

**EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE ENSAYO EN LAS CURVAS DE TENSION-
DEFORMACIÓN DE ALUMINIO COMPUESTO Y FIBRA DE VIDRIO**

**JUAN ESTEBAN ALFONSO PEÑALOZA
DANIEL EDUARDO GUERRERO ALCAZAR**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

**Orientador:
DIEGO FERNANDO AVENDAÑO RODRIGUEZ
INGENIERO MECÁNICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C**

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. Junio de 2024

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrectora de Investigaciones y de Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ramiro Augusto Forero Corzo

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano facultad de ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. María Angélica Acosta Pérez

Las directivas de la Universidad América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres que han sabido formarnos con principios y valores, familiares, docentes que nos apoyaron durante todo este proceso arduo y a la Fundación Universidad de América por brindarnos un espacio en el cual desarrollar y completar nuestras competencias como profesionales

A Alpa ingeniería por la donación de los materiales y herramientas utilizadas para la realización de este proyecto

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	18
INTRODUCCIÓN	19
2. OBJETIVOS	22
2.1. Objetivo General	22
2.2. Objetivos Específicos	22
3. MARCO TEÓRICO	23
3.1. Materiales compuestos	23
3.1.1. <i>Tipos de compuestos</i>	24
3.1.2. <i>Usos</i>	25
3.2. Descripción de los materiales utilizados en los ensayos	26
3.2.1. <i>Identificación del material (aluminio compuesto)</i>	27
3.2.2. <i>Proceso de fabricación del aluminio compuesto</i>	27
3.2.3. <i>Propiedades físicas del aluminio compuesto</i>	28
3.2.4. <i>Especificaciones técnicas del aluminio compuesto</i>	30
3.2.5. <i>Identificación del material (fibra de vidrio)</i>	31
3.2.6. <i>Procesos de fabricación de la fibra de vidrio</i>	31
3.2.7 <i>Tipos de fibra de vidrio</i>	32
3.2.8. <i>Propiedades físicas de la fibra de vidrio</i>	36

3.3. Ensayos mecánicos	36
3.4. Ensayo de tracción	36
3.5. Diferentes ensayos	39
3.6. Normas	40
3.6.1 <i>Normas para metales</i>	40
3.6.2 <i>Norma ASTM para materiales compuestos ASTM D3039</i>	41
3.6.3. <i>Otras normas para materiales compuestos</i>	42
3.7 Efecto de la velocidad de deformación en las propiedades mecánicas	43
4. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	44
5. RESULTADOS	52
5.1 Ensayo de tracción para las probetas de aluminio compuesto	52
5.1.1 <i>Ensayos a velocidad 0.01 mm/s</i>	52
5.1.2 <i>Ensayos a velocidad 0.0333 mm/s en Alucobond</i>	61
5.1.3 <i>Ensayos a velocidad 0.05 mm/s en Alucobond</i>	68
5.1.4 <i>Curvas obtenidas</i>	74
5.2. Ensayo de tracción para las probetas de fibra de vidrio	75
5.2.1 <i>Ensayos a velocidad 0.01 mm/s en fibra de vidrio</i>	75
5.2.2 <i>Ensayos a velocidad 0.0333 mm/s en fibra de vidrio</i>	78
5.2.3 <i>Ensayos a velocidad 0.05 mm/s en fibra de vidrio</i>	81
5.2.4 <i>Curvas obtenidas</i>	85

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	86
6.1 Resultados en Alucobond	90
6.2 Resultados en Fibra de vidrio	95
7. CONCLUSIONES	104
REFERENCIAS	106
ANEXOS	113

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Especificaciones técnicas del Alucobond.</i>	30
Tabla 2. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	55
Tabla 3. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	55
Tabla 4. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	56
Tabla 5. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	56
Tabla 6. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	57
Tabla 7. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	57
Tabla 8. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	58
Tabla 9. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	58
Tabla 10. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	59
Tabla 11. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	59
Tabla 12. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	61
Tabla 13. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	62
Tabla 14. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	62
Tabla 15. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	63
Tabla 16. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	63
Tabla 17. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	64
Tabla 18. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	64

Tabla 19. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	65
Tabla 20. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	66
Tabla 21. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	66
Tabla 22. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	68
Tabla 23. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	69
Tabla 24. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	69
Tabla 25. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	70
Tabla 26. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	70
Tabla 27. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	71
Tabla 28. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	71
Tabla 29. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	72
Tabla 30. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	72
Tabla 31. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	73
Tabla 32. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	76
Tabla 33. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	76
Tabla 34. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	77
Tabla 35. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	77
Tabla 36. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	79
Tabla 37. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	79
Tabla 38. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	80

Tabla 39. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	80
Tabla 40. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	82
Tabla 41. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	82
Tabla 42. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	83
Tabla 43. <i>Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.</i>	83
Tabla 44. <i>Síntesis de resultados obtenidos en probetas de Alucobond.</i>	90
Tabla 45. <i>Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.</i>	91
Tabla 46. <i>Síntesis de resultados en obtenidos en probetas de Alucobond.</i>	92
Tabla 47. <i>Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.</i>	93
Tabla 48. <i>Síntesis resultados obtenidos probetas Alucobond.</i>	93
Tabla 49. <i>Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.</i>	94
Tabla 50. <i>Síntesis de resultados obtenidos en probetas fibra de vidrio.</i>	95
Tabla 51. <i>Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.</i>	96
Tabla 52. <i>Síntesis de resultados obtenidos en probetas fibra de vidrio.</i>	96
Tabla 53. <i>Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.</i>	97
Tabla 54. <i>Síntesis de resultados obtenidos en probetas fibra de vidrio.</i>	97

Tabla 55. <i>Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.</i>	98
Tabla 56. <i>Comparación de los datos promedio experimentales del Alucobond con los datos teóricos.</i>	100
Tabla 57. <i>Tabla de errores de variación porcentual.</i>	100
Tabla 58. <i>Comparación de los datos promedio experimentales de la fibra de vidrio con los datos teóricos.</i>	101
Tabla 59. <i>Tabla de errores de variación porcentual.</i>	102
Tabla 60. <i>Tabla de errores de variación porcentual para el Alucobond.</i>	102
Tabla 61. <i>Tabla de errores de variación porcentual para la fibra de vidrio.</i>	103

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. <i>Resinas utilizadas para la fabricación de materiales compuestos</i>	24
Figura 2. <i>Composición de capas presentes en el Alucobond.</i>	29
Figura 3. <i>Formato de presentación fibra de vidrio.</i>	33
Figura 4. <i>Formato de presentación fibra de vidrio.</i>	34
Figura 5. <i>Formato de presentación fibra de vidrio.</i>	35
Figura 6. <i>Curvas características en ensayos de tracción en polímeros</i>	37
Figura 7. <i>Curvas características en ensayos de tracción en polímeros</i>	38
Figura 8. <i>Curvas características en ensayos de tracción en polímeros</i>	39
Figura 9. <i>Curvas en ensayos en aceros.</i>	41
Figura 10. <i>Fotografía lamina de Alucobond.</i>	44
Figura 11. <i>Fotografía lamina de fibra de vidrio.</i>	45
Figura 12. <i>Fotografía del corte de las probetas</i>	46
Figura 13. <i>Fotografía de las probetas.</i>	46
Figura 14. <i>Imagen del equipo en el cual se realizó el ensayo.</i>	47
Figura 15. <i>Imagen del software utilizado para el análisis de los resultados.</i>	48
Figura 16. <i>Tabla de dimensiones de probetas de Alucobond y Fibra de vidrio.</i>	49
Figura 17. <i>Fotografía de probetas montadas en el equipo.</i>	50

Figura 18. <i>Fotografía medida longitud de ensayo.</i>	51
Figura 19. <i>Fotografía de probetas montada en el equipo mientras se realizaba el ensayo.</i>	51
Figura 20. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación.</i>	53
Figura 21. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación.</i>	53
Figura 22. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación.</i>	54
Figura 23. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,01 mm/s en Alucobond.</i>	60
Figura 24. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,0333 mm/s en Alucobond.</i>	67
Figura 25. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,05 mm/s en Alucobond.</i>	73
Figura 26. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación a diferentes velocidades del Alucobond.</i>	74
Figura 27. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,01 mm/s en fibra de vidrio.</i>	78
Figura 28. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,0333 mm/s en fibra de vidrio.</i>	81
Figura 29. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,05 mm/s en fibra de vidrio.</i>	84
Figura 30. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación a diferentes velocidades de la fibra de vidrio.</i>	85
Figura 31. <i>Fotografía microscopio Alucobond</i>	89
Figura 32. <i>Plano de dimensiones con las que se realizaron las probetas</i>	113
Figura 33. <i>Dimensiones normalizadas según norma D638 - 14</i>	114
Figura 34. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #5</i>	115
Figura 35. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #5</i>	115
Figura 36. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #5</i>	116

Figura 37. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta # 7</i>	116
Figura 38. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #7</i>	117
Figura 39. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de Probeta #7</i>	117
Figura 40. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #11</i>	118
Figura 41. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #11</i>	119
Figura 42. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #11</i>	119
Figura 43. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #14</i>	120
Figura 44. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #14</i>	120
Figura 45. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #14</i>	121
Figura 46. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta # 2</i>	122
Figura 47. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta # 2</i>	122
Figura 48. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #2</i>	123
Figura 49. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #4</i>	123
Figura 50. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #4</i>	124
Figura 51. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta # 4</i>	124
Figura 52. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #9</i>	125
Figura 53. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #9</i>	125
Figura 54. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #9</i>	126
Figura 55. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #12</i>	126
Figura 56. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #12</i>	127

Figura 57. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #12</i>	127
Figura 58. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #15</i>	128
Figura 59. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #15</i>	128
Figura 60. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #15</i>	129
Figura 61. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #1</i>	130
Figura 62. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #1</i>	130
Figura 63. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #1</i>	131
Figura 64. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6</i>	131
Figura 65. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6</i>	132
Figura 66. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6</i>	132
Figura 67. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #8</i>	133
Figura 68. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #8</i>	133
Figura 69. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #8</i>	134
Figura 70. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #10</i>	134
Figura 71. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #10</i>	135
Figura 72. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #10</i>	135
Figura 73. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #13</i>	136
Figura 74. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #13</i>	136
Figura 75. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #13</i>	137
Figura 76. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6</i>	138

Figura 77. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6</i>	139
Figura 78. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6</i>	139
Figura 79. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #7</i>	140
Figura 80. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #7</i>	140
Figura 81. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #7</i>	141
Figura 82. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #4</i>	142
Figura 83. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #4</i>	143
Figura 84. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #4</i>	143
Figura 85. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #8</i>	144
Figura 86. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #8</i>	144
Figura 87. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta # 8</i>	145
Figura 88. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #3</i>	146
Figura 89. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #3</i>	147
Figura 90. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #3</i>	147
Figura 91. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #5</i>	148
Figura 92. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #5</i>	148
Figura 93. <i>Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #5</i>	149

RESUMEN

En este proyecto de grado se analiza el efecto de la velocidad en los ensayos de tracción realizados en dos materiales compuestos, como el Alucobond y la fibra de vidrio, por medio de pruebas de laboratorio en probetas basándonos en la norma más adecuada, en la cual se variara la velocidad a la cual se realiza el ensayo para determinar la relación de la velocidad con sus propiedades mecánicas y de la misma forma identificar el material y realizar su caracterización, dado que la variación de la velocidad asemeja a las condiciones de fallo en los materiales ya que el azar de las condiciones a las que se enfrenta un material en ciertas situaciones puede hacer que este llegue a enfrentarse a más de una velocidad de deformación y de esta manera conocer el comportamiento en estos escenarios y no solamente con los parámetros que se guían al realizar los ensayos bajo normas y poder prevenir o evitar fallas tempranas o fatigas inesperadas en los materiales anteriormente hablados.

Palabras clave: Velocidad de deformación de materiales compuestos, ensayo de tracción.

INTRODUCCIÓN

Un material compuesto hará referencia a la idea de un sistema o combinación de materiales que mediante una unión de dos o más componentes con ciertas propiedades se combinan para lograr un material con ciertas propiedades específicas, realizando esto se puede conseguir un material compuesto que sus materiales constituyentes suplan las desventajas del otro, es decir, aquellas desventajas que tenga cada material componente de manera individual. [1]

Los materiales compuestos tienen muchas aplicaciones debido a sus buenas características como lo son; su alta resistencia, rigidez, baja densidad y excelente resistencia a la fatiga. La caracterización mecánica de los materiales compuestos es crucial para entender su comportamiento bajo carga y para garantizar su rendimiento en servicio.

Estos materiales pueden llegar a tener un gran campo de aplicaciones en la industria por sus posibles propiedades deseadas y su facilidad de obtención de los componentes para llegar a un material compuesto con características deseadas a la aplicación con la cual se diseñó, siendo una gran cantidad de estos, adecuados para las aplicaciones de ingeniería, como puede llegar a ser la aplicación de un compuesto a base de fibras de hoja de tuna que por sus características se encontraron posibles usos en la industria mobiliaria y aeronáutica [2], en otro estudio realizado a un este tipo de materiales, en este caso uno de matriz de poliéster con partículas de cuero dadas sus propiedades obtenidas se encontraron como posibles aplicaciones industriales, “por su comportamiento similar al caucho sintético NBR” [3]. Por ende, estos materiales son un campo con grandes posibilidades tanto de investigación como en aplicaciones industriales debido a sus propiedades mecánicas.

Uno de los factores que pueden afectar significativamente las propiedades mecánicas obtenidas en los ensayos de los materiales compuestos es la velocidad de ensayo. La velocidad de ensayo es la velocidad a la cual se aplica la carga en el material durante la prueba de tensión y puede influir en la curva de tensión-deformación, el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción y otros parámetros importantes. La comprensión del efecto de la velocidad de ensayo en las propiedades mecánicas de los materiales compuestos es fundamental para la correcta interpretación de los resultados de las pruebas y para una caracterización precisa del material.

En la literatura, se han llevado a cabo numerosos estudios sobre el efecto de la velocidad de ensayo en los materiales compuestos, por ejemplo, el estudio realizado por María R. Coleman, se encontraron mejoras en la resistencia a la tracción en comparación con la poliimida base, por medio

de compuestos producidos con nano fibras de carbono funcionalizadas (CNF) [4]. En otro estudio se observa cómo aplican los compuestos de polímero reforzados con fibra (FRP) para obtener una mejora en su módulo de elasticidad, esto contribuye a los efectos de la velocidad de deformación de los compuestos [5]. Las normas ASTM D3039 y D638 proporcionan directrices para realizar pruebas de tensión en materiales compuestos y polímeros, respectivamente.

En este contexto, este estudio se centrará en analizar el efecto de la velocidad de ensayo en las curvas tensión-deformación de un material compuesto específico. Se realizarán pruebas de tensión a diferentes velocidades y se comparan las curvas obtenidas.

Existen diferentes tipos de ensayos a los que se puede someter un material para determinar alguna propiedad mecánica específica, dependiendo de la propiedad que se desee determinar se toma un ensayo u otro. Las propiedades mecánicas de un material pueden comportarse de cierta manera u otra dependiendo de las condiciones ambientales, por esto las condiciones ambientales son mencionadas.

Ensayos mecánicos en materiales compuestos (bajo diferentes condiciones ambientales) [6]

- Ensayos de tracción
- Ensayos de compresión
- Ensayos de flexión
- Ensayos de cizallamiento
- Ensayos de tenacidad a la fractura
- Ensayos de pelado
- Ensayos de aplastamiento de taladro sobre laminados de material compuesto en uniones remachadas
- Ensayos de impacto
- Ensayos de fatiga (S-N curves)

De estos ensayos en este trabajo nos centraremos en los ensayos de tracción, de los cuales se conocen las siguientes normas para los materiales compuestos las cuales son; la norma ASTM D3039 proporciona el método estándar para realizar ensayos de tracciones en materiales compuestos reforzados con fibras [40], la cual se utiliza para la realización de ensayos de tracción

en materiales plásticos reforzados con fibras ISO 527-4 [7], esta norma tiene como finalidad caracterizar el material plástico reforzado con la variabilidad que de acuerdo al dígito después del guion lo que cambia es el enfoque que tendrá la prueba 527-5, 527-2 [8], estas dos normas europeas nos brindan estándares para la determinación de las propiedades de tracción en plásticos reforzados con fibras, EN 2561 y EN 2597 [9] encargadas del estudio de las propiedades mecánicas de los plásticos reforzados con fibras de carbono, de acuerdo a la dirección de las fibras con respecto al eje se realiza el ensayo bajo una de las dos normas, con estas normas se pretende determinar la resistencia a la tracción, tensión de rotura, módulo de Young, relación de Poisson, límite elástico y modo de falla que pueden presentar diferentes variaciones en las propiedades de estos materiales compuestos debido a los materiales que lo componen como también por la manera en que sus componentes están distribuidos y el tamaño de la partícula de estas fibras.

Se desea evaluar el efecto de la velocidad de ensayo en las curvas de tensión-deformación de dos materiales compuestos, de los cuales se extraerán probetas normalizadas con la norma ASTM D3039[10] y se trabajara de manera experimental una variación de velocidades al momento de aplicar la fuerza de tracción, modificando en cada ensayo la velocidad para de esta manera evaluar el efecto de la velocidad de los ensayos sobre las propiedades que muestra el material compuesto.

Finalmente en este estudio tiene como finalidad evaluar los efectos de la tasa de deformación en los materiales compuestos, siendo en este caso el panel de aluminio compuesto Alucobond y la fibra de vidrio, presentando como conclusión el comportamiento de los materiales bajo estudio, dado sus materiales componentes resultaron con una gran sensibilidad a la velocidad de deformación, el polietileno ubicado en el núcleo del panel de Alucobond, siendo un polímero que posee un comportamiento viscoelástico que depende de la misma velocidad de deformación y la fibra de vidrio que debido al cambio de velocidad de deformación pueden cambiar sus mecanismos de falla, es decir, la fractura de las fibras o el alargamiento de la matriz y la delaminación aparecen con las diferentes velocidades de deformación [43, 57]

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la velocidad de ensayo en las curvas de tensión-deformación de dos materiales compuestos.

2.2. Objetivos Específicos

Realizar la consulta bibliográfica de las normas existentes y las investigaciones recientes en la determinación de las propiedades mecánicas obtenidas mediante ensayos de tracción en materiales compuestos.

Seleccionar dos tipos de materiales compuestos, basados en su mayor utilización industrial y facilidad de fabricación de probetas.

Fabricación de probetas siguiendo la norma ASTM respectiva.

Realización de los ensayos de tracción en los materiales compuestos seleccionados en el estudio.

Analizar los resultados obtenidos, a fin de determinar la influencia de la velocidad de ensayo en las propiedades mecánicas de los materiales utilizados mostrando su relación con los datos disponibles en la literatura.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Materiales compuestos

Los materiales compuestos son materiales formados por la combinación de dos o más componentes con propiedades físicas y químicas diferentes, que trabajan juntos para crear un material con características mejoradas o únicas. Estos componentes suelen ser un material matriz y un material de refuerzo.

La matriz es el componente principal del material compuesto y actúa como un aglomerante que mantiene unidos los otros materiales. Puede ser un polímero, metal, cerámica o material compuesto similar. La elección de la matriz depende de las propiedades deseadas del material final, como resistencia, durabilidad o resistencia a la corrosión.

El material de refuerzo se incorpora a la matriz para mejorar ciertas propiedades del material compuesto, como resistencia, rigidez o durabilidad. Los refuerzos pueden ser fibras, partículas o láminas. La fibra de vidrio, la fibra de carbono y la aramida son ejemplos comunes de materiales de refuerzo utilizados en diversos tipos de materiales compuestos [41].

La interfaz es la región donde la matriz y el material de refuerzo interactúan. La calidad de esta interfaz es crucial para determinar la eficacia del material compuesto, ya que afecta la transferencia de carga y las propiedades mecánicas del conjunto.

La combinación de la matriz y el material de refuerzo permite a los materiales compuestos exhibir propiedades que superan las de los materiales individuales. Pueden ofrecer una mayor resistencia específica (resistencia por unidad de peso), resistencia a la corrosión, resistencia a la tracción, rigidez y otras propiedades específicas según la aplicación.

Los materiales compuestos se utilizan en una amplia variedad de industrias, como la aeroespacial, la automotriz, la construcción, la electrónica y la fabricación de equipos deportivos. Su versatilidad los hace ideales para aplicaciones donde se buscan propiedades específicas sin aumentar significativamente el peso del material.

En resumen, los materiales compuestos son el resultado de combinar inteligentemente diferentes materiales para obtener un rendimiento superior en comparación con los componentes individuales. Su diseño permite adaptarse a una amplia gama de necesidades en diversas aplicaciones industriales y tecnológicas [11].

3.1.1. Tipos de compuestos

De acuerdo a su tipo de matriz encontramos materiales con matriz metálica (MMC), cerámica (CMC) y matriz polimérica (PMC), de acuerdo a su función de la forma que posea el refuerzo compuesto reforzados por partículas, fibras y estructuras.

Estas son las características de estos materiales; baja densidad, alta resistencia y resistencia dieléctrica, flexibilidad, gran capacidad de consolidación de partes, resistencia a la fatiga y a la corrosión, además de bajo de costo de mantenimiento.

Matrices utilizadas en los diferentes tipos de materiales compuestos como: los termoplásticos los cuales son polímeros moldeables a determinadas temperaturas logrando obtener cualquier forma deseada. Elastómeros estos poseen cadenas con mucho movimiento dando a los materiales la capacidad de ser flexibles y los termoestables los cuales por su estructura entrecruzada tienden a ser muy resistentes, y al someterse a temperaturas elevadas tienden a descomponerse. De acuerdo a estas matrices se utilizan diferentes tipos de resinas según las necesidades como la resina de poliéster, resina de viniléster y resina epóxica [Figura 1].

Figura 1.

Resinas utilizadas para la fabricación de materiales compuestos



Nota. Resinas utilizadas para la fabricación de materiales compuestos Tomado de: Naval Composites. (s.f). Conceptos de los Materiales Compuestos. <https://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos> [12].

De acuerdo al ensamble de las fibras pueden existir disposiciones unidireccionales, biaxiales, triaxiales, triaxiales y multiaxiales. También cuentan con diferentes procesos de laminación como lo son el modelado por contacto, asistido por vacío, por vía líquida, con autoclave y por enrollamiento de filamento [12].

3.1.2. Usos

Los materiales compuestos poseen una variedad de aplicaciones debido a su versatilidad dada por las sus propiedades mejoradas. Aquí hay algunas aplicaciones destacadas.

Industria Aeroespacial:

Los materiales compuestos, como la fibra de carbono y materiales compuestos avanzados, son ampliamente utilizados en la fabricación de aeronaves. Su alta resistencia y bajo peso son fundamentales para reducir el consumo de combustible y mejorar la eficiencia.

Industria Automotriz:

Los automóviles modernos incorporan materiales compuestos para reducir el peso y mejorar la eficiencia del combustible. Paneles de carrocería, chasis y componentes estructurales se fabrican utilizando materiales compuestos para lograr una mayor resistencia y rigidez.

Construcción y Arquitectura:

En la construcción, los materiales compuestos se utilizan para fabricar componentes estructurales, como vigas y columnas, así como paneles de fachada. Estos materiales ofrecen resistencia a la corrosión, durabilidad y diseño ligero.

Industria Naval:

En la construcción naval, los materiales compuestos se utilizan para fabricar cascos de barcos, ofreciendo resistencia a la corrosión y reduciendo el peso de la embarcación. Esto mejora la eficiencia del combustible y la velocidad.

Electrónica y Tecnología:

Los materiales compuestos se utilizan en la fabricación de dispositivos electrónicos, como carcasas de teléfonos móviles, laptops y otros dispositivos portátiles. Estos materiales proporcionan resistencia y ligereza.

Energías Renovables:

En la industria de las energías renovables, los materiales compuestos se utilizan en la fabricación de palas de aerogeneradores y componentes para mejorar la resistencia y la durabilidad.

Deportes y Ocio:

Equipos deportivos, como raquetas de tenis, palos de golf y cascos para deportes extremos, a menudo incorporan materiales compuestos para proporcionar la combinación adecuada de resistencia y peso ligero.

Industria Militar:

En aplicaciones militares, los materiales compuestos se utilizan para fabricar vehículos, aviones no tripulados, cascos y equipos de protección. La combinación de resistencia y ligereza es esencial en estas aplicaciones.

Industria Química y de Procesos:

Los materiales compuestos se emplean en la fabricación de equipos y recipientes para la industria química debido a su resistencia a la corrosión y durabilidad.

Estas aplicaciones destacan la diversidad de usos de los materiales compuestos en diversas industrias, donde la búsqueda de materiales más ligeros, resistentes y duraderos es fundamental [13].

3.2. Descripción de los materiales utilizados en los ensayos

En esta parte del documento se realizará la descripción detallada de cada uno de los dos materiales compuestos utilizados en los ensayos de tracción.

3.2.1. Identificación del material (aluminio compuesto)

El PAC (panel de aluminio compuesto) normalmente conocido como el Alucobond, es un material utilizado en la industria de diversas formas, es lo que ha hecho que con el pasar del tiempo su implementación en la industria crezca, ya que brinda mejores características a comparación de materiales parecidos [14].

Es un panel conformado por una estructura tipo sándwich la cual contiene un núcleo central de polietileno de baja densidad, dos láminas en su parte externa de aluminio, una de ellas con un acabado básico y la otra con una acabado superficial en pintura PVDF kynar 500 con protección UV, esto garantiza que nuestro compuesto sea resistente en el tiempo brindándonos más de 20 años de garantía, cuenta con demasiadas ventajas como su practicidad a la instalación, diferentes acabados, colores y texturas desde colores metalizados, hasta similares a mármoles, su maleabilidad ya que es un material el cual se puede manejar con herramienta básica, ya que este permite rutearse, rolarse, cortarse hasta con la hoja de un bisturí, plegarse, es de fácil manejo ya que son muy livianas las láminas y resiste a la intemperie, lo cual hace que sus aplicaciones sean infinitas [15].

3.2.2. Proceso de fabricación del aluminio compuesto

Preparación de los materiales: Se cortan, tratan y limpian para retirar todo rastro de contaminantes, las láminas de aluminio a las cuales se les aplica un tratamiento químico para mejorar su adherencia.

Laminación: Se recubre una de las láminas de aluminio con un adhesivo termoplástico, se coloca el núcleo de polietileno encima de ella, luego se realiza el mismo proceso con la otra lámina de aluminio.

Calentamiento y prensado: Se introduce la lámina compuesta en una prensa para fusionar las capas, elevando la temperatura y la presión obteniendo un panel sólido y resistente.

Corte y acabado: Se cortan los paneles en las dimensiones comerciales y se realiza el procedimiento de acabado superficial, los cuales pueden incluir pintura, anodización, serigrafía o impresión digital.

Cabe resaltar entre sus ventajas las características como planimetría precisa, diversidad de superficies, una excelente plasticidad, se fabrica por lo general en varios espesores: 3, 4 y 6 mm, en formatos de láminas siendo la más grande comercialmente de 5800 mm de longitud y 1500 mm de ancho [16].

3.2.3. Propiedades físicas del aluminio compuesto

Tiene un bajo nivel de oxidación por sus características esto garantiza su resistencia contra el agua, humedad e intemperie, polvo, rayos UV lo cual va a evitar que los colores pierdan pigmentación y se mantengan con el paso del tiempo, debido a que en su núcleo cuenta con polietileno, esto hace que sea difícilmente inflamable lo cual es un punto muy favorable en usos de recubrimiento de estructuras ya que no brindara solo un acabado superficial arquitectónico sino que también actúa como protector en caso de incendios, es resistente a impactos y roturas, cuenta con la capacidad de amortiguar vibraciones [17].

Es de fácil mantenimiento se recomienda realizar una limpieza cada 6 meses con agua y jabón neutro para garantizar su durabilidad más de 20 años, de acuerdo a las siguientes especificaciones:

*Zonas costeras

*Áreas metropolitanas con índices elevados de contaminantes

*Zonas con emisiones de alto impacto (industrias)

*Exposición a clima extremo

Las ventajas que posee el recubrimiento superficial con pintura PDVF (floruro de poli-vinilideno) Kynar 500, presente en el panel de aluminio compuesto como se muestra en la Figura 2, es uno de los mejores revestimientos orgánicos en la actualidad, ya que cuenta con una composición de un 70% de resina de fluoro-carbono y un 30% de resina acrílica, brindando una gran retención del color, resistencia a la corrosión, garantiza que permanezcan juntos los sistemas de revestimiento y se adhieran a los sustratos metálicos, resistencia a la contaminación y arañazos, esto mantiene su color y brillo después de 20 años [21].

Figura 2.

Composición de capas presentes en el Alucobond.



Nota. Composición de capas presentes en el alucobond. Tomado de: PVDF Coating ACP - Aluminum Composite Panel Supplier. Accedido el 30 de junio de 2024. [Imagen]. Disponible: <https://www.alucoworldpanel.com/pvdf-coating-acp/>

3.2.4. Especificaciones técnicas del aluminio compuesto

Tabla 1.

Especificaciones técnicas del Alucobond.

Superficie	Norma	Unidad	3 mm	4 mm	6 mm
Pintura			Coil coating fluoropolimero		
Brillo (Valor inicial)	EN 13523-2	(%)	30 - 80		
Dureza (dureza al lápiz)	EN 13523-4		HB - F		
Nucleo	Unidad	3 mm	4 mm	6 mm	
Polietileno tipo LDPE	(g/cm ²)			0,92	
Valores tecnológicos	Norma	Unidad	3 mm	4 mm	6 mm
Movimiento de resistencia	DIN 53293	cm ³ /m	1,25	1,75	2,75
Rigidez a la flexión	DIN 53293	KNcm ²	1250	2400	5900
Aleación/ estado de las chapas de cubierta	EN 573-3 EN 515		EN AW 5005 (AIMg 1) H22/H42		
Modulo de elasticidad	EN 1999 1-1	N/mm ²	70.000		
Resistencia a la tracción de las chapas de cubierta	EN 485-2	N/mm ²	Rm = 130		
Limite de elasticidad (limite 0,2)	EN 485-2	N/mm ²	Rp0,2=90		
Limite de rotura	EN 485-2	%	A50=5		
Coefficiente de dilatación lineal	EN 1999 1-1		2,4 mm/m con 100 C de diferencia de temperatura		
Propiedades de técnica del sonido	Norma	Unidad	3 mm	4 mm	6 mm
Factor de absorción acustica	ISO 354		0,05		
Medida valorada de atenuación acustica	ISO/DIS 717-1, EN ISO 140-3	dB	25	26	27
Factor de perdida	EN ISO 6721, Campo de frecuencia 100-320 Hz		0,0072	0,087	0,0138
Propiedades térmicas	Norma	Unidad	3 mm	4 mm	6 mm
Resistencia térmica	DIN 52612	m ² K/W	0,069	0,0103	0,0172
Coefficiente de transición térmica	DIN 4108	W/m ² K	5,65	5,54	5,34
Estabilidad respecto a la temperatura		C	- 50 hasta +80		

Nota. Se muestran las especificaciones técnicas de las láminas de alucobond, Tomado: Hopsa. LÁMINAS DE ACM (ALUCOBOND). Accedido el 25 de noviembre de 2023. [Imagen].

