—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature

within 0.3°C [0.5°F] and the required vapor level to within 0.3 % relative humidity.

8. Test Specimens

8.1 *Specimen Preparation*—Guide D 5687/D 5687M provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

8.2 *Specimen Size* is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See Figs. 4 and 5 for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide D 6856. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

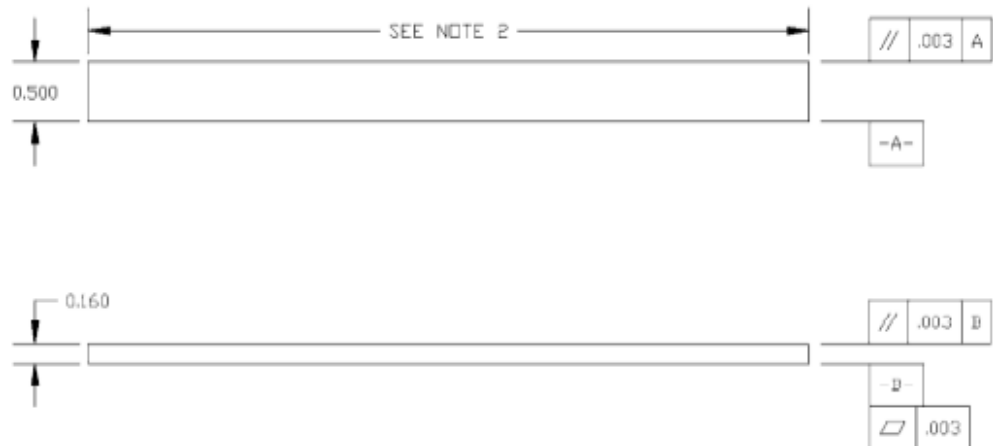
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.



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

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.
 NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.
FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

9. Number of Test Specimens

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

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning but before testing, measure and record the specimen width and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a

rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

11.7 *Failure Modes*—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

11.7.1 *Failure Identification Codes*—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

12. Validation

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) should be reexamined.

13. Calculation

NOTE 5—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 *Maximum Flexural Stress, Procedure A*—When a beam of homogenous, elastic material is tested in flexure as a

beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

$$s = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

where:

- s = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.⁴ Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to ½ the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

$$s = \frac{3PL}{4bh^2} \quad (2)$$

where:

- s = stress at the outer surface in the load span region, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and

⁴ For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

| First Character | | Second Character | | Third Character | |
|--------------------|--------|-------------------------------|------|------------------|------|
| Failure Mode | Code | Failure Area | Code | Failure Location | Code |
| Tension | T | At loading nose | A | Top | T |
| Compression | C | Between loading noses | B | Bottom | B |
| Buckling | B | at Support nose | S | Left | L |
| interlaminar Shear | S | between Load and support nose | L | Right | R |
| Multi-mode | M(xyz) | Unknown | U | Middle | M |
| Other | O | | | Various | V |
| | | | | Unknown | U |

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

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:

$$E_f \frac{6dh}{L^2 S} \quad (3)$$

where:

- e = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- d = 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:

$$e \leq \frac{4.36dh}{L^2} \quad (4)$$

where:

- d = mid-span deflection, mm [in.],
- e = 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*:

chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord

point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start

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).

$$E_f^{chord} \leq \frac{Ds}{De} \quad (5)$$

where:

- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],

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*:

$$E_f^{secant} \leq \frac{Lm}{4bh^3} E_f \quad (6)$$

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*:

$$E_f^{secant} \leq \frac{0.17Lm}{bh^3} \quad (7)$$

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (8)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

where:

$$CV \leq 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

- \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.

- Ds = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
 De = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

¹ For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (5th Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

14. Report

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

- 14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.
- 14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.
- 14.1.3 The name(s) of the test operator(s).
- 14.1.4 The test Procedure used (A or B).
- 14.1.5 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.
- 14.1.6 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.
- 14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.
- 14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.
- 14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.
- 14.1.10 Average ply thickness of the material.
- 14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.
- 14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.
- 14.1.13 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.
- 14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.
- 14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.
- 14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.
- 14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.
- 14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.
- 14.1.19 Number of specimens tested.
- 14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.
- 14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.
- 14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

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

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

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

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

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

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

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

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

A1.2 Measurement of Span:

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

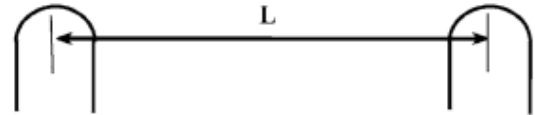


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

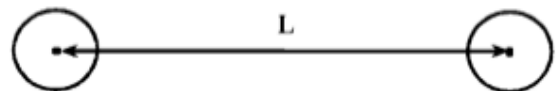


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

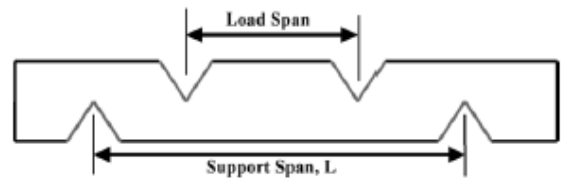


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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').

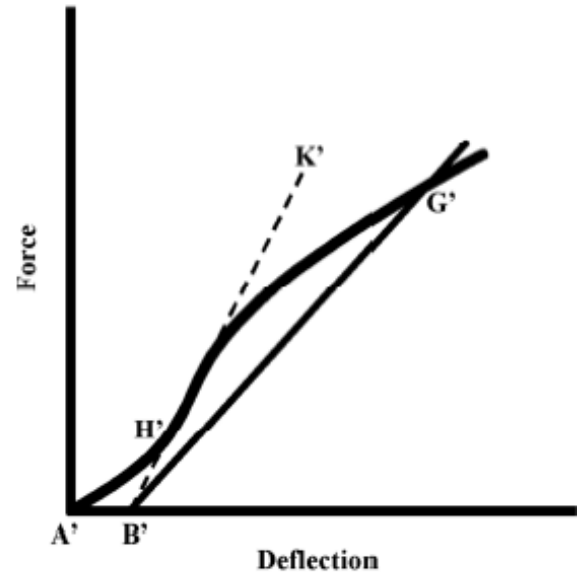


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

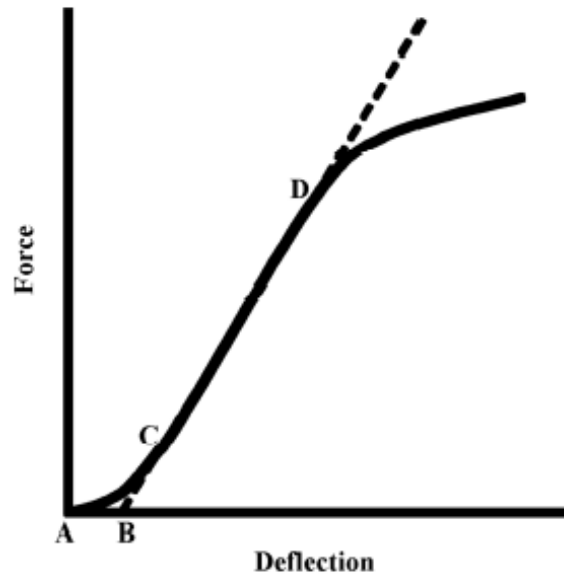


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

Anexo N: Norma ASTM D 570 - 98



Designation: D 570 – 98

Standard Test Method for Water Absorption of Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D 570; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative rate of absorption of water by plastics when immersed. This test method is intended to apply to the testing of all types of plastics, including cast, hot-molded, and cold-molded resinous products, and both homogeneous and laminated plastics in rod and tube form and in sheets 0.13 mm (0.005 in.) or greater in thickness.

1.2 The values given in SI units are to be regarded as the standard. The values stated 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.*

NOTE 1—ISO 62 is technically equivalent to this test method.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 647 Practice for Design of Molds for Test Specimens of Plastic Molding Materials²

2.2 ISO Standard:

ISO 62 Plastics—Determination of Water Absorption³

3. Significance and Use

3.1 This test method for rate of water absorption has two chief functions: first, as a guide to the proportion of water absorbed by a material and consequently, in those cases where the relationships between moisture and electrical or mechanical properties, dimensions, or appearance have been determined, as a guide to the effects of exposure to water or humid conditions on such properties; and second, as a control test on the uniformity of a product. This second function is particularly applicable to sheet, rod, and tube arms when the test is made on the finished product.

