



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA MECÁNICA

TEMA:

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN MATERIAL
COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS
DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS Y SU INCIDENCIA EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS.

Autor: Carolina Nataly Acosta Benavides

Tutor: Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

AMBATO – ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniera Mecánica, con el tema “ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”, elaborado por la señorita Carolina Nataly Acosta Benavides, portadora de la cédula de ciudadanía 1600620908, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, agosto de 2018

Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Carolina Nataly Acosta Benavides, con C.I. 1600620908, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, declaro que las actividades y tareas realizadas para la obtención de resultados en el presente trabajo experimental con el tema “ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”, es de mi completa autoría a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentran citadas en el mismo.

Ambato, agosto de 2018

Carolina Nataly Acosta Benavides

C.I. 1600620908

AUTORA

DERECHOS DEL AUTOR

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

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

Ambato, agosto de 2018

Carolina Nataly Acosta Benavides

C.I. 1600620908

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental por la estudiante Carolina Nataly Acosta Benavides de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el Tema: “ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”.

Ambato, diciembre de 2018

Para constancia firman:

Ing. Mg. Víctor Espín

Ing. Mg. Gustavo Patín

DEDICATORIA

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”.

Filipense 4:13

Este trabajo lo dedico principalmente a Dios, por cada una de las bendiciones derramadas sobre mí y por ser mi apoyo para sobresalir de cualquier adversidad.

A mis padres Vicky y Edgar, por su constante apoyo incondicional a lo largo de mi vida y su ayuda para culminar esta etapa de estudio.

A mi abuelita María, por su cuidado y ayuda dada para que yo pueda tener el tiempo necesario para el desarrollo de las distintas actividades de estudio.

A mi hija Carolyn, la persona más importante en mi vida, mi motivación y la razón para alcanzar este logro.

A mi esposo Edwin, por ser mi compañía durante esta toda etapa de estudio, por su constante ayuda y por estar a mi lado a pesar de cualquier circunstancia.

A mis amigos Omar, Daniel, Miguel y Katy, personas que han sido grato conocerlos durante mi carrera universitaria, por el apoyo mutuo, por las experiencias vividas, por los buenos y malos momentos compartidos.

AGRADECIMIENTO

A la Dirección de Investigación y Desarrollo DIDE de la Universidad Técnica de Ambato por el financiamiento del proyecto de investigación “Aplicabilidad de un material compuesto con matriz polimérica reforzado con partículas de neumáticos reciclados en partes exteriores de carrocerías de la industria carrocera de Tungurahua” ya que éste trabajo es parte de esa investigación.

A la empresa carrocera Santa Cruz por la prestación del molde para la fabricación de un cerco de faro, parte exterior - frontal de un Bus Hino AK.

A mi tutor Ing. Mg. Segundo Espín por su guía, ayuda y disposición para el desarrollo y culminación de este trabajo.

A familiares y amigos porque de distintas formas me ayudaron y motivaron a seguir día a día para poder cumplir esta meta.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	I
AUTORÍA DEL TRABAJO	II
DERECHOS DEL AUTOR	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
RESUMEN EJECUTIVO	XVIII
EXECUTIVE SUMMARY.....	XIX
CAPÍTULO I.....	1
1. ANTECEDENTES	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO II	5
2. FUNDAMENTACIÓN	5
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1.1. Ciencia e Ingeniería de Materiales	5
2.1.2. Material Compuesto.....	6
2.1.3. Clasificación de Materiales Compuestos.....	6
2.1.4. Composición del Material Compuesto	7
2.1.4.1. Matriz.....	7
2.1.4.2. Refuerzo	10
2.1.4.3. Interfase.....	12

2.1.5. Manufactura de los Materiales Compuestos.....	12
2.1.6. Fracciones de volumen y peso.....	13
2.1.6.1. Fracciones de volumen.....	13
2.1.6.2. Fracciones de peso	14
2.1.6.3. Relación volumen-peso.....	15
2.1.7. Ensayos de Materiales	16
2.1.7.1. Ensayo a Flexión.....	16
2.1.7.2. Ensayo a Compresión.....	19
2.1.7.3. Ensayo de Dureza.....	20
2.1.7.4. Ensayo de Fractografía.....	21
2.2. HIPÓTESIS	21
2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	21
2.3.1. Variable Independiente.....	21
2.3.2. Variable Dependiente	21
2.3.3. Término de Relación.....	21
CAPÍTULO III.....	22
3. METODOLOGÍA.....	22
3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	22
3.1.1. Exploratorio	22
3.1.2. Descriptivo.....	22
3.1.3. Explicativo.....	22
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	23
3.2.1. Población	23
3.2.2. Muestra	23
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	25
3.3.1. Variable Independiente.....	25
3.3.2. Variable Dependiente	26
3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	27
3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	27
CAPÍTULO IV.....	28
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	28
4.4. RECOLECCIÓN DE DATOS	28

4.4.1. Adquisición de la materia prima.....	29
4.4.2. Determinación de la densidad del refuerzo y la matriz	30
4.4.3. Normalización de probetas	30
4.4.4. Selección y/o diseño del molde para la fabricación de probetas	31
4.4.5. Cálculo del volumen y peso de la matriz y el refuerzo.....	33
4.4.6. Fabricación de probetas	36
4.4.6.1. Materiales y equipos	36
4.4.6.2. Procedimiento	40
4.4.7. Caracterización de las propiedades mecánicas del material compuesto..	48
4.4.7.1. Ensayo a flexión.....	48
4.4.7.2. Ensayo a compresión.....	71
4.4.7.3. Ensayo de dureza.....	93
4.4.7.4. Ensayo de Fractografía.....	105
4.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	116
4.5.1. Análisis de resultados de ensayo a flexión	116
4.5.2. Análisis de resultados de ensayo a compresión.....	117
4.5.3. Análisis de resultados de ensayo de dureza.....	119
4.5.4. Simulación de la mejor composición de material compuesto	122
4.6. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	126
4.6.1. Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a flexión.....	127
4.6.2. Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a compresión	135
4.6.3. Prueba de hipótesis para dureza.....	145
4.4 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA CARROCERA.....	148
CAPÍTULO V	155
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
5.4. CONCLUSIONES.....	155
5.5. RECOMENDACIONES	157
BIBLIOGRAFÍA	158
ANEXOS	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Enfoque multidisciplinario de la ciencia de los materiales [10].....	5
Figura 2. Clasificación de los materiales compuestos [12].....	6
Figura 3. Composición del material compuesto [13].....	7
Figura 4. Proceso de curado de la Resina Poliéster [17].....	9
Figura 5. Morfología de las partículas de caucho de neumáticos reciclados a 40x. .	12
Figura 6. Moldeo por compresión en frío [23].....	13
Figura 7. Procedimiento A: Diagrama de carga [24].	17
Figura 8. Procedimiento A: Diagrama de carga [24].	17
Figura 9. Proceso de fabricación del material compuesto.....	29
Figura 10. Probeta para ensayo a flexión según la norma ASTM D7264-07.	31
Figura 11. Probeta para ensayo a compresión según la norma ASTM D695-15.....	31
Figura 12. Probeta para ensayo de dureza según la norma ASTM D785-03 y/o ASTM D2240-05	31
Figura 13. Distribución de las probetas a flexión en el área de trabajo del molde, dimensiones en <i>mm</i>	32
Figura 14. Distribución de las probetas de dureza en el área de trabajo del molde, dimensiones en <i>mm</i>	32
Figura 15. Molde para probetas a compresión.	33
Figura 16. Aplicación de la cera desmoldante en el molde.....	40
Figura 17. a) Pesaje de la resina poliéster, b) pesaje de las partículas de caucho, y c) medición del estireno, peróxido y cobalto.	40
Figura 18. Materiales preparados.	41
Figura 19. Elaboración de la matriz.	41
Figura 20. Combinación de la matriz y el refuerzo.....	41
Figura 21. Colado y distribución del compuesto sobre el molde.....	42
Figura 22. Compresión del compuesto.....	42
Figura 23. Lámina de material compuesto para probetas a flexión.	42
Figura 24. Corte de las probetas.....	43
Figura 25. Fabricación de probetas a compresión.....	44

Figura 26. Obtención de cilindros de material compuesto para probetas a compresión.	45
Figura 27. Sellos de Calibración INEN de la Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50.....	48
Figura 28. Ensayo de Flexión.	49
Figura 29. Ensayo a compresión.	70
Figura 30. Ensayo a compresión.	71
Figura 31. Ensayo a compresión.	92
Figura 32. Durómetro Universal ERNST modelo NR3 DR.	94
Figura 33. Durómetro Shore A.	94
Figura 34. Ensayo de Fractografía	105
Figura 35. Croquis de la probeta a flexión en SolidWorks.	122
Figura 36. Plano isométrico de la probeta y punto de referencia.....	122
Figura 37. Propiedades del material compuesto.	123
Figura 38. Análisis estático.	123
Figura 39. Sujeciones.	124
Figura 40. Aplicación de la carga $P = 18,93 N$	124
Figura 41. Resultado de la simulación en SolidWorks.	125
Figura 42. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales del esfuerzo máximo de flexión: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1. ...	128
Figura 43. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales del módulo de elasticidad de flexión: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.....	131
Figura 44. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales de la deformación máxima: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.	133
Figura 45. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales del esfuerzo máximo de compresión: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.....	136
Figura 46. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales del esfuerzo de fluencia: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.	138