Disponible:

https://www.asf.gob.mx/uploads/96_Procedimiento_de_Obra_Publica_y_Servicios_relacionados/6.-_FT_CUBIERTA_PUENTE.pdf

3.2.5. Identificación del material (fibra de vidrio)

La fibra de vidrio es un compuesto conocido por su amplio campo de acción, ya que por sus propiedades sirve como aislante y agente de refuerzo plástico, el proceso de fabricación de este material ha avanzado con el paso del tiempo, la fabricación moderna comienza con vidrio líquido, el cual se obtiene por medio de un horno de fusión de vidrio o también por refundición de vidrio previamente formadas, para obtener fibra continua se inyecta mediante boquillas muy finas el líquido en un receptáculo. Se solidifican, se reúnen en una sola hebra, que se enrolla en un carrete. Los hilos se pueden torcer o doblar para formar hilos, tejer telas o cortar en trozos cortos y luego unirlos para formar esteras. [48]

3.2.6. Procesos de fabricación de la fibra de vidrio

La producción de fibra de vidrio implica varias etapas, desde fundir el vidrio hasta crear el producto final. Primero se realiza una fundición del vidrio que comienza fundiendo materias primas como arena de sílice, carbonato de sodio y piedra caliza en un horno a temperaturas extremadamente altas (alrededor de 1.700 grados centígrados). Durante este proceso, los componentes se funden para formar vidrio líquido. Para luego realizar una extrusión donde el vidrio fundido se extruye a través de pequeños orificios hasta formar una herramienta llamada matriz. Esto crea una fibra de vidrio continua tan fina como un cabello humano. Después de esto el siguiente proceso es la formación de hebras, las fibras de vidrio se unen en hebras estirándose o retorciéndose. Estos hilos forman la base de la fibra de vidrio, con estos acompañados de un agente de acoplamiento produce que el alambre de vidrio se trate con dicho agente para mejorar la adhesión entre el alambre de vidrio y la resina que se aplicará posteriormente. Llegando al momento donde se consigue el tejido o matriz en el cual los hilos de vidrio se utilizan para formar telas o se colocan en una matriz para crear sábanas o mantas. Estos tejidos o mantas sirven de refuerzo para el material compuesto final. Posterior a esto se llevan los tejidos a una impregnación de resina, en donde la matriz de fibra de vidrio está impregnada con una resina, normalmente de poliéster o resina epoxi. La resina se endurece para formar una estructura fuerte y duradera. El material impregnado se coloca en un ambiente controlado para permitir que la resina se endurezca y cure por completo. Este proceso puede implicar la aplicación de calor y presión. Para finalizar con el corte y acabado donde una vez curado, el material compuesto se corta y se le da forma según

las especificaciones deseadas. Dependiendo de la aplicación se puede cortar en láminas, rollos o formas especiales. [23]

Este proceso general varía en detalle según el tipo específico de fibra de vidrio producida y su uso final. La fibra de vidrio se utiliza ampliamente en la producción de productos como piezas de automóviles, embarcaciones, tanques, tuberías y aislamientos. [23]

3.2.7 Tipos de fibra de vidrio

Fibras Tipo E - Características Dieléctricas:

- Las fibras Tipo E se emplean para fortalecer compuestos, destacando por sus propiedades dieléctricas.

Fibras Tipo R - Mayor Resistencia Mecánica:

- Conocidas como las hebras de mayor resistencia mecánica, las fibras Tipo R son utilizadas principalmente en la industria aeronáutica, especialmente en la fabricación de componentes para aviones.

Fibras Tipo D - Utilizadas en Radares:

- Las fibras Tipo D son específicas para su uso en radares, cumpliendo funciones especializadas en este ámbito.

Fibras Tipo AR - Mayor Resistencia a Álcalis:

- Las fibras Tipo AR destacan por ser las más resistentes a los álcalis, haciéndolas ideales para aplicaciones donde esta resistencia es crucial.

Fibras Tipo C - Mejor Resistencia en Aplicaciones Exteriores y Químicas:

- Las fibras Tipo C sobresalen por su excepcional resistencia en aplicaciones exteriores, incluso ante el contacto con diversos agentes químicos.[24]

Formatos y presentaciones:

Se encuentra en diferentes formatos, ya sea en cinta la cual se utiliza como aislante térmica en tuberías, recipientes, torneados, unir piezas y trabajos de mantenimiento. Tela de presentación lisa, para la ampliación de protectores térmicos, en cortinas contra incendios, recubrimiento de motores, mangueras, tubería, cableado. Cuerda trenzada de fibra de vidrio la cual se utiliza para embalar, ver figura 3, figura 4 y figura 5

Figura 3.

Formato de presentación fibra de vidrio.

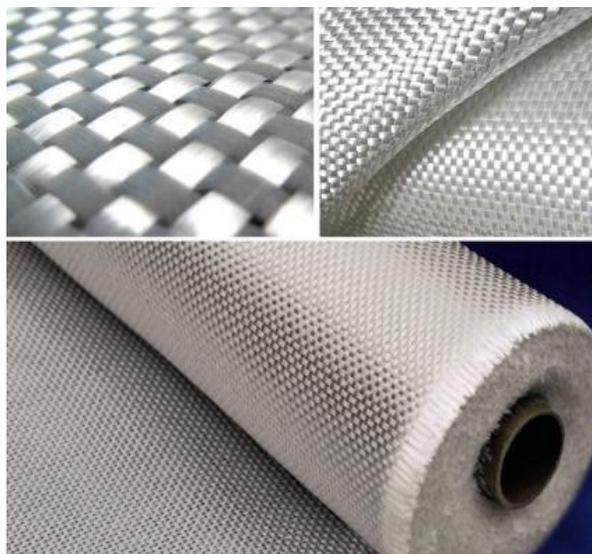


Nota. Formato de presentación fibra de vidrio, en esta imagen podemos observar la fibra de vidrio en forma de cinta malla. Tomado de: Homecenter. Topex Cinta 45 metros x 50 mm fibra de vidrio. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible:

<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/110484/cinta-45-metros-x-50-mm-fibra-de-vidrio/110484/>

Figura 4.

Formato de presentación fibra de vidrio.



Nota. Formato de presentación fibra de vidrio, en esta imagen podemos observar la fibra de vidrio en forma de tela. Tomado de: Hempa. TELA FIBRA DE VIDRIO. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: <https://www.hempa.com/tela-fibra-de-vidrio-69487>

Figura 5.

Formato de presentación fibra de vidrio.



Nota. Formato de presentación fibra de vidrio, en esta imagen podemos observar la fibra de vidrio en forma de tela. Tomado de: [BSTFLEX](https://es.bstbraidedsleeve.com/high-temperature-round-braid-fiberglass-rope_p126.html). Cuerda de fibra de vidrio trenzada redonda de alta temperatura Fabricantes. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: https://es.bstbraidedsleeve.com/high-temperature-round-braid-fiberglass-rope_p126.html

Cada tipo de lámina tiene características específicas, como iluminación natural, resistencia, colores disponibles y aplicaciones recomendadas. Además, se destaca el acabado GelCoat para proteger y mantener la apariencia del material. Las láminas opacas de poliéster, como Opalit, son resistentes, evitan el paso del sol y se adaptan a diversos proyectos residenciales e industriales. Las láminas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio, como Polyлит, Polyacril, Cubrelit y Opalit, tienen propiedades singulares como, por ejemplo: Las láminas de Polyлит ofrece construcción rápida y resistencia al impacto, Polyacril es ideal para proyectos industriales con resistencia a impactos y químicos, Cubrelit es fácil de instalar y adecuado para proyectos residenciales, Opalit, en sus

variantes residencial, industrial, agroindustrial y para torres de enfriamiento, ofrece resistencia a la corrosión y durabilidad.

3.2.8. *Propiedades físicas de la fibra de vidrio*

Siendo uno de los materiales más usados hoy en día a nivel industrial debido a sus características, las cuales describen por completo sus usos y campos de acción, ya que es un material al cual se le puede dar prácticamente la forma que se requiera. entre ellas encontramos la alta resistencia mecánica, la anti-corrosividad como podemos ver se utiliza para la fabricación de botes, bañeras, piscinas, etc., resistencia química a ácidos a comparación de otros materiales, aislamiento térmico, conductividad térmica, resistencia a la humedad, no propaga el fuego, es fácil de transportar, cuenta con un peso ligero, cuenta con menor costo de mantenimiento del mercado. [28]

3.3. Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos son pruebas utilizadas en la caracterización, identificación, selección y validación de materiales a utilizar en un diseño bien sea de producto o fabricación de piezas. Estas pruebas se encuentran estandarizadas por organizaciones como ASTM e ISO, entre otras, como se menciona anteriormente se utilizan para determinar propiedades físicas y mecánicas del material a estudiar y su comportamiento en la propuesta de estudio, gracias a esto se tiende a elegir el material más adecuado para casa uso o producto. [29]

Si bien existen diferentes tipos de ensayos utilizados para la caracterización de los materiales dependiendo del uso o la propiedad que se desea conocer; en este documento nos centraremos en el ensayo de tracción.

3.4. Ensayo de tracción

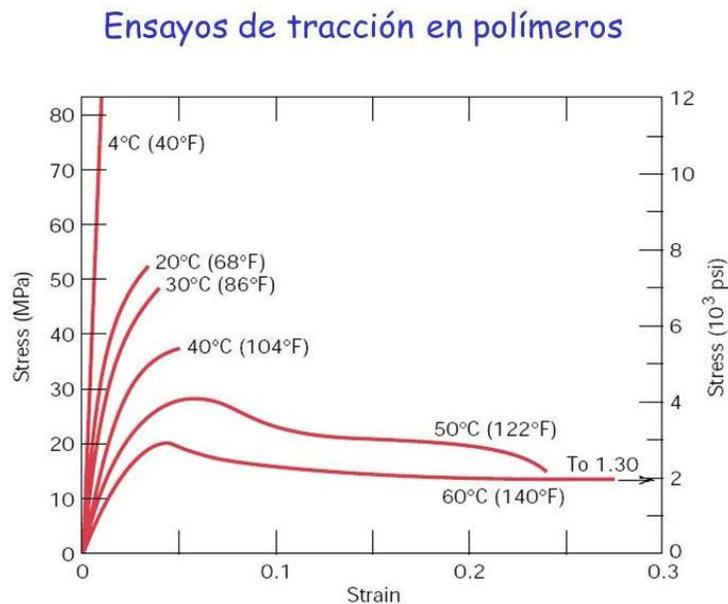
Es una prueba mecánica en la cual se determinan los valores característicos del material de estudio, según este se emplea un estándar proveniente de una norma para poder así determinar el límite elástico, la resistencia a la tracción, el alargamiento de rotura y otras propiedades. Este ensayo consiste en la aplicación del esfuerzo axial en una probeta hasta que esta llegue a su rotura.

El ensayo de tracción analiza los siguientes comportamientos de materiales: Con una carga que aumenta en pequeñas magnitudes (suave), también con una carga estática, a una carga alternante

para determinar la curva cíclica de tensión – deformación, a diferentes temperaturas, como se muestra en la Figura 6, a velocidades de ensayo muy reducidas – ensayos de fluencia en tracción, a altas velocidades de ensayo – Ensayos de tracción y desgarro a alta velocidad, con estos ensayos se puede evidenciar los distintos comportamientos que se presentan en cada material en presencia de esfuerzos axiales, esto es claro en los distintos tipos de polimeros que se muestran a manera de ejemplo las curvas reflejadas en la Figura 7, teniendo en cuenta los comportamientos característicos principales de los materiales que se observan en la Figura 8 [30].

Figura 6.

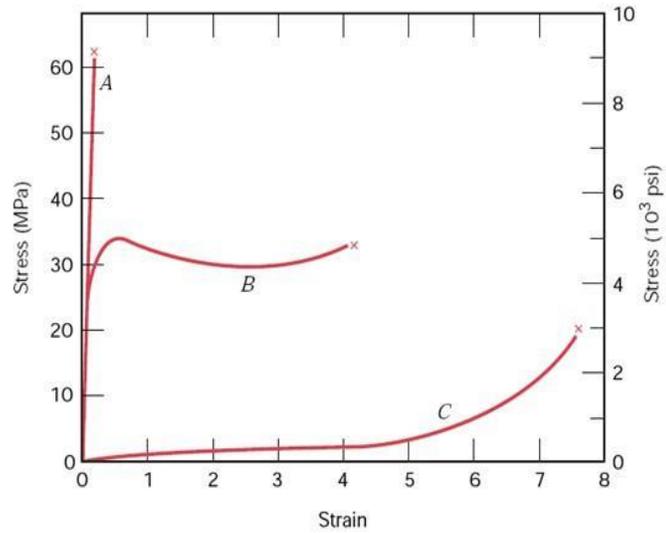
Curvas características en ensayos de tracción en polímeros



Nota. Curvas características en ensayos de tracción en polímero, se logra identificar sus posibles comportamientos en ensayos previos realizados. Tomado de: T. Valles. Tensiones y deformaciones. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: <https://slideplayer.es/slide/1877585/>

Figura 7.

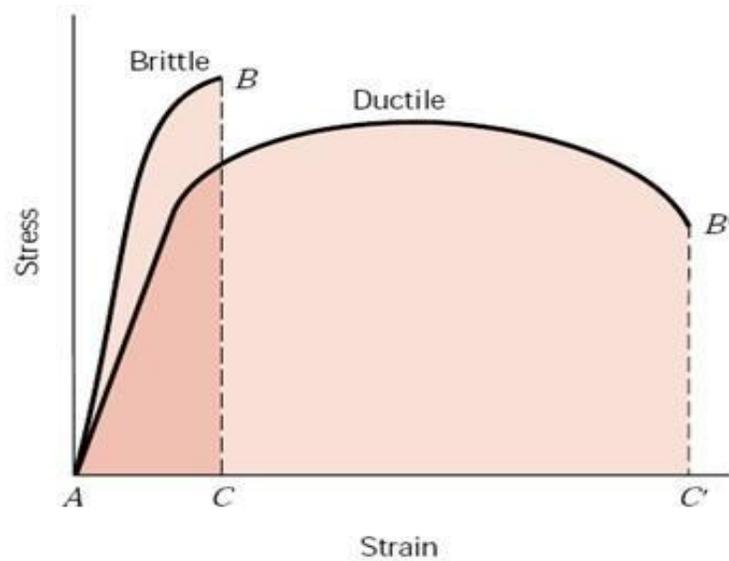
Curvas características en ensayos de tracción en polímeros



Nota. Curvas características en ensayos de tracción en polímero, se logra identificar sus posibles comportamientos en ensayos previos realizados. Tomado de: T. Valles. Tensiones y deformaciones. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: <https://slideplayer.es/slide/1877585/>

Figura 8.

Curvas características en ensayos de tracción en polímeros



Nota. Curvas características en ensayos de tracción en polímero, se logra identificar sus posibles comportamientos en ensayos previos realizados. Tomado de: T. Valles. Tensiones y deformaciones. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible:

<https://slideplayer.es/slide/1877585/>

3.5. Diferentes ensayos

Se realizan diferentes tipos de ensayos para caracterizar un material de acuerdo a sus propiedades mecánicas, como lo son el ensayo de pruebas de tensión y compresión estáticas el cual consiste en estirar uniformemente la probeta e ir midiendo las deformaciones con el extensómetro, el cual brinda información de la longitud desplazada para calcular la deformación.[32]

Las pruebas de resistencia a la fractura que tienen como objetivo medir la propagación de las grietas por el deslizamiento de los bordes, identificando la razón de estas grietas, siendo por apertura, deslizamiento o por desgarro, según la dirección en que se presentan dichas grietas. [32]

Ensayos de cizallamiento el cual brinda la respuesta de deformación de un material a las fuerzas aplicadas tangencialmente, comúnmente aplicados en materiales de lámina fina. [32]

Ensayos de flexión se encargan de conseguir una medida de la resistencia a la tracción del material, debido a que ciertos materiales frágiles comprenden una complejidad mayor al momento de realizar un ensayo de tracción. [32]

El ensayo de dureza se basa en la aplicación de una carga puntual, teniendo en cuenta que este ejercicio está relacionado con la capacidad del material de deformarse permanentemente, obteniendo durezas Brinell o Rockwell, dependiendo del elemento penetrante utilizado. [32]

En la prueba de impacto se emplea un péndulo que oscila para golpear una barra con muescas, para de esta manera determinar la energía requerida para fracturar dicha barra, esta prueba se aplica principalmente para determinar la sensibilidad de un material con presencia de defectos.[32]

En los ensayos de fatiga se aplican distintas tensiones repetidamente, con el objetivo de conocer el comportamiento del material bajo las condiciones aleatorias que se presentan en el mundo real. [32]

3.6. Normas

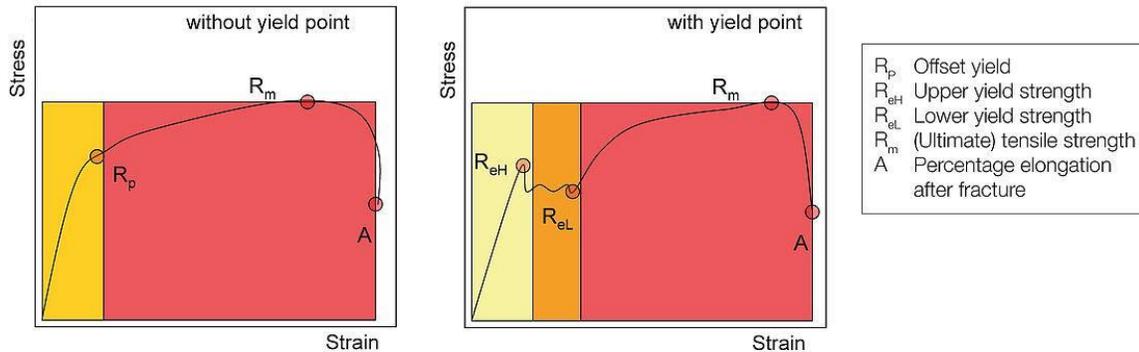
Si bien las normas estandarizan, definen los métodos de pruebas para estos ensayos, estas cambian de acuerdo a la organización que expide la norma bien sea ISO, ASTM, JIS y AISI, por ejemplo, del tipo de material a estudiar sean materiales como el acero, materiales metálicos no ferrosos o polímeros e incluso los materiales compuestos dependiendo de su tipo.

3.6.1 Normas para metales

3.6.1.a ISO 6892-1 Ensayo de tracción de metal. Este es el ensayo más común, que determina las aplicaciones del metal, características de resistencia y deformación decisivas para el diseño y construcción, consiste en determinar aquellos valores característicos que se muestran en la Figura 9 de forma segura y reproducible para obtener la comparabilidad internacional [33].

Figura 9.

Curvas en ensayos en aceros.



Nota. Curvas en ensayos en aceros, se evidencia el comportamiento del acero en curvas de esfuerzo vs deformación. Tomado de: Zwickroell. “DIN EN ISO 6892-1: Ensayo de tracción en metales”. Zwickroell.com. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/metales/normas-para-metales/ensayo-de-traccion-en-iso-6892-1/>

3.6.1.b ASTM E8/E8M Ensayo de tracción de metal. Describiendo el ensayo a tracción para la determinación del límite elástico, límite de fluencia, deformación de límite de fluencia, resistencia a la tracción, alargamiento de rotura y estricción.

Las diferencias entre las E8 y E8M son las unidades en las que se maneja el ensayo, en el caso del E8 se realiza en pulgadas y libras, mientras que la E8M utiliza las unidades del S.I. [34]

JIS Z 2241 Prueba de tracción a temperatura ambiente

Es un estándar de la industria japonesa para especificar la pieza de prueba de los ensayos de tracción para materiales metálicos, definiendo las propiedades mecánicas que pueden medirse a temperatura ambiente. [35]

3.6.2 Norma ASTM para materiales compuestos ASTM D3039

La norma ASTM D3039 es una guía completa sobre las normas internacionales para materiales compuestos. Realizando una introducción a los materiales compuestos y su importancia en la

industria moderna. Luego, se describe la terminología utilizada en la prueba de materiales compuestos, incluyendo las dimensiones fundamentales y los símbolos utilizados para representarlas.

También se detalla los diferentes tipos de materiales compuestos, como polímeros reforzados con fibra, y se discuten los métodos de prueba para medir propiedades como la resistencia a la tracción, la deformación y la densidad. Se proporciona información detallada sobre los métodos de prueba ASTM, incluyendo los métodos de prueba para la densidad y la gravedad específica, el módulo de Young y la relación de Poisson.

Además, se discuten los desafíos y limitaciones asociados con la prueba de materiales compuestos, los desafíos y limitaciones asociados con las pruebas de materiales compuestos incluyen la variabilidad en la fabricación, la dificultad para obtener muestras representativas y la falta de consenso en la industria sobre cómo seleccionar tolerancias de muestras y métodos de agarre. Además, se menciona que la selección de la geometría de la muestra y el método de agarre es importante para mantener la sección calibrada de la muestra de prueba en la configuración correcta y evitar fallas prematuras. En general, se reconoce que la prueba de materiales compuestos puede ser más difícil que la prueba de materiales convencionales debido a la complejidad de los materiales y la necesidad de considerar múltiples factores en la selección de muestras y métodos de prueba.

El documento también incluye información sobre el informe de resultados de prueba, incluyendo los métodos de prueba de densidad, porcentaje de volumen de refuerzo y contenido de huecos, así como el espesor promedio de la capa del material. Finalmente, se proporciona información sobre el nivel de revisión o fecha de emisión de este método de prueba. [36]

3.6.3. Otras normas para materiales compuestos

3.6.3.a Norma ISO 527-4. Es una prueba estandarizada internacionalmente para determinar las propiedades de tracción en materiales compuestos plásticos reforzados con fibra, esta norma define tres tipos de ensayos, dado a que tiene 3 tipos de probetas, teniendo en cuenta la manera en que se encuentre la matriz reforzada de fibras y el tipo de matrices siendo el caso de las termoestables y termoplásticas [37].

3.6.3.b Norma ASTM D638/D638M. Es una prueba de tracción en materiales plásticos, mide la fuerza necesaria a la que se somete una probeta de acuerdo con sus especificaciones hasta el punto

de rotura, logrando determinar algunas propiedades mecánicas del material como la resistencia a la tracción final del material, el límite elástico, el alargamiento y la reducción de área, con los datos obtenidos podemos calcular el módulo de Young y la relación de Poisson. [38]

3.6.3.c Norma ASTM D5766/D5766M. Es un método de prueba para determinar la resistencia a la tracción de laminados compuestos de matriz polimérica que contiene un agujero abierto comúnmente llamado agujero pasante, evalúa el comportamiento de los materiales compuestos a cargas de tracción con una discontinuidad, es importante para analizar la integridad estructural del material. [39]

Finalmente, después de haber realizado un repaso por estas normas que se aplican en los materiales compuestos, se determinó que la norma de referencia con la cual se realizaría la normalización de probetas y además los ensayos de tensión según la norma ASTM D3039.

3.7 Efecto de la velocidad de deformación en las propiedades mecánicas

En los metales a tasas de deformación cuasi estáticas y altas, las deformaciones plásticas alcanzan valores promedio de 0,4 o más y las velocidades de deformación un máximo de 5000 s^{-1} , Se observa que la sensibilidad de estos materiales a la variación de la tasa de deformación de la tensión es línea dentro del rango 0,01 a 100 s^{-1} , en cambio en el rango de tasas de deformación de 100 a 10.000 s^{-1} la tensión aumenta drásticamente. Luego se evidencia que un aumento de la tasa de deformación va acompañado de un aumento de la resistencia real a la deformación plástica para los metales como la aleación de aluminio, cobre, latón y acero inoxidable. [42]

En los materiales compuestos los efectos de un cambio de la velocidad de carga o tasa de deformación sobre el comportamiento de estos materiales dependen de los compuestos de su matriz, es decir, si es una matriz polimérica, metálica o cerámica, siendo el caso de una matriz polimérica los materiales seleccionados para el estudio realizado en este documento. Un compuesto de matriz polimérica muestra un alto grado de sensibilidad a la velocidad de deformación, de manera que a medida que aumenta la velocidad de deformación, cambian los patrones de falla de los compuestos poliméricos y en los compuestos de polímeros reforzados con fibras (FRP) se modifican desde la fractura de la fibra hasta el agrietamiento de la matriz, también observando un gran aumento en el módulo de Young y deformación [43].

4. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los materiales que se utilizaron en este estudio fueron, una lámina de Alucobond comercial reutilizada la cual fue puesta a nuestra entera disposición por parte de una empresa de mantenimiento, una lámina reutilizada de fibra de vidrio donada por parte de la misma compañía. En las Figura 10 y Figura 11 se muestran las láminas de las cuales se obtuvieron las probetas. Se realizó el corte y acabado de los materiales por medio de herramientas eléctricas las cuales nos facilitó la compañía de manteniendo tales como pulidoras, dremel multi-max, mototool entre otras.

Figura 10.

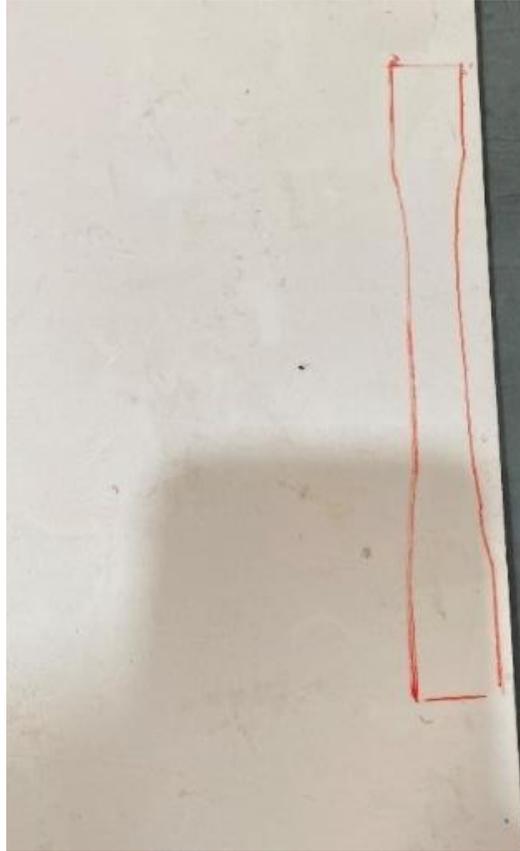
Fotografía lamina de Alucobond.



Nota. Fotografía de lámina de alucobond utilizada para realizar los ensayos, la cual fue donada por la empresa de mantenimiento.

Figura 11.

Fotografía lamina de fibra de vidrio.



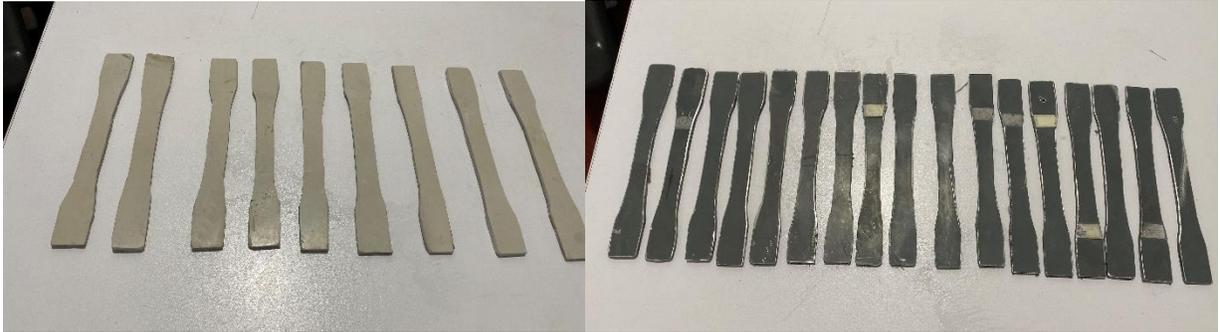
Nota. Fotografía de lámina de fibra de vidrio utilizada para realizar los ensayos, la cual fue donada por la empresa de mantenimiento.

Para la fabricación de las probetas se realizaron los cortes con un dremel multi-max el cual es una herramienta oscilatoria de precisión, obteniendo la forma de la probeta, luego de ello se realizó el acabado y terminado de la misma por medio del mototool con lijas diferentes. Luego de realizar este procedimiento con las dos láminas de material se obtuvieron 17 probetas de Alucobond y 9 probetas de fibra de vidrio, ver figura 12, debido a ciertas imperfecciones las dimensiones y al

manejo del equipo en el momento de realizar los ensayos se descartaron 2 probetas de Alucobond y 3 probetas de fibra de vidrio.

Figura 12.

Fotografía del corte de las probetas

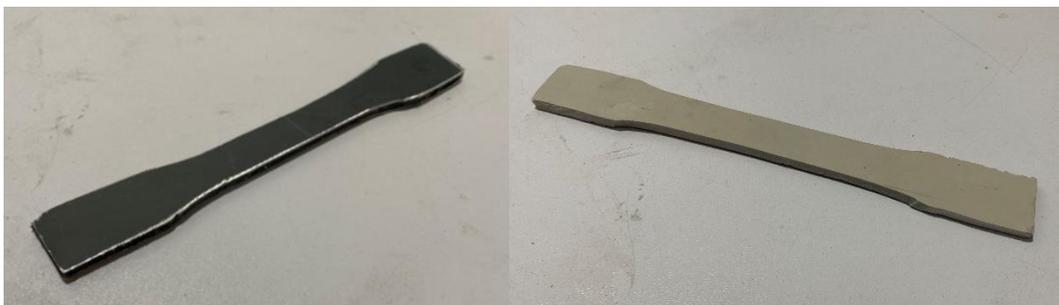


Nota. Foto de las probetas cortadas y acabadas con herramientas eléctricas.

Las probetas, ver figura 13 se fabricaron de acuerdo con las indicaciones de la norma ASTM D 638 -14, con ancho de 13 mm, largo de 165 mm con un espesor de 4 mm para el Alucobond y la fibra de vidrio. Ver en Anexo 1.

Figura 13.

Fotografía de las probetas.



Nota. Fotografía de las probetas de fibra de vidrio y de Alucobond.

Realizando los respectivos ensayos a las probetas normalizadas de los materiales en la máquina de ensayos universal SHIMADZU AGS-50kNXD mostrada en la Figura 14, junto con el software de ensayos TRAPEZIUM X, que permite la generación de informes, exportar los datos tratados por

la maquina durante la duración del ensayo, de manera que se pueden tratar puntualmente cada dato del ensayo permitiendo así un análisis del comportamiento del material a las velocidades seleccionadas las cuales varían alrededor de la velocidad sugerida en la norma ASTM D3039 la cual tiene un valor de 2 mm/min (0.0333 mm/s) y según lo mencionado anteriormente se escogen un par de velocidades una de un valor superior 3 mm/min (0.05 mm/s) y de un valor inferior 0.6 mm/min (0.01 mm/s), para así corroborar que efecto tuvo el cambio de velocidad en los resultados de este ensayo y así llegar a una conclusión de si esto afecta el comportamiento del material.

Figura 14.

Imagen del equipo en el cual se realizó el ensayo.



Nota. Imagen de la máquina de ensayos universal, en esta se realizaron los ensayos de tracción.

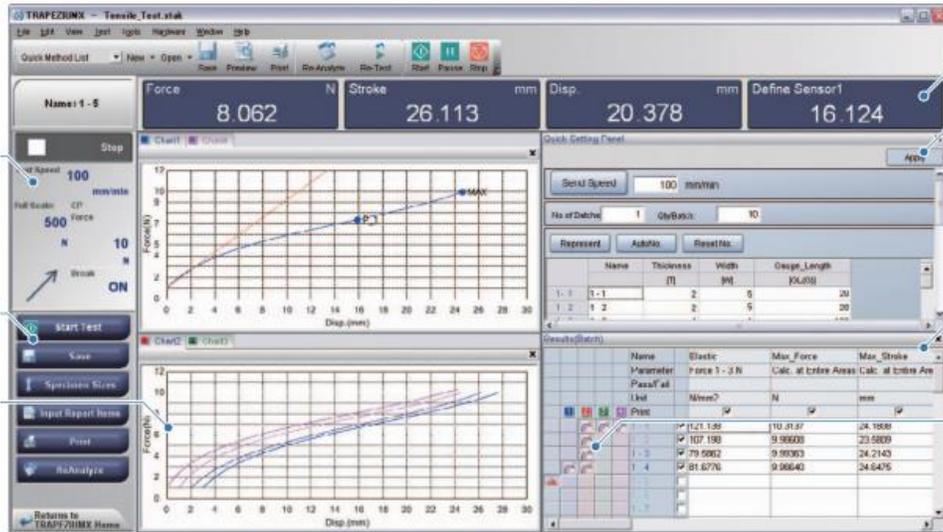
Tomado de: «Autograph AGS-X Series», Shimadzu Latin America.

<https://www.shimadzu-la.com/an/products/materials-testing/uni-ttm/autograph-ags-x-series/index.html>

Con un software de interfaz llamado TRAPEZIUM X como se ve en la Figura 15, para el procesamiento de datos durante el ensayo.

Figura 15.

Imagen del software utilizado para el análisis de los resultados.

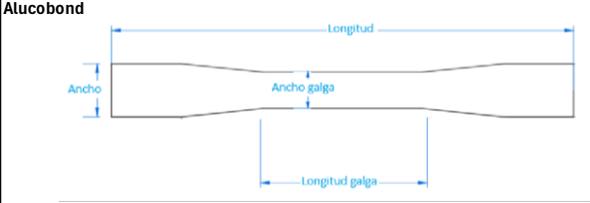
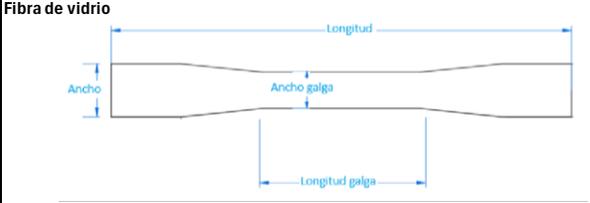


Nota. Imagen del software TRAPEZIUM X utilizado para el análisis de los resultados. Tomado de: «TRAPEZIUM LITE X», Shimadzu Latin America. <https://www.shimadzu-la.com/an/products/materials-testing/uni-ttm-software/trapezium-lite-x/index.html>

Para realizar los ensayos se realizó una marcación de galga en las probetas con un tono diferente para logara visualizar e identificar mejor la zona de rotura. Ver Figura 17, además de la toma de dimensiones pertinentes como se muestran en la Figura 16.