3.2 Comparison of water absorption values of various plastics can be made on the basis of values obtained in accordance with 7.1 and 7.4.

3.3 Ideal diffusion of liquids⁴ into polymers is a function of the square root of immersion time. Time to saturation is strongly dependent on specimen thickness. For example, Table 1 shows the time to approximate time saturation for various thicknesses of nylon-6.

3.4 The moisture content of a plastic is very intimately related to such properties as electrical insulation resistance, dielectric losses, mechanical strength, appearance, and dimensions. The effect upon these properties of change in moisture content due to water absorption depends largely on the type of exposure (by immersion in water or by exposure to high humidity), shape of the part, and inherent properties of the plastic. With nonhomogeneous materials, such as laminated forms, the rate of water absorption may be widely different through each edge and surface. Even for otherwise homogeneous materials, it may be slightly greater through cut edges than through molded surfaces. Consequently, attempts to correlate water absorption with the surface area must generally be limited to closely related materials and to similarly shaped specimens: For materials of widely varying density, relation between water-absorption values on a volume as well as a weight basis may need to be considered.

4. Apparatus

4.1 *Balance*—An analytical balance capable of reading 0.0001 g.

4.2 *Oven*, capable of maintaining uniform temperatures of $50 \pm 3^\circ\text{C}$ ($122 \pm 5.4^\circ\text{F}$) and of 105 to 110°C (221 to 230°F).

5. Test Specimen

5.1 The test specimen for molded plastics shall be in the form of a disk 50.8 mm (2 in.) in diameter and 3.2 mm ($\frac{1}{8}$ in.) in thickness (see Note 2). Permissible variations in thickness are ± 0.18 mm (± 0.007 in.) for hot-molded and ± 0.30 mm (± 0.012 in.) for cold-molded or cast materials.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D 20.50 on Permanence Properties. Current edition approved July 10, 1998. Published January 1999. Originally published as D 570 – 40 T. Last previous edition D 570 – 95.

² Discontinued 1994; replaced by D 1896, D 3419, D 3641, D 4703, and D 5227. See 1994 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

⁴ Additional information regarding diffusion of liquids in polymers can be found in the following references: (1) *Diffusion, Mass Transfer in Fluid Systems*, E. L. Cussler, Cambridge University Press, 1985, ISBN 0-521-29846-6, (2) *Diffusion in Polymers*, J. Crank and G. S. Park, Academic Press, 1968, and (3) "Permeation, Diffusion, and Sorption of Gases and Vapors," R. M. Felder and G. S. Huvard, in *Methods of Experimental Physics*, Vol 16C, 1980, Academic Press.



TABLE 1 Time to Saturation for Various Thickness of Nylon-6

| Thickness, mm | Typical Time to 95 % Saturation, h |
|---------------|------------------------------------|
| 1 | 100 |
| 2 | 400 |
| 3.2 | 1 000 |
| 10 | 10 000 |
| 25 | 62 000 |

NOTE 2—The disk mold prescribed in the Molds for Disk Test Specimens Section of Practice D 647 is suitable for molding disk test specimens of thermosetting materials but not thermoplastic materials.

5.2 *ISO Standard Specimen*—The test specimen for homogeneous plastics shall be 60 by 60 by 1 mm. Tolerance for the 60-mm dimension is ± 2 mm and ± 0.05 mm for the 1-mm thickness. This test method and ISO 62 are technically equivalent when the test specimen described in 5.2 is used.

5.3 The test specimen for sheets shall be in the form of a bar 76.2 mm (3 in.) long by 25.4 mm (1 in.) wide by the thickness of the material. When comparison of absorption values with molded plastics is desired, specimens 3.2 mm ($\frac{1}{8}$ in.) thick should be used. Permissible variations in thickness shall be 0.20 mm (± 0.008 in.) except for asbestos-fabric-base phenolic laminated materials or other materials which have greater standard commercial tolerances.

5.4 The test specimen for rods shall be 25.4 mm (1 in.) long for rods 25.4 mm in diameter or under and 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ in.) long for larger-diameter rods. The diameter of the specimen shall be the diameter of the finished rod.