Figura 47. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales del módulo de elasticidad de compresión: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.....	141
Figura 48. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales de la deformación por compresión: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.	143
Figura 49. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales de dureza: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.....	146
Figura 50. Vista Isométrica del cerco de faro en SolidWorks.	148
Figura 51. Cerco de faro fabricada con el mejor grupo de material compuesto.	149
Figura 52. Parámetros para análisis aerodinámico.....	149
Figura 53. Área frontal del cerco de faro.	150
Figura 54. Respuesta al túnel del viento del cerco de faro de 3 mm de espesor.....	151
Figura 55. Respuesta al túnel del viento del cerco de faro de 4 mm de espesor.....	151
Figura 56. Respuesta al túnel del viento del cerco de faro de 5 mm de espesor.....	151
Figura 57. Sujeciones y cargas para análisis estático.....	152
Figura 58. Factor de seguridad del cerco de faro de 3 mm de espesor.	152
Figura 59. Factor de seguridad del cerco de faro de 4 mm de espesor.	153
Figura 60. Factor de seguridad del cerco de faro de 5 mm de espesor.	153
Figura 61. Cerco de faro de un bus Hino AK de la carrocería Santa Cruz.	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matrices poliméricas para materiales compuestos [14].	8
Tabla 2. Propiedades de la resina POL® 33000 curada sin reforzar.	10
Tabla 3. Número de muestra por composición.	24
Tabla 4. Variable Independiente.	25
Tabla 5. Variable Dependiente.....	26
Tabla 6. Características de las probetas según normativa ASTM.....	30
Tabla 7. Área y volumen por probeta y molde.....	33
Tabla 8. Valores de volumen y masa por probeta.....	34
Tabla 9. Cálculo de cantidades en masa y volumen para la preparación del material compuesto.	35

Tabla 10. Equipos y materiales utilizados para la fabricación de probetas.	36
Tabla 11. Probetas para ensayo a flexión por composición.	43
Tabla 12. Probetas para ensayo a compresión por composición.	45
Tabla 13. Probetas para ensayo de dureza por composición.	47
Tabla 14. Nomenclatura del tipo de falla evaluado según los criterios de la norma ASTM D7264-07.	49
Tabla 15. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden 0%Ref+C sometido a ensayo a flexión.	50
Tabla 16. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+30%+C sometido a ensayo a flexión.	52
Tabla 17. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+35%+C sometido a ensayo a flexión.	54
Tabla 18. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+40%+C sometido a ensayo a flexión.	56
Tabla 19. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+30%+C sometido a ensayo a flexión.	58
Tabla 20. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+35%+C sometido a ensayo a flexión.	60
Tabla 21. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+40%+C sometido a ensayo a flexión.	62
Tabla 22. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+30%+C sometido a ensayo a flexión.	64
Tabla 23. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+35%+C sometido a ensayo a flexión.	66
Tabla 24. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+40%+C sometido a ensayo a flexión.	68
Tabla 25. Recolección de los datos promedios del material compuesto sometido a ensayo a flexión.	70
Tabla 26. Ficha Técnica de recolección de datos del material de orden 0%Ref+C sometido a ensayo a compresión.	72
Tabla 27. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+30%+C sometido a ensayo a compresión.	74

Tabla 28. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+35%+C sometido a ensayo a compresión.	76
Tabla 29. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+40%+C sometido a ensayo a compresión.	78
Tabla 30. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+30%+C sometido a ensayo a compresión.	80
Tabla 31. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+35%+C sometido a ensayo a compresión.	82
Tabla 32. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+40%+C sometido a ensayo a compresión.	84
Tabla 33. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+30%+C sometido a ensayo a compresión.	86
Tabla 34. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+35%+C sometido a ensayo a compresión.	88
Tabla 35. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+40%+C sometido a ensayo a compresión.	90
Tabla 36. Recolección de los datos promedios del material compuesto sometido a ensayo a compresión.	92
Tabla 37. Norma aplicada para ensayo de dureza para los diferentes grupos de material en estudio.	93
Tabla 38. Ficha Técnica de recolección de datos del material polimérico de orden 0%Ref+C sometido a ensayo de dureza.	95
Tabla 39. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+30%+C sometido a ensayo de dureza.	96
Tabla 40. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+35%+C sometido a ensayo de dureza.	97
Tabla 41. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+40%+C sometido a ensayo de dureza.	98
Tabla 42. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+30%+C sometido a ensayo de dureza.	99
Tabla 43. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+35%+C sometido a ensayo de dureza.	100

Tabla 44. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+40%+C sometido a ensayo de dureza.	101
Tabla 45. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+30%+C sometido a ensayo de dureza.	102
Tabla 46. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+35%+C sometido a ensayo de dureza.	103
Tabla 47. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+40%+C sometido a ensayo de dureza.	104
Tabla 48. Recolección de los datos promedios del ensayo de dureza.....	105
Tabla 49. Probetas de Fractografía.....	106
Tabla 50. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G1+30%+C.	106
Tabla 51. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G1+35%+C.	108
Tabla 52. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G1+40%+C.	109
Tabla 53. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G2+30%+C.	110
Tabla 54. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G2+35%+C.	111
Tabla 55. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G2+40%+C.	112
Tabla 56. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G3+30%+C.	113
Tabla 57. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G3+35%+C.	114
Tabla 58. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G3+40%+C.	115
Tabla 59. Análisis de las propiedades mecánicas promedios del material compuesto sometido a ensayo de flexión.....	116
Tabla 60. Análisis de las propiedades mecánicas promedios del material compuesto sometido a ensayo de compresión.	117

Tabla 61. Análisis de las propiedades mecánicas promedios del material compuesto sometido a ensayo de dureza.	119
Tabla 62. Interpretación de resultados de los ensayos a flexión, compresión y dureza.	120
Tabla 63. Propiedades mecánicas del material compuesto 30% refuerzo G1+70% matriz.	121
Tabla 64. Datos muestrales del esfuerzo máximo de flexión de Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.....	128
Tabla 65. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales del esfuerzo máximo de flexión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.....	129
Tabla 66. Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo de flexión.	129
Tabla 67. Datos muestrales del módulo de elasticidad de flexión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.....	130
Tabla 68. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales del módulo de elasticidad de flexión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.....	131
Tabla 69. Prueba de hipótesis para el módulo de elasticidad de flexión.....	132
Tabla 70. Datos muestrales de la deformación máxima de la Resina poliéster y el Compuesto de 30%G1.....	133
Tabla 71. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales de la deformación máxima de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.....	134
Tabla 72. Prueba de hipótesis para la deformación máxima.....	134
Tabla 73. Datos muestrales del esfuerzo máximo de compresión de Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.....	135
Tabla 74. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales del esfuerzo máximo de compresión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.	136
Tabla 75. Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo de compresión.....	137
Tabla 76. Datos muestrales del esfuerzo de fluencia de Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.	138

Tabla 77. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales del esfuerzo de fluencia de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.	139
Tabla 78. Prueba de hipótesis para el esfuerzo de fluencia.....	139
Tabla 79. Datos muestrales del módulo de elasticidad de compresión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.	140
Tabla 80. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales del módulo de elasticidad de compresión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.	141
Tabla 81. Prueba de hipótesis para el módulo de elasticidad de compresión.	142
Tabla 82. Datos muestrales de la deformación por compresión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.....	143
Tabla 83. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales de la deformación por compresión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.....	144
Tabla 84. Prueba de hipótesis para la deformación por compresión.....	144
Tabla 85. Datos muestrales del ensayo de dureza de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.	145
Tabla 86. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales de dureza de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.....	146
Tabla 87. Prueba de hipótesis para la dureza.	147
Tabla 88. Resultados del análisis aerodinámico.	150

RESUMEN EJECUTIVO

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

AUTOR: Carolina Nataly Acosta Benavides

TUTOR: Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

La adición de partículas de caucho de neumático reciclados en polímeros termoestables es una forma de promover el reciclaje de los neumáticos en desuso, sustituyendo materiales tradicionales por materiales compuestos amigables con el medioambiente, por esta razón, el presente proyecto tuvo como objetivos obtener el material compuesto de partículas de caucho de neumáticos reciclados y resina poliéster con concentraciones de refuerzo del 30%, 35% y 40% para tres distintos tamaños de partículas, elaborar probetas según normativas y caracterizar el material compuesto mediante ensayos a Flexión, Compresión y Dureza bajo las normativas ASTM D7264-07, ASTM D695-15, ASTM D785-03 y ASTM D2240-05 respectivamente y Fractografía. Esto permitió obtener experimentalmente las propiedades mecánicas del material compuesto obteniendo como resultado que la combinación del 30% partículas de caucho de granulometría G1 y 70% resina poliéster presentó las mejores propiedades mecánicas con: el esfuerzo máximo de flexión de 13,16 *MPa*, módulo de elasticidad de flexión de 425,46 *MPa*, deformación máxima de 3,21%, esfuerzo máximo de compresión de 7,49 *MPa*, esfuerzo de fluencia de 1,94 *MPa*, módulo de elasticidad de compresión de 37,40 *MPa*, deformación por compresión de 20,29%, y dureza de 17,01 Rockwell. Además, se determinó que la incorporación de partículas de caucho en la resina poliéster inciden negativamente en los esfuerzos máximos de flexión y compresión, módulos de elasticidad de flexión y compresión, y dureza, pero soporta mayores deformaciones tanto a flexión y compresión. El material compuesto es adecuado para la fabricación de cercos de faros de un bus Hino AK con un espesor mínimo de 3 *mm*, ya que cumple con un factor de seguridad mínimo de 2,931, asegurando el adecuado funcionamiento de la pieza en condiciones aerodinámicas.

Palabras claves: Material Compuesto, partículas de caucho, neumáticos reciclados, resina poliéster, propiedades mecánicas

EXECUTIVE SUMMARY

ANALYSIS OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF A COMPOSITE OF POLYMERIC MATRIX REINFORCED WITH RECYCLED TIRES RUBBER PARTICLES AND ITS IMPACT IN THE MECHANICAL PROPERTIES.