Figura 16.

Tabla de dimensiones de probetas de Alucobond y Fibra de vidrio.

Alucobond					Fibra de vidrio				
									
Medidas de probetas	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Ancho de la galga (mm)	Longitud de galga (mm)	Medidas de	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Ancho de la galga (mm)	Longitud de galga (mm)
PV1	21,5	169	14,5	65	PV1	22	171	15,5	65
PV2	22,1	169,3	14,7	65	PV2	20,5	170	14,3	65
PV3	22	169,8	14	65	PV3	21,5	171,5	15	65
PV4	22,5	169	14,9	65	PV4	22	169,5	14	65
PV5	23	170,04	14,9	65	PV5	20	169	15,8	65
PV6	22,2	167,8	14,2	65	PV6	20	170,09	14,5	65
PV7	22	169,7	14	65					
PV8	22	170	14,9	65					
PV9	21	170	14	65					
PV10	22	169	13,5	65					
PV11	21,8	169,5	14,9	65					
PV12	21	170	13,9	65					
PV13	21,6	170,03	14,3	65					
PV14	20,5	170	13	65					
PV15	22	170	15	65					

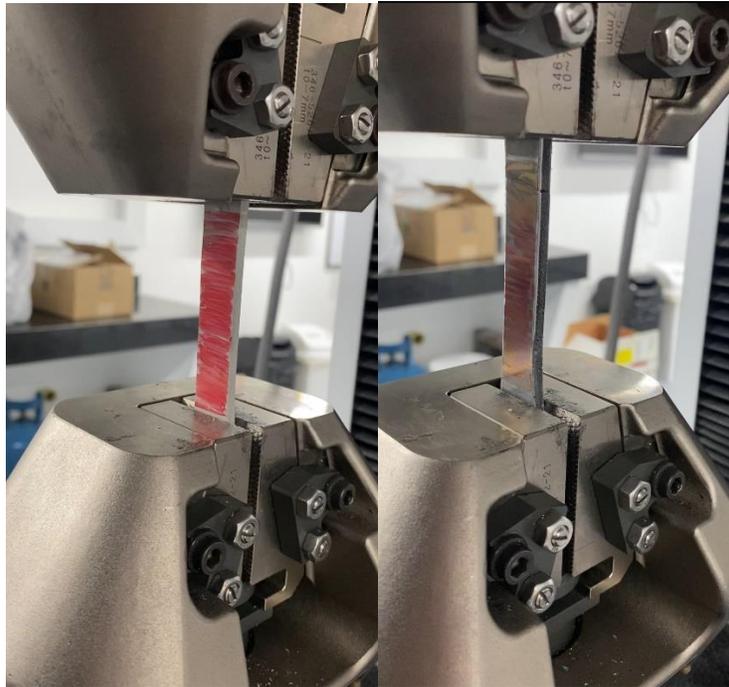
Nota. Tabla de dimensiones de probetas de Alucobond y Fibra de vidrio.

Teniendo en cuenta la cantidad de velocidades a las que se realizaría el ensayo, se dividieron la cantidad de probetas en partes iguales para realizar los mismos ensayos en cada velocidad de deformación, para lograr obtener la misma cantidad de información en cada velocidad en los dos materiales, obteniendo de esta manera 5 probetas de Alucobond y 2 probetas de fibra de vidrio en cada velocidad seleccionada. La dirección en la que se extraen las probetas con respecto al material se da de forma horizontal a la orientación del material base, la cual es una lámina reutilizada de Alucobond de 5 x 1 m, en el caso de la lámina de fibra de vidrio se realizó la extracción de las probetas con una dirección perpendicular a las fibras.

Luego de ellos se fijan las probetas con las mordazas de la máquina de ensayos universal dejando centrada la parte marcada que es en la cual se centrara nuestro ensayo, como lo podemos evidenciar en la figura 17 y figura 19.

Figura 17.

Fotografía de probetas montadas en el equipo.



Nota. Fotografía Probetas montadas en el equipo, antes de realizar los ensayos.

Luego de realizar los ensayos se logra evidenciar las roturas en las probetas, en algunas de ellas las roturas de todas las capas y en algunas otras únicamente la ruptura de algunas de ellas. Como se evidencian en las siguientes figuras.

Cuando se realizaron los diferentes ensayos se tuvieron en cuenta diferentes parámetros para minimizar los errores, pero se debe tener en cuenta que en los momentos en los que se realizaron los ensayos los laboratorios de la Universidad no contaban con extensómetro, para garantizar las medidas, sin embargo, se utilizaron herramientas de medición como lo son los calibradores digitales pie de rey como se observa en la figura 18.

Figura 18.

Fotografía medida longitud de ensayo.



Nota. Toma de medidas de las probetas con pie de rey digital

Figura 19.

Fotografía de probetas montada en el equipo mientras se realizaba el ensayo.



Nota. Fotografías Probetas montadas en el equipo mientras se realizaba el ensayo tanto de Alucobond como de fibra de vidrio.

5. RESULTADOS

A continuación se evidenciará por medio de tablas y gráficos los resultados obtenidos por medio de los ensayos realizados en las probetas de Alucobond y fibra de vidrio, en los cuales se ilustran sus propiedades mecánicas tales como lo son el módulo elástico, límite elástico, tensión de fluencia, la resistencia a la tracción, la ductilidad, su resiliencia, su tenacidad entre otras, con las cuales se puede caracterizar mejor el material y analizar el efecto de la variación de la velocidad en los diferentes ensayos, y de la misma forma identificar qué tipo de material es. Debido a que las probetas se normalizaron trabajaremos con un área en su sección transversal constante en todas las probetas.

Se presentarán en cada uno de los apartados tablas con los parámetros iniciales de las probetas y las propiedades identificadas a través de los ensayos realizados, con el objetivo de evitar errores de calibración se procede a realizar los ensayos de manera aleatoria, variando las velocidades de deformación en cada ensayo realizado.

5.1 Ensayo de tracción para las probetas de aluminio compuesto

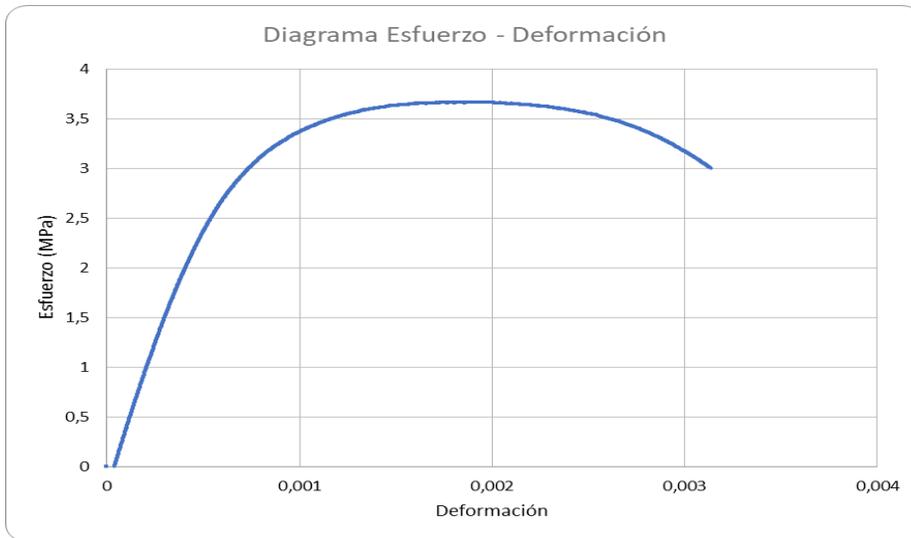
5.1.1 Ensayos a velocidad 0.01 mm/s

Tomando como el parámetro de velocidad de deformación en 0.01mm/s se hicieron los siguientes ensayos en las probetas #3, 5, 7, 11 y 14

5.1.1.a Probeta # 3 Resultados obtenidos en Alucobond. En la Figura 20 es presentada la curva de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 3 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 3, obteniendo una deformación unitaria de 0,0031.

Figura 20.

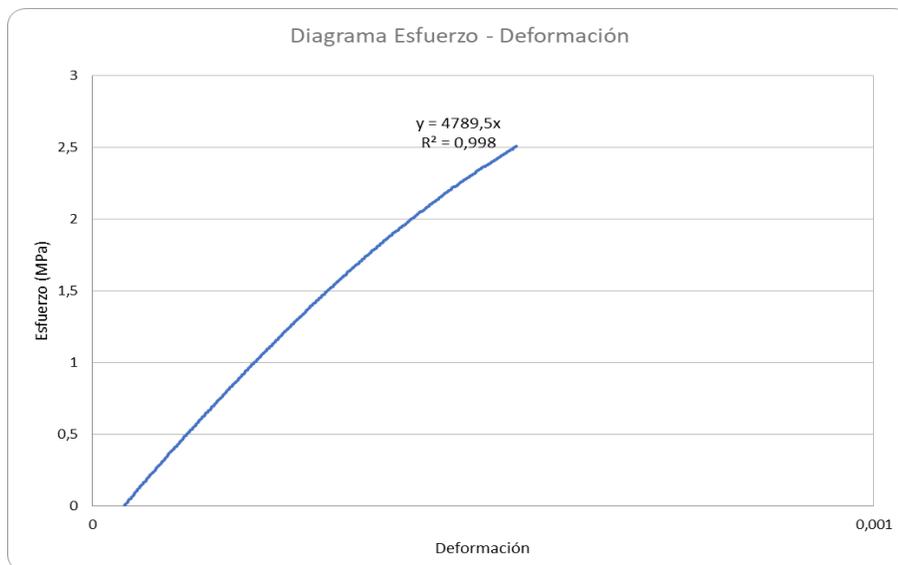
Diagrama de esfuerzo vs deformación.



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 21.

Diagrama de esfuerzo vs deformación.

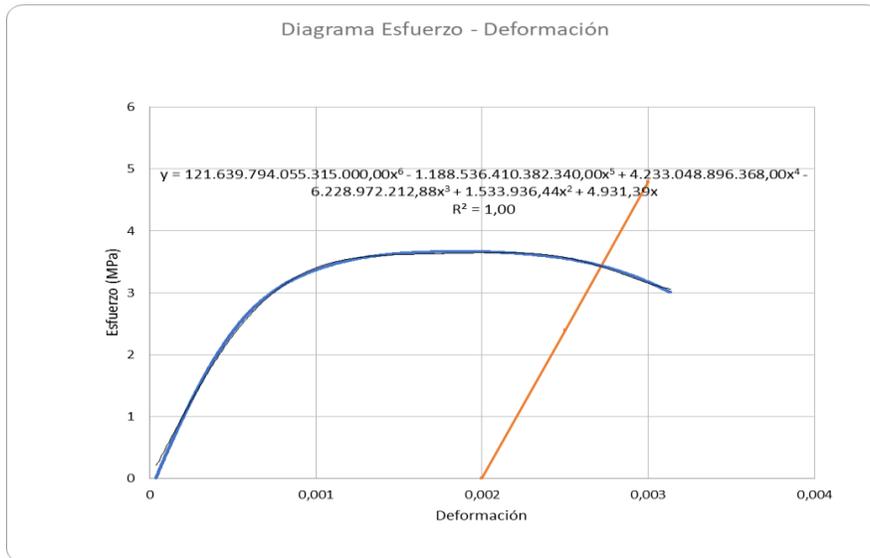


Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica ver la figura 21, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material ver en la figura 22.

Figura 22.

Diagrama de esfuerzo vs deformación.



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

Tabla 2.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	4789,4	3,45665
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 3 de Alucobond.

Tabla 3.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ε_y	TS	%EL	U_r	
0,00272	3,66436	0,00314	0,00827	0,00961
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 3 de Alucobond.

5.1.1.b Probeta # 5 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras en Anexo 2 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 5 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 5, obteniendo una deformación unitaria de 0,0249.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la

zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 4.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	4197,3	14,86088
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 5 de Alucobond.

Tabla 5.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ε_y	TS	%EL	U_r	
0,00554	17,50733	0,02497	0,05482	0,38172
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 5 de Alucobond.

5.1.1.c Probeta # 7 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras en Anexo 2 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 7 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 7, obteniendo una deformación unitaria de 0,0146.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una

regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 6.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l₀	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	4069,6	23,71677
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 7 de Alucobond.

Tabla 7.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ε_y	TS	%EL	U_r	
0,00783	26,94965	0,01467	0,11034	0,28816
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 7 de Alucobond.

5.1.1.d Probeta # 11 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 2 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 11 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 9, obteniendo una deformación unitaria de 0,0128.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una

regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 8.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	4575,2	24,44563
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 11 de Alucobond.

Tabla 9.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ε_y	TS	%EL	U_r	
0,00734	26,65083	0,01289	0,10624	0,25066
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 11 de Alucobond.

5.1.1.e Probeta # 14 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 2 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 14 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 11, obteniendo una deformación unitaria de 0,0113.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 10.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	4.053,7	7,72897
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 14 de Alucobond.

Tabla 11.

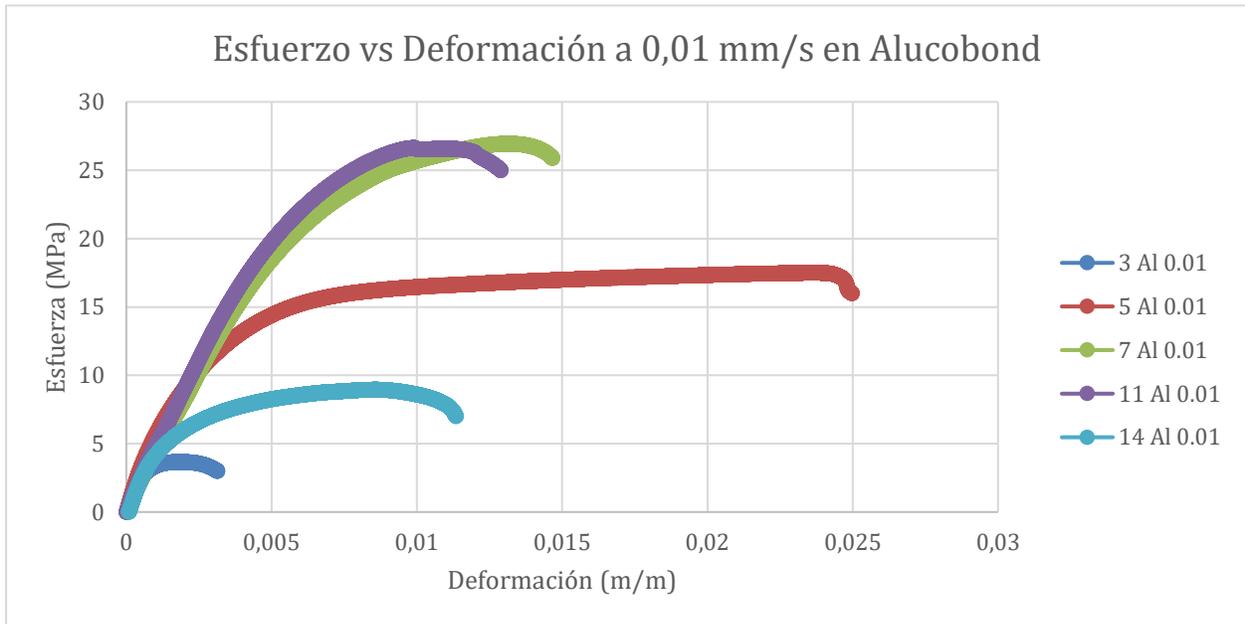
Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ε_y	TS	%EL	U_r	
0,00391	8,95487	0,01135	0,02079	0,08411
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 14 de Alucobond.

Figura 23.

Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,01 mm/s en Alucobond.



Nota. Grafica de curvas de esfuerzo deformación de pruebas realizadas a una velocidad de deformación de 0,01 mm/s.

Se logro evidenciar en la figura 23 que, al realizar los ensayos en esta velocidad, el comportamiento del material tuvo diferencias que se le atribuyen al estado en el que se encontraba el material inicial, debido a que este ha sido una lámina de Alucobond reemplazada, por lo tanto ha estado expuesta al ambiente por un tiempo prolongado, por esta razón y por la manera en que se extrajeron las probetas se vio afectado el estado de las probetas con daños superficiales e interlaminares cambiando su transición de un comportamiento elástico a plástico a diferentes esfuerzos y deformaciones, de esta manera con los datos obtenidos se realiza una comparación con diferentes estudios en materiales similares para poder validar con los datos de dichos estudios el comportamiento de los paneles de aluminio compuesto bajo diferentes tasas de deformación, véase en el siguiente capítulo del documento.

5.1.2 Ensayos a velocidad 0.0333 mm/s en Alucobond

Ahora cambiando el valor del parámetro de velocidad de deformación a la velocidad de la norma para tener en cuenta 0,03333333 mm/s (2 mm/min) se hicieron los siguientes ensayos en las probetas #2, 4, 9, 12 y 15.

5.1.2.a Probeta #2 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 3 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 2 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 13, obteniendo una deformación unitaria de 0,0056.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 12.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	3.357,1	4,65539
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 2 de Alucobond.

Tabla 13.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,00339	4,67791	0,00562	0,01313	0,02290
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 2 de Alucobond.

5.1.2.b Probeta # 4 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 3 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 4 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 15, obteniendo una deformación unitaria de 0,0038.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 14.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	4.238,4	5,21514
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 4 de Alucobond.

Tabla 15.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,00323	5,41171	0,00388	0,01393	0,01708
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 4 de Alucobond.

5.1.2.c Probeta # 9 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 3 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 9 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 17, obteniendo una deformación unitaria de 0,0039.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 16.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l₀	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	4.075,8	4,80398
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 9 de Alucobond.

Tabla 17.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,00318	5,01778	0,00398	0,01282	0,01642
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 9 de Alucobond.

5.1.2.d Probeta # 12 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 3 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 12 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 19, obteniendo una deformación unitaria de 0,0154.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 18.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	3.681,4	25,21177
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 12 de Alucobond.

Tabla 19.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,00885	26,36552	0,01542	0,14008	0,31092
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 12 de Alucobond.

5.1.2.e Probeta # 15 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 3 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 15 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 21, obteniendo una deformación unitaria de 0,0124.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 20.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	3.544,8	8,41160
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 15 de Alucobond.

Tabla 21.

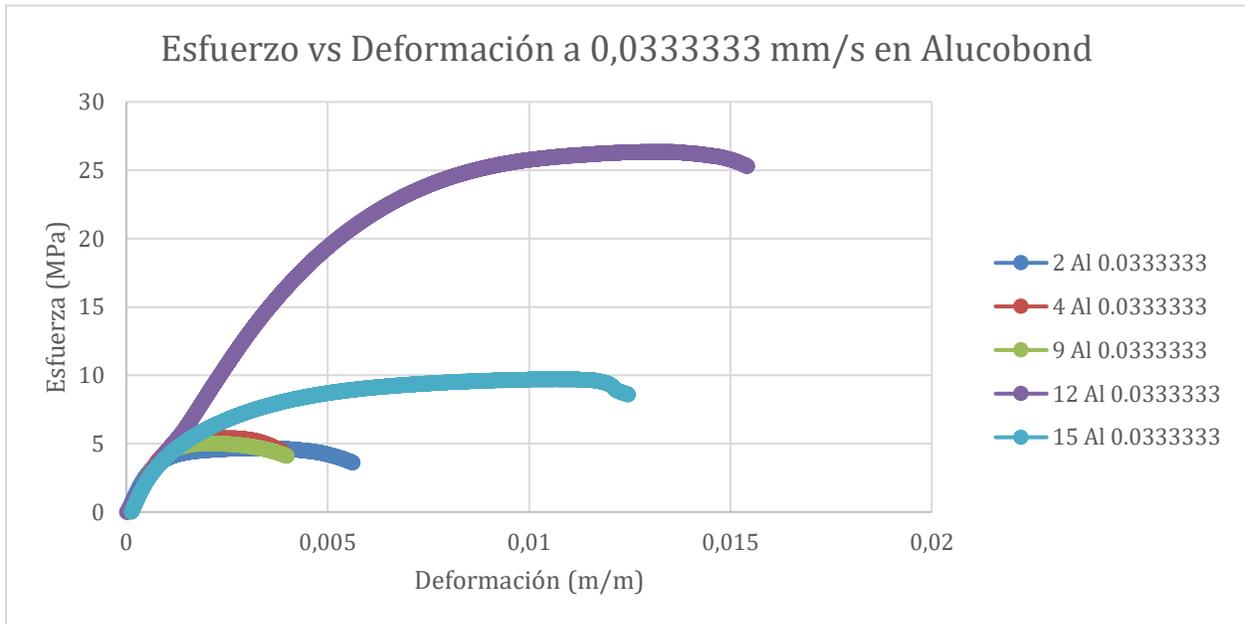
Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ε_y	TS	%EL	U_r	
0,00437	9,72245	0,01246	0,02484	0,10037
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 15 de Alucobond.

Figura 24.

Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,0333 mm/s en Alucobond.



Nota. Gráfico de curvas de esfuerzo deformación de pruebas realizadas a una velocidad de deformación de 0,0333333 mm/s.

Realizando los ensayos con esta velocidad que es la sugerida por la norma (0,0333333 mm/s) ver figura 24, la forma en la que el material se comporta al inicio del ensayo es el mismo en la zona elástica, sin embargo, al igual que con las otras velocidades y teniendo en cuenta que estas probetas fueron extraídas de una lámina de Alucobond, expuesta al ambiente por un tiempo prolongado, por esta razón y por la manera en que se extrajeron las probetas se vio afectado el estado de las probetas con daños superficiales e interlaminares cambiando su transición de un comportamiento elástico a plástico a diferentes esfuerzos y deformaciones, mostrando en esta velocidad unos comportamientos atípicos en dos probetas siendo 12 y 15 aquellas con diferencias con respecto a las demás, de esta manera con los datos obtenidos se realiza una comparación con diferentes estudios en materiales similares para poder validar con los datos de dichos estudios el comportamiento de los paneles de aluminio compuesto bajo diferentes tasas de deformación, véase en el siguiente capítulo del documento.

5.1.3 Ensayos a velocidad 0.05 mm/s en Alucobond

Ahora cambiando el valor del parámetro de velocidad de deformación a 0,05 mm/s se hicieron los siguientes ensayos en las probetas #1, 6, 8, 10 y 13.

5.1.3.a Probeta # 1 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 4 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 1 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 23, obteniendo una deformación unitaria de 0,0083.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 22.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	4.483,52	5,88009
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 1 de Alucobond.

Tabla 23.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,00331	6,10338	0,00833	0,01458	0,04393
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 1 de Alucobond.

5.1.3.b Probeta # 6 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 4 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 6 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 25, obteniendo una deformación unitaria de 0,0176.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 24.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l ₀	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	5.345,33	6,01857
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 6 de Alucobond.

Tabla 25.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,00313	7,73496	0,01762	0,01409	0,11760
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 6 de Alucobond.

5.1.3.c Probeta # 8 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 4 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 8 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 27, obteniendo una deformación unitaria de 0,007.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 26.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l ₀	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	5.402,29	8,08193
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 8 de Alucobond.

Tabla 27.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,00350	8,29074	0,00710	0,02052	0,04908
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 8 de Alucobond.

5.1.3.d Probeta # 10 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 4 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 10 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 29, obteniendo una deformación unitaria de 0,0115.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 28.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l _o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	4.805,90	23,46418
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 10 de Alucobond.

Tabla 29.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,00688	25,35475	0,01158	0,09308	0,20888
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 10 de Alucobond.

5.1.3.e Probeta # 13 Resultados obtenidos en Alucobond. En las Figuras del Anexo 4 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos del panel de aluminio compuesto (Alucobond), siendo puntualmente el ensayo número 13 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 31, obteniendo una deformación unitaria de 0,0155.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 30.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l ₀	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	5559,92	7,93951
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 13 de Alucobond.

Tabla 31.

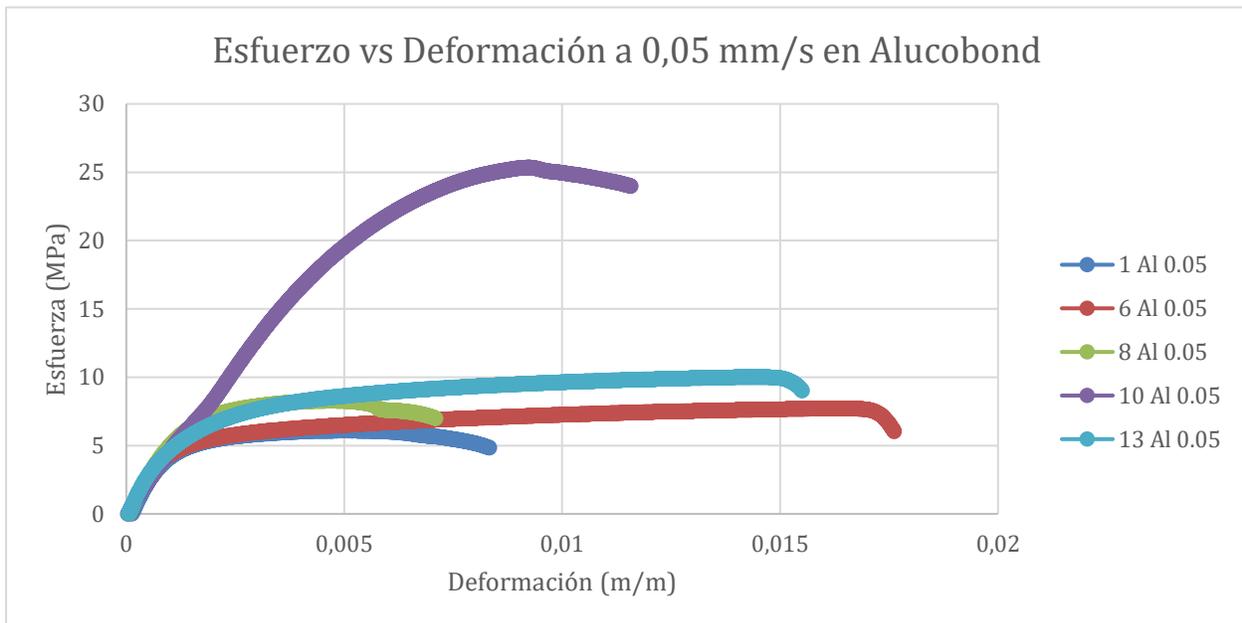
Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,00343	10,02113	0,01551	0,01890	0,13230
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 13 de Alucobond.

Figura 25.

Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,05 mm/s en Alucobond.



Nota. Grafica de curvas de esfuerzo deformación de pruebas realizadas a una velocidad de deformación de 0,05 mm/s.

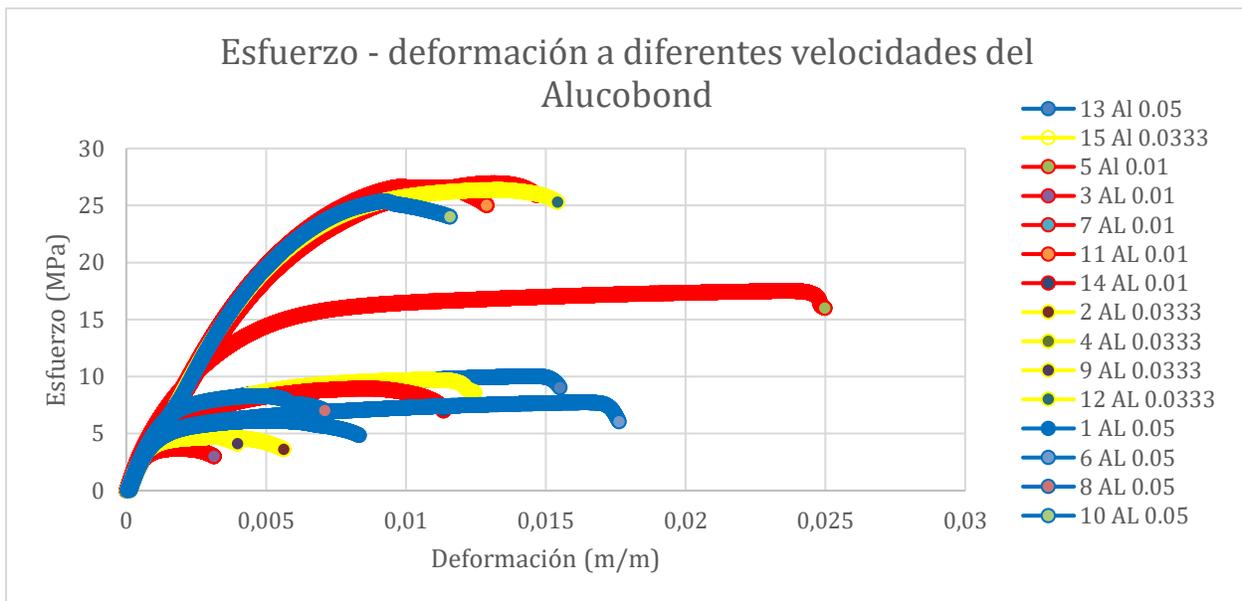
Se logro evidenciar que en la figura 25, al realizar los ensayos en esta velocidad (0,05 mm/s), el comportamiento del material en la zona elástica tiende a ser el mismo sin embargo, este comportamiento se diferencia en cada probeta debido que al ser extraídas de una lámina de

Alucobond expuesta al ambiente por un tiempo prolongado y por la manera en que se extrajeron dichas probetas se vio afectado el estado de las probetas con daños superficiales e interlaminares cambiando su transición de un comportamiento elástico a plástico a diferentes esfuerzos y deformaciones, presentando un comportamiento atípico en la probeta 10, de esta manera con los datos obtenidos se realiza una comparación con diferentes estudios en materiales similares para poder validar con los datos de dichos estudios el comportamiento de los paneles de aluminio compuesto bajo diferentes tasas de deformación, véase en el siguiente capítulo del documento.

5.1.4 Curvas obtenidas

Figura 26.

Diagrama de esfuerzo vs deformación a diferentes velocidades del Alucobond.



Nota. Gráfico de curvas de esfuerzo – deformación de las velocidades tomadas para realizar los ensayos.

Con la figura 26 podemos observar que con el cambio de la velocidad de deformación en el panel de aluminio compuesto Alucobond, en estas velocidades tiende a comportarse de maneras distintas, esto se puede apreciar en el grupo rojo (Velocidad de deformación 0.01 mm/s) como estas se tratan de agrupar en la parte superior de la gráfica, obteniendo pequeñas deformaciones (menores a 0.015) a grandes esfuerzos en el rango de 20MPa a 25 MPa, sin embargo se obtuvo resultados atípicos en la probeta 5, mostrando una gran deformación a esfuerzos medios, mientras

tanto en el grupo amarillo (Velocidad de deformación 0.0333 mm/s) se observa que tuvieron un comportamiento que las hace agruparse en la parte inferior de la gráfica, mostrando deformaciones bajas el rango de 0.0039 hasta 0.0056 a esfuerzos menores de 10 MPa, con dos resultados fuera de este comportamiento, siendo la probeta 12 y 15, que muestran deformaciones dentro del rango de 0.012 a 0.015 con esfuerzos alrededor de 10 MPa y 25 MPa respectivamente, finalmente, el grupo azul (Velocidad de deformación de 0.05 mm/s) mostraron un comportamiento que las ubica alrededor de los 10 MPa y con deformaciones desde el rango de 0.007 hasta 0.017, presentando una probeta fuera del comportamiento con un valor de deformación dentro del rango pero presentándolo a esfuerzos alrededor de 25 MPa.

5.2. Ensayo de tracción para las probetas de fibra de vidrio

5.2.1 Ensayos a velocidad 0.01 mm/s en fibra de vidrio

Tomando como el parámetro de velocidad de deformación en 0,01 mm/s se hicieron los siguientes ensayos en las probetas #6 y 7.

5.2.1.a Probeta # 6 Resultados obtenidos en fibra de vidrio. En las Figuras del Anexo 5 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos de la fibra de vidrio, siendo puntualmente el ensayo número 6 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 33, obteniendo una deformación unitaria de 0,0059.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 32.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	2001,6	22,9475
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 6 de fibra vidrio.

Tabla 33.*Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.*

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ε_y	TS	%EL	U_r	
0,01346	23,61205	0,01520	0,19280	0,22570
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 6 de fibra de vidrio.