5.5 The test specimen for tubes less than 76 mm (3 in.) in inside diameter shall be the full section of the tube and 25.4 mm (1 in.) long. For tubes 76 mm (3 in.) or more in inside diameter, a rectangular specimen shall be cut 76 mm in length in the circumferential direction of the tube and 25.4 mm in width lengthwise of the tube.

5.6 The test specimens for sheets, rods, and tubes shall be machined, sawed, or sheared from the sample so as to have smooth edges free from cracks. The cut edges shall be made smooth by finishing with No. 0 or finer sandpaper or emery cloth. Sawing, machining, and sandpapering operations shall be slow enough so that the material is not heated appreciably.

NOTE 3—If there is any oil on the surface of the specimen when received or as a result of machining operations, wash the specimen with a cloth wet with gasoline to remove oil, wipe with a dry cloth, and allow to stand in air for 2 h to permit evaporation of the gasoline. If gasoline attacks the plastic, use some suitable solvent or detergent that will evaporate within the 2-h period.

5.7 The dimensions listed in the following table for the various specimens shall be measured to the nearest 0.025 mm (0.001 in.). Dimensions not listed shall be measured within 0.8 mm ($\pm \frac{1}{32}$ in.).

| Type of Specimen | Dimensions to Be Measured to the Nearest 0.025 mm (0.001 in.) |
|------------------|---|
| Molded disk | thickness |
| Sheet | thickness |
| Rod | length and diameter |
| Tube | inside and outside diameter, and wall thickness |

6. Conditioning

6.1 Three specimens shall be conditioned as follows:

6.1.1 Specimens of materials whose water-absorption value would be appreciably affected by temperatures in the neighborhood of 110°C (230°F), shall be dried in an oven for 24 h at $50 \pm 3^\circ\text{C}$ ($122 \pm 5.4^\circ\text{F}$), cooled in a desiccator, and immediately weighed to the nearest 0.001 g.

NOTE 4—If a static charge interferes with the weighing, lightly rub the surface of the specimens with a grounded conductor.

6.1.2 Specimens of materials, such as phenolic laminated plastics and other products whose water-absorption value has been shown not to be appreciably affected by temperatures up to 110°C (230°F), shall be dried in an oven for 1 h at 105 to 110°C (221 to 230°F).

6.1.3 When data for comparison with absorption values for other plastics are desired, the specimens shall be dried in an oven for 24 h at $50 \pm 3^\circ\text{C}$ ($122 \pm 5.4^\circ\text{F}$), cooled in a desiccator, and immediately weighed to the nearest 0.001 g.

7. Procedure

7.1 *Twenty-Four Hour Immersion*—The conditioned specimens shall be placed in a container of distilled water maintained at a temperature of $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 1.8^\circ\text{F}$), and shall rest on edge and be entirely immersed. At the end of 24, $\pm \frac{1}{2}$, -0 h, the specimens shall be removed from the water one at a time, all surface water wiped off with a dry cloth, and weighed to the nearest 0.001 g immediately. If the specimen is $\frac{1}{16}$ in. or less in thickness, it shall be put in a weighing bottle immediately after wiping and weighed in the bottle.

7.2 *Two-Hour Immersion*—For all thicknesses of materials having a relatively high rate of absorption, and for thin specimens of other materials which may show a significant weight increase in 2 h, the specimens shall be tested as described in 7.1 except that the time of immersion shall be reduced to 120 ± 4 min.

7.3 *Repeated Immersion*—A specimen may be weighed to the nearest 0.001 g after 2-h immersion, replaced in the water, and weighed again after 24 h.

NOTE 5—In using this test method the amount of water absorbed in 24 h may be less than it would have been had the immersion not been interrupted.

7.4 *Long-Term Immersion*—To determine the total water absorbed when substantially saturated, the conditioned specimens shall be tested as described in 7.1 except that at the end of 24 h they shall be removed from the water, wiped free of surface moisture with a dry cloth, weighed to the nearest 0.001 g immediately, and then replaced in the water. The weighings shall be repeated at the end of the first week and every two weeks thereafter until the increase in weight per two-week period, as shown by three consecutive weighings, averages less than 1 % of the total increase in weight or 5 mg, whichever is greater; the specimen shall then be considered substantially saturated. The difference between the substantially saturated weight and the dry weight shall be considered as the water absorbed when substantially saturated.