AUTHOR: Carolina Nataly Acosta Benavides

TUTOR: Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

The addition of recycled tires rubber particles in thermostable polymers is a shape to promote the recycling of scrap tires, replacing traditional materials with environment friendly composite material, for this reason, the present project had as objectives to obtain the composite of recycled tires rubber particles and polyester resin with reinforcement concentrations of 30%, 35% and 40% for three different sizes of particles, manufacture test pieces standard and characterize the composite through Flexural, Compressive and Hardness tests under the standards ASTM D7264-07, ASTM D695-15, ASTM D785-03 and ASTD 2240-05 respectively and Fractography. This allowed to obtain experimentally the mechanical properties of the composite, obtaining as a result that the combination of 30% rubber particles of G1 particle size and 70% polyester resin presented the best mechanical properties with: the maximum flexural stress of 13,16 *MPa*, flexural modulus of elasticity of 425,46 *MPa*, maximum strain of 3,21%, maximum compressive stress of 7,49 *MPa*, yield stress of 1,94 *MPa*, compressive modulus of elasticity of 37,40 *MPa*, compressive strain of 20,29%, and 17,01 Rockwell hardness. Also, it was determined that the incorporation of rubber particles in the polyester resin had a negative impact on the maximum flexural and compressive stress, flexural and compressive modulus of elasticity, and hardness, but it bear higher flexural and compressive strain. The composite material is adequate for the manufacture of headlights edge of a Hino AK bus with a minimum thickness of 3 *mm*, because it complies with a minimum safety factor of 2,931, ensuring the suitable performance of the piece in aerodynamic conditions.

Keywords: Composite material, rubber particles, recycled tires, polyester resin, mechanical properties.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

1.2. ANTECEDENTES

Los materiales compuestos surgen de la necesidad de crear materiales de propiedades diferentes a los cerámicos, plásticos y metales. En los últimos años ha sido foco de investigación alrededor del mundo, ya que se han desarrollado diversas investigaciones en base al estudio de nuevos materiales compuestos con variedad de refuerzos, pero pocas las investigaciones y/o estudios de materiales compuestos de matriz polimérica y partículas de cauchos. Algunas investigaciones que han estudiado un material compuesto de matriz polimérica y partículas de cauchos de neumáticos reciclados o en desuso son:

Olmos, Vela, Alvares, & Gonzales [1], utilizaron partículas de caucho de neumáticos en desuso para modificar una base epoxi termoendurecible con el objetivo de estudiar el comportamiento mecánico del material. El contenido en peso de partículas de caucho para las muestras fue 0%, 1%, 2%, 4% y 10%, por lo tanto, evaluaron dos variables: el efecto del contenido y el tamaño de las partículas. A partir de los resultados obtenidos, determinaron que para concentraciones menores al 4%, el comportamiento del material en condiciones más hostiles (Ensayo Charpy), se mantiene o aumenta ligeramente la energía absorbida por el material, mientras que la fuerza máxima aplicada y la energía total absorbida en la ruptura aumenta al disminuir el tamaño de la partícula; los resultados evidencian que el tamaño de la partícula es una variable que influye directamente en el rendimiento final del material bajo estudio.

Según Abu-Jdayil et al [2], en su estudio desarrollado a un compuesto de poliéster insaturado con concentraciones volumétricas de caucho como material aislante de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% y 40%, resultó que a medida que aumenta la concentración de partículas de caucho reducen notablemente los valores de la resistencia a la compresión y tensión, así como los módulos del compuesto, y mientras menor sea el tamaño de la partícula, menor serán estas propiedades.

Valášek, Müller, & Ružbarský [3], mediante la fabricación de un material compuesto de resina epoxi y poliuretano que se rellena con el caucho reciclado, corroboraron la hipótesis de otros autores; la presencia de partículas inorgánicas tienen un impacto negativo en las propiedades mecánicas del compuesto. Demostraron que a medida que aumenta la concentración de partículas de caucho reciclado disminuyen proporcionalmente propiedades de dureza, resistencia a la tracción y cizalladura. Sin embargo, muestran una de las formas de utilización de residuos de caucho originado por el reciclaje de neumáticos mediante la inclusión de estos en materiales poliméricos, siendo así un tipo de reciclaje rentable y respetuoso con el medio, ya que estos materiales compuestos pueden ser adecuados para aplicaciones donde no se requiere valores altos de resistencia. También, Silva et al. [4], en su investigación promueven la reutilización de los residuos industriales mediante la producción de un material sostenible que cumpla con estándares y normas técnicas de la industria brasileña e internacionales. Estudiaron el efecto que produce los residuos de caucho de los neumáticos reciclados en las propiedades físicas y mecánicas de un material compuesto de matriz polimérica termorrígida. El material compuesto se constituyó de matriz polimérica de resina epoxi con y sin adición de anhídrido maleico (1,5% en masa), y partículas de caucho con concentraciones en masa del 10%, 25% y 50%. Como resultado relevante obtuvieron que para la concentración en masa de 25% partículas de caucho del tamaño 100/200 US-Tyler, mostró aplicaciones comprometedoras en ingeniería, además de ser un porcentaje significativo de reutilización de residuos de caucho en la producción de este material.

En el Ecuador se han realizado varias investigaciones sobre materiales compuestos, pero principalmente en Tungurahua al ser la industria carrocería uno de los pilares de la economía de la provincia y del país, la carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato ha aportado con

varias investigaciones de nuevos materiales compuestos e híbridos, Pero hasta la actualidad en el país, no existe ningún estudio relacionado con la caracterización de un material compuesto a base de matriz polimérica con partículas de caucho de neumáticos reciclados.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los neumáticos de desecho son una gran problemática a nivel mundial, ya que cada año se desecha aproximadamente 1,5 billones de neumáticos; a pesar de ser recauchados y reutilizados esto hasta cierto punto, llegan al final de su vida útil y son difíciles de procesar para cualquier tipo de reciclaje debido a que es un material no biodegradable formado por una mezcla compleja de materiales como: el caucho natural y sintético, fibra y alambre [5]. Mediante el transcurso de los años, en los países desarrollados, las regulaciones implementadas para la disposición de neumáticos de desechos se han modificado con el propósito de hacer más estricto el cumplimiento de estas. La globalización ha sido el principal motivo que ha llevado a países en vías en desarrollo a que también implementen ciertas políticas medioambientalistas para hacer en la población consciencia ambiental además de cumplir con ciertas exigencias de los tratados de comercio exterior [6].

En el Ecuador, el “Ministerio del Ambiente MAE” en el año 2013 implementó normativas técnicas para la gestión integral de los residuos sólidos, basada en la “Responsabilidad Extendida del Productor (REP)” en la que las tareas de recolección y recuperación/reciclaje de ciertos productos son asignadas a los productores e importadores. En el año 2015 se creó el Acuerdo Ministerial (AM) 098 donde se estableció metas de recuperación del 30% de neumáticos fuera de uso de lo expendido en el mercado para ese año [7].

Según Paredes, Pérez & Castro [8], las industrias manufactureras de índole estructural y automotriz buscan la aplicación de materiales amigables con el medio ambiente con propiedades mecánicas que satisfagan los esfuerzos a los que se someta sus productos.

En la actualidad la industria presenta varias exigencias y obligaciones medioambientales, razón por la cual mediante el estudio del material compuesto de matriz polimérica reforzada con partículas de caucho de neumáticos reciclados se busca sustituir materiales tradicionales por un material compuesto reutilizando los

residuos que generan los neumáticos en desuso como es el caucho mediante la inclusión de partículas de caucho para la fabricación del material cuyas propiedades mecánicas sean aceptables para la manufactura de elementos/piezas para el sector industrial, además de contribuir a la reducción de desechos en el medio ambiente y a su vez beneficiar directamente al sector carroceros de la provincia de Tungurahua.

También, este trabajo tuvo como necesidad contribuir al proyecto de investigación “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN PARTES EXTERIORES DE CARROCERÍAS DE LA INDUSTRIA CARROCERA DE TUNGURAHUA” ejecutado en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, a partir del estudio del material compuesto mencionado con concentraciones del 30%, 35% y 40% partículas de caucho de neumáticos reciclados y el 70%, 65% y 60% de matriz polimérica respectivamente.

El trabajo experimental se pudo llevar a cabo debido a que contó con materiales y equipos necesarios para su desarrollo asignados por la coordinación del proyecto de investigación antes mencionado.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Analizar las características mecánicas de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas de caucho de neumáticos reciclados y su incidencia en las propiedades mecánicas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Obtener el material compuesto de partículas de caucho (30%, 35% y 40%) y matriz polimérica (70%, 65% y 60% respectivamente).
- Elaborar probetas según normativa ASTM para ensayos a flexión, compresión y dureza.
- Caracterizar el material compuesto mediante el ensayo a flexión, compresión, dureza y Fractografía.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Ciencia e Ingeniería de Materiales

La ciencia e ingeniería de los materiales es un campo extenso e interdisciplinario que combina muchas áreas de la ciencia principalmente la química, la física y la ingeniería para el estudio e investigación de la modificación de la composición y estructura de los materiales por medio del control de sus propiedades mediante síntesis y procesamiento. En la Figura 1, se muestra el enfoque multidisciplinario de la ciencia de los materiales, el término composición se refiere cómo está constituido químicamente el material; el término estructura se refiere a la disposición de los átomos; el término síntesis se refiere a cómo se fabrican los materiales; y el término procesamiento significa cómo se conforman los materiales en compuestos útiles para cambiar las propiedades de distintos materiales. Esto con la finalidad de hacer más útil, económico y eficiente un nuevo material compuesto [9].