5.2.1.b Probeta # 7 Resultados obtenidos en fibra de vidrio. En las Figuras del Anexo 5 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos de la fibra de vidrio, siendo puntualmente el ensayo número 7 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 35, obteniendo una deformación unitaria de 0,0075.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una

regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 34.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	2291	34,39387
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 7 de fibra de vidrio.

Tabla 35.

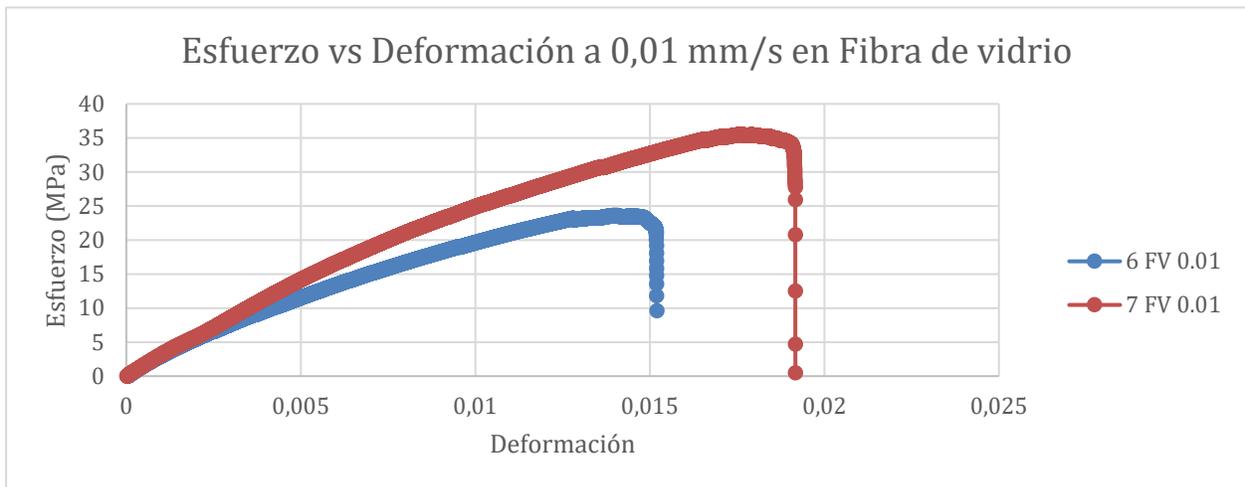
Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ε_y	TS	%EL	U_r	
0,01701	35,56145	0,01917	0,36565	0,42369
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 7 de fibra de vidrio.

Figura 27.

Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,01 mm/s en fibra de vidrio.



Nota. Gráfico de curvas de esfuerzo deformación de pruebas realizadas a una velocidad de deformación de 0,01 mm/s.

Con estos ensayos mostrados en la figura 27 se evidencia que el material al ser un compuesto de fibras se viene dando roturas de fibra a fibra durante la zona elástica, sin embargo, por la manera que este material está conformado no presenta un comportamiento plástico debido que al momento de donde se daría este, el comportamiento que presenta es la rotura completa de las fibras.

5.2.2 Ensayos a velocidad 0.0333 mm/s en fibra de vidrio

Tomando como el parámetro de velocidad de deformación en 0.0333 mm/s se hicieron los siguientes ensayos en las probetas #4 y 8.

5.2.2.a Probeta # 4 Resultados obtenidos en fibra de vidrio. En las Figuras del Anexo 6 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos de la fibra de vidrio, siendo puntualmente el ensayo número 4 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 37, obteniendo una deformación unitaria de 0,006.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una

regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 36.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e			E	σ_y
0,004	0,015	0,065	2369,6	29,36973
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 4 de fibra de vidrio.

Tabla 37.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,01439	29,36973	0,01601	0,23597	0,28223
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 4 de fibra de vidrio.

5.2.2.b Probeta # 8 Resultados obtenidos en fibra de vidrio. En las Figuras del Anexo 6 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos de la fibra de vidrio, siendo puntualmente el ensayo número 5 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 39, obteniendo una deformación unitaria de 0,0062.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 38.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e			E	σ_y
0,004	0,015	0,065	1997,9	27,14038
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 8 de fibra de vidrio.

Tabla 39.

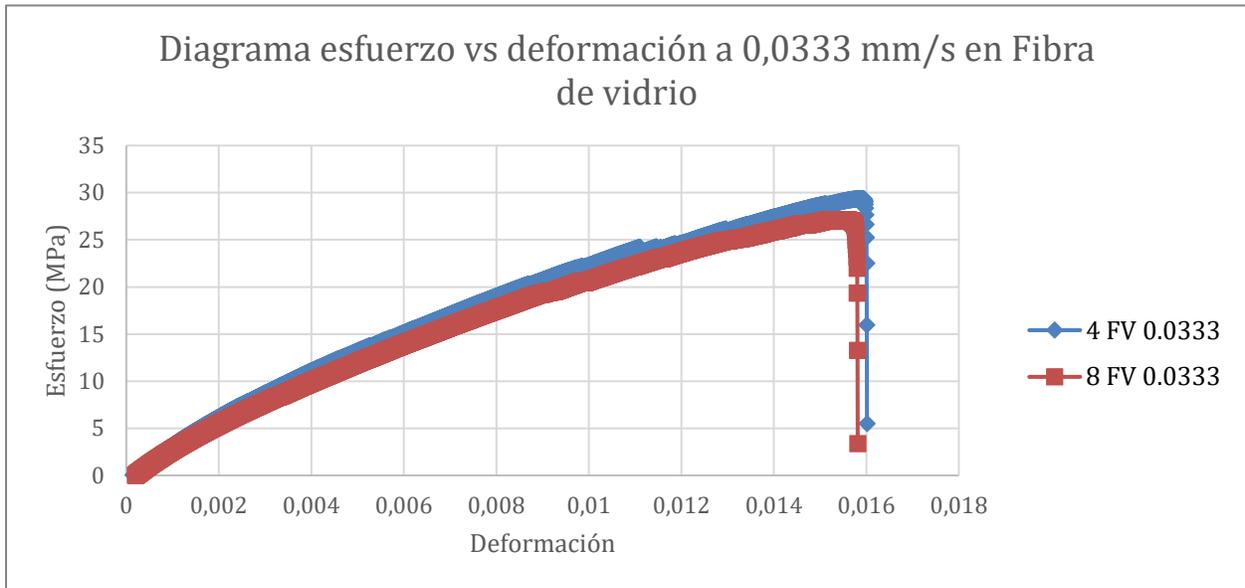
Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ϵ_y	TS	%EL	Ur	
0,01558	27,14038	0,01581	0,25085	0,25699
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 8 de fibra de vidrio.

Figura 28.

Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,0333 mm/s en fibra de vidrio.



Nota. Gráfico de curvas de esfuerzo deformación de pruebas realizadas a una velocidad de deformación de 0,0333333 mm/s.

Con estos ensayos mostrados en la figura 28 se evidencia que el material al ser un compuesto de fibras se viene dando roturas de fibra a fibra durante la zona elástica, sin embargo, por la manera que este material está conformado no presenta un comportamiento plástico debido que al momento de donde se daría este, el comportamiento que presenta es la rotura completa de las fibras.

5.2.3 Ensayos a velocidad 0.05 mm/s en fibra de vidrio

Tomando como el parámetro de velocidad de deformación en 0,05 mm/s se hicieron los siguientes ensayos en las probetas #3 y 5.

5.2.3.a Probeta # 3 Resultados obtenidos en fibra de vidrio. En las Figuras del Anexo 7 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos de la fibra de vidrio, siendo puntualmente el ensayo número 3 del lote de probetas que obtuvimos después de la estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 41, obteniendo una deformación unitaria de 0,0011.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 40.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	1644	39,38013
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 3 de fibra de vidrio.

Tabla 41.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ε_y	TS	%EL	U_r	
0,02595	39,38013	0,02810	0,59300	0,67580
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 3 de fibra de vidrio.

5.2.3.b Probeta # 5 Resultados obtenidos en fibra de vidrio. En las Figuras del Anexo 7 son presentadas las curvas de esfuerzo – deformación para uno de los ensayos de la fibra de vidrio, siendo puntualmente el ensayo número 5 del lote de probetas que obtuvimos después de la

estandarización, obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 43, obteniendo una deformación unitaria de 0,001.

Continuando con la caracterización del material se realizó un truncamiento de datos en la parte más recta de la curva de esfuerzo deformación para determinar la zona elástica, realizando una regresión lineal para obtener así una ecuación que nos permita evaluar con el método del 0.2% la zona elástica teniendo en cuenta que la determinación del cambio de comportamiento elástico a plástico no es tan reconocible en este material.

Tabla 42.

Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico
e		l_o	E	σ_y
0,004	0,015	0,065	2018,9	43,42185
(m)	(m)	(m)	MPa	MPa

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 5 de fibra de vidrio.

Tabla 43.

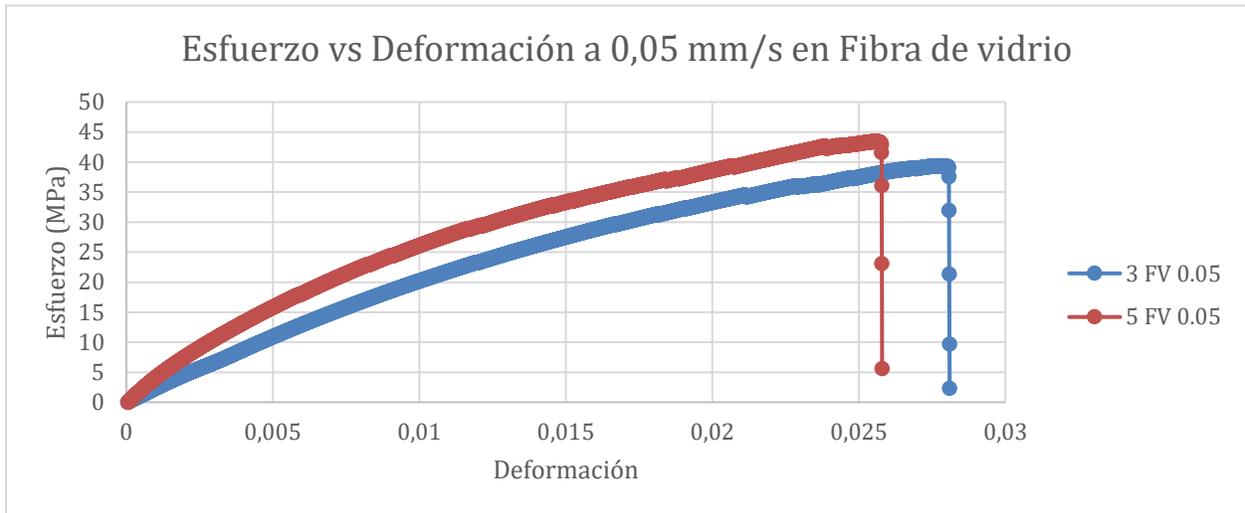
Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo vs deformación.

Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
ε_y	TS	%EL	U_r	
0,02351	43,42185	0,02581	0,61966	0,71830
m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Datos obtenidos a partir de la curva de esfuerzo deformación en la probeta # 5 de fibra de vidrio.

Figura 29.

Diagrama de esfuerzo vs deformación a 0,05 mm/s en fibra de vidrio.



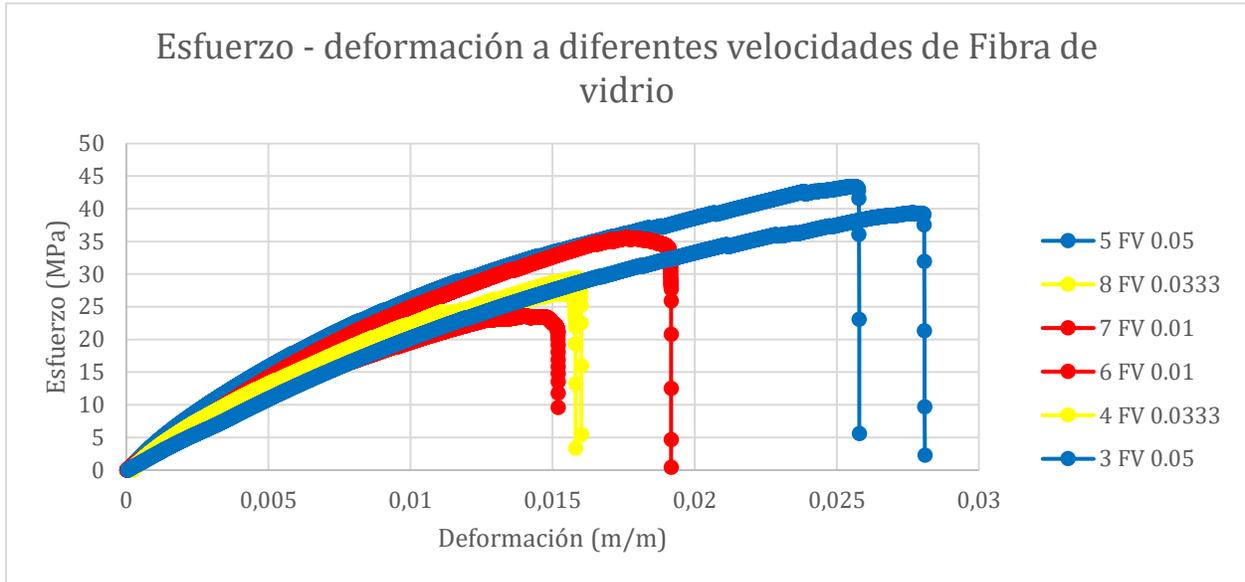
Nota. Gráfico de curvas de esfuerzo deformación de pruebas realizadas a una velocidad de deformación de 0,05 mm/s.

Con estos ensayos mostrados en la figura 29 se evidencia que el material al ser un compuesto de fibras se viene dando roturas de fibra a fibra durante la zona elástica, sin embargo, por la manera que este material está conformado no presenta un comportamiento plástico debido que al momento de donde se daría este, el comportamiento que presenta es la rotura completa de las fibras.

5.2.4 Curvas obtenidas

Figura 30.

Diagrama de esfuerzo vs deformación a diferentes velocidades de la fibra de vidrio.



Nota. Gráfico de curvas de esfuerzo – deformación de las velocidades tomadas para realizar los ensayos.

En la figura 30 podemos observar que con el cambio de la velocidad de deformación en la fibra de vidrio, el material a estas velocidades tiende a tener diferentes comportamientos, esto se puede apreciar en el grupo rojo (Velocidad de deformación 0.01 mm/s) como estos datos se ubican en la gráfica a esfuerzos entre 22 MPa y 35 MPa, obteniendo deformaciones entre 0.015 a 0.019, mientras tanto en el grupo amarillo (Velocidad de deformación 0.0333 mm/s) se observa que tuvieron un comportamiento que agrupo los datos en la gráfica, mostrando valores de esfuerzo alrededor de 26 MPa con deformaciones en el rango de 0.015, finalmente, el grupo azul (Velocidad de deformación de 0.05 mm/s) mostraron un comportamiento que las ubica alrededor de valores de deformación entre 0.025 a 0.028 con un esfuerzo de 43 MPa y 39 MPa en las probetas 5 y 3 respectivamente. También se logra evidenciar que en todas las velocidades se presentan las fracturas fibra a fibra en el transcurso del ensayo, hasta que finalmente se presenta la falla total de la matriz de fibras.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según los resultados obtenidos y realizando la comparación con estudios realizados anteriormente en materiales similares. Según Xia et al.[54], el material compuesto de aluminio reforzado con fibra de carbono, resulta ser un material sensible a la tasa de deformación, tanto la resistencia a la tracción como la deformación de falla muestran un incremento con el aumento de la velocidad de deformación, la resistencia a la tracción presento los siguientes valores a diferentes tasas de deformación, a 0.001s^{-1} , 0.907 GPa, a 300 s^{-1} : 1.03 GPa (aumento del 13.7%), a 600 s^{-1} : 1.17 GPa (aumento del 29.1%) y a 1200 s^{-1} : 1.28 GPa (aumento del 41.2%) mientras tanto la deformación de falla a 0.001 s^{-1} : 2.96%, a 300 s^{-1} : 3.55% (aumento del 20.0%) y 600 s^{-1} : 4.59% (aumento del 55.1%) y a 1200 s^{-1} : 5.58% (aumento del 88.5%), mostrando que este tipo de materiales tienen una sensibilidad a la velocidad de deformación. También Frey et al. [55], observo que el efecto de la velocidad de deformación en un compuesto de carbono/aluminio, se presenta en velocidades de 750/s a 1100/s, aumentando el esfuerzo ultimo de 100 KSI (689.48 MPa) a 150 KSI (1034.21 MPa) en este rango de velocidades, igualmente el módulo aumento de 11700 KSI (80 GPa) a 15500 KSI (106 GPa) para el mismo rango, mostrando que este material muestra un cambio significativo en sus propiedades a altas velocidades de deformación. Zhou et al.[56] realizo un estudio de un material compuesto de fibras de carbono unidireccionales con aluminio para evaluar el comportamiento a diferentes velocidades de deformación, observando que dicho material exhibió una sensibilidad significativa a la tasa de deformación, mostrando aumentos en la resistencia a la tracción aumentando un 39% cuando se aumentó la tasa de deformación de 0.001s^{-1} a 1000 s^{-1} , la deformación aumento de 0.232% a 0.0369% (un aumento del 59%) en el mismo rango de velocidades. Lo cual muestra a altas tasas de deformación varían considerablemente en los resultados de su resistencia a la tracción, límite elástico, modulo e incluso la deformación, ya que en la literatura se presenta una variación cuyo efecto se da por las altas velocidades de deformación, mientras que los ensayos realizados si bien se realizaron a diferentes velocidades no se realizó a las velocidades mencionadas por los estudios anteriores, de esta manera se puede considerar que si bien obtuvimos una variación en las propiedades antes mencionadas, no es la esperada para el panel de aluminio compuesto Alucobond, atribuyendo estos resultados a la selección de velocidad de deformación, degradación del material por condiciones del entorno por un tiempo prolongado y por el método de extracción de las probetas, al momento de realizar las pruebas se evidencio un degradación considerable debido a estas condiciones, como

en el caso del Alucobond que su núcleo está hecho de polietileno, un polímero que al encontrarse en exposición prolongada de humedad, penetración de rayos UV y contacto con aguas lluvias, sus propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción tienen a tener una reducción [46]. En el caso de los materiales compuestos de fibra de vidrio y resina epoxi, la reducción en la resistencia a la tracción pueden llegar a ser de 46.2%, en el módulo de Young es de 28.8% y de 39.5% en la deformación al fallo debido al contacto prolongado con el ambiente [47]. De igual manera se realiza un contraste de los resultados con la literatura, según Junjia Cui et al. [57] los efectos de la velocidad de deformación en las propiedades mecánicas de los compuestos reforzados por fibra de vidrio pueden presentar un aumento en la resistencia a la tracción desde 75.4 MPa a 146 MPa al aumentar la tasa de deformación de 0.001 s⁻¹ a 400 s⁻¹, por otra parte, también la deformación total incrementa, de un 2.8% a un 4.6% con el rango de velocidades anteriormente mencionado. Teniendo en cuenta esto se observa la alta sensibilidad de la resistencia a la tracción a una variación de velocidad de deformación, de igual manera observaron que el comportamiento de fractura tiende a ser frágil a tasas de deformaciones altas, haciendo que la ductilidad del material disminuya. También Yunfu Ou et al. [58], hablan de la sensibilidad que poseen los materiales de fibra de vidrio reforzado con polímeros (GFRP) a la velocidad de deformación, debido a los aumentos significativos que pueden presentarse en la resistencia a la tracción, tenacidad y la deformación máxima, teniendo en la resistencia a la tracción un aumento de hasta un 50,4%, desde 703 ± 54 MPa a una velocidad de deformación de 1/600 s⁻¹ hasta 1058 ± 119 MPa a 160 s⁻¹, un aumento en la tenacidad de hasta 430.7% con valores de 9.8 MPa ± 1.0 MPa hasta 51.9 ± 6.8 MPa, con las respectivas velocidades mencionadas finalmente, la deformación máxima puede llegar a aumentar hasta un 224.1% desde 0.023 ± 0.001 mm/mm a 1/600 s⁻¹ hasta 0.079 ± 0.005 mm/mm a 160 s⁻¹. El artículo de Fitoussi et al. [59], menciona que el efecto que tiene la tasa de deformación en las propiedades mecánicas de un compuesto de matriz de etileno-propileno reforzado con fibras de vidrio cortas, se puede apreciar en el aumento del módulo de Young alrededor de un aumento del 50% pasando de un valor de 10 GPa a 15 GPa en velocidades de deformación de 10⁻³ s⁻¹ a 200 s⁻¹, además el daño del material se retrasa aumentando por entre la tensión y la deformación última, aumentando la tensión de 80 MPa a 160 MPa, este comportamiento que responde a la tasa de deformación, lo atribuyen al comportamiento viscoso de la matriz de polímero, dado que su interacción con el desprendimiento de las fibras, permite que esta matriz tienda a deformarse cerca de las fibras desprendidas, ocasionando que esta actúe como disipador de energía, retrasando el

daño del material. En el Journal of Materials Science, Arao et al [60] se evidencio que la resistencia a la tracción de las fibras de vidrio aumento con el aumento de la velocidad de deformación, mostrando que cuando se duplico esta velocidad aumentando de una tasa casi estática ($4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) a alta velocidad (250 s^{-1}) aumentando aproximadamente 2.26 veces la resistencia, concluyendo que el principal factor de la dependencia a la velocidad de deformación son el lento crecimiento de las grietas durante la carga de tracción, teniendo en cuenta estos estudios, se evidencia que una de las posibles razones de no ver un contraste de resultados tan marcado en los cambios de velocidades realizados en los ensayos, es debido a que estos materiales si bien son sensibles a la velocidad de deformación, puede que no se haya realizado un cambio de tasa de deformación significativo para lograr evidenciar estos comportamientos de los materiales bajo altas tasas de deformación.

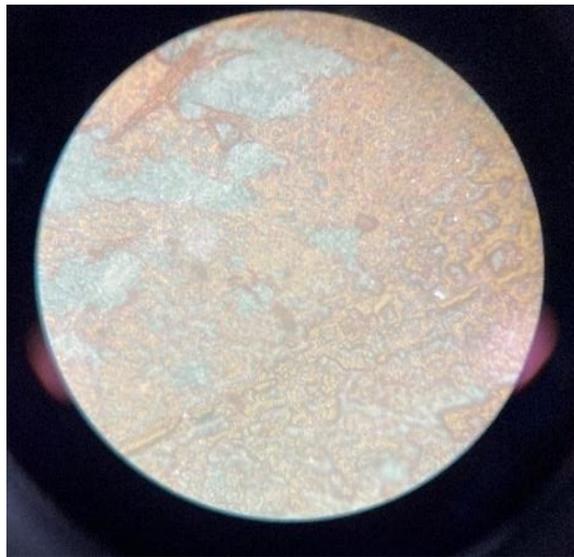
Según Zhang et al. [61] la investigación realizada a las aleaciones de aluminio 6XXX con un espesor de 2 mm bajo diferentes tasas de deformación, nos muestra que la resistencia a la fluencia incrementa de manera significativa con el aumento de la velocidad de deformación en comparación a condiciones cuasi estáticas, resultando en un aumento máximo del 20.3% a una velocidad de deformación de 3000 s^{-1} con una dirección perpendicular a la laminación, mientras que la resistencia a la tracción tuvo un incremento máximo del 17% en velocidades de 2000 s^{-1} . Por otra parte, la ductilidad que estas aleaciones presentaron con el aumento de la tasa de deformación aumento de manera significativa. Resultando en que este tipo de aleaciones de aluminio presentan una mejora considerable en estas propiedades mecánicas a altas velocidades de deformación. Un estudio de Dorward, R. C., & Hasse, K. R. [62] en el que mencionan que el efecto de las velocidades de deformación en las láminas de aluminio (2024 y 7075) afectan la Resistencia a la tensión, la deformación total y el límite elástico, mostrando que la resistencia a la tensión disminuye hasta una tasa de deformación de $0.1/\text{s}$ y empieza a aumentar a velocidades más altas, la deformación total al igual que la resistencia a la tensión disminuye sin embargo esta lo hace hasta una velocidad de deformación de $0.2/\text{s}$ y cambia drásticamente empezando a aumentar, mostrando que con valores de tasa de deformación por encima de $10^{-1}/\text{s}$, la deformación aumenta rápidamente, el límite elástico tiende a aumentarse con velocidades de deformación de $0.2/\text{s}$ llegando hasta un aumento del 20%. Teniendo en cuenta que este estudio se realizó con láminas de 1.6 mm de espesor, es importante resaltar esto, debido a que el aluminio presente en el panel

compuesto de aluminio Alucobond, son dos láminas de 0.5 mm separadas por el núcleo de polietileno presente en el material que posee un espesor total de 4mm.

Realizando el proceso de los ensayos, se tomó imágenes de las roturas de las probetas obtenidas en el laboratorio, se logra identificar que la capa de “primer” superficial en los ensayos la mayoría de las veces no sufrió una ruptura considerable, sino únicamente un estiramiento con deformación, como se logra identificar en la Figura 31, sin embargo, al momento de retirar las probetas de la máquina de ensayos universal, dicha superficie terminaba por separarse en algunas probetas, teniendo en cuenta esto, se observó que el núcleo del panel de aluminio compuesto Alucobond sufría una rotura resultando en una falla dúctil debido a que el material ubicado en el núcleo del panel se trata de polietileno.

Figura 31.

Fotografía microscopio Alucobond



Nota. Imagen obtenida en el laboratorio de la capa de “primer” superficial con pintura del Alucobond luego de su ruptura en el núcleo de polietileno

Según lo observado en la Figura 24, Figura 25 y Figura 26 que nos muestran las gráficas de esfuerzo – deformación del panel de aluminio compuesto Alucobond a diferentes velocidades (0.01 mm/s, 0.0333 mm/s y 0.05 mm/s respectivamente), el comportamiento de este material en la zona elástica es similar en todas las probetas, sin embargo dado que el material proviene de una lámina que estuvo expuesta a la humedad y rayos UV por un prolongado lapso de tiempo que pueden afectar sus propiedades mecánicas [46], además del método de corte que también puede llegar a afectar las propiedades mecánicas de este tipo de materiales, según las herramientas utilizadas que en este caso son herramientas convencionales de corte [49], de manera que el corte realizado en la lámina para extraer las probetas de estudio pudo haber resultado en la degradación de la estructura del material[50] y por ende en la variación de las propiedades mecánicas de las probetas ensayadas en una misma velocidad de deformación.

6.1 Resultados en Alucobond

De acuerdo a los datos obtenidos en los ensayos realizados en Alucobond a una velocidad de 0.01 mm/s, es decir una velocidad menor a la recomendada por la norma ASTM D 3039, se realizó un tratamiento de datos para la obtención de los datos mostrados en la Tabla 44.

Tabla 44.

Síntesis de resultados obtenidos en probetas de Alucobond.

Probeta #	Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
Velocidad 0,01	e		l ₀	E	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	U _r	
Probeta # 3	0,004	0,015	0,065	4789,4	3,45665	0,00272	3,66436	0,00314	0,00827	0,00961
Probeta # 5	0,004	0,015	0,065	4197,3	14,86088	0,00554	17,50733	0,02497	0,05482	0,38172
Probeta # 7	0,004	0,015	0,065	4069,6	23,71677	0,00783	26,94965	0,01467	0,11034	0,28816
Probeta # 11	0,004	0,015	0,065	4575,2	24,44563	0,00734	26,65083	0,01289	0,10624	0,25066
Probeta # 14	0,004	0,015	0,065	4,053,7	7,72897	0,00391	8,95487	0,01135	0,02079	0,08411
	(m)	(m)	(m)	MPa	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Síntesis de resultados obtenidos probetas Alucobond a la velocidad de 0.01 mm/s.

Teniendo en cuenta estos datos, se procede a tomar los valores promedio y calcular la desviación estándar mostrados en la Tabla 45, para relacionar la dispersión de los datos y verificar la afectación de las probetas junto los datos obtenidos en los ensayos por la degradación de las propiedades mecánicas del material, observando de esta manera que la desviación estándar del

módulo elástico, límite elástico y resistencia a la tracción terminan siendo los valores más dispersos.

Tabla 45.

Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.

	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³
Velocidad 0,01	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	Ur	
Probeta # 3	3,45665	0,00272	3,66436	0,00314	0,00827	0,00961
Probeta # 5	14,86088	0,00554	17,50733	0,02497	0,05482	0,38172
Probeta # 7	23,71677	0,00783	26,94965	0,01467	0,11034	0,28816
Probeta # 11	24,44563	0,00734	26,65083	0,01289	0,10624	0,25066
Probeta # 14	7,72897	0,00391	8,95487	0,01135	0,02079	0,08411
Min	3,45665	0,00272	3,66436	0,00314	0,00827	0,00961
Max	24,44563	0,00783	26,94965	0,02497	0,11034	0,38172
Promedio	14,84178	0,00547	16,74541	0,01340	0,06009	0,20285
Desviación estándar	9,37034	0,00218	10,42390	0,00783	0,04720	0,15248

Nota. mínimos, máximos, promedio y desviación estándar de las probetas de Alucobond a la velocidad de 0.01 mm/s.

A continuación, se muestran los datos obtenidos de los ensayos realizados en Alucobond a una velocidad de 0.0333 mm/s, siendo esta la velocidad recomendada por la norma ASTM D3039, datos mostrados en la Tabla 46.

Tabla 46.*Síntesis de resultados en obtenidos en probetas de Alucobond.*

Velocidad	Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
0,0333	e		l ₀	E	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	U _r	
Probeta # 2	0,004	0,015	0,065	3.357,1	4,65539	0,00339	4,67791	0,00562	0,01313	0,02290
Probeta # 4	0,004	0,015	0,065	4.238,4	5,21514	0,00323	5,41171	0,00388	0,01393	0,01708
Probeta # 9	0,004	0,015	0,065	4.075,8	4,80398	0,00318	5,01778	0,00398	0,01282	0,01642
Probeta # 12	0,004	0,015	0,065	3.681,4	25,21177	0,00885	26,36552	0,01542	0,14008	0,31092
Probeta # 15	0,004	0,015	0,065	3.544,8	8,41160	0,00437	9,72245	0,01246	0,02484	0,10037
	(m)	(m)	(m)	MPa	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Síntesis de resultados obtenidos probetas Alucobond a la velocidad de 0.0333 mm/s.

Teniendo en cuenta estos datos, se procede a tomar los valores promedio y calcular la desviación estándar mostrados en la Tabla 47, para relacionar la dispersión de los datos y verificar la afectación de las probetas junto los datos obtenidos en los ensayos por la degradación de las propiedades mecánicas del material, observando de esta manera que la desviación estándar del módulo elástico, límite elástico y resistencia a la tracción terminan siendo los valores más dispersos, tomando la mayoría de los datos de la probeta #2 como los valores mínimos y los datos de la probeta #12 como los valores máximos a excepción del módulo elástico.

Tabla 47.

Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.

	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³
Velocidad 0,0333	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	Ur	
Probeta # 2	4,65539	0,00339	4,67791	0,00562	0,01313	0,02290
Probeta # 4	5,21514	0,00323	5,41171	0,00388	0,01393	0,01708
Probeta # 9	4,80398	0,00318	5,01778	0,00398	0,01282	0,01642
Probeta # 12	25,21177	0,00885	26,36552	0,01542	0,14008	0,31092
Probeta # 15	8,41160	0,00437	9,72245	0,01246	0,02484	0,10037
Min	4,65539	0,00318	4,67791	0,00388	0,01282	0,01642
Max	25,21177	0,00885	26,36552	0,01542	0,14008	0,31092
Promedio	9,65958	0,00460	10,23907	0,00827	0,04096	0,09354
Desviación estándar	8,82893	0,00242	9,24420	0,00532	0,05563	0,12658

Nota. mínimos, máximos, promedio y desviación estándar de las probetas de Alucobond a la velocidad de 0.0333 mm/s.

Finalmente, se muestran los datos obtenidos de los ensayos realizados en Alucobond a una velocidad de 0.05 mm/s, es decir una velocidad mayor a la recomendada por la norma ASTM D3039, datos mostrados en la Tabla 48.

Tabla 48.

Síntesis resultados obtenidos probetas Alucobond.