7.5 *Two-Hour Boiling Water Immersion*—The conditioned specimens shall be placed in a container of boiling distilled water, and shall be supported on edge and be entirely immersed. At the end of 120 ± 4 min, the specimens shall be

removed from the water and cooled in distilled water maintained at room temperature. After 15 ± 1 min, the specimens shall be removed from the water, one at a time, all surface water removed with a dry cloth, and the specimens weighed to the nearest 0.001 g immediately. If the specimen is $\frac{1}{16}$ in. or less in thickness, it shall be weighed in a weighing bottle.

7.6 One-Half-Hour Boiling Water Immersion—For all thicknesses of materials having a relatively high rate of absorption and for thin specimens of other materials which may show a significant weight increase in $\frac{1}{2}$ h, the specimens shall be tested as described in 7.5, except that the time of immersion shall be reduced to 30 ± 1 min.

7.7 Immersion at 50°C—The conditioned specimens shall be tested as described in 7.5, except that the time and temperature of immersion shall be 48 ± 1 h and $50 \pm 1^\circ\text{C}$ ($122.0 \pm 1.8^\circ\text{F}$), respectively, and cooling in water before weighing shall be omitted.

7.8 When data for comparison with absorption values for other plastics are desired, the 24-h immersion procedure described in 7.1 and the equilibrium value determined in 7.4 shall be used.

8. Reconditioning

8.1 When materials are known or suspected to contain any appreciable amount of water-soluble ingredients, the specimens, after immersion, shall be weighed, and then reconditioned for the same time and temperature as used in the original drying period. They shall then be cooled in a desiccator and immediately reweighed. If the reconditioned weight is lower than the conditioned weight, the difference shall be considered as water-soluble matter lost during the immersion test. For such materials, the water-absorption value shall be taken as the sum of the increase in weight on immersion and of the weight of the water-soluble matter.

9. Calculation and Report

9.1 The report shall include the values for each specimen and the average for the three specimens as follows:

9.1.1 Dimensions of the specimens before test, measured in accordance with 5.6, and reported to the nearest 0.025 mm (0.001 in.),

9.1.2 Conditioning time and temperature,

9.1.3 Immersion procedure used,

9.1.4 Time of immersion (long-term immersion procedure only),

9.1.5 Percentage increase in weight during immersion, calculated to the nearest 0.01 % as follows:

$$\text{Increase in weight, \%} = \frac{\text{wet weight} - \text{conditioned weight}}{\text{conditioned weight}} \times 100$$

9.1.6 Percentage of soluble matter lost during immersion, if determined, calculated to the nearest 0.01 % as follows (see Note 6):

$$\text{Soluble matter lost, \%} = \frac{\text{conditioned weight} - \text{reconditioned weight}}{\text{conditioned weight}} \times 100$$

NOTE 6—When the weight on reconditioning the specimen after immersion in water exceeds the conditioned weight prior to immersion, report “none” under 9.1.6.

9.1.7 For long-term immersion procedure only, prepare a graph of the increase in weight as a function of the square root of each immersion time. The initial slope of this graph is proportional to the diffusion constant of water in the plastic. The plateau region with little or no change in weight as a function of the square root of immersion time represents the saturation water content of the plastic.

NOTE 7—Deviation from the initial slope and plateau model indicates that simple diffusion may be a poor model for determining water content. In such cases, additional studies are suggested to determine a better model for water absorption.

9.1.8 The percentage of water absorbed, which is the sum of the values in 9.1.5 and 9.1.6, and

9.1.9 Any observations as to warping, cracking, or change in appearance of the specimens.

10. Precision and Bias⁵

10.1 Precision—An interlaboratory test program was carried out using the procedure outlined in 7.1, involving three laboratories and three materials. Analysis of this data yields the following coefficients of variation (average of three replicates).

| | Within Laboratories | Between Laboratories |
|---|---------------------|----------------------|
| Average absorption above 1 % (2 materials) | 2.33 % | 4.89 % |
| Average absorption below 0.2 % (1 material) | 9.01 % | 16.63 % |

NOTE 8—A round robin is currently under way to more completely determine repeatability and reproducibility of this test method.

10.2 Bias—No justifiable statement on the bias of this test method can be made, since the true value of the property cannot be established by an accepted referee method.

11. Keywords

11.1 absorption; immersion; plastics; water

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D-20-1064.

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.



D 570

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).