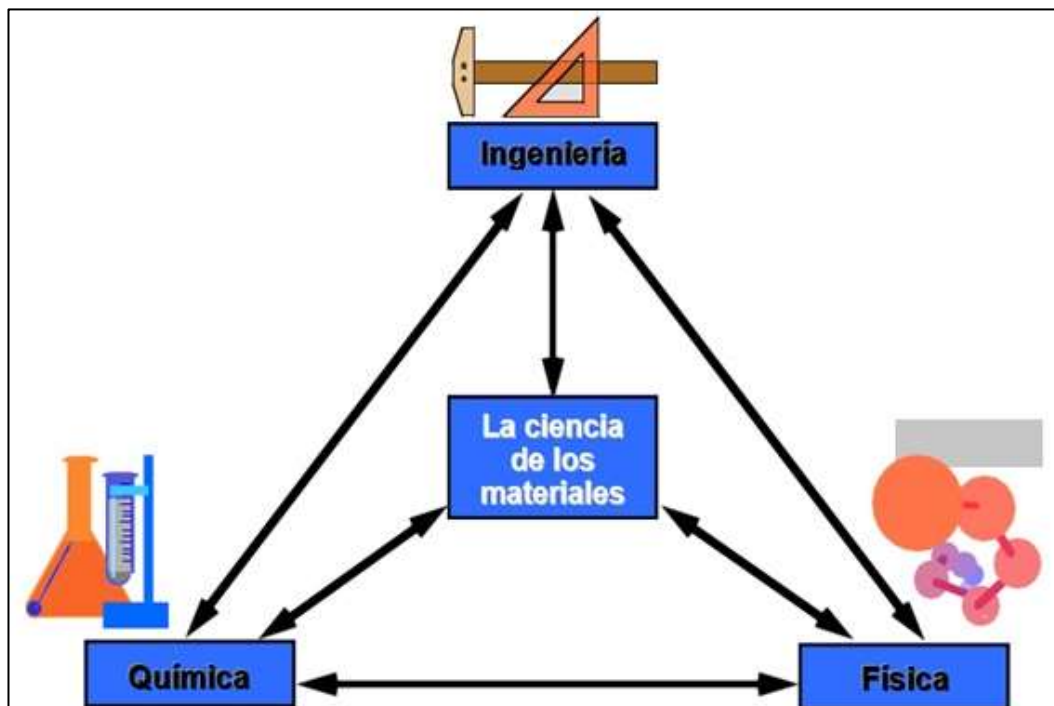


Figura 1. Enfoque multidisciplinario de la ciencia de los materiales [10].

2.1.2. Material Compuesto

Se conoce como material compuesto a la unión o ensamble de dos o más materiales de diferente naturaleza. Estos materiales poseen una interfase discreta y reconocible que los aparta, por ello se considera como una mezcla heterogénea cuyas propiedades son disímiles en todo el volumen que conforman el compuesto [11].

2.1.3. Clasificación de Materiales Compuestos

Los materiales compuestos pueden clasificarse en dos grupos:

A. *Por la naturaleza de su matriz*

De acuerdo con la naturaleza de su matriz se subdividen en los siguientes tres grupos:

- Compuestos de matriz polimérica.- Principalmente son reforzados con fibras como: la fibra de vidrio, fibra de carbono o aramidas, etc.
- Compuestos de matriz cerámica.- Conservan las propiedades de los metales como el elevado módulo de elasticidad, la elevada resistencia mecánica.
- Compuesto de matriz metálica.- Estos materiales están formados por una matriz cerámica y un refuerzo de fibras cortas, o whiskers de carburo de silicio o nitruro de boro

B. *Por la forma del refuerzo*

En la Figura 2, mediante un mapa conceptual se representa la clasificación de los materiales compuestos por la forma del refuerzo.

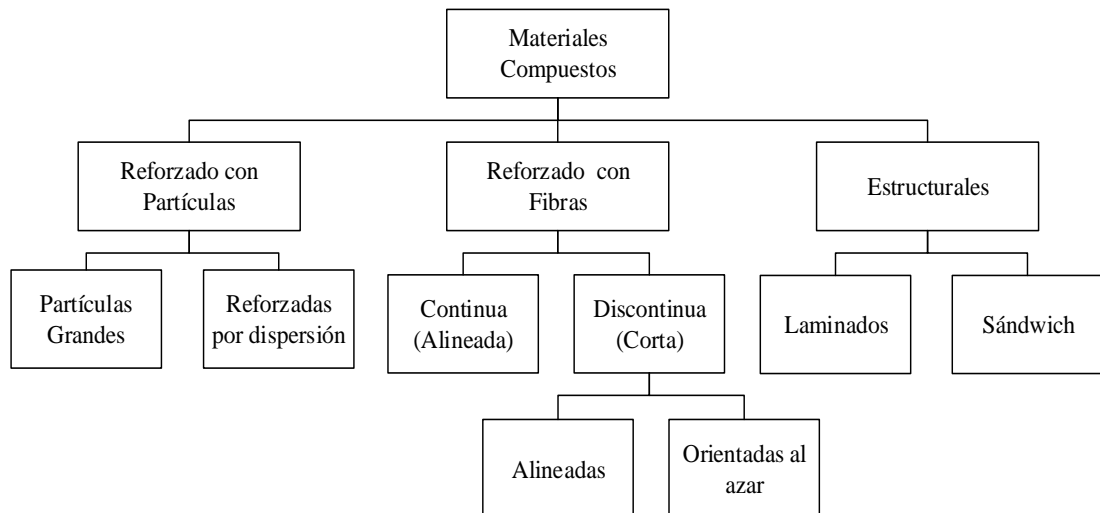


Figura 2. Clasificación de los materiales compuestos [12].

2.1.4. Composición del Material Compuesto

Un material compuesto está conformado por una fase continua y una o más fases discontinuas; la fase continua corresponde al material de la matriz, mientras que la fase discontinua también conocida como fase dispersa corresponde al material del refuerzo y es aquel que está distribuido en la fase continua como se muestra en la Figura 3.

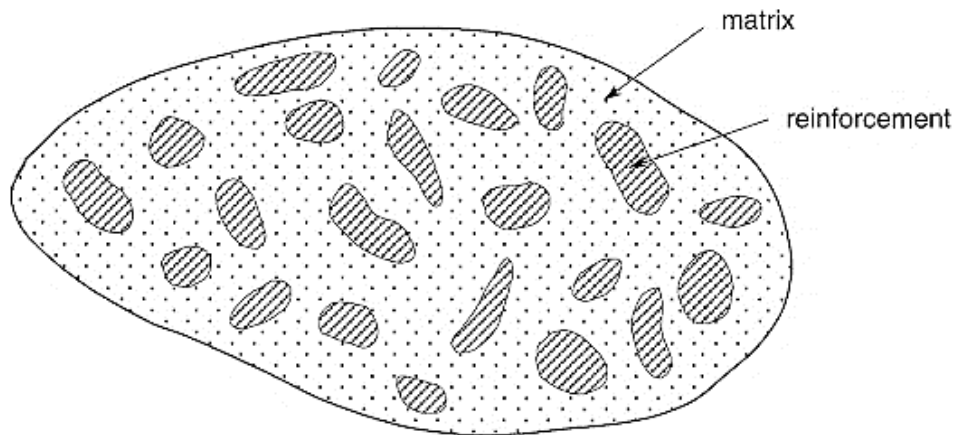


Figura 3. Composición del material compuesto [13].

Los materiales compuestos habituales están constituidos de una fase continua y una fase dispersa, mientras que los compuestos conformados por dos o más fases dispersas distintas se le conoce como material híbrido.

2.1.4.1. Matriz

Como ya se mencionó, la matriz es la fase continua del material compuesto en donde el refuerzo permanece “embebido”. Entre las principales funciones que cumple la matriz esta: definir las propiedades físicas y químicas de los compuestos, transmitir y distribuir las cargas del refuerzo, proteger y brindar unión, y determinar ciertas características del material compuesto como la conformabilidad y el acabado superficial.

Existen diferentes tipos de materiales que suelen ser utilizados como matrices, entre estos tenemos:

- Matrices poliméricas,
- Matrices metálicas,
- Matrices cerámicas, y
- Matrices fenólicas y de carbono [11].

Tipos de Matrices Poliméricas

Los materiales compuestos de matriz polimérica son aquellos que están constituidos de algún tipo de resina (polímero en estado líquido). En la Tabla 1, se describen los diferentes tipos de matrices poliméricas utilizadas para la fabricación de materiales compuesto. Para esta investigación se utilizó resina de poliéster insaturado, la misma que corresponde al grupo de los termoestables.

Tabla 1. Matrices poliméricas para materiales compuestos [14].

Resinas	Clasificación
Termoplásticos	Polipropileno (PP)
	Poliámidas (PA)
	Policarbonato (PC)
	Poliésteres Saturados (PET, PBT)
	Poliacetales (POM)
	Polieteretercetonas (PEEK)
	Polímeros fluorados (PF)
Termoestables	Poliésteres Insaturados (UP)
	Poliepóxicos (EP)
	Poliámidas (PI)
	Poliesterilpirioínas (PSP)
	Fenoplastos (PF)
Elastoméricas	Poliuretanos (PU)
	Silicona (SI)

Resina Poliéster

El término resina se refiere a que el material polimérico aún está en estado líquido. Dentro de las resinas termoestables se considera como más importante a las resinas de poliéster insaturado (UP), ya que son las más utilizadas en la fabricación de materiales compuestos. Las resinas UP se constituyen principalmente de poliéster insaturado y el solvente, que por lo general es estireno que además participa en el curado del material compuesto. Las resinas UP son obtenidas por polimerización por condensación, donde

al menos dos grupos de monómeros disfuncionales (“di” significa dos y “funcional” en química significa reactivo) deben participar en la reacción de tal modo que se unan; el término “poliéster” se forma de la unión de dos vocablos: “poli” se denomina a los polímeros formados por condensación y “ésteres” corresponde al grupo de la entidad creada en la reacción [15].

El proceso de transformación de estado líquido a sólido se lo denomina curado, polimerización o endurecimiento y se produce por medio de una reacción exotérmica a partir de la adición de acelerador y catalizador a la resina poliéster; en las resinas UP el agente acelerante se llama octoato de cobalto y el agente catalizador se llama MEK (metil-etil-cetona) peróxido. Esta transformación no se produce inmediatamente, ya que se genera de forma gradual como se muestra en la Figura 4; inicialmente pasa de estado líquido a gelatinoso (tiempo/estado de gel) hasta finalmente alcanzar un estado sólido [16].