Velocidad	Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
0,05	e		lo	E	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	Ur	
Probeta # 1	0,004	0,015	0,065	4.483,52	5,88009	0,00331	6,10338	0,00833	0,01458	0,04393
Probeta # 6	0,004	0,015	0,065	5.345,33	6,01857	0,00313	7,73496	0,01762	0,01409	0,11760
Probeta # 8	0,004	0,015	0,065	5.402,29	8,08193	0,00350	8,29074	0,00710	0,02052	0,04908
Probeta # 10	0,004	0,015	0,065	4.805,90	23,46418	0,00688	25,35475	0,01158	0,09308	0,20888
Probeta # 13	0,004	0,015	0,065	5559,92	7,93951	0,00343	10,02113	0,01551	0,01890	0,13230
	(m)	(m)	(m)	MPa	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Síntesis de resultados obtenidos probetas Alucobond a la velocidad de 0.05 mm/s.

Teniendo en cuenta estos datos, se procede a tomar los valores promedio y calcular la desviación estándar mostrados en la Tabla 49, para relacionar la dispersión de los datos y verificar la

afectación de las probetas junto los datos obtenidos en los ensayos por la degradación de las propiedades mecánicas del material, observando de esta manera que la desviación estándar del módulo elástico, límite elástico y la resistencia a la tracción terminan siendo los valores más dispersos, tomando los datos de la probeta #10 como los valores máximos sin embargo el módulo elástico máximo se encontró en la probeta #13 y la mayoría de los datos de la probeta #1 como los valores mínimos.

Tabla 49.

Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.

	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³
Velocidad 0,05	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	Ur	
Probeta # 1	5,88009	0,00331	6,10338	0,00833	0,01458	0,04393
Probeta # 6	6,01857	0,00313	7,73496	0,01762	0,01409	0,11760
Probeta # 8	8,08193	0,00350	8,29074	0,00710	0,02052	0,04908
Probeta # 10	23,46418	0,00688	25,35475	0,01158	0,09308	0,20888
Probeta # 13	7,93951	0,00343	10,02113	0,01551	0,01890	0,13230
Min	5,88009	0,00313	6,10338	0,00710	0,01409	0,04393
Max	23,46418	0,00688	25,35475	0,01762	0,09308	0,20888
Promedio	10,27686	0,00405	11,50099	0,01203	0,03224	0,11036
Desviación estándar	7,44397	0,00159	7,86987	0,00451	0,03412	0,06784

Nota. mínimos, máximos, promedio y desviación estándar de las probetas de Alucobond a la velocidad de 0.05 mm/s.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en cada velocidad para el panel de aluminio compuesto Alucobond, se observa que para las velocidades de deformación escogidas (0,01 mm/s, 0.0333 mm/s y 0.05 mm/s) se obtuvo una dispersión alta de los datos con respecto a la media obtenida en el Módulo elástico, límite elástico y resistencia a la tracción, dado que se encuentran valores máximos en estas propiedades muy por encima de los otros, desplazando de esta manera el promedio en cada una de las propiedades y de igual manera en una desviación estándar significativa debido a esta dispersión de datos, por otra parte se logra apreciar que las demás propiedades presentes en estas tablas, han presentado una mejor agrupación de datos, mostrando

que aquellas propiedades más sensibles a los cambios de la velocidad de deformación son aquellas con una desviación estándar más elevada.

6.2 Resultados en Fibra de vidrio

De acuerdo a los datos obtenidos en los ensayos realizados en fibra de vidrio a una velocidad de 0.01 mm/s, es decir una velocidad menor a la recomendada por la norma ASTM D 3039, se realizó un tratamiento de datos para la obtención de los datos mostrados en la Tabla 50.

Tabla 50.

Síntesis de resultados obtenidos en probetas fibra de vidrio.

Velocidad	Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
0,01	e		l ₀	E	σ _y	ε _y	TS	%EL	U _r	
Probeta # 6	0,004	0,015	0,065	2001,6	22,94754	0,01346	23,61205	0,01520	0,19280	0,22570
Probeta # 7	0,004	0,015	0,065	2291	34,39387	0,01701	35,56145	0,01917	0,36565	0,42369
	(m)	(m)	(m)	MPa	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Síntesis de resultados obtenidos probetas fibra de vidrio a la velocidad de 0.01 mm/s.

Teniendo en cuenta estos datos, se procede a tomar los valores promedio y calcular la desviación estándar mostrados en la Tabla 51, para relacionar la dispersión de los datos y verificar la afectación de las probetas junto los datos obtenidos en los ensayos por la degradación de las propiedades mecánicas del material, observando de esta manera que la desviación estándar del módulo elástico, límite elástico y la ductilidad terminan siendo los valores más dispersos, tomando los datos de la probeta #7 como los valores máximos y los valores de la probeta #6 como los valores mínimos.

Tabla 51.

Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.

	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³
Velocidad 0,01	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	Ur	
Probeta # 6	22,94754	0,01346	23,61205	0,01520	0,19280	0,22570
Probeta # 7	34,39387	0,01701	35,56145	0,01917	0,36565	0,42369
Min	22,94754	0,01346	23,61205	0,01520	0,19280	0,22570
Max	34,39387	0,01701	35,56145	0,01917	0,36565	0,42369
Promedio	28,67070	0,01524	29,58675	0,01719	0,27922	0,32470
Desviacion estandar	8,09377	0,00251	8,44950	0,00281	0,12222	0,14000

Nota. mínimos, máximos, promedio y desviación estándar de las probetas de la fibra de vidrio a la velocidad de 0.01 mm/s.

A continuación, se muestran los datos obtenidos de los ensayos realizados en fibra de vidrio a una velocidad de 0.0333 mm/s, siendo esta la velocidad recomendada por la norma ASTM D3039, datos mostrados en la Tabla 52.

Tabla 52.

Síntesis de resultados obtenidos en probetas fibra de vidrio.

Velocidad	Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
0,0333	e			E	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	Ur	
Probeta # 8	0,004	0,015	0,065	1997,9	27,14038	0,01558	27,14038	0,01581	0,25085	0,25699
Probeta # 4	0,004	0,015	0,065	2369,6	29,36973	0,01439	29,36973	0,01601	0,23597	0,28223
	(m)	(m)	(m)	MPa	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Síntesis de resultados obtenidos probetas fibra de vidrio a la velocidad de 0.0333 mm/s.

Teniendo en cuenta estos datos, se procede a tomar los valores promedio y calcular la desviación estándar mostrados en la Tabla 53, para relacionar la dispersión de los datos y verificar la afectación de las probetas junto los datos obtenidos en los ensayos por la degradación de las propiedades mecánicas del material, observando de esta manera que la desviación estándar del

módulo elástico termina siendo el valor más disperso, tomando los datos de la probeta #4 como los valores máximos y los valores de la probeta #8 como los valores mínimos.

Tabla 53.

Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.

	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³
Velocidad 0,0333	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	Ur	
Probeta # 8	27,14038	0,01558	27,14038	0,01581	0,25085	0,25699
Probeta # 4	29,36973	0,01439	29,36973	0,01601	0,23597	0,28223
Min	27,14038	0,01439	27,14038	0,01581	0,23597	0,25699
Max	29,36973	0,01558	29,36973	0,01601	0,25085	0,28223
Promedio	28,25506	0,01499	28,25506	0,01591	0,24341	0,26961
Desviacion estandar	1,57639	0,00084	1,57639	0,00014	0,01052	0,01785

Nota. mínimos, máximos, promedio y desviación estándar de las probetas de la fibra de vidrio a la velocidad de 0.0333 mm/s.

Finalmente, se muestran los datos obtenidos de los ensayos realizados en fibra de vidrio a una velocidad de 0.05 mm/s, es decir una velocidad mayor a la recomendada por la norma ASTM D3039, datos mostrados en la Tabla 54.

Tabla 54.

Síntesis de resultados obtenidos en probetas fibra de vidrio.

Velocidad	Espesor	Ancho	Longitud inicial	Módulo elástico	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
0,05	e		l ₀	E	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	Ur	
Probeta # 3	0,004	0,015	0,065	1644	39,38013	0,02595	39,38013	0,02810	0,59300	0,67580
Probeta # 5	0,004	0,015	0,065	2018,9	43,42185	0,02351	43,42185	0,02581	0,61966	0,71830
	(m)	(m)	(m)	MPa	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³

Nota. Síntesis de resultados obtenidos probetas fibra de vidrio a la velocidad de 0.05 mm/s.

Teniendo en cuenta estos datos, se procede a tomar los valores promedio y calcular la desviación estándar mostrados en la Tabla 55, para relacionar la dispersión de los datos y verificar la afectación de las probetas junto los datos obtenidos en los ensayos por la degradación de las propiedades mecánicas del material, observando de esta manera que la desviación estándar del módulo elástico y la ductilidad terminan siendo los valores más dispersos, tomando los datos de la probeta #5 como los valores máximos y los valores de la probeta #3 como los valores mínimos.

Tabla 55.

Tabla de datos con el cálculo de mínimos, máximos, promedio y desviación estándar.

	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
	MPa	m/m	MPa	%	J/m ³	J/m ³
Velocidad 0,05	σ_y	ϵ_y	TS	%EL	Ur	
Probeta # 3	39,38013	0,02595	39,38013	0,02810	0,59300	0,67580
Probeta # 5	43,42185	0,02351	43,42185	0,02581	0,61966	0,71830
Min	39,38013	0,02351	39,38013	0,02581	0,59300	0,67580
Max	43,42185	0,02595	43,42185	0,02810	0,61966	0,71830
Promedio	41,40099	0,02473	41,40099	0,02695	0,60633	0,69705
Desviacion estandar	2,85793	0,00173	2,85793	0,00162	0,01885	0,03005

Nota. mínimos, máximos, promedio y desviación estándar de las probetas de la fibra de vidrio a la velocidad de 0.05 mm/s.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en cada velocidad para la fibra de vidrio, se observa que para las velocidades de deformación escogidas (0,01 mm/s, 0.0333 mm/s y 0.05 mm/s) se obtuvo una dispersión alta de los datos con respecto a la media obtenida en el módulo elástico, dado que se encuentra un valor máximo más alto que los demás datos en esta propiedad, desplazando de esta manera el promedio en cada una de las propiedades y de igual manera en una desviación estándar significativa debido a esta dispersión de datos, por otra parte se logra apreciar que las demás propiedades presentes en estas tablas, han presentado una mejor agrupación de datos, mostrando que aquellas propiedades más sensibles a los cambios de la velocidad de deformación son aquellas con una desviación estándar más elevada.

Considerando los datos obtenidos y analizados en los ensayos y tablas, se puede observar que las propiedades mecánicas de ambos materiales de estudio se han visto afectadas tanto por el paso del tiempo debido a que estos materiales fueron donados después de haber sido utilizados, es decir, tuvo una exposición prolongada a la intemperie, humedad, rayos UV, entre otros factores que pueden llegar a afectar las propiedades mecánicas del material, como también por el método de corte que fue utilizado en ellas, observando la variación de los datos obtenidos en los ensayos realizados a la misma velocidad de deformación. mostrando en el caso del Alucobond una fractura dúctil, apreciada en la deformación que obtuvo el material núcleo de este panel de aluminio compuesto, por otro lado, en las probetas de fibra de vidrio se apreció que la fractura presentada en dicho material fue frágil, mostrada en el transcurso del ensayo, dado que al ser una matriz de fibras, estas fueron fallando de manera progresiva, siendo este comportamiento apreciable en las gráficas de esfuerzo – deformación (Ver Anexo 5, Anexo 6 & Anexo 7).

De igual manera en los ensayos realizados a distintas velocidades de deformación se logra apreciar que el efecto de este cambio en los datos obtenidos, mostrando que estos materiales poseen una alta sensibilidad a la velocidad de deformación al ser materiales compuestos de matriz polimérica y polímeros reforzados con fibras, modificando sus propiedades desde su fractura, deformación y módulo de Young [43].

Al analizar los datos obtenidos en los ensayos realizados en el panel de aluminio compuesto Alucobond y compararlos con los datos de las especificaciones técnicas [51], se logra observar diferencias sustanciales entre las propiedades del material, debido a que los valores de límite elástico y resistencia a la tracción, tendrían valores de 90 MPa en el límite elástico y 130 en la resistencia a la tracción y los resultados obtenidos en los ensayos a diferentes velocidades tienen valores de 8,16 MPa, 9,44 MPa y 6,81 MPa, finalmente en la resistencia a la tracción los valores correspondientes son 16,74 MPa, 10,24 MPa y 11,5 MPa. Dada la forma en que está hecho este material, es decir, por su núcleo de polietileno no tiene una zona de fluencia definida debido a que este material tiene un comportamiento visco-elástico dando que la deformación del mismo dependa de la velocidad de deformación [52]. Finalmente, con los valores obtenidos se realizan los cálculos de los errores de variación porcentual mostrados en la Tabla 57.

Tabla 56.

Comparación de los datos promedio experimentales del Alucobond con los datos teóricos.

	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción
	σ_y	ϵ_y	TS
Alucobond	90	Visco-elastico	130
Promedio a 0,01	14,84178	0,00547	16,74541
Promedio a 0,0333	9,65958	0,00460	10,23907
Promedio a 0,05	10,27686	0,00405	11,50099
	MPa	m/m	MPa

Nota. Comparación de datos de Modulo elástico, Limite elástico, Deformación de fluencia y Resistencia a la tracción.

Tabla 57.

Tabla de errores de variación porcentual.

	Límite elástico	Resistencia a la tracción
Alucobond	σ_y	TS
Promedio a 0,01	83,51%	87,12%
Promedio a 0,0333	89,27%	92,12%
Promedio a 0,05	88,58%	91,15%

Nota. Variación porcentual con respecto a los datos teóricos.

Al observar los datos experimentales del límite elástico y resistencia a la tracción y compararlos con las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio [53], se identifican discrepancias en los valores experimentales con respecto al encontrado en las especificaciones de la fibra de vidrio, dado el comportamiento frágil de material, el límite elástico resulta tener el mismo valor que la resistencia a la tracción, esperando valores entre 3100 MPa a 4590 MPa y obteniendo valores de 29,58 MPa, 28,25 MPa y 41,40 MPa, a velocidades de deformación de 0,01 mm/s, 0,0333 mm/s y 0.05 mm/s respectivamente (Ver en Tabla 58), mientras que la deformación de fluencia, pese al comportamiento frágil del material, no posee una zona de fluencia, esta se puede tomar como la elongación a la rotura, debido a que este material sufre una rotura progresiva por sus fibras. De esta manera obteniendo los siguientes valores de errores de variación porcentual vistos en la Tabla 59.

Tabla 58.

Comparación de los datos promedio experimentales de la fibra de vidrio con los datos teóricos.

	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción
	σ_y	ϵ_y	TS
Fibra de vidrio	3100	0,043	3100
Promedio a 0,01	28,67070	0,01524	29,58675
Promedio a 0,0333	28,25506	0,01499	28,25506
Promedio a 0,05	41,40099	0,02473	41,40099
	MPa	m/m	MPa

Nota. Comparación de datos de Modulo elástico, Limite elástico, Deformación de fluencia y Resistencia a la tracción.

Tabla 59.*Tabla de errores de variación porcentual.*

	Límite elástico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción
Fibra de vidrio	σ_y	ϵ_y	TS
Promedio a 0,01	99,08%	64,56%	99,05%
Promedio a 0,0333	99,09%	65,14%	99,09%
Promedio a 0,05	98,66%	42,49%	98,66%

Nota. Variación porcentual con respecto a los datos teóricos.

Se realiza el cálculo de la variación de los datos de las velocidades con respecto a los datos obtenidos en la velocidad sugerida por la norma, para de esta manera evaluar la variación de cada propiedad a las diferentes velocidades en el panel de aluminio compuesto Alucobond. Ver Tabla 60.

Tabla 60.*Tabla de errores de variación porcentual para el Alucobond.*

		PORCENTAJE DE VARIACION CON RESPECTO A LA VELOCIDAD DE LA NORMA						
		Modulo elastico	Limite elastico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
0,01	0,0333	14,75%	53,65%	18,78%	63,54%	62,00%	0,46703049	1,16863742
0,05	0,0333	35,45%	6,39%	12,05%	12,32%	45,35%	0,21297282	0,17982113

Nota. Variación porcentual con respecto a los datos de la velocidad de la norma.

Se realiza el cálculo de la variación de los datos de las velocidades con respecto a los datos obtenidos en la velocidad sugerida por la norma, para de esta manera evaluar la variación de cada propiedad a las diferentes velocidades para la fibra de vidrio. Ver Tabla 61.

Tabla 61.

Tabla de errores de variación porcentual para la fibra de vidrio.

		PORCENTAJE DE VARIACION CON RESPECTO A LA VELOCIDAD DE LA NORMA						
		Modulo elastico	Limite elastico	Deformación de fluencia	Resistencia a la tracción	Ductilidad	Resiliencia	Tenacidad
0,01	0,0333	1,71%	4,71%	4,47%	4,71%	8,00%	0,14715537	0,20431103
0,05	0,0333	16,13%	46,53%	64,99%	46,53%	69,38%	1,491021174	1,58537856

Nota. Variación porcentual con respecto a los datos de la velocidad de la norma.

De esta manera se logra evidenciar que los valores promedios conseguidos tanto en el panel de aluminio compuesto Alucobond y la fibra de vidrio, tienen una variación porcentual significativa con respecto a la velocidad sugerida por la norma, de esta manera observando que en el caso del Alucobond a una velocidad menor a la de la norma sus valores promedio tienden a ser más altos debido a que la tasa de deformación de 0.01 mm/s permite que su comportamiento presente mayores esfuerzos en los mismos rangos de deformaciones que las otras velocidades, por otro lado pese a no ser una velocidad de deformación alta y no obtener resultados similares a los estudios anteriores por no ejercer una velocidad de deformación alta, el porcentaje de variación en la mayoría de las propiedades se encuentra dentro de los rangos que estos estudios obtuvieron. De igual manera al observar los valores promedio de la fibra de vidrio con respecto a la velocidad de la norma, presenta un comportamiento contrario al Alucobond en la velocidad que se encuentra por debajo, es decir, todos estos valores si bien tuvieron una variación, no es significativa por su baja velocidad, mientras que los valores obtenidos en la velocidad de 0.05 mm/s comprenden variaciones similares a las encontradas en los estudios anteriores, de esta manera se evidencia que estos materiales tienen una sensibilidad a la velocidad de deformación, sin embargo en donde se logra mostrar esto de una manera significativa es a altas tasas de deformación.

7. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos y la revisión de estudios realizados en materiales similares a los estudiados en este documento, se logra evidenciar que los materiales de estudio poseen una sensibilidad significativa al cambio de velocidades de deformación en ensayos de tracción, mostrando en las comparaciones que si bien las velocidades escogidas no tiene una variación importante con respecto a la sensibilidad mostrada en los estudios revisados, de esta manera se concluyó que en un rango de velocidades altas, se puede mostrar un comportamiento que al aumentar la velocidad de deformación, aumentan ciertas propiedades durante la realización del ensayo.

Con la revisión bibliográfica realizada de las normas vigentes e investigaciones sobre la determinación de propiedades mecánicas para materiales compuestos mediante ensayos de tracción, de esta manera se logró determinar la normativa más apropiada para caracterizar adecuadamente el comportamiento mecánico de los materiales a tener en cuenta

La selección de los materiales a utilizar se realizó teniendo en cuenta los factores de mayor utilización industrial y la facilidad de fabricar las probetas, con estos factores se seleccionaron el panel de aluminio compuesto (PAC) y la fibra de vidrio que fueron donadas por una empresa de mantenimiento, facilitando de esta manera el proceso de conseguir estos materiales

De esta manera con la normativa apropiada (ASTM D3039) y con los materiales a disposición se procede a realizar las probetas según la normativa seleccionada, para continuar con la realización de los ensayos de tracción según los parámetros de la norma, sin embargo, el objeto de estudio de este proyecto al ser el efecto de la velocidad de deformación en un ensayo en materiales compuestos, este parámetro se cambiará para lograr determinar su relación con los datos obtenidos

Finalmente se concluyó que el cambio de la velocidad de deformación en los ensayos con el mismo material, resulto en un cambio en el comportamiento de este mismo, debido al material componente ubicado en el núcleo del panel compuesto de aluminio Alucobond, consecuencia de que este posee un comportamiento viscoelástico que depende de la velocidad de deformación y de la misma manera puede afectar las demás propiedades mecánicas a distintas velocidades como se observó en los datos obtenidos, por otra parte esta misma variación de velocidades de deformación

aplicada en la fibra de vidrio evidencio un cambio de magnitud en la resistencia a la tracción y la deformación del material, de manera que el aumento de la velocidad de deformación permite que estas fibras lleguen a una deformación mayor antes de su rotura total, teniendo en cuenta esto y los estudios anteriores, se logra apreciar que estos materiales poseen una sensibilidad a las altas velocidades de deformación, mostrado en las variaciones con respecto a la velocidad sugerida por la norma ASTM D3039, sin embargo los resultados obtenidos no son los esperados por los efectos de la degradación del material y el proceso de extracción de las probetas del material base, así mismo se puede atribuir una parte de esto a que como se mencionó anteriormente, estos materiales poseen una sensibilidad que se muestra de manera visible en las altas tasas de deformación como lo indicaron los estudios que utilizando tasas de deformación altas, lograron evidenciar la sensibilidad y la variación de propiedades en los materiales, por otra parte el desarrollo de estos ensayos permite evidenciar que al realizar ensayos a distintas velocidades de deformación se puede llegar a conocer el comportamiento de los materiales en distintas situaciones y por ende bajo diferentes velocidades de carga.

REFERENCIAS

- [1] J. G. Paredes Salinas, “*Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y cabuya como material alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en guardachoques para buses*”, Trabajo de Investigación Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Diseño Mecánico, UNIV. TEC. AMBATO, Ambato, 2012. Accedido el 18 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/2609>
- [2] P. D. Vargas Flores, “*Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de tuna en usos industriales*”, Trabajo de grado, UNIV. TEC. AMBATO, Ambato, 2018. Accedido el 18 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27447>
- [3] C. E. Izurieta Guerrero, “*Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas residuales de cuero en usos industriales*”, Trabajo de grado, UNIV. TEC. AMBATO, Ambato, 2017. Accedido el 18 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26798>
- [4] KA Dubey, YK Bhardwaj, High-Performance Polymer-Matrix Composites: Novel Routes of Synthesis and Interface-Structure-Property Correlations , Handbook on Synthesis Strategies for Advanced Materials , (2016). [En línea]. Disponible: <https://4spepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pc.22801>
- [5] Lulu Ma, Feng Liu, Dongyu Liu, “*Revisión de los efectos de la tasa de deformación de compuestos poliméricos reforzados con fibra*”, PubMed Central (PMC), agosto de 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8434395/>
- [6] Applus laboratories. “*Ensayos de materiales compuestos*”. <https://www.appluslaboratories.com>. Accedido el 22 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.appluslaboratories.com/global/es/what-we-do/service-sheet/ensayos-de-materiales-compuestos->
- [7] I. McEnteggart. “*Norma ISO 527-4 sobre ensayos de tracción de materiales compuestos*”. INSTRON. Accedido el 22 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.instron.com/es-es/testing-solutions/iso-standards/iso-527-4>

- [8] E. Lawrence. “ISO 527-2: Ensayos de tracción para plásticos”. INSTRON. Accedido el 22 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.instron.com/es-es/testing-solutions/iso-standards/iso-527-2>
- [9] Zwickroell. “Ensayo de composites”. Zwickroell. Accedido el 22 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/composites/>
- [10] Metalinspec. “La guía definitiva para pruebas de tracción de materiales compuestos”. Metalinspec Blog - Control de calidad, metrología y pruebas. Accedido el 22 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/la-guia-definitiva-para-pruebas-de-traccion-de-materiales-compuestos>
- [11] INFINITIA Industrial Consulting. (2022, 8 de julio). Materiales compuestos: ¿Qué son y para qué sirven? <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/materiales-compuestos-que-son-y-para-que-sirven/>
- [12] Naval Composites. (s.f.). Conceptos de los Materiales Compuestos. <https://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos>
- [13] Mariano. “Materiales compuestos”. Tecnología de los Plásticos. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/materiales-compuestos.html>
- [14] ALUCOBOND. “Concepto alucobond”. alucobond.com. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://alucobond.com/alucobond-idea?locale=es>
- [15] Seis+1 Arquitectura Liviana. “¿Qué es Alucobond? - Seis+1 Arquitectura Liviana”. Instalación de alucobond y arquitectura liviana Medellín Colombia. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://seismas1.com/que-es-alucobond/>
- [16] Wind Plus. “Alucobond: el material más revolucionario - WINDPLUS”. Wind Plus. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://windplus.es/es/alucobond-el-material-mas-revolucionario/>
- [17] XIPRE. “¿Qué es un revestimiento de pvd?” XIPRE. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://xipre.la/blog/que-es-un-revestimiento-de-pvdf/>
- [18] Acimco. “¿Qué es el Alucobond? | Acimco”. Acimco. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.acimco.com/que-es-el-alucobond/>

- [19] MetalBond. Panel de aluminio compuesto con acabado PE. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: <https://www.metalbond.cl/products/poly-ethylene-coating-composite-panel.html>
- [20] Importadora Batallas. Alucobond – Aluminio compuesto – Importadora Batallas. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: <https://importadorabatallas.com/alucubond-aluminio-compuesto/>
- [21] Wanzhi Steel. “¿Qué es el revestimiento de PVDF? | Hoja y bobina de acero revestido de PVDF”. Wanzhi PPGI & PPGL Steel | Custom Solution Supplier. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://wzppgi.com/es/what-is-pvdf-coating/>
- [22] Hopsa. LÁMINAS DE ACM (ALUCOBOND). Accedido el 25 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: https://www.asf.gob.mx/uploads/96_Procedimiento_de_Obra_Publica_y_Servicios_relacionados/6.-_FT_CUBIERTA_PUENTE.pdf
- [23] Fabricación Industrial. “Cómo se fabrica la fibra de vidrio: proceso y técnicas”. Fabricación Industrial. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://fabricacionindustrial.com/como-se-fabrica-la-fibra-de-vidrio-proceso-y-tecnicas/>
- [24] Mafisan poliéster. “La fibra de vidrio, clases y características - Mafisan poliéster”. Fabricante de poliéster - Mafisan poliéster. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.mafisanpoliester.es/que-es-la-fibra-de-vidrio-y-sus-tipos/>
- [25] Homecenter. Topex Cinta 45 metros x 50 mm fibra de vidrio. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/110484/cinta-45-metros-x-50-mm-fibra-de-vidrio/110484/>
- [26] Hempa. TELA FIBRA DE VIDRIO. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: <https://www.hempa.com/tela-fibra-de-vidrio-69487>
- [27] BSTFLEX. Cuerda de fibra de vidrio trenzada redonda de alta temperatura Fabricantes. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: https://es.bstbraidedsleeve.com/high-temperature-round-braid-fiberglass-rope_p126.html
- [28] Stabilit. “Propiedades de la fibra de vidrio / stabilit”. Stabilit. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.stabilit.com/blog/propiedades-de-la-fibra-de-vidrio/>

- [29] Rapiddirect. “*Qué es el ensayo mecánico: diferentes tipos de ensayo mecánico de materiales*”. rapiddirect. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.rapiddirect.com/es/blog/que-es-ensayo-mecanico/>
- [30] Zwickroell. “*Ensayo de tracción de materiales*”. zwickroell.com. Accedido el 28 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/>
- [31] T. Valles. Tensiones y deformaciones. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [Imagen]. Disponible: <https://slideplayer.es/slide/1877585/>
- [32] INFINITIA Industrial Consulting. “*Ensayo de Propiedades mecánicas de Materiales*”. INFINITIA Industrial Consulting. Accedido el 25 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.infinitiaresearch.com/laboratorio-ingenieria-industrial/propiedades-mecanicas/>
- [33] Zwickroell. “*DIN EN ISO 6892-1: Ensayo de tracción en metales*”. Zwickroell.com. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/metales/normas-para-metales/ensayo-de-traccion-en-iso-6892-1/>
- [34] Zwickroell. “*ASTM E8: Norma y probetas Ensayo de tracción en metal*”. ASTM E8: Norma y probetas Ensayo de tracción en metal. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/metales/normas-para-metales/ensayo-de-traccion-en-metales-astm-e8/>
- [35] EUROLAB. “*Prueba de tracción a temperatura ambiente JIS Z 2241 para materiales metálicos*”. EUROLAB | Test ve Analiz Laboratuvarı. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.laboratuar.com/es/testler/urun-guvenligi-testleri/jis-z-2241-metalik-malzemeler-icin-oda-sicakliginda-cekme-testi/>
- [36] Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM D3039, ASTM, West Conshohocken, PA, 2017. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1520/D3039_D3039M-17
- [37] I. McEnteggart. “*Norma ISO 527-4 sobre ensayos de tracción de materiales compuestos*”. INSTRON. Accedido el 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.instron.com/es-es/testing-solutions/iso-standards/iso-527-4>
- [38] “*Norma ASTM D638 sobre ensayos de tracción de materiales compuestos*”. [En línea]. Disponible: <https://www.mts.com/la/applications/materials/test-standard/astm/astm-d638>

- [39] “Norma ASTM D5766 sobre ensayos de tracción de materiales compuestos con discontinuidades”. [En línea]. Disponible: <https://www.instron.com/es-ar/testing-solutions/astm-standards/astm-d5766-open-hole-tensile-strength-of-polymer-matrix-composite-laminates>
- [40] ZwickRoell “Norma ASTM D3039 sobre ensayos a tracción en materiales compuestos reforzados con fibras” ASTM D3039: tensile test on composites. (s. f.). ASTM D3039: Tensile Test On Composites. <https://www.zwickroell.com/industries/composites/astm-d3039-tensile-test-on-composites/>
- [41] ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE MINAS Y ENERGIA. Recuperado el 6 de noviembre de 2023, de la página web de Upm.es: https://oa.upm.es/47366/1/TFG_CAROLINA_SANCHEZ_PAJAS.pdf
- [42] Bragov, A., Igumnov, L., Konstantinov, A. et al. *Effects of High Strain Rate and Self-heating on Plastic Deformation of Metal Materials Under Fast Compression Loading*. J. dynamic behavior mater. 5, 309–319 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40870-019-00214-x>
- [43] K. Dash, S. S. Suvi Sukumaran, y B. C. Ray, «*Effect of loading speed on deformation of composite materials: A critical review*», Journal Of Advanced Research In Manufacturing, Material Science & Metallurgical Engineering, vol. 1, n.o 1, pp. 1-28, may 2014.
- [44] «*Autograph AGS-X Series*», Shimadzu Latin America. <https://www.shimadzu-la.com/an/products/materials-testing/uni-ttm/autograph-ags-x-series/index.html>
- [45] «*Trapezium lite x*», Shimadzu Latin America. <https://www.shimadzu-la.com/an/products/materials-testing/uni-ttm-software/trapezium-lite-x/index.html>
- [46] Mohamad Zaki Abdullah, Yakubu Dan-mallam, Puteri Sri Melor Megat Yusoff, "*Effect of Environmental Degradation on Mechanical Properties of Kenaf/Polyethylene Terephthalate Fiber Reinforced Polyoxymethylene Hybrid Composite*", Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2013, Article ID 671481, 8 pages, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/671481>
- [47] Zhu H-G, Leung CKY, Kim J-K, Liu M-Y. *Degradation of glass fiber-reinforced plastic composites containing nanoclay in alkaline environment*. Journal of Composite Materials. 2011;45(21):2147-2156. doi: <https://doi.org/10.1177/0021998311401064>
- [48] H. Composites, “*La fibra de vidrio: características, usos y beneficios*”, Huntercomposites.com, 08-dic-2023.