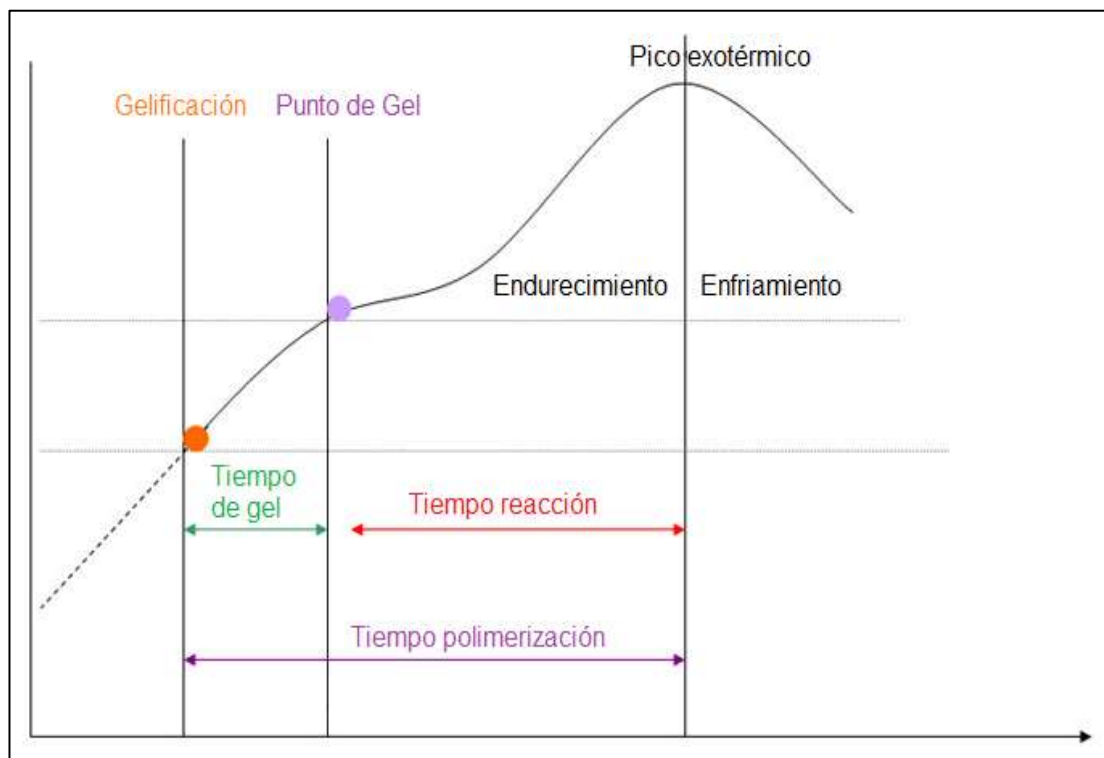


Figura 4. Proceso de curado de la Resina Poliéster [17].

La resina utilizada para la fabricación del material compuesto en estudio fue la Resina Poliéster Ortoftálica de propósito general POL® 33000 de la empresa Andercol S.A., la misma que cuenta con certificación ISO 9001 e ISO 14001 (ANEXO 1. Ficha

Técnica). En la Tabla 2 se describen las propiedades de la resina POL® 33000 curada sin reforzar con una duración de curado de 24 horas a 25°C.

Tabla 2. Propiedades de la resina POL® 33000 curada sin reforzar.

Propiedad	Método	Sistema Internacional		Sistema Ingles	
		Unidad	Valor	Unidad	Valor
Tensión					
Esfuerzo de tensión	<i>ASTM D638</i>	<i>MPa</i>	45	<i>psi</i>	6526,70
Módulo	<i>ASTM D638</i>	<i>GPa</i>	3,60	<i>Kpsi</i>	522,13
Deformación	<i>ASTM D638</i>	%	2,40	%	2,40
Flexión					
Esfuerzo de flexión	<i>ASTM D790</i>	<i>MPa</i>	113	<i>psi</i>	16389,26
Módulo	<i>ASTM D790</i>	<i>GPa</i>	3,77	<i>Kpsi</i>	546,80
Deformación	<i>ASTM D790</i>	%	3,52	%	3,52
Otras propiedades					
Contracción volumétrica		%	5,46	%	5,46
HDT	<i>ASTM D648</i>	<i>C</i>	60	<i>F</i>	140
Dureza	<i>ASTM D2583</i>	<i>Barcol</i>	42	<i>Barcol</i>	42
Absorción de agua	<i>ASTM D570</i>	%	0,10	%	0,10

Fuente: Andercol S.A.

2.1.4.2. Refuerzo

Como ya se mencionó, el refuerzo es la fase discontinua o dispersa del material compuesto cuya función principal es modificar las propiedades de la matriz [18].

Tipos de Refuerzos

Existen gran variedad de materiales que puede ser utilizados como refuerzos para la elaboración de un material compuestos de alta resistencia, entre estos tenemos:

- Fibra de vidrio
- Fibra de carbono
- Fibra de aramida
- Fibra de boro

- Fibras naturales
- Refuerzos especiales
- Estructuras textiles
- Partículas
- Whiskers o bigotes (monocristales cerámicos)

Desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, se puede obtener una gran mejora mediante el uso de fibras continuas, reforzando en dirección del esfuerzo aplicado; mientras que con whiskeras y partículas se produce disminución de la resistencia, pero se obtiene una gran isotropía en el material [19].

Refuerzos con partículas

Los materiales compuestos reforzados con partículas son considerados como los más utilizados debido a su bajo costo. Como se muestra en la Figura 2, estos tipos de compuestos se subdividen en:

- Compuestos reforzados con partículas grandes, que actúan al restringir el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula. La matriz transfiere parte del esfuerzo aplicado a las partículas, que soportan una fracción de la carga. El grado de refuerzo o mejora del comportamiento mecánico depende de una fuerte unión en la interfaz matriz-partícula.
- Compuestos reforzados por dispersión, que contienen partículas mucho más pequeñas entre 10 – 100 nm. La matriz soporta mayor parte de la carga aplicada y las partículas pequeñas dificultan el movimiento de las dislocaciones, por lo tanto, limitan la deformación plástica, de tal manera que mejoran el rendimiento y la resistencia a la tracción y la dureza [20], [21].

Partículas de caucho

Para esta investigación se utilizó partículas de caucho de neumáticos reciclados de tres diferentes granulometrías. Para determinar el tamaño de las tres granulometrías de partículas se realizó el ensayo de granulometría de suelos en la máquina tamizadora del Laboratorio de Mecánica de Suelos – FICM de la Universidad Técnica de Ambato y se utilizó tamices de malla número: 4, 8, 10, 16, 30, 40, 50, 60, 100 y 200 (ANEXO 2. Ficha Técnica).

Las medidas obtenidas fueron:

- Para G1: 0,05 mm – 0,60 mm
- Para G2: 0,60 mm – 1,18 mm
- Para G3: 1,18 mm – 2,36 mm.

En la Figura 5, se muestra la morfología de los tres tamaños de partículas, las mismas que fueron denominadas G1, G2 y G3 de menor a mayor tamaño respectivamente; las imágenes mostradas fueron obtenidas con un valor de magnificación de 40x.

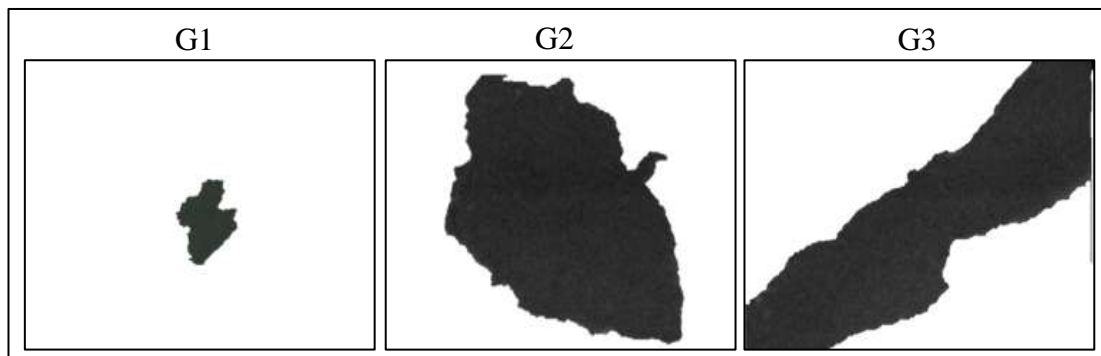


Figura 5. Morfología de las partículas de caucho de neumáticos reciclados a 40x.

Fuente: La Autora

2.1.4.3. Interfase

La interfase es la región de contacto donde la matriz y el refuerzo se unieron, juega un rol importante en las propiedades mecánicas de los materiales compuesto, razón por la que, si ésta es débil, la transferencia de la carga matriz-refuerzo no será eficiente e incluso puede ser que sólo la matriz soporte la carga produciendo fallas hasta llegar a la rotura del elemento o pieza. La interfase depende tanto de las propiedades químicas de la matriz y el refuerzo, por lo tanto, cada interfase de un material compuesto es específica para cada sistema [11], [15]. Para poder lograr una buena unión entre la matriz y el refuerzo es importante considerar la mojabilidad, es decir la capacidad del líquido para extenderse sobre una superficie sólida. Existen distintas uniones en la interfase para materiales poliméricos como la unión mecánica, unión física y unión química [22].

2.1.5. Manufactura de los Materiales Compuestos

Los procesos de fabricación de materiales compuestos en función del molde se dividen en dos métodos: molde abierto y molde cerrado. Dentro del moldeo por molde cerrado

está el método de compresión en frío, el cual se utilizó en este trabajo para la fabricación de láminas del material compuesto en estudio. El moldeo por compresión en frío es una técnica que utiliza la reacción exotérmica producida en la polimerización de la resina. El refuerzo y la matriz se colocan sobre la superficie interna del molde y luego se cierra (tapa) y se le aplica presión como se observa en la Figura 6.

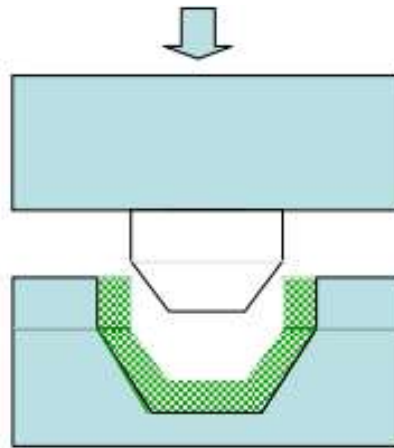


Figura 6. Moldeo por compresión en frío [23].

2.1.6. Fracciones de volumen y peso

Uno de los factores más importantes que determinan las características mecánicas de un material compuesto es la proporción relativa de matriz-refuerzo. Esta proporción se puede presentar como una fracción de volumen o una fracción de peso (masa). Las fracciones en masa son consideradas como las más fáciles de medir al fabricar los materiales compuestos, pero son las fracciones de volumen las que por lo general aparecen en los modelos teóricos, por lo tanto, es importante y/o necesario saber cómo pasar de una fracción a otra.

2.1.6.1. Fracciones de volumen

Se considera que el material compuesto este hecho de un volumen de partículas y un volumen de matriz.

$$v_c = v_p + v_m \quad (1)$$

Donde:

v_c : volumen del compuesto

v_p : volumen de las partículas

v_m : volumen de la matriz

La sumatoria de las fracciones en volumen tanto de partículas y de la matriz va a ser igual a 1.

$$V_p + V_m = 1 \quad (2)$$

Donde:

V_p : fracción de volumen de las partículas

V_m : fracción de volumen de las partículas

La fracción de volumen de las partículas V_p va a ser igual a la relación entre el volumen partículas-matriz.

$$V_p = \frac{v_p}{v_c} \quad (3)$$

La fracción de volumen de la matriz va a ser igual a la relación entre el volumen matriz-partículas.

$$V_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (4)$$

2.1.6.2. Fracciones de peso

Las fracciones de peso en masa se definen de manera similar ya que el material compuesto está constituido de cierta cantidad en peso de partículas de caucho y cierta cantidad en peso de matriz.

$$p_c = p_p + p_m \quad (5)$$

Donde:

p_c : peso del compuesto

p_p : peso de las partículas

p_m : peso de la matriz

La sumatoria de las fracciones de peso de las partículas y la matriz va a ser igual a 1.

$$P_p + P_m = 1 \quad (6)$$

Donde:

P_p : fracción de peso de las partículas

P_m : fracción de peso de las partículas

La fracción de peso de las partículas va a ser igual a la relación entre el peso partículas-matriz.

$$P_p = \frac{p_p}{p_c} \quad (7)$$

La fracción de peso de la matriz va a ser igual a la relación entre el peso matriz-partículas.

$$P_m = \frac{p_m}{p_c} \quad (8)$$

2.1.6.3. Relación volumen-peso

Por definición la relación entre el volumen y el peso del compuesto van a ser igual a la densidad del material compuesto, por lo tanto, los pesos y volúmenes tanto de las partículas y la matriz están vinculados por las siguientes relaciones:

$$p_c = \rho_c v_c \quad (9)$$

$$p_p = \rho_p v_p \quad (10)$$

$$p_m = \rho_m v_m \quad (11)$$

Donde:

ρ_c : densidad del compuesto

ρ_p : densidad de las partículas

ρ_m : densidad de la matriz

Al reemplazar estas relaciones en la ecuación (5), se determina que la densidad del material compuesto ρ_c en función de la fracción del volumen de las partículas y la matriz es igual:

$$\rho_c = \rho_p V_p + \rho_m V_m \quad (12)$$

o sólo en función de la fracción de volumen de las partículas

$$\rho_c = \rho_p V_p + \rho_m (1 - V_p) \quad (13)$$

Del mismo modo, al reemplazar dichas relaciones en la ecuación (1), se obtiene:

$$\frac{p_c}{\rho_c} = \frac{P_p}{\rho_p} + \frac{P_m}{\rho_m}$$

por lo tanto, el peso del volumen del material compuesto en función de las densidades es igual:

$$p_c = \frac{1}{\frac{P_p}{\rho_p} + \frac{P_m}{\rho_m}} \quad (14)$$

Las relaciones entre las fracciones de peso y las fracciones de volumen ahora se pueden establecer a partir de las relaciones de definición:

$$P_p = \frac{p_p}{p_c} = \frac{\rho_p v_p}{\rho_c v_c} = \frac{\rho_p}{\rho_c} V_p$$

$$P_p = \frac{\rho_p}{\rho_c} V_p \quad (15)$$

por lo tanto,

$$P_m = \frac{\rho_m}{\rho_c} V_m \quad (16)$$

Las relaciones inversas se obtienen de la misma manera, se deduce que:

$$V_p = \frac{\rho_p}{\rho_c} P_p \quad (17)$$

$$V_m = \frac{\rho_m}{\rho_c} P_m \quad (18)$$

2.1.7. Ensayos de Materiales

Se conoce como ensayo de materiales a las pruebas a las que se somete a un material con el propósito de determinar sus propiedades mecánicas.

2.1.7.1. Ensayo a Flexión

Se empleó el ensayo a flexión bajo la norma ASTM D7264/D7264M-07: “*Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials*”, en español “Método de prueba estándar para las propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero”. Este método de prueba tiene como objetivo determinar rigidez a flexión las propiedades mecánicas de los materiales compuestos de matriz polimérica por medio de dos procedimientos.

- Procedimiento A. Consiste en sistema de cargas de tres puntos, aplicando una carga en el centro de una viga simplemente apoyada, Figura 7.

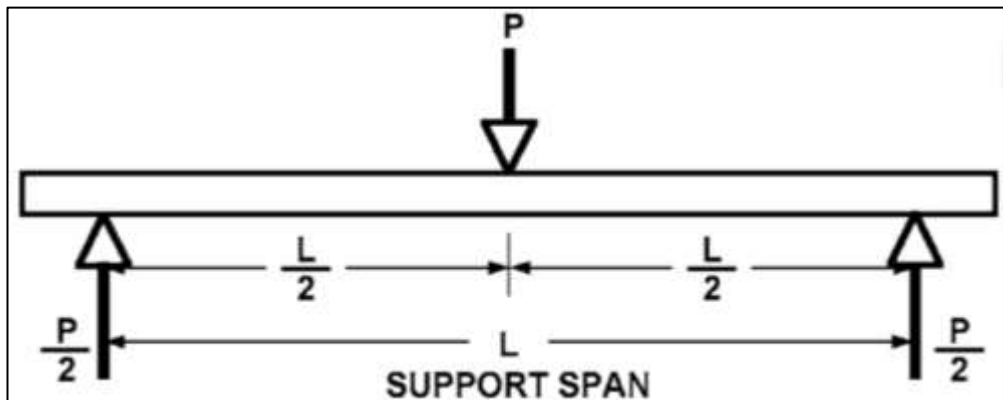


Figura 7. Procedimiento A: Diagrama de carga [24].

- Procedimiento B. Consiste en un sistema de carga de cuatro puntos como se muestra en la Figura 8.

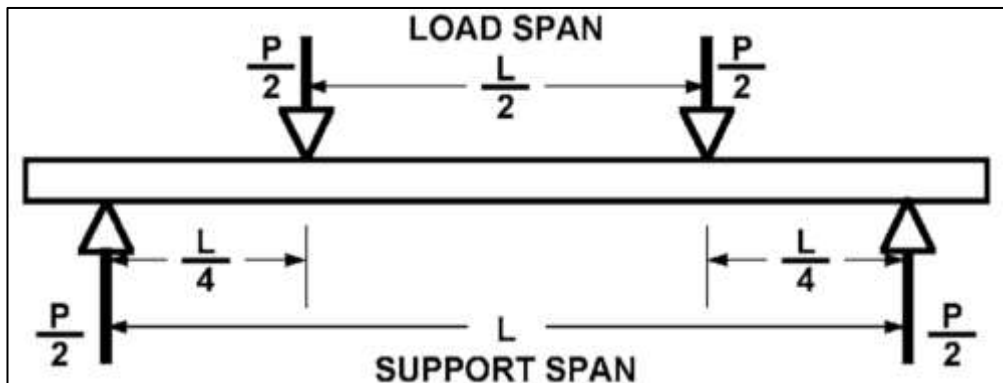


Figura 8. Procedimiento A: Diagrama de carga [24].

Para el ensayo a flexión del material compuesto en estudio se realizó bajo el procedimiento A, por lo tanto, el cálculo de las propiedades mecánicas de las muestras ensayadas se determinó a partir de las siguientes ecuaciones:

- Esfuerzo máximo de flexión

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (19)$$

Donde:

σ_f : esfuerzo máximo de flexión, [MPa]

P : carga aplicada, [N]

L : distancia entre los soportes, [mm]

b : ancho de la viga (muestra), [mm]

h : espesor de la viga (muestra), [mm]

- Deformación máxima

$$\epsilon_f = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (20)$$

Donde:

ϵ_f : deformación máxima en la superficie exterior, [mm/mm]

δ : deflexión en el tramo medio, [mm]

- Módulo de elasticidad de flexión

$$E_f = \frac{\Delta\sigma_f}{\Delta\epsilon_f} \quad (21)$$

Donde:

E_f : módulo de elasticidad de flexión, [MPa]

$\Delta\sigma_f$: diferencia del esfuerzo máximo de flexión entre los dos puntos de deformación seleccionados, [MPa]

$\Delta\epsilon_f$: diferencia entre los dos puntos de deformación seleccionados (nominalmente 0,002), [mm/mm]

Además, la norma establece que para cada serie o grupo de pruebas se deben realizar cálculos estadísticos (valor promedio, desviación estándar y coeficiente de variación) por cada propiedad mecánica determinada.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (22)$$

$$S_{n-1} = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)}{n-1}} \quad (23)$$

$$CV = 100 \cdot \frac{S_{n-1}}{\bar{x}} \quad (24)$$

Donde:

\bar{x} : valor promedio o media muestral

x_i : valor individual de la propiedad media

n : número de especímenes/probetas

S_{n-1} : desviación estándar

CV : coeficiente de variación porcentual

2.1.7.2. Ensayo a Compresión

Se empleó el ensayo a compresión bajo la norma ASTM D695-15: “*Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*”, en español “Método de prueba estándar para las propiedades de compresión de plásticos rígidos”. Este método de prueba tiene como objetivo determinar las propiedades mecánicas de los plásticos rígidos reforzados y no reforzados, incluido los materiales compuestos de alto módulo cuando se cargan en compresión a tasas uniformes relativamente bajas de esfuerzo o carga [25].