- [49] Haddad, M., Zitoune, R., Eyma, F. et al. *Influence of Machining Process and Machining Induced Surface Roughness on Mechanical Properties of Continuous Fiber Composites*. *Exp Mech* 55, 519–528 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11340-014-9967-y>
- [50] Li, J., Jiao, Y., Sun, Y., & Wei, L. (2007). *Experimental investigation of cut-edge effect on mechanical properties of three-dimensional braided composites*. *Materials & Design*, 28(9), 2417–2424. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.09.020>
- [51] ALUCOBOND® PLUS - Prometsa. (n.d.). Prometsa. <https://www.prometsa.com.uy/alucobond-plus/art-12/>
- [52] Elleuch, R., Taktak, W. *Viscoelastic behavior of HDPE polymer using tensile and compressive loading*. *J. of Materi Eng and Perform* 15, 111–116 (2006). <https://doi.org/10.1361/105994906X83475>
- [53] H. G. Villacís Salazar, “*Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación*”, Trabajo de grado, ESC. POLITEC. NAC., QUITO, 2011.
- [54] Xia, Y., Wang, Y., Zhou, Y., & Jeelani, S. (2007). *Effect of strain rate on tensile behavior of carbon fiber reinforced aluminum laminates*. *Materials Letters*, 61(1), 213–215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.04.043>
- [55] FREY, T., VINSON, J., & HALL, I. A. N. (1991). *High strain rate effects on mechanical properties of glass/polyester and carbon/aluminum composite materials*. In *32nd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/doi:10.2514/6.1991-930>
- [56] Zhou, Y., Yang, W., Xia, Y., & Mallick, P. K. (2003). *An experimental study on the tensile behavior of a unidirectional carbon fiber reinforced aluminum composite at different strain rates*. *Materials Science and Engineering: A*, 362(1), 112–117. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(03\)00214-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-5093(03)00214-4)
- [57] Cui, J., Wang, S., Wang, S., Li, G., Wang, P., & Liang, C. (n.d.). *The Effects of Strain Rates on Mechanical Properties and Failure Behavior of Long Glass Fiber Reinforced Thermoplastic Composites*. <https://doi.org/10.3390/polym11122019>
- [58] Ou, Y., & Zhu, D. (2015). *Tensile behavior of glass fiber reinforced composite at different strain rates and temperatures*. *Construction and Building Materials*, 96, 648–656. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.044>

- [59] Fitoussi, J., Bocquet, M., & Meraghni, F. (2013). *Effect of the matrix behavior on the damage of ethylene–propylene glass fiber reinforced composite subjected to high strain rate tension*. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 1181–1191. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.06.011>
- [60] Arao, Y., Taniguchi, N., Nishiwaki, T., Hirayama, N., & Kawada, H. (2012). *Strain-rate dependence of the tensile strength of glass fibers*. *Journal of Materials Science*, 47(12), 4895–4903. <https://doi.org/10.1007/s10853-012-6360-z>
- [61] Zhang, F., He, K., Li, Z., & Huang, B. (2022). *Strain-Rate Effect on Anisotropic Deformation Characterization and Material Modeling of High-Strength Aluminum Alloy Sheet*. *Metals*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/met12091430>
- [62] Dorward, R. C., & Hasse, K. R. (1995). *Strain rate effects on tensile deformation of 2024-0 and 7075-0 aluminum alloy sheet*. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 4(2), 216–220. <https://doi.org/10.1007/BF02664116>
- [63] PVDF Coating ACP - Aluminum Composite Panel Supplier. Accedido el 30 de junio de 2024. [Imagen]. Disponible: <https://www.alucoworldpanel.com/pvdf-coating-acp/>

ANEXOS

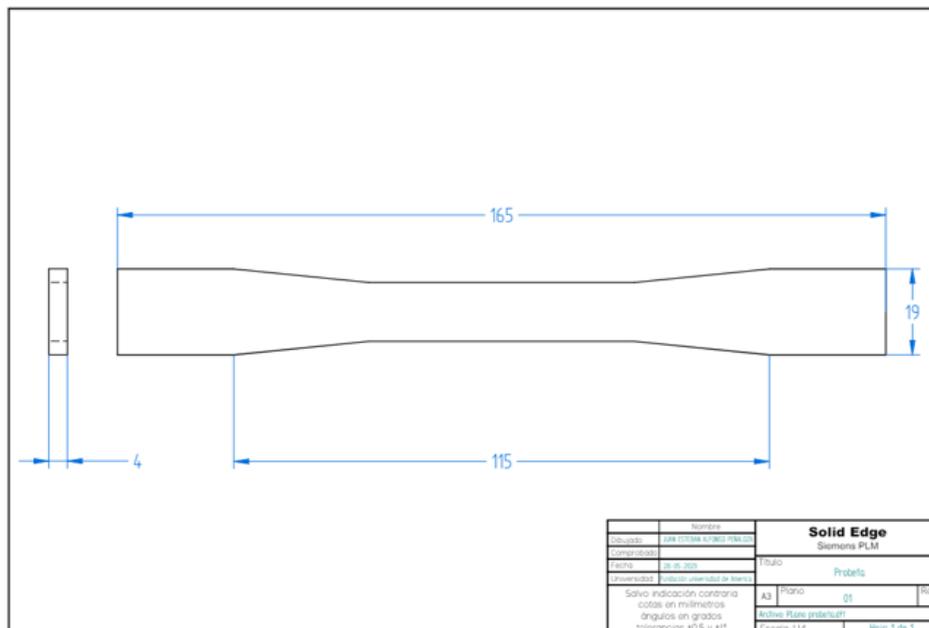
ANEXO 1.

PLANO DE PROBETA NORMALIZADA SEGÚN NORMA D638-14

En este anexo se muestra el plano de las probetas realizadas, junto con las dimensiones dadas por la norma en la que estas se normalizaron

Figura 32.

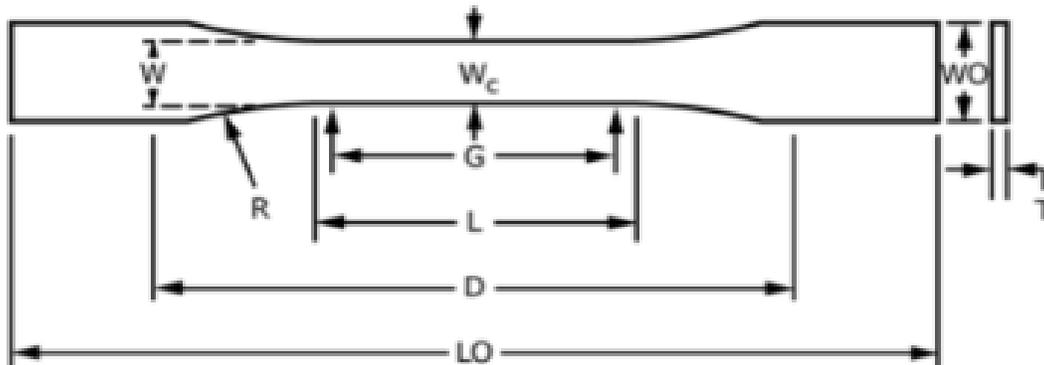
Plano de dimensiones con las que se realizaron las probetas



Nota. Plano realizado en Solid-Edge de las dimensiones tomadas para las probetas

Figura 33.

Dimensiones normalizadas según norma D638 - 14



Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.)^A

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II		Type III	Type IV ^B		Type V^{C,D}
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	± 0.5 (± 0.02) ^{B,C}
L —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	± 0.5 (± 0.02) ^C
WO —Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO —Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO —Length overall, min ^F	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G —Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	± 0.25 (± 0.010) ^C
G —Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	± 0.13 (± 0.005)
D —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^F	25.4 (1.0)	± 5 (± 0.2)
R —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	± 1 (± 0.04) ^C
RO —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	± 1 (± 0.04)

Nota. Imagen de dimensiones y tolerancias según norma D638 – 14

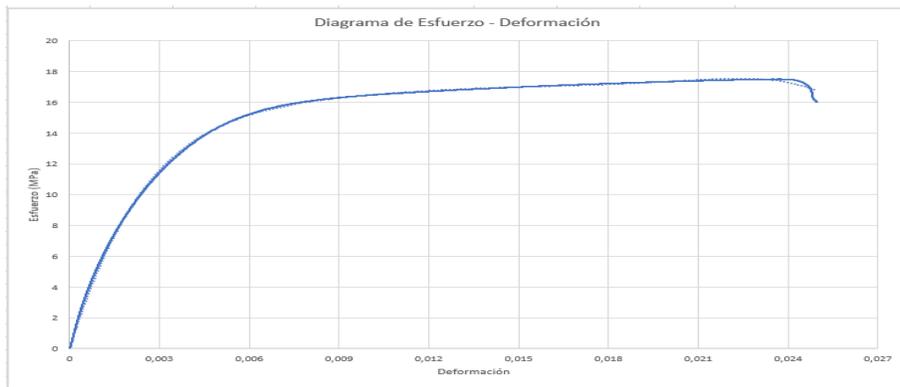
ANEXO 2.

GRAFICAS DE RESULTADOS POR PROBETA A 0.01 mm/s

En este anexo se encontrarán las gráficas correspondientes a los datos de esfuerzo y deformación de las probetas de ALUCOBOND

Figura 34.

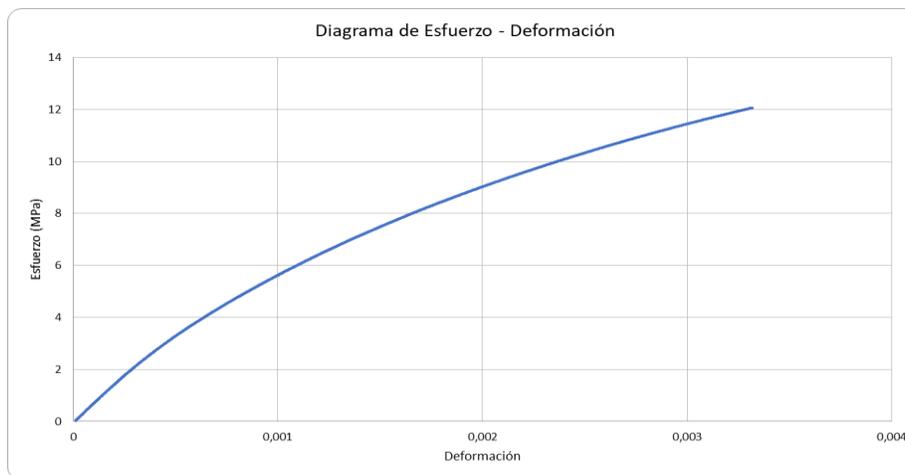
Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #5



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta

Figura 35.

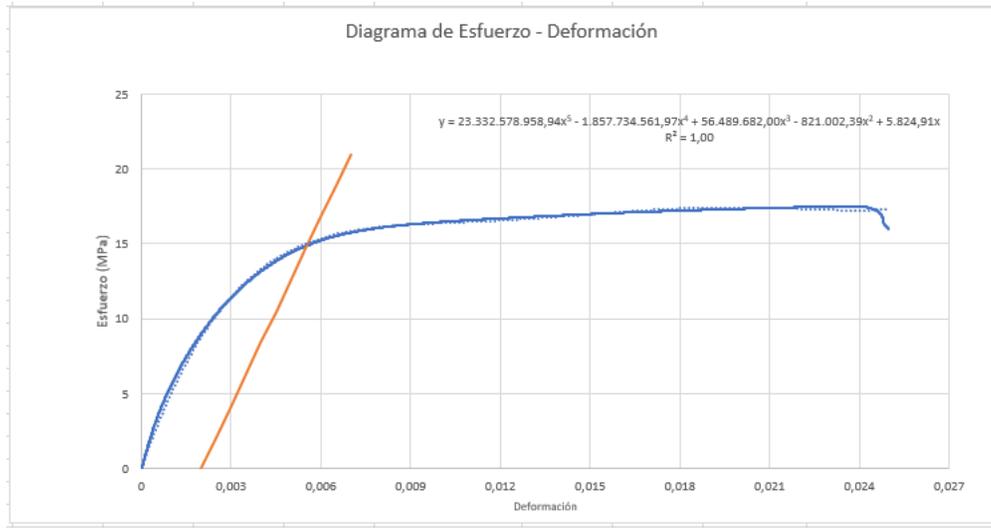
Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #5



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material

Figura 36.

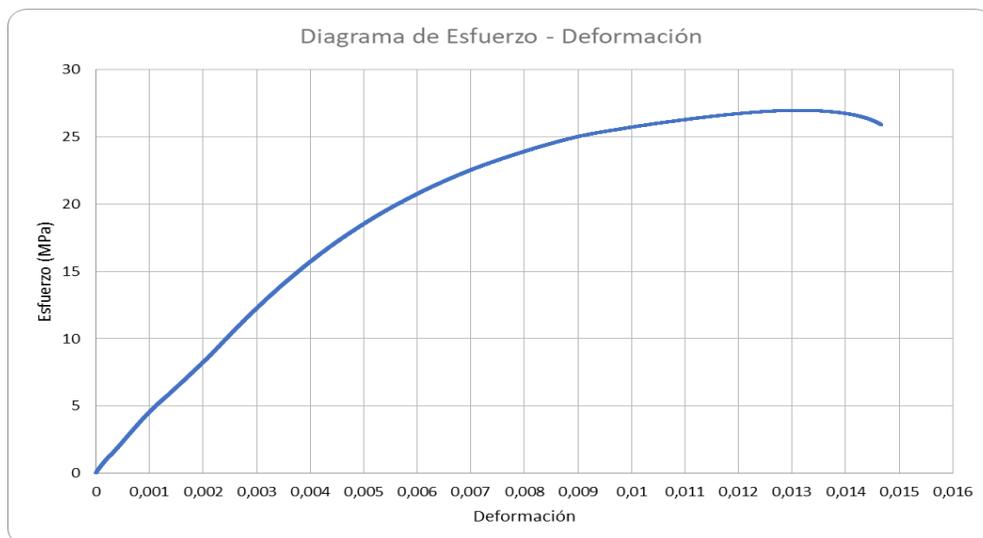
Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #5



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia

Figura 37.

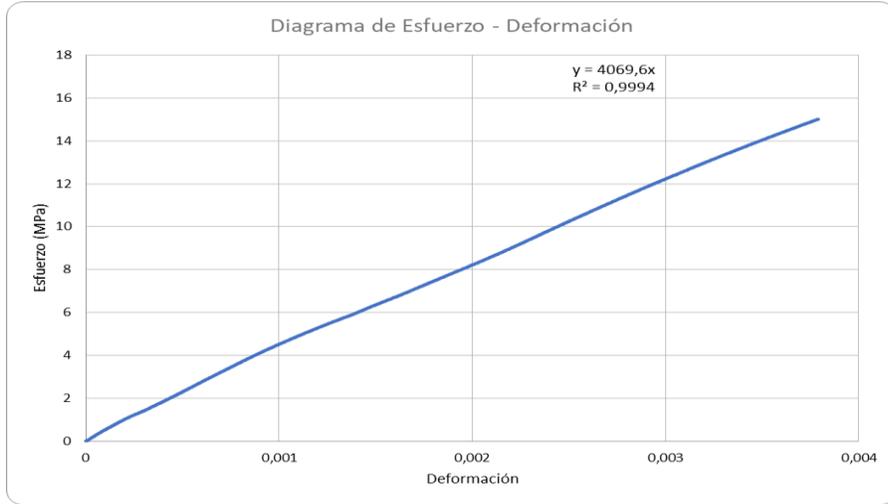
Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta # 7



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta

Figura 38.

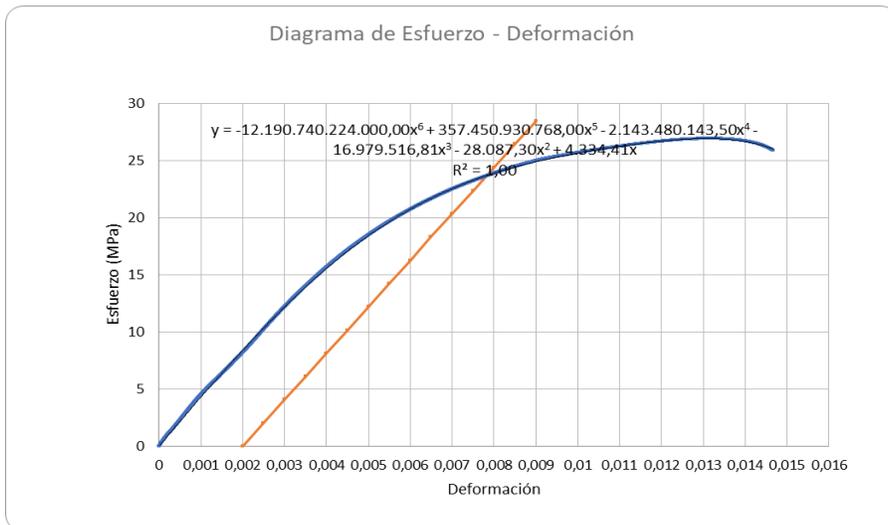
Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #7



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material

Figura 39.

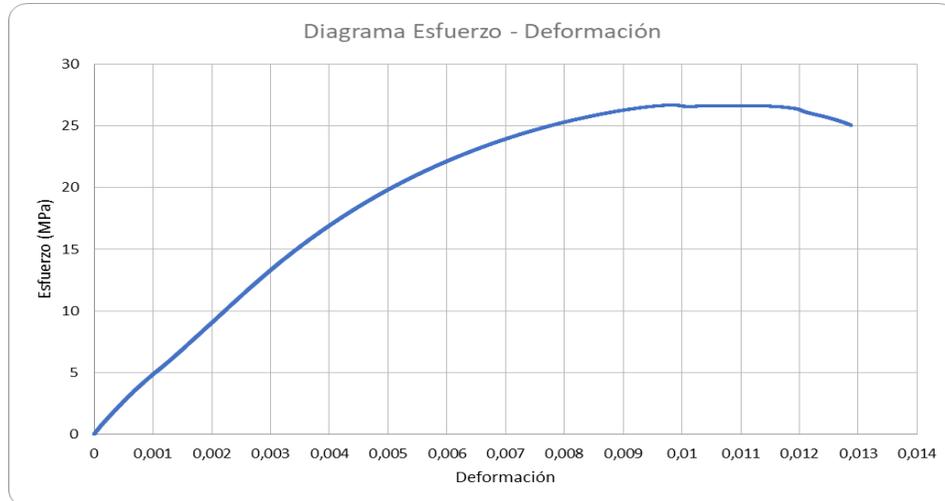
Diagrama de esfuerzo vs deformación de Probeta #7



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia

Figura 40.

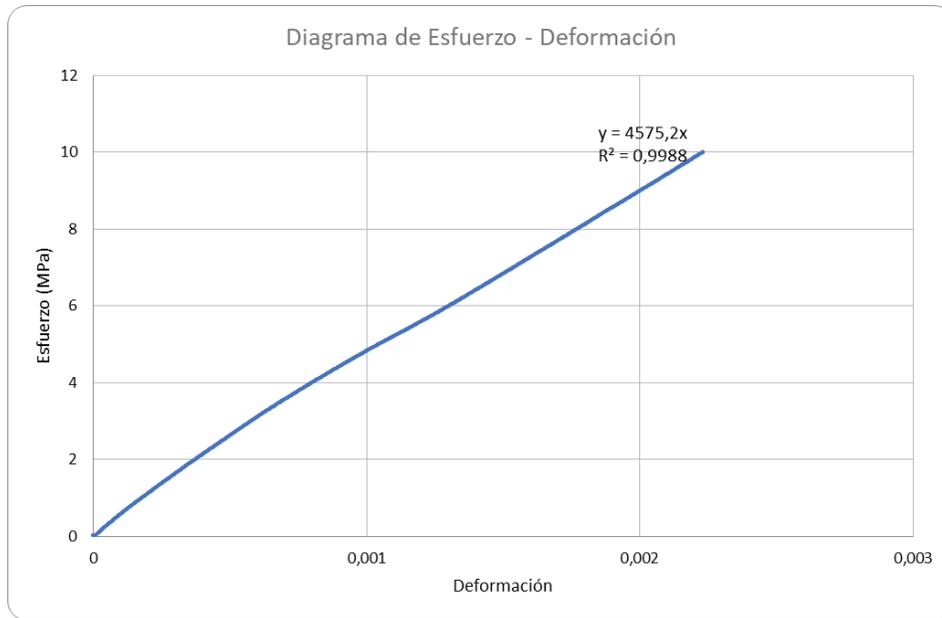
Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #11



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta

Figura 41.

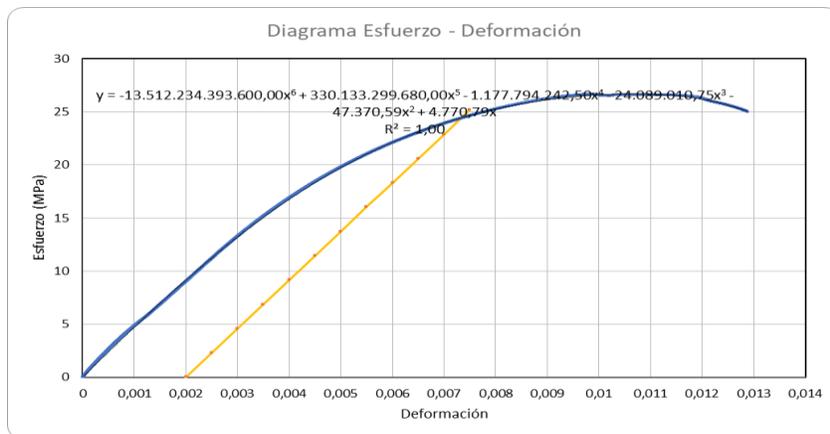
Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #11



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material

Figura 42.

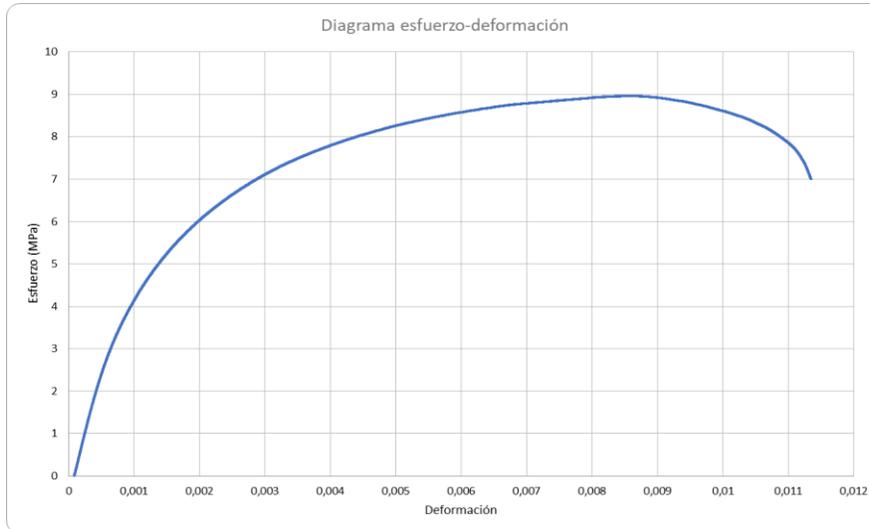
Diagrama de esfuerzo vs deformación de probeta #11



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia

Figura 43.

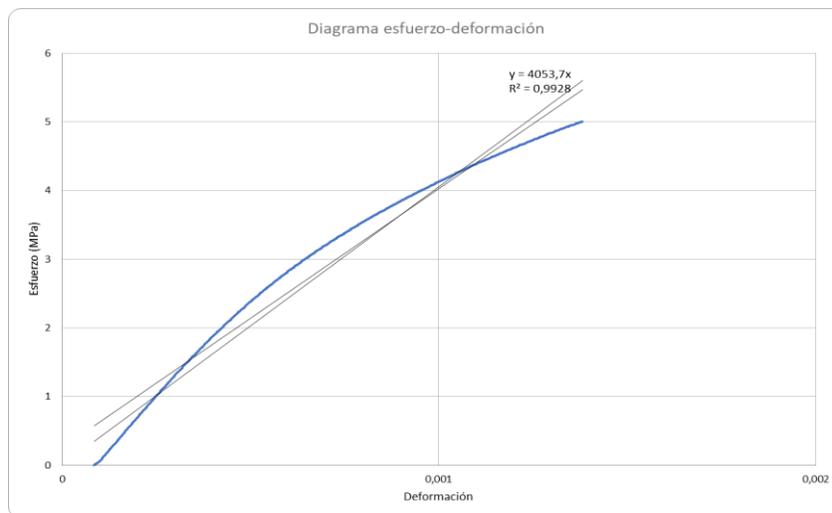
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #14



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta

Figura 44.

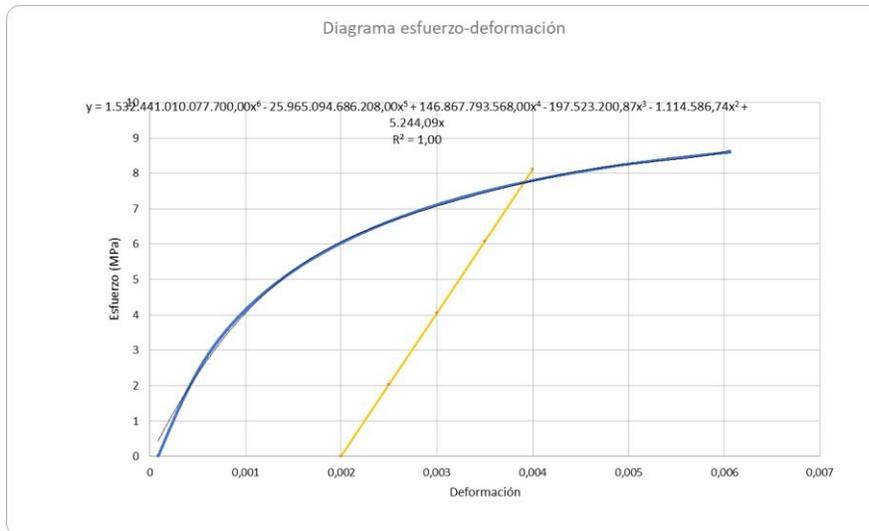
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #14



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material

Figura 45.

Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #14



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia

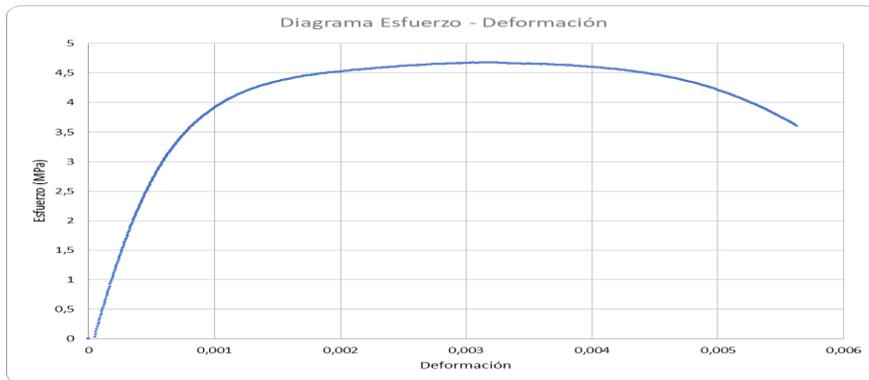
ANEXO 3.

GRAFICAS DE RESULTADOS POR PROBETA A 0.0333 mm/s

En este anexo se encontrarán las gráficas correspondientes a los datos de esfuerzo y deformación de las probetas de ALUCOBOND

Figura 46.

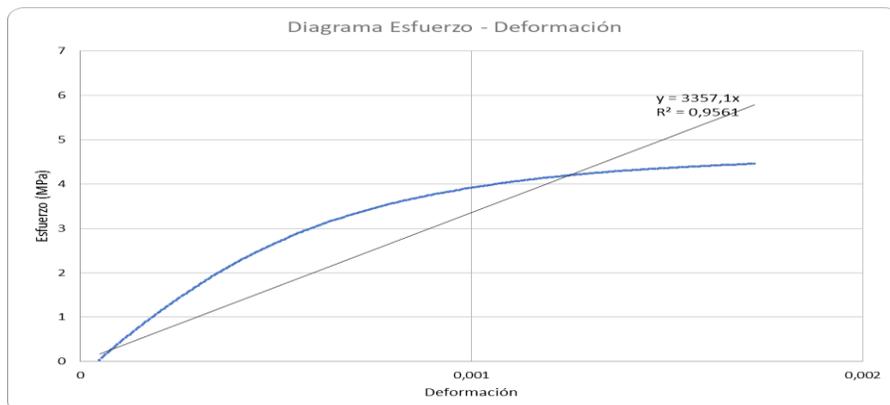
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta # 2



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 47.

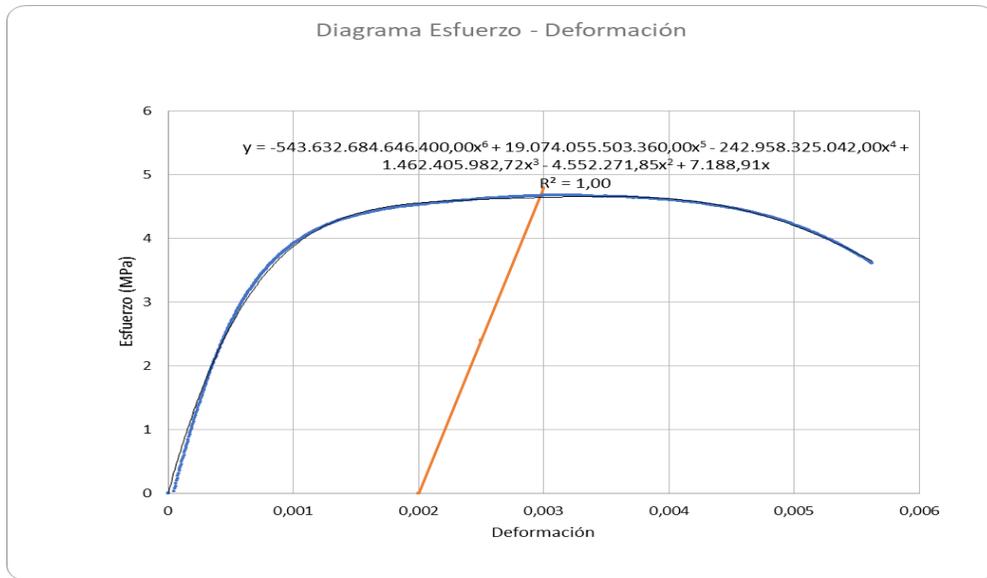
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta # 2



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 48.

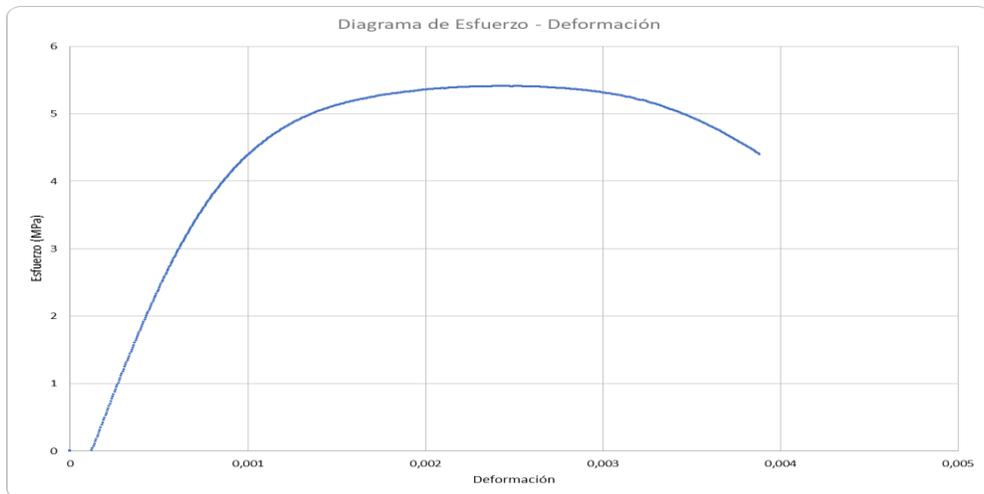
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #2



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

Figura 49.

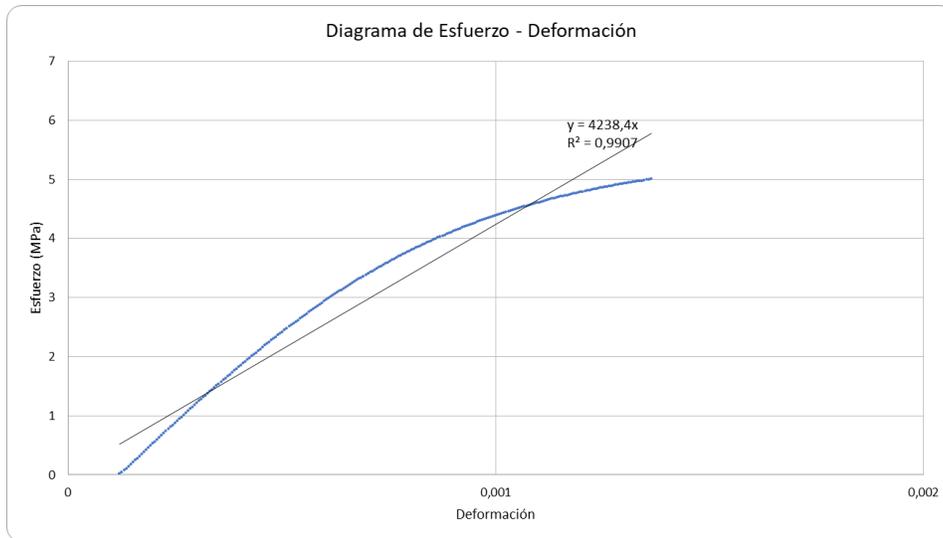
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #4



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 50.