El cálculo de las propiedades mecánicas de las muestras ensayadas se determinó a partir de las siguientes ecuaciones:

- Esfuerzo máximo de compresión

$$\sigma_c = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (25)$$

Donde:

σ_c : esfuerzo máximo de compresión, [MPa]

P : carga aplicada, [N]

d : diámetro de la probeta, [mm]

- Esfuerzo de fluencia

$$S_{yc} = \frac{4P_y}{\pi d^2} \quad (26)$$

Donde:

S_{yc} : esfuerzo de fluencia, [MPa]

P_y : carga/fuerza de fluencia, [N]

- Deformación por compresión

$$\epsilon_c = \frac{L_f - L_o}{L_o} \quad (27)$$

Donde:

ϵ_f : deformación por compresión, [mm/mm]

L_f : longitud final de la probeta, [mm]

L_o : longitud inicial de la probeta, [mm]

- Módulo de elasticidad de flexión

$$E_c = \sigma_c \epsilon_c \quad (28)$$

Donde:

E_c : módulo de elasticidad de compresión, [MPa]

La norma también establece que para cada serie o grupo de pruebas se deben realizar cálculos estadísticos (valor promedio, desviación estándar y coeficiente de variación) por cada propiedad mecánica determinada. Se utilizaron las ecuaciones 22, 23 y 24.

2.1.7.3. Ensayo de Dureza

El ensayo de dureza tiene como objeto medir la resistencia a la penetración de la superficie de un material.

Para este estudio se ejecutaron dos normas para la medición de la dureza de las distintas composiciones del material compuesto.

La Norma ASTM D785-03: “*Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials*”, en español “Método de prueba estándar para Dureza Rockwell de plásticos y materiales de aislamiento eléctrico”. La dureza Rockwell generalmente es usada para plásticos más duros [26].

La Norma ASTM D2240-05: “*Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness*”, en español “Método de prueba estándar para cauchos – Dureza”. Esta escala generalmente se usa para materiales más flexibles como: cauchos/elastómeros y plásticos más blando [27].

La norma también establece que para cada serie o grupo de pruebas en el mismo material y a las mismas condiciones, se debe calcular el valor promedio, desviación estándar y coeficiente de variación por cada propiedad mecánica determinada. Se utilizaron las ecuaciones 22, 23 y 24.

2.1.7.4. Ensayo de Fractografía

La Fractografía es un método de análisis de fallas que estudia la superficie de fractura de los materiales. El microscopio electrónico de barridos (SEM) es una herramienta importante para los estudios fractográficos ya que tienen una mejor resolución y profundidad de campo que los microscopios ópticos convencionales [28].

Existen tres pasos básicos para el análisis de Fractografía que se utilizan en todos los estudios basados en experimentos, estos son:

1. Observar,
2. Describir y medir, e
3. Interpretar.

Estos pasos son independientes, pero no deben ser tratados como procesos separados en una investigación [29].

2.2. HIPÓTESIS

El análisis de las características mecánicas de un material compuesto de matriz polimérica reforzada con partículas de caucho de neumáticos reciclados permitirá determinar su incidencia en las propiedades mecánicas.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. Variable Independiente

Análisis de las características mecánicas de un material compuesto de matriz polimérica reforzada con partículas de caucho de neumáticos reciclados.

2.3.2. Variable Dependiente

Propiedades mecánicas

2.3.3. Término de Relación

Permitirá

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

El enfoque utilizado en el presente estudio es el predominante cuantitativo debido a que se realizaron ensayos que permitieron evaluar las características mecánicas del material compuesto constituido de partículas de caucho de neumáticos reciclados como material de refuerzo y matriz polimérica.

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Exploratorio

La investigación fue de tipo exploratorio ya que primero se realizó la recopilación de información correspondiente al tema de estudio a partir de fuentes bibliográficas. Se determinó principalmente las dimensiones y número de probetas mínimas necesarias para cada ensayo propuesto y el procedimiento idóneo para la ejecución del ensayo bajo normativa ASTM.

3.1.2. Descriptivo

El nivel de investigación utilizado en el presente trabajo experimental fue descriptivo debido a que a partir de los ensayos realizados se pudo establecer las propiedades mecánicas del material. También los resultados (datos) obtenidos en los ensayos (Flexión, Compresión, Dureza y Fractografía) permitieron el análisis de estos describiendo el comportamiento del nuevo material compuesto.

3.1.3. Explicativo

Es explicativa ya que se trata de un tipo de investigación cuantitativa y por medio de los resultados obtenidos experimentalmente se comprobó comparativa y estadísticamente la hipótesis planteada con el fin de analizar tanto la variable dependiente e independiente.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población correspondiente para el presente trabajo experimental fueron las probetas fabricadas bajo dimensiones establecidas en las normas ASTM D7264-07 para probetas a flexión, ASTM D695-15 para probetas a compresión, ASTM D785-03 y ASTM D2240-05 para probetas de dureza, de las cuales se fabricaron configuraciones con porcentajes de 30%, 35% y 40% de material de refuerzo (partículas de caucho de neumáticos reciclados) y 70%, 65% y 60% de matriz polimérica (resina poliéster) respectivamente; con cada fracción volumétrica se realizó con tres tamaños de partículas denominadas G1, G2 y G3 correspondiendo a una granulometría menor hacia una mayor respectivamente.

El número de probetas mínimas según la normativa necesarias para cada ensayo son 5, pero se fabricó 7 para cada grupo y/o composición tanto para flexión, compresión y dureza, ya que 2 fueron solicitadas por la institución donde se realizaron los ensayos (Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de Tungurahua), las mismas que fueron útiles para sustituir muestras defectuosas y omitir ciertos datos atípicos.

En la Tabla 3, se detalla la cantidad de probetas fabricadas de acuerdo con el orden de configuración, refuerzo y ensayo, siendo estas un total de 210 probetas. Dentro de este total está considerado la fabricación de probetas con 0% de material de refuerzo, es decir, 100% matriz para cada uno de los ensayos mencionados, mismas que permitieron realizar un mejor análisis de las propiedades mecánicas del material compuesto y su comportamiento en función de la fracción volumétrica.

3.2.2. Muestra

Para esta investigación la muestra fue igual al número mínimo de probetas por ensayo según la normativa antes mencionada, por lo tanto, se estableció una muestra total de 150 probetas de las cuales fueron tomados los valores de las propiedades mecánicas obtenidas en cada uno de los ensayos, los mismos que fueron detallados en fichas de recolección de los datos para el respectivo análisis e interpretación de los resultados realizado en el capítulo 4.

Tabla 3. Número de muestra por composición.

No.	Tipo de refuerzo	Fracción Volumétrica	Tipo de estratificación	Orden	Número de probetas		
					Flexión	Compresión	Dureza
1	N.A.	0%	Compresión (C)	0%+C	7	7	7
2	Tipo A (G1)	30%	Compresión (C)	G1+30%+C	7	7	7
3		35%	Compresión (C)	G1+35%+C	7	7	7
4		40%	Compresión (C)	G1+40%+C	7	7	7
5	Tipo B (G2)	30%	Compresión (C)	G2+30%+C	7	7	7
6		35%	Compresión (C)	G2+35%+C	7	7	7
7		40%	Compresión (C)	G2+40%+C	7	7	7
8	Tipo C (G3)	30%	Compresión (C)	G3+30%+C	7	7	7
9		35%	Compresión (C)	G3+35%+C	7	7	7
10		40%	Compresión (C)	G3+40%+C	7	7	7
Total de probetas					70	70	70

Fuente: La Autora

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variable Independiente

Análisis de las características mecánicas de un material compuesto de matriz polimérica reforzada con partículas de caucho de neumáticos reciclados.

Tabla 4. Variable Independiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítems		Técnicas de Instrumentos	
			Matriz polimérica	Partículas de caucho		
Material compuesto con partículas de caucho de neumáticos reciclados como material de refuerzo y resina poliéster como matriz.	Material compuesto	Fracción Volumétrica	1	60%	40%	<ul style="list-style-type: none"> - Observación directa - Fichas de técnicas - Normas ASTM - Bibliografía
			2	65%	35%	
			3	70%	30%	
		Tipo de partícula	A	N/A	Distribuida al azar	
			B	N/A		
			C	N/A		
		Tipo de estratificación	Compresión			

Tipo A: Tamaño de partícula/granulometría G1

Tipo B: Tamaño de partícula/granulometría G2

Tipo C: Tamaño de partícula/granulometría G3

Fuente: La Autora

3.3.2. Variable Dependiente

Propiedades mecánicas

Tabla 5. Variable Dependiente.

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e Instrumentos
Las propiedades mecánicas muestran el comportamiento del material al aplicar fuerzas/cargas externas hasta un instante determinado, las cuales son evaluadas mediante ensayos específicos bajo normativa.	Flexión	Esfuerzo máximo a la flexión	¿Cuál será el esfuerzo máximo a la flexión?	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos de laboratorio • Normas ASTM • Fichas técnicas de resultados
		Módulo de flexión	¿Cuál será el módulo elástico de flexión?	
		Deformación máxima	¿Cuál será la deformación máxima porcentual?	
	Compresión	Esfuerzo máximo a la compresión	¿Cuál será el esfuerzo máximo a la compresión?	
		Esfuerzo de fluencia	¿Cuál será el esfuerzo de fluencia?	
		Módulo de elasticidad	¿Cuál será el módulo de elasticidad de compresión?	
		Deformación por compresión	¿Cuál será la deformación porcentual por compresión?	
	Dureza	Resistencia a la penetración	¿Cuál será la resistencia a la penetración?	
	Fractografía	Microscopía electrónica	Adherencia ente la matriz y el refuerzo	

Fuente: La Autora

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se aplicó técnicas de tipo documental y observación. La de tipo documental consistió en la recolección de información a partir de fuentes bibliográficas como son: artículos científicos, revistas, fichas técnicas, proyectos de investigación, libros y normas para para la obtención de la teoría idónea para este tipo de material compuesto. La observación directa se aplicó debido a que se tuvo contacto directo con las probetas tanto en su fabricación como al momento de ser ensayadas permitiendo recolectar datos para su registro y análisis a través de tablas y gráficos.