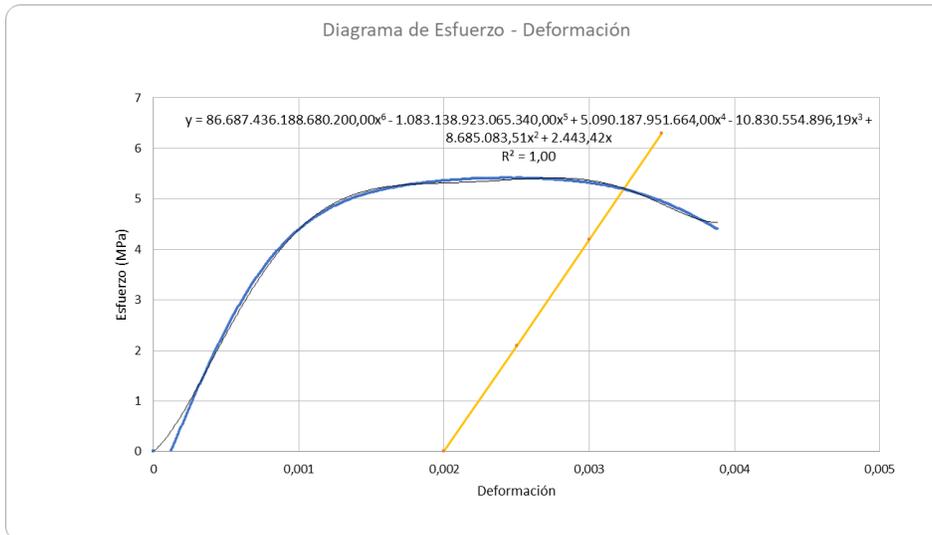
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #4



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 51.

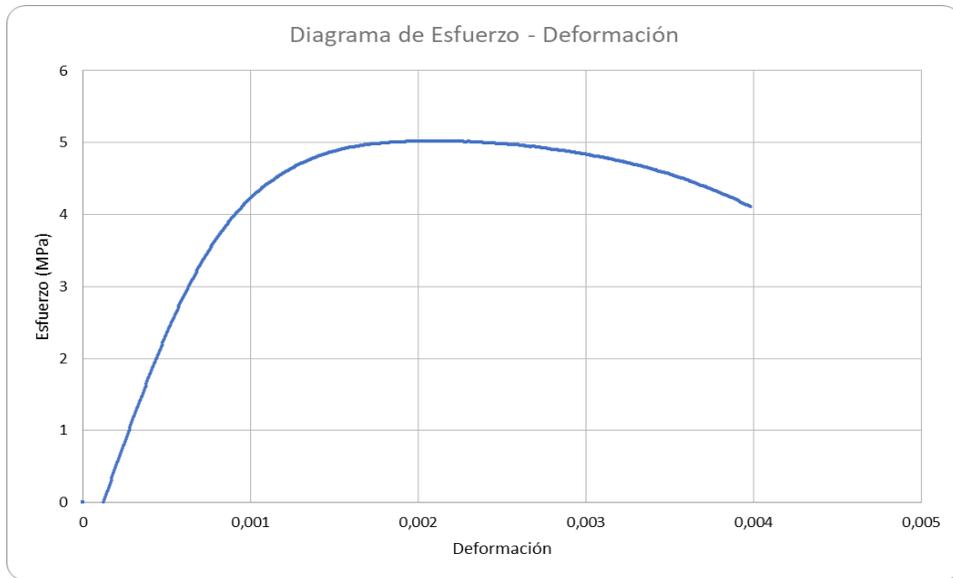
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta # 4



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

Figura 52.

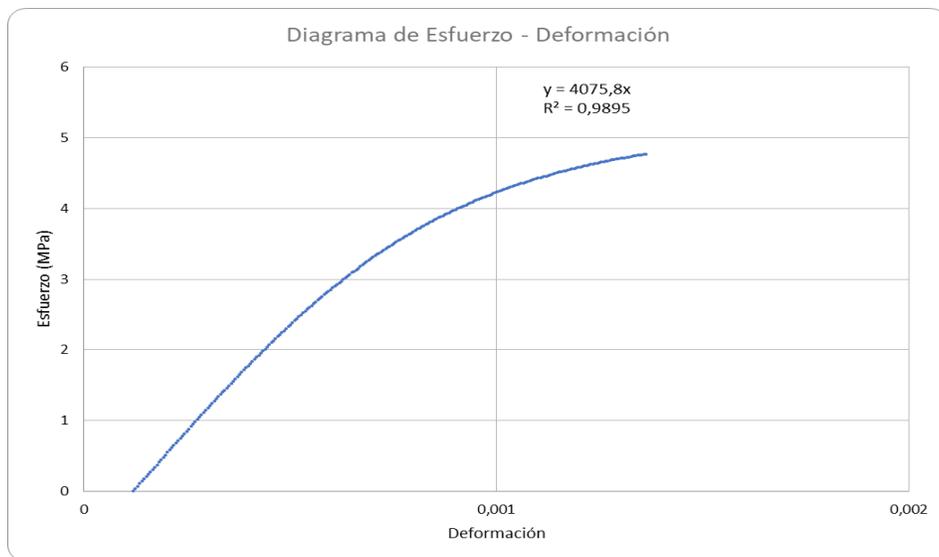
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #9



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 53.

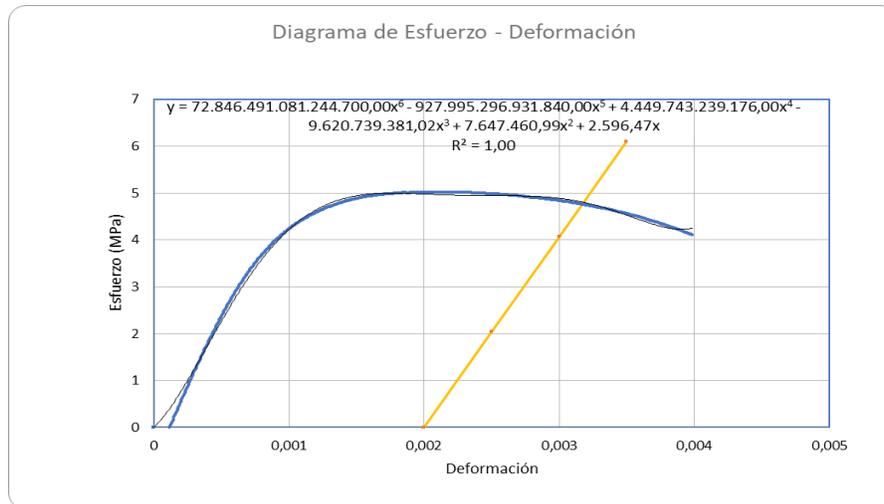
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #9



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 54.

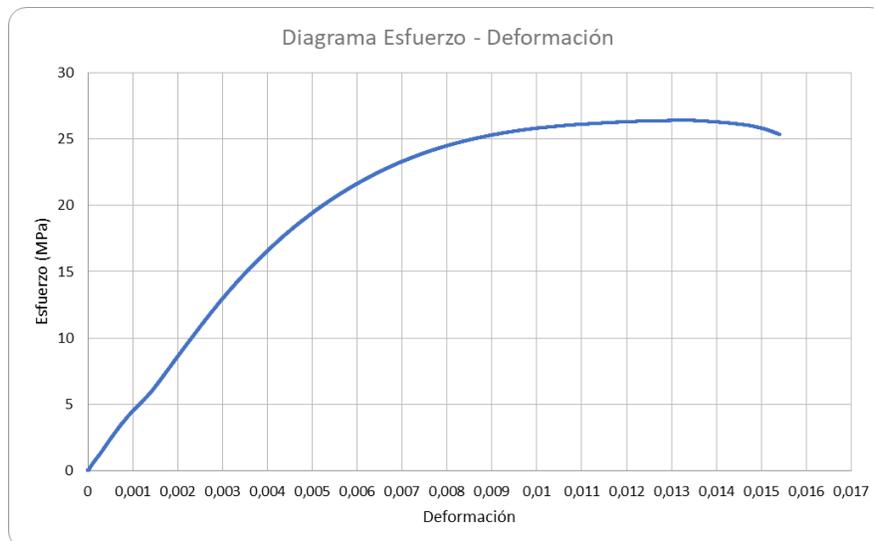
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #9



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

Figura 55.

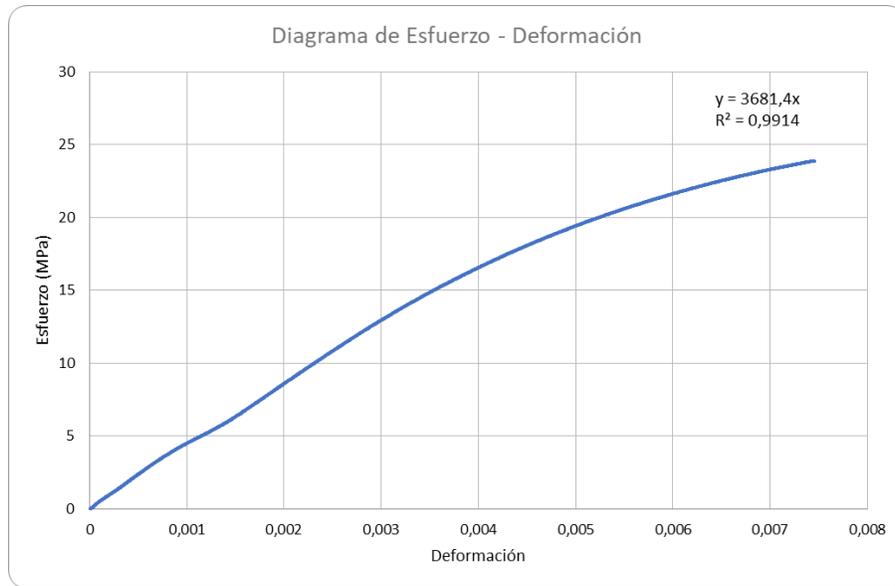
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #12



Nota. Gráfico esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 56.

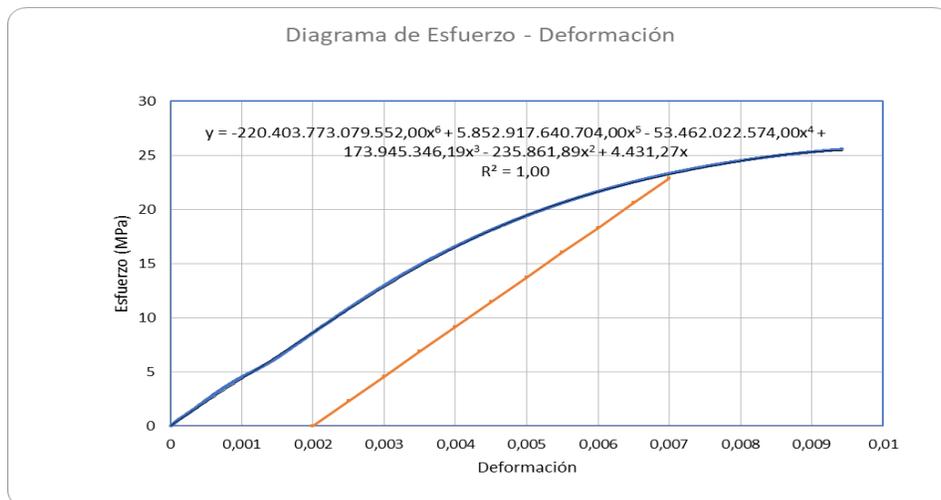
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #12



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 57.

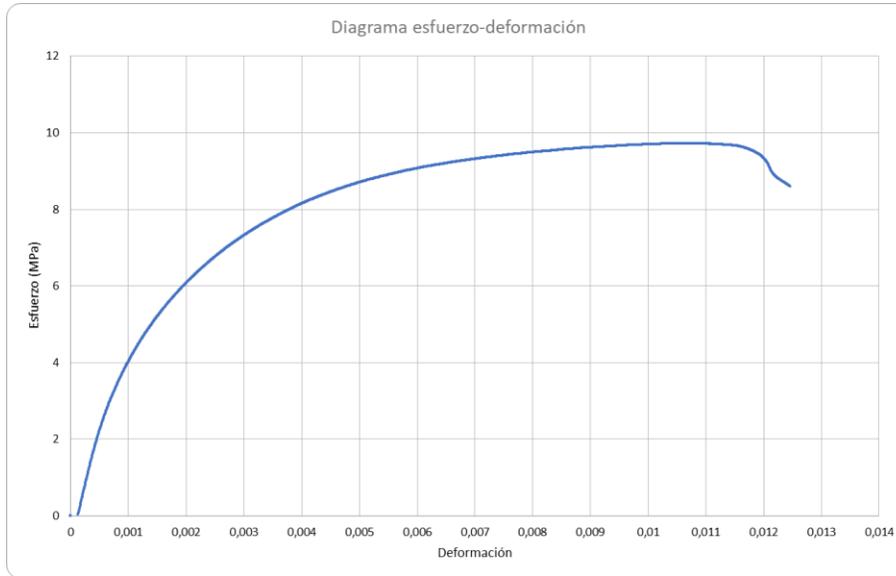
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #12



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

Figura 58.

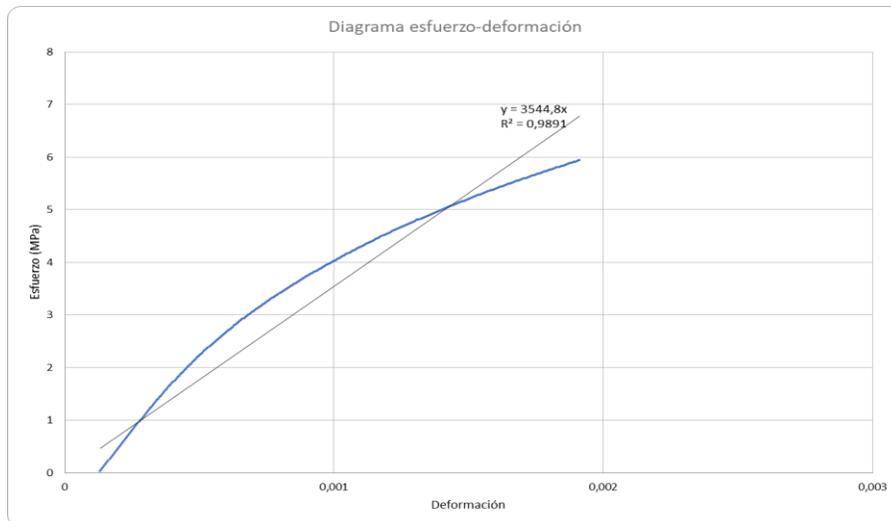
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #15



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 59.

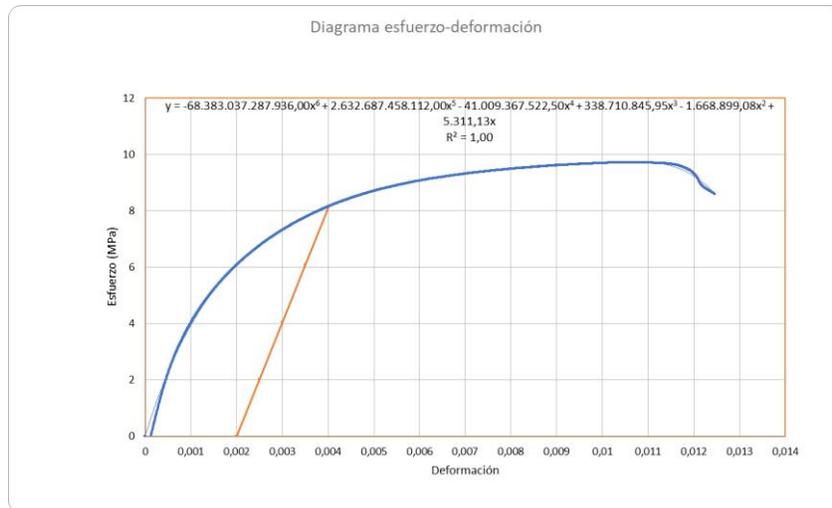
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #15



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 60.

Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #15



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

ANEXO 4.

GRAFICAS DE RESULTADOS POR PROBETA A 0.05 mm/s

En este anexo se encontrarán las gráficas correspondientes a los datos de esfuerzo y deformación de las probetas de ALUCOBOND

Figura 61.

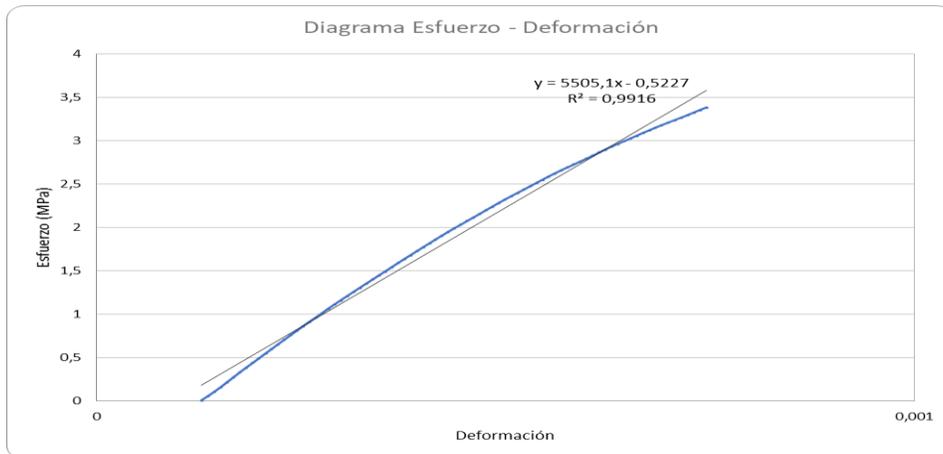
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #1



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta

Figura 62.

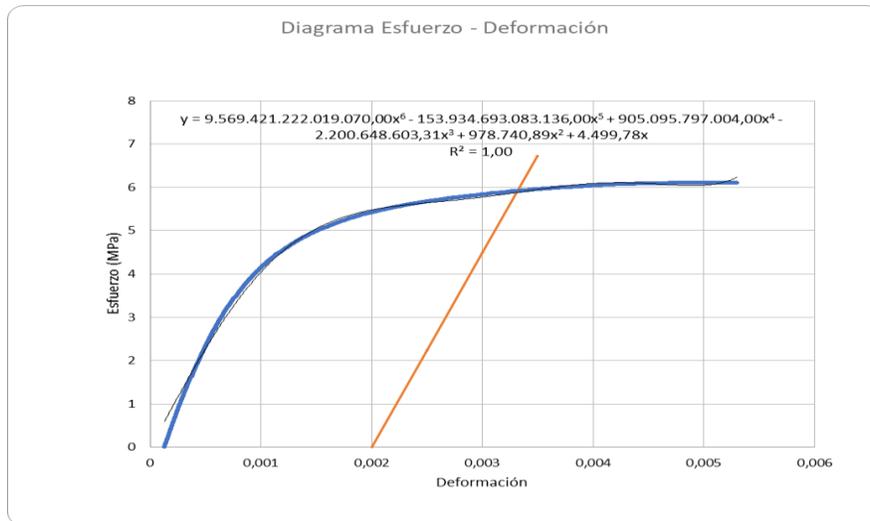
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #1



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material

Figura 63.

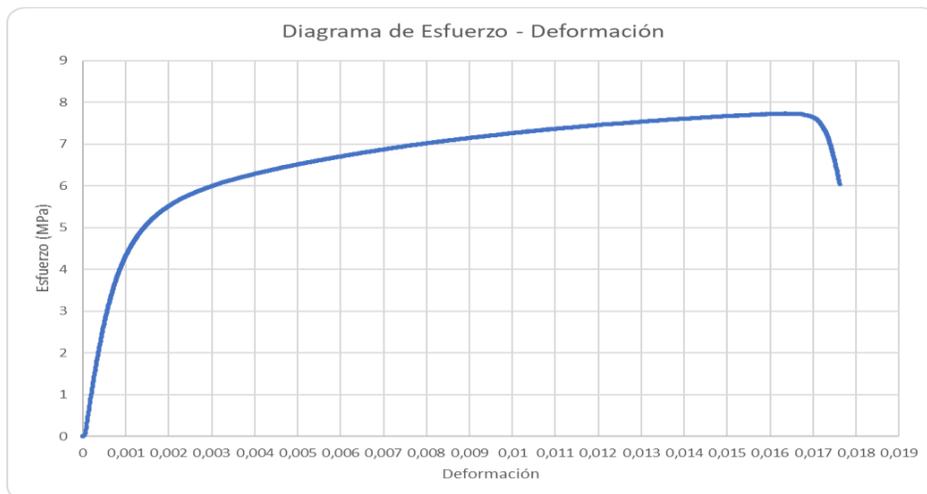
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #1



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia

Figura 64.

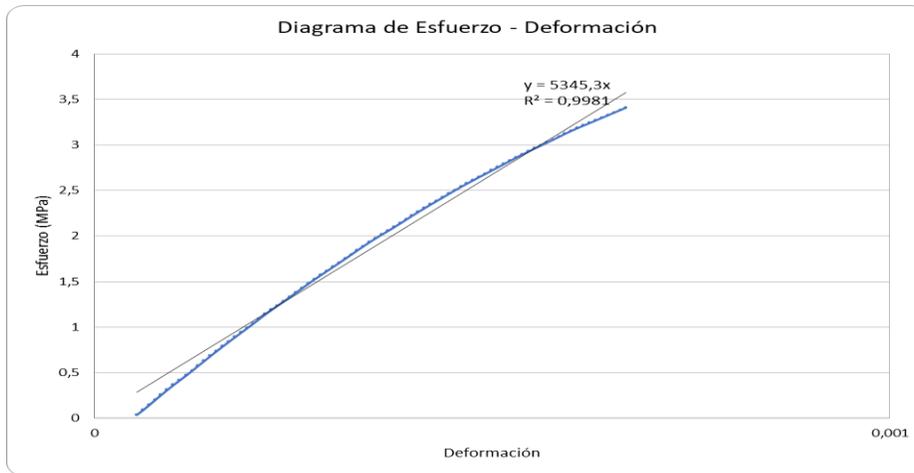
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta

Figura 65.

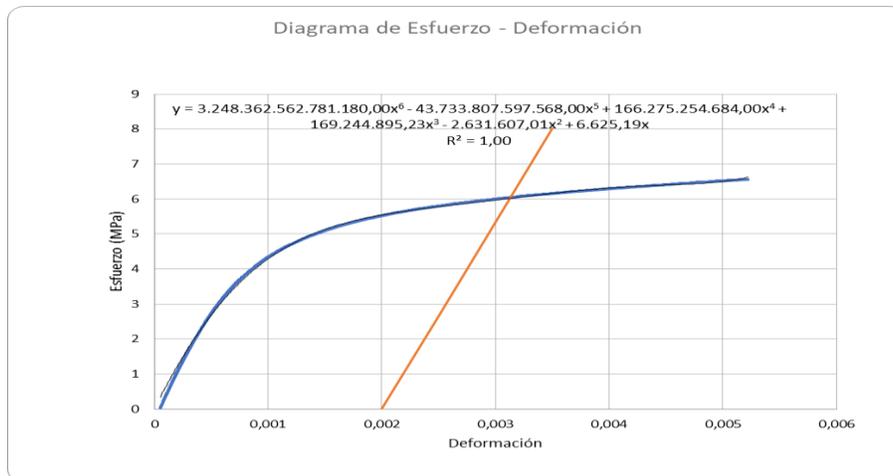
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 66.

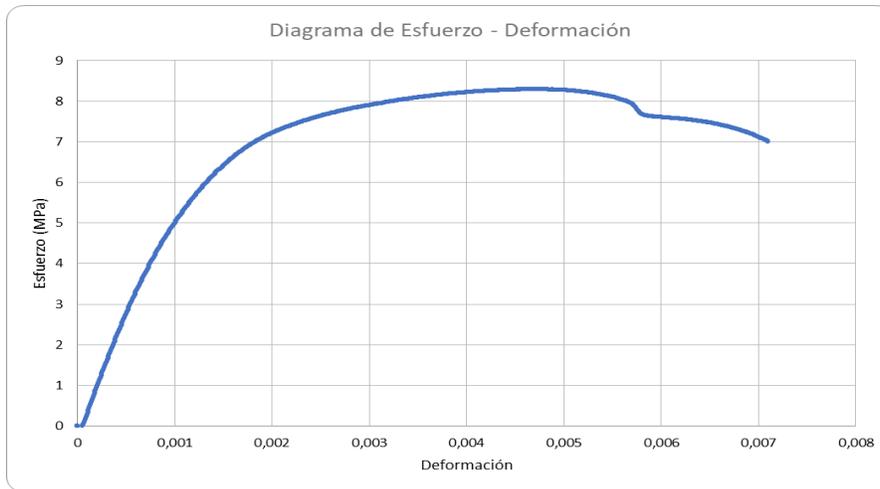
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

Figura 67.

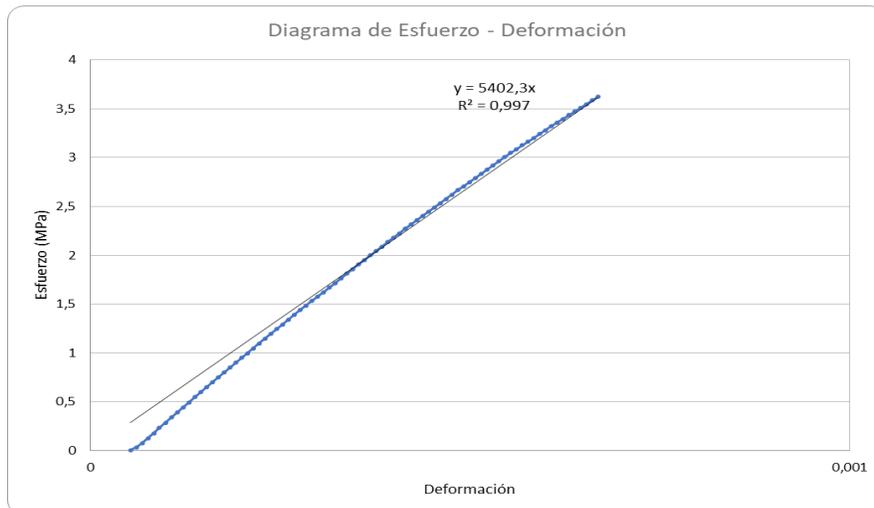
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #8



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 68.

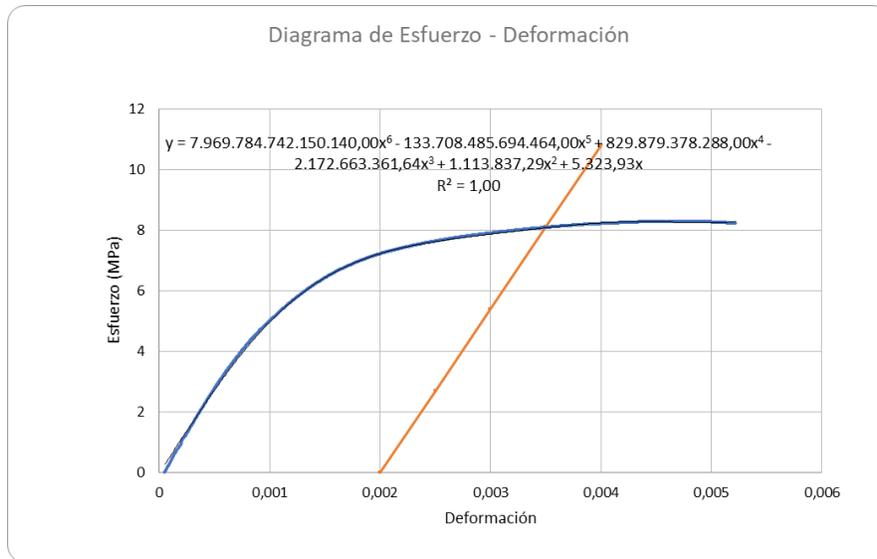
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #8



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 69.

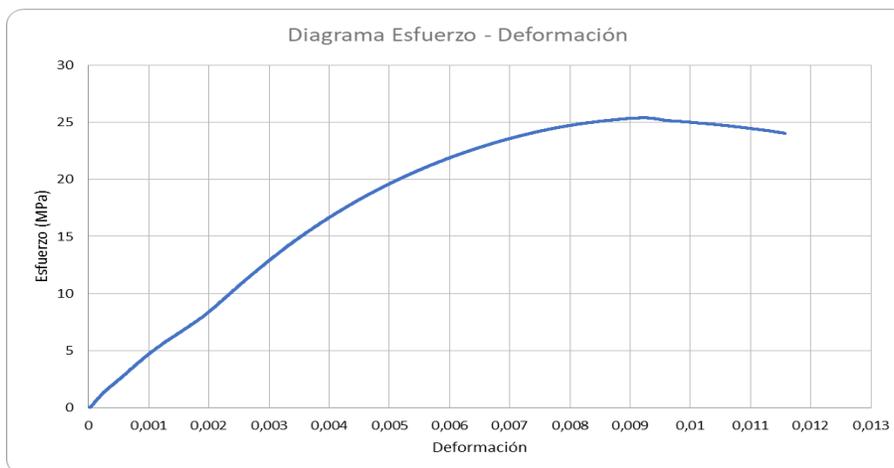
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #8



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

Figura 70.

Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #10



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 71.

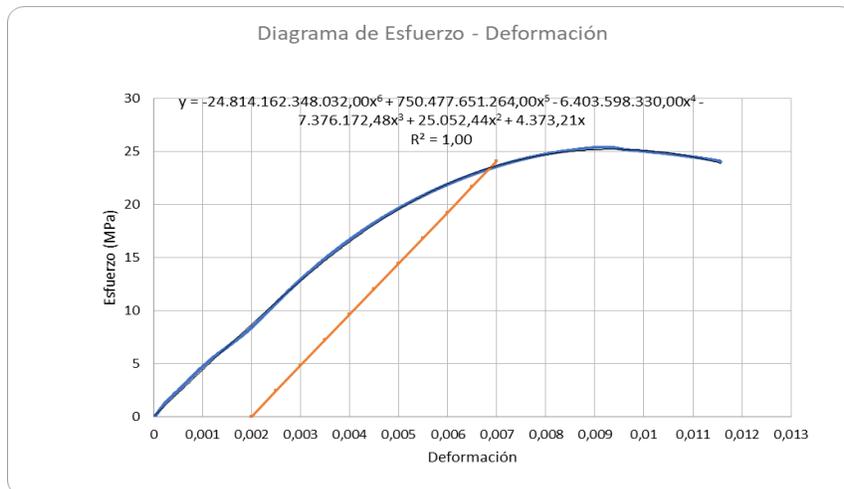
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #10



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 72.

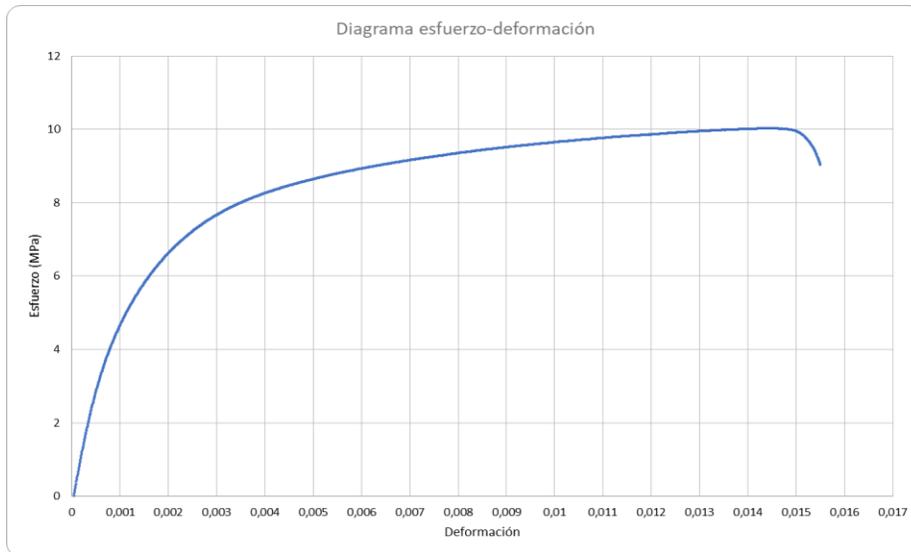
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #10



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

Figura 73.

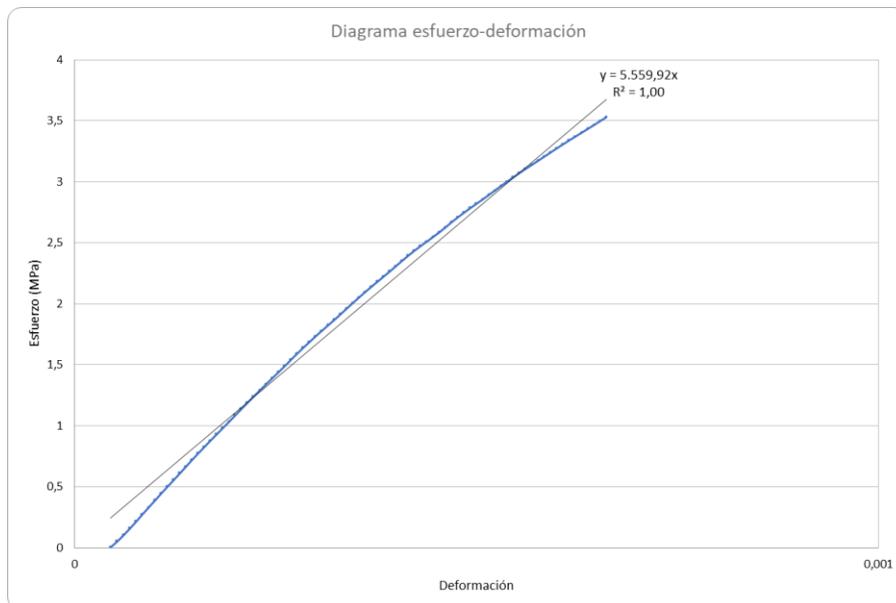
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #13



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 74.

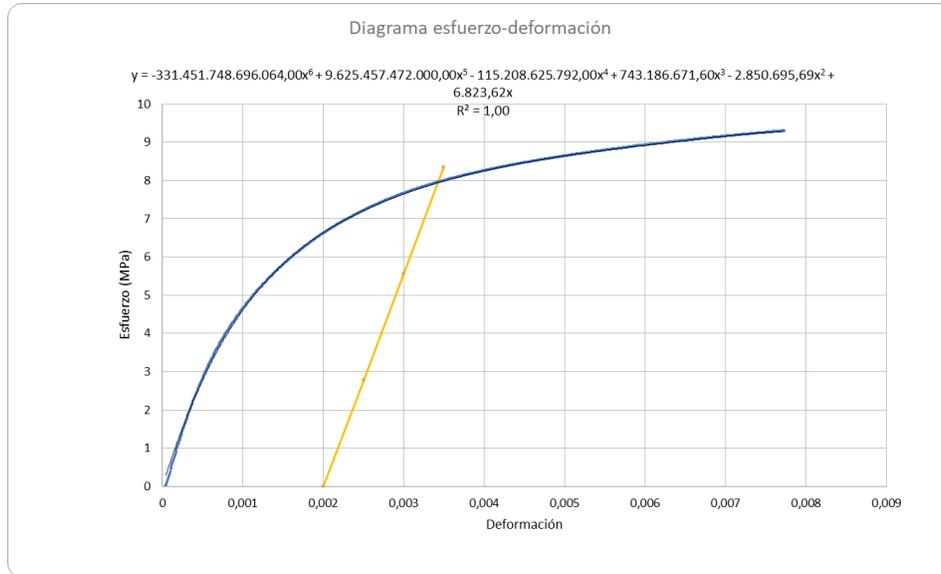
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #13



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 75.

Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #13



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

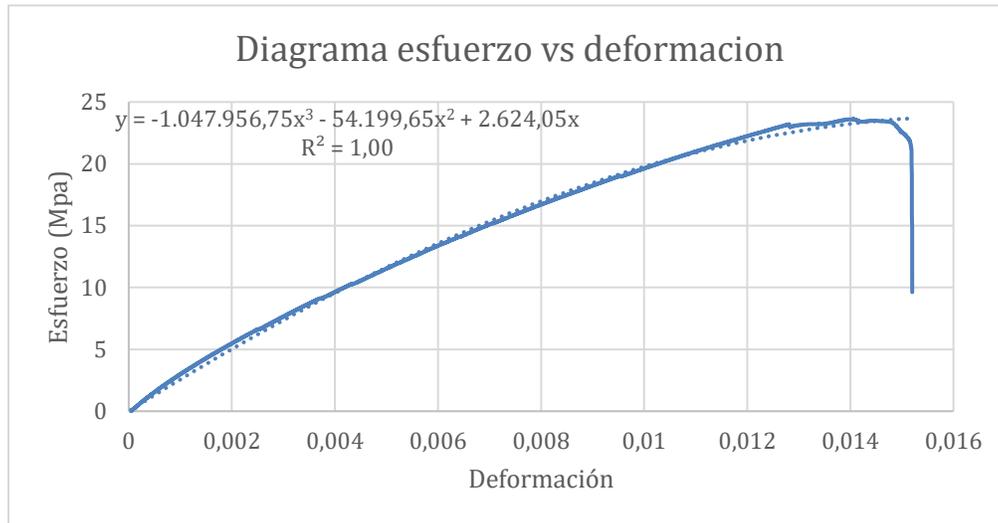
ANEXO 5.

GRAFICAS DE RESULTADOS POR PROBETA A 0.01 mm/s

En este anexo se encontrarán las gráficas correspondientes a los datos de esfuerzo y deformación de las probetas de FIBRA DE VIDRIO

Figura 76.

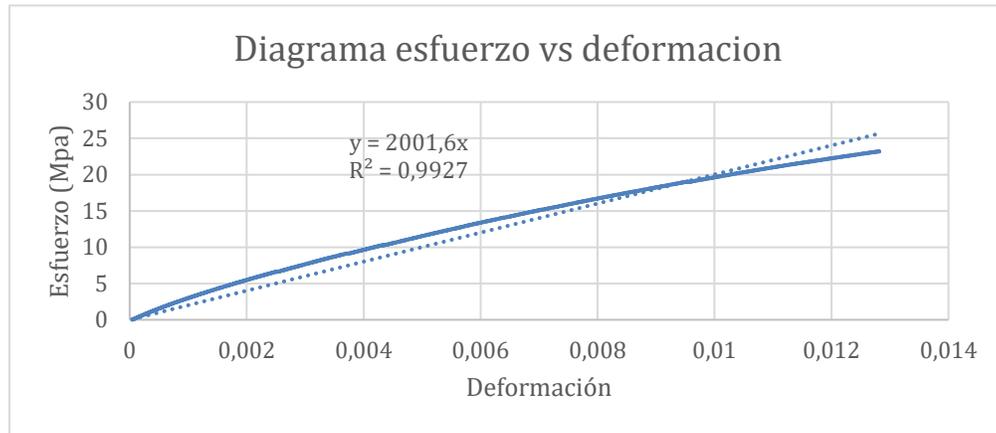
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 77.

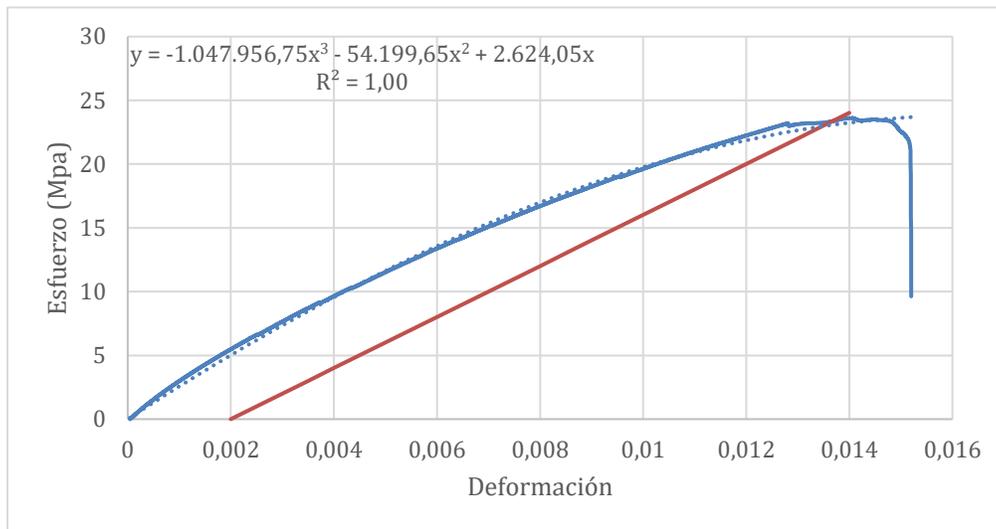
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 78.

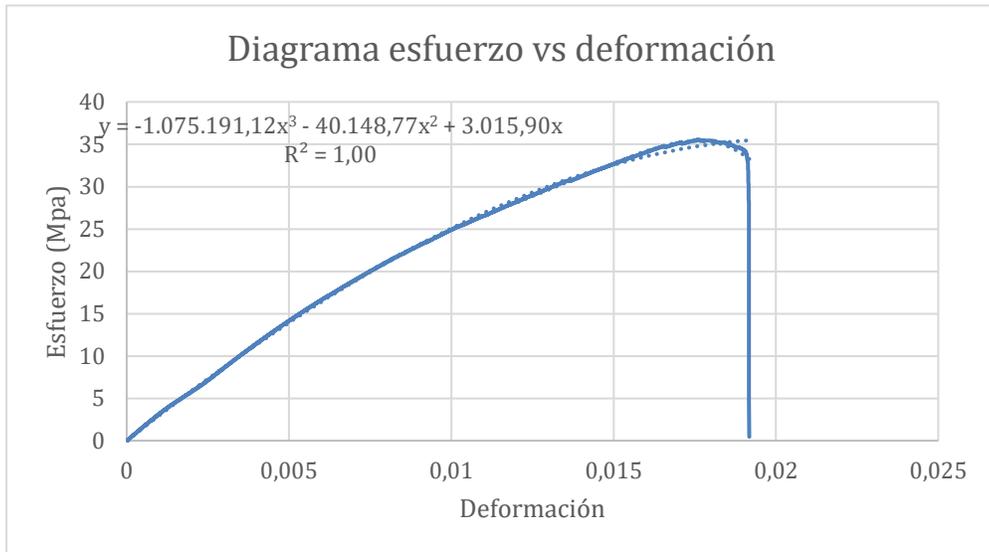
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #6



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 3 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

Figura 79.

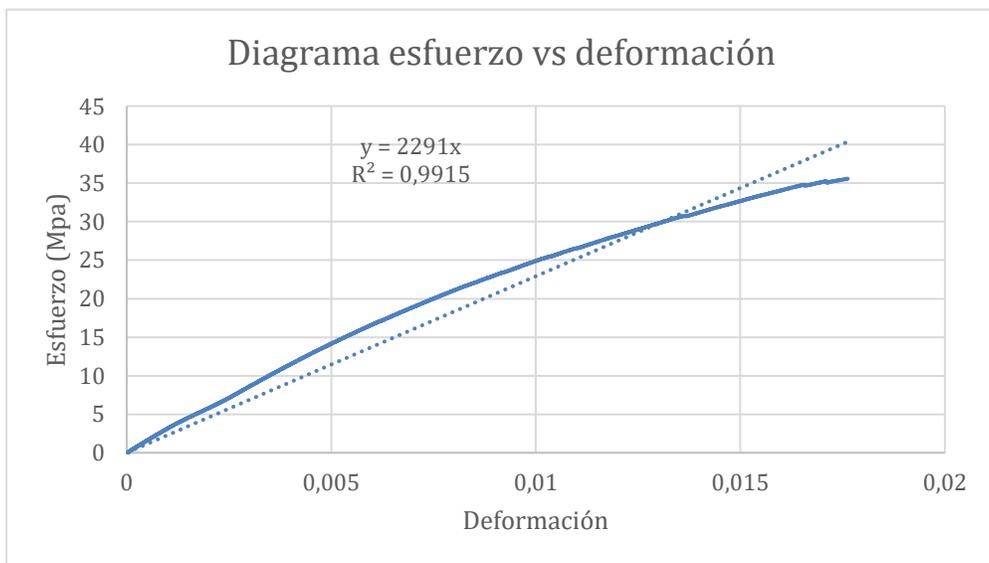
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #7



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 80.

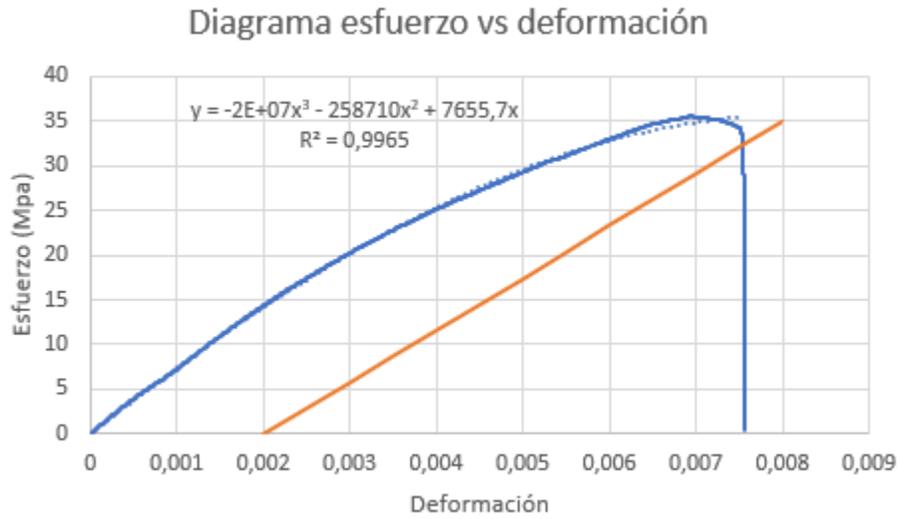
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #7



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 81.

Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #7



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 3 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

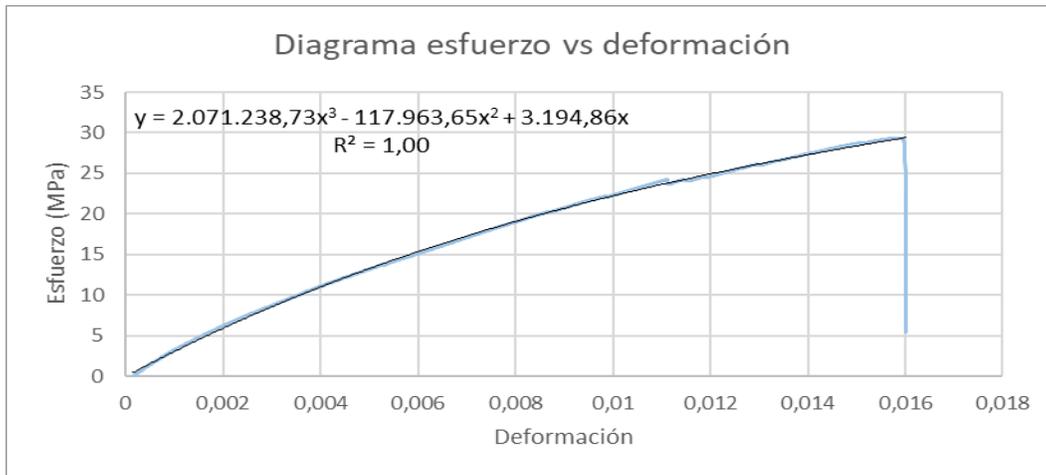
ANEXO 6.

GRAFICAS DE RESULTADOS POR PROBETA A 0.0333 mm/s

En este anexo se encontrarán las gráficas correspondientes a los datos de esfuerzo y deformación de las probetas de FIBRA DE VIDRIO

Figura 82.

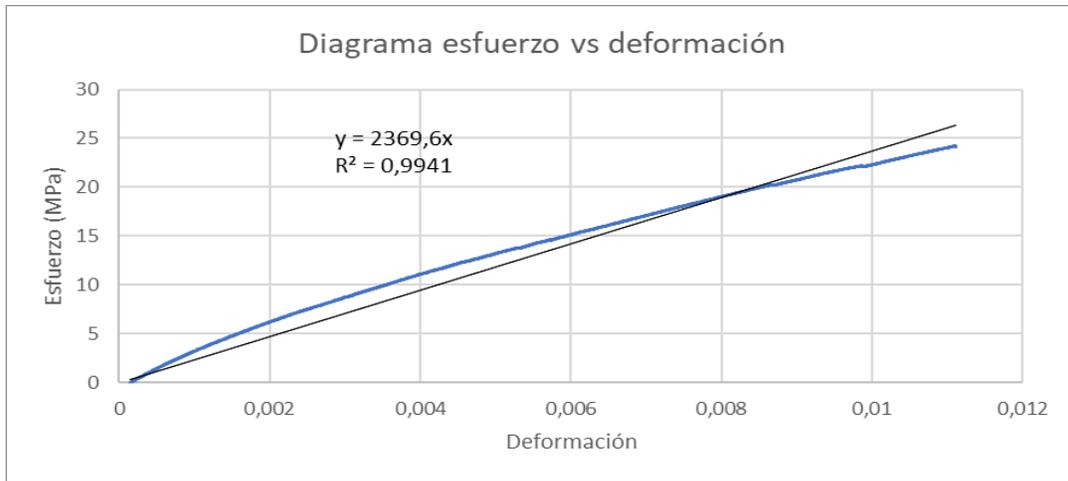
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #4



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 83.

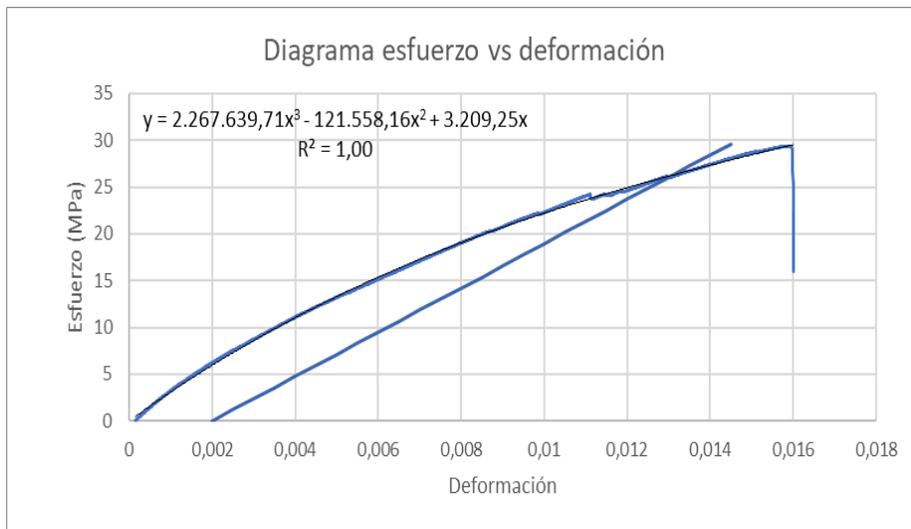
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #4



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 84.

Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #4



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 4 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

Figura 85.

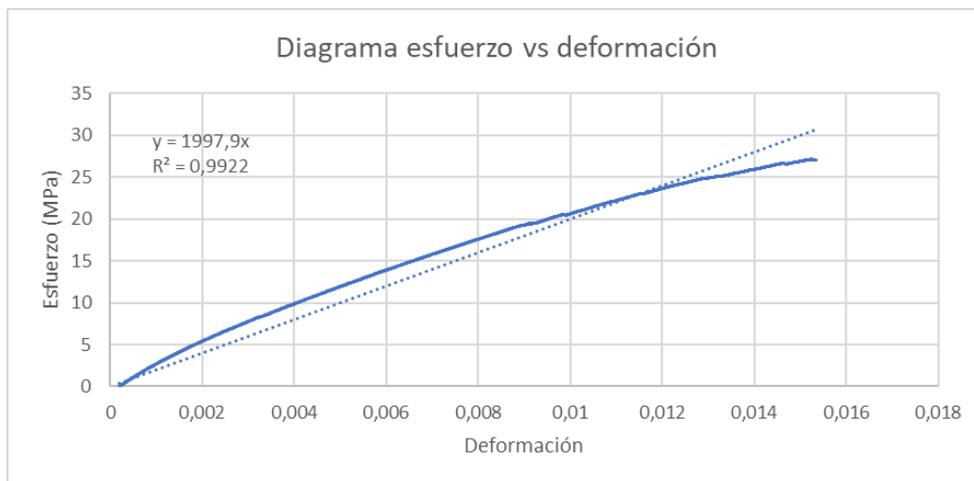
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #8



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

Figura 86.

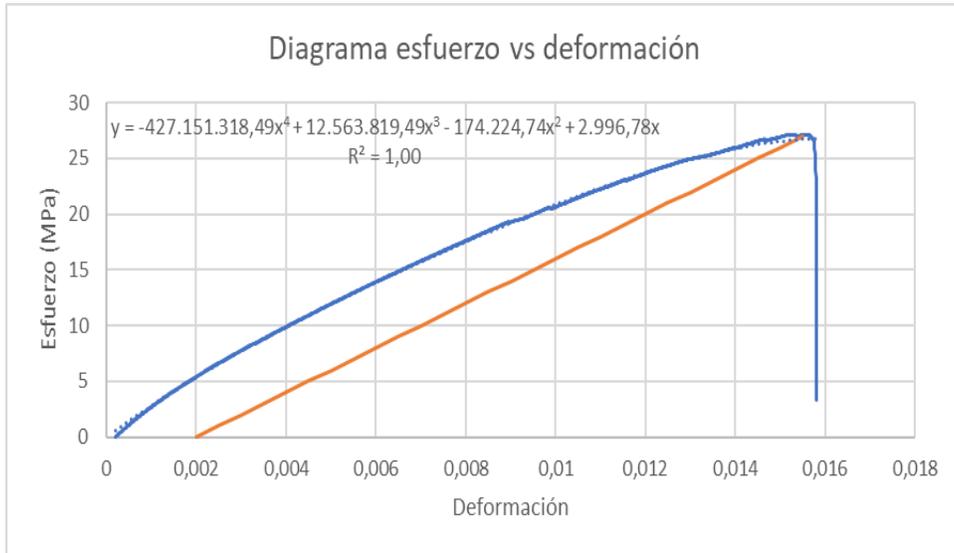
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #8



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 87.

Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta # 8



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 3 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

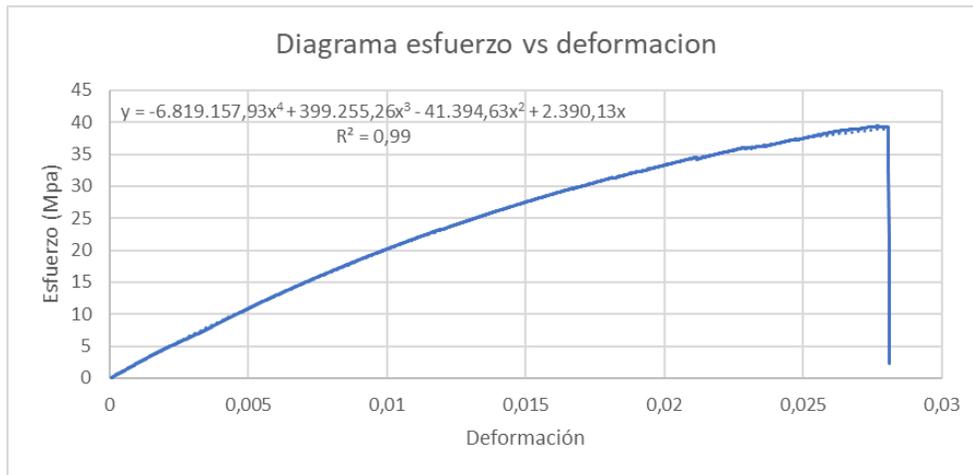
ANEXO 7.

GRAFICAS DE RESULTADOS POR PROBETA A 0.05 mm/s

En este anexo se encontrarán las gráficas correspondientes a los datos de esfuerzo y deformación de las probetas de FIBRA DE VIDRIO

Figura 88.

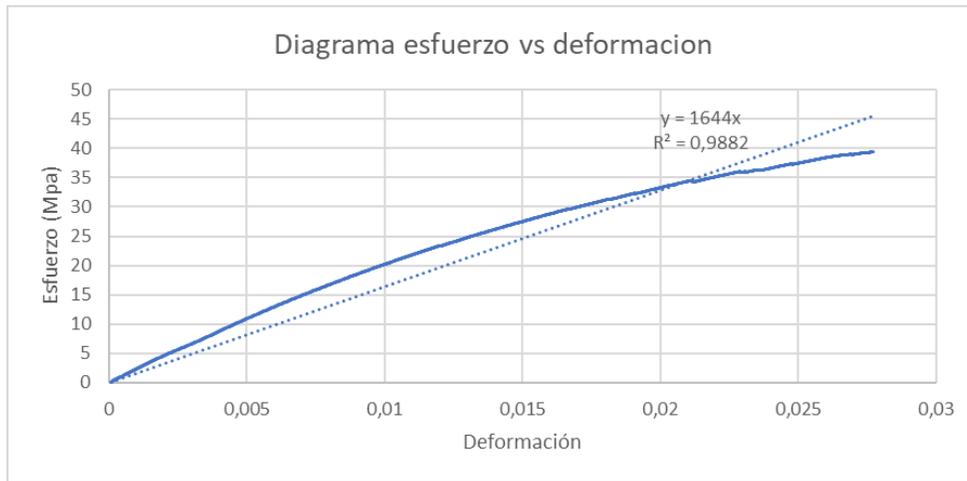
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #3



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta

Figura 89.

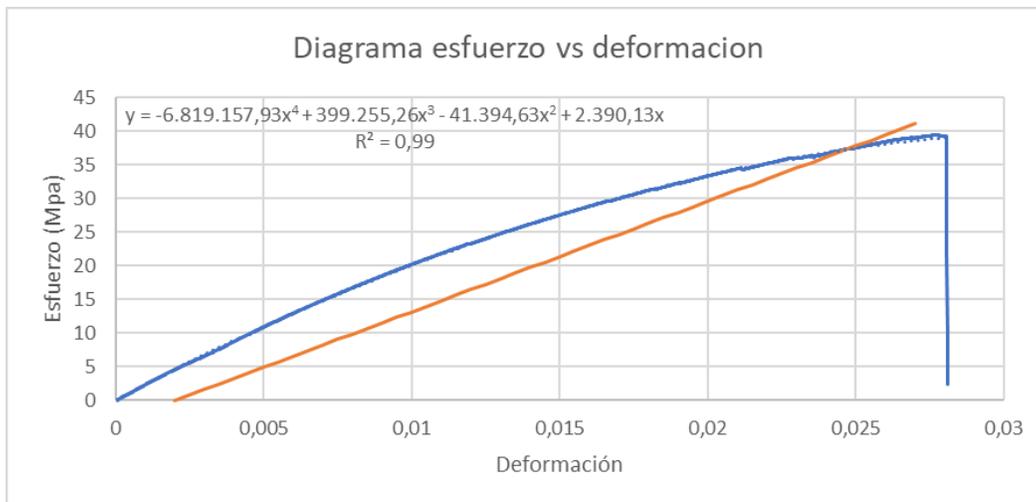
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #3



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 90.

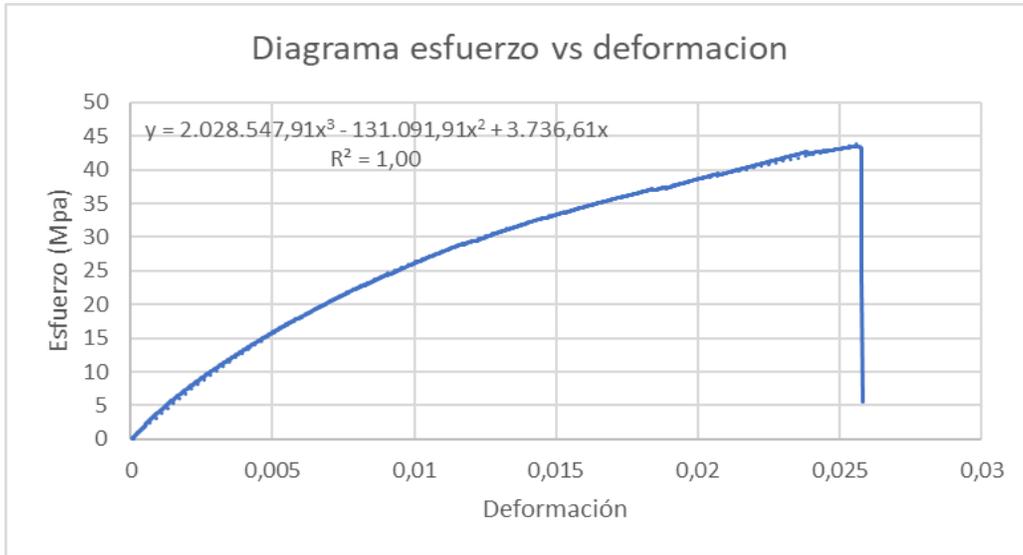
Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #3



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.

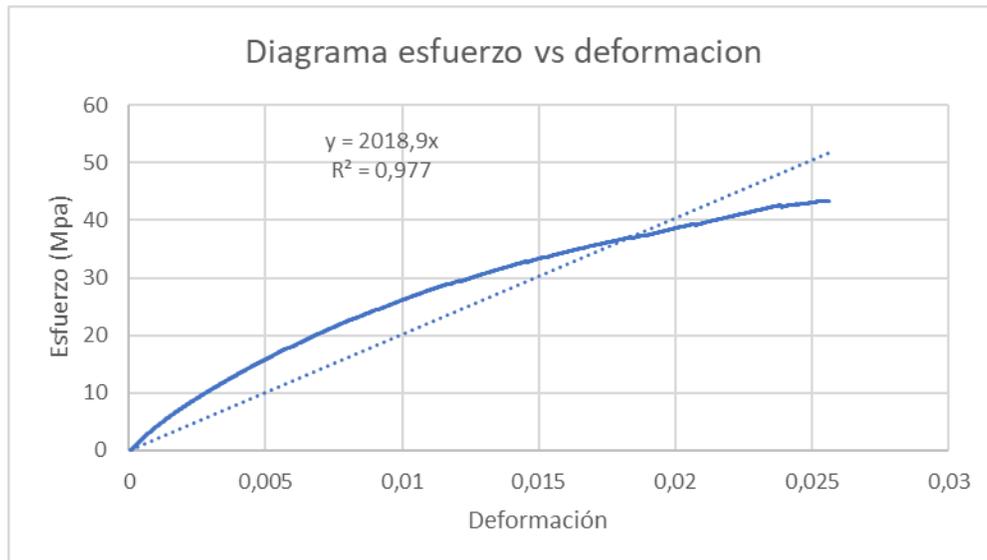
Figura 91.

Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #5



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación del ensayo completo hasta la ruptura de la probeta.

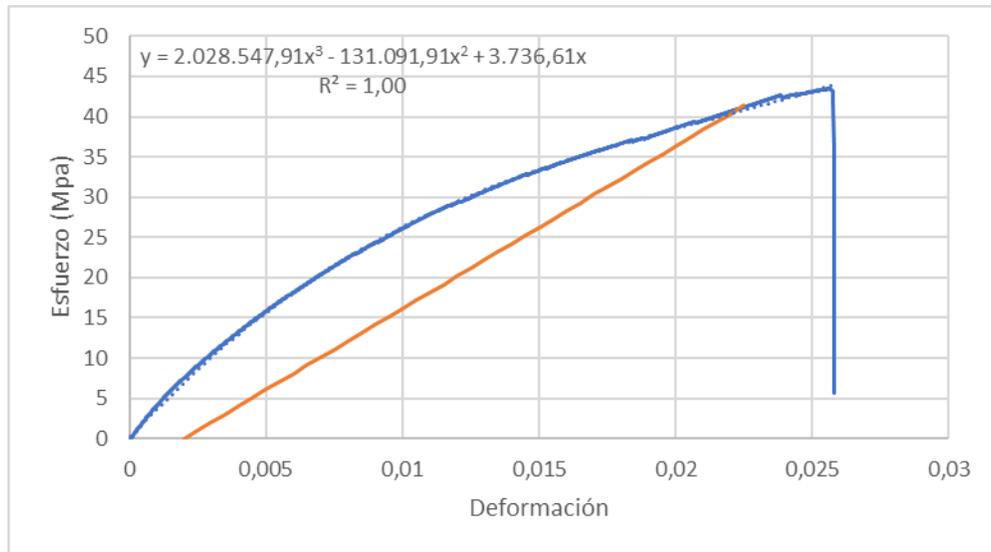
Figura 92. *Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #5*



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación de la zona elástica del material.

Figura 93.

Diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta #5



Nota. Gráfico de esfuerzo deformación con regresión polinómica de grado 6 para identificar su límite elástico y la Deformación de fluencia.