3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Para esta investigación se realizó inicialmente la revisión de la información preestablecida para la fabricación de probetas y ejecución de ensayos bajo normativas determinadas anticipadamente.

Durante la ejecución de los ensayos mecánicos de las probetas se registraron tablas, gráficas y fotos. Posteriormente se representaron en fichas técnicas de recolección de datos y se realizó gráficas que mostraron el comportamiento del material compuesto para cada composición.

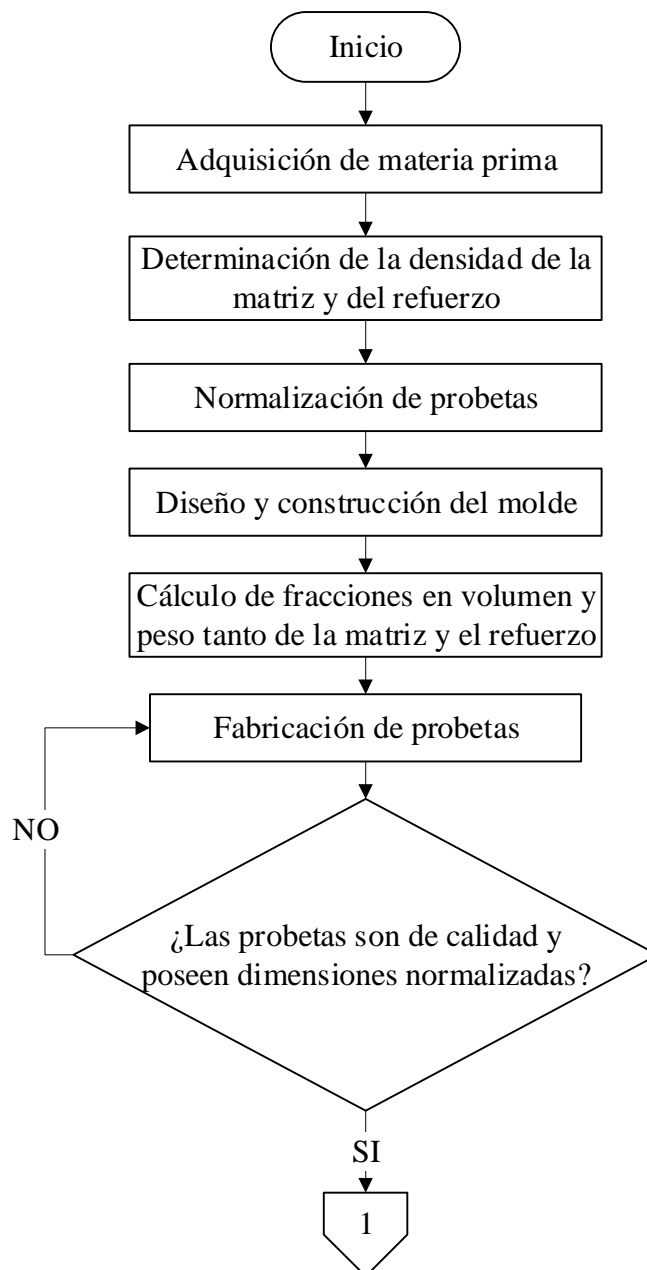
El análisis e interpretación de los resultados se realizó mediante la utilización de gráficas de columnas, gráficas de dispersión y ponderación de los datos promedios para determinar la composición de material compuesto con mejores propiedades mecánicas. Finalmente se comprobó la hipótesis planteada mediante pruebas estadísticas realizadas a dos grupos: 1) al mejor grupo de material compuesto y 2) al material de matriz pura.

CAPÍTULO IV.

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.4.RECOLECCIÓN DE DATOS

A continuación en la Figura 9, se representa en un diagrama de flujo la secuencia de pasos ejecutados para la recolección de los datos, análisis de resultados y finalmente verificar la hipótesis.



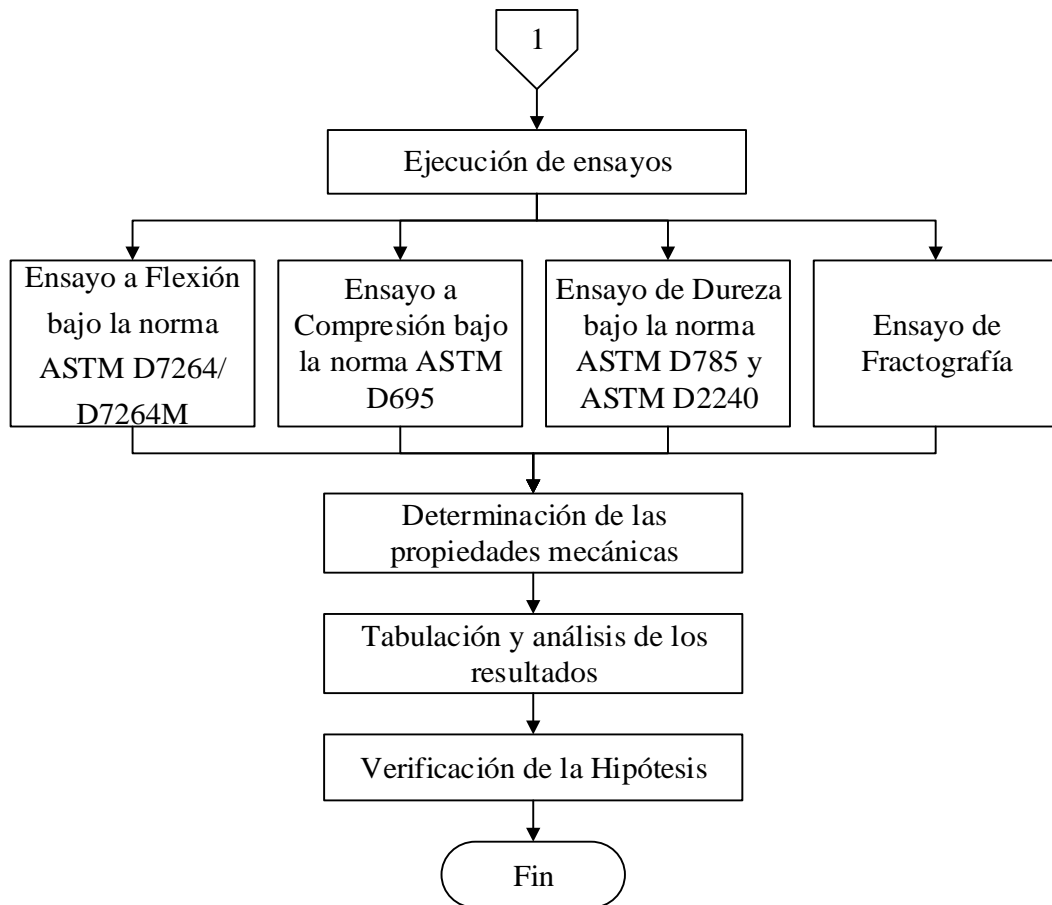


Figura 9. Proceso de fabricación del material compuesto.

Fuente: La Autora

4.4.1. Adquisición de la materia prima

La materia prima para la fabricación del material compuesto fue:

a) Para la fase continua (matriz):

- Resina Poliéster Ortoftálica de propósito general POL® 33000.
- Monómero de estireno,
- Octoato de cobalto al 12% de Co,
- Peróxido metil etil cetona al 9% de oxígeno activo (MEK).

b) Para la fase dispersa (refuerzo):

- Partículas de caucho de neumáticos reciclados

La materia prima mencionada fue proporcionada por el Proyecto de Investigación “Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas de neumáticos reciclados en partes exteriores de carrocería de la industria carrocera de Tungurahua”.

4.4.2. Determinación de la densidad del refuerzo y la matriz

Las densidades de la matriz y del refuerzo se determinó en forma experimental juntamente con los investigadores del proyecto “Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas de neumáticos reciclados en partes exteriores de carrocería de la industria carrocera de Tungurahua.”. Los valores obtenidos fueron:

$$\rho_p = 0,91 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_m = 1,058 \text{ g/cm}^3$$

donde ρ_p es la densidad de las partículas de caucho de neumáticos reciclados (refuerzo) y ρ_m es la densidad de la matriz. La matriz del material compuesto utilizada fue compuesta de resina poliéster Ortoftálica de propósito general POL® 33000, más el 10% en volumen de monómero de estireno, más el 2% en volumen de MEK (peróxido metil etil cetona) y más el 0,5% en volumen de octoato de cobalto.

4.4.3. Normalización de probetas

En la Tabla 6, se describen las normas aplicadas en cada ensayo, así como las dimensiones y número de muestras mínimas establecidas en las mismas.

Tabla 6. Características de las probetas según normativa ASTM.

Ensayo	Norma	Dimensiones	Número de probetas
Flexión	ASTM D7264/D7264M-07	Ancho: 13mm Largo: 160 mm Espesor: 4 mm	5
Compresión	ASTM D695-15	Diámetro: 12,7 mm Longitud: 25,4 mm	5
Dureza	ASTM D785-03 ASTMA D2240-05	Cuadrado: 40 mm Espesor: 6 mm	5

Fuente: La Autora

En las Figuras 10, 11 y 12 se representa gráficamente las dimensiones en *mm* de las probetas descritas en la Tabla 6 tanto para flexión, compresión y dureza respectivamente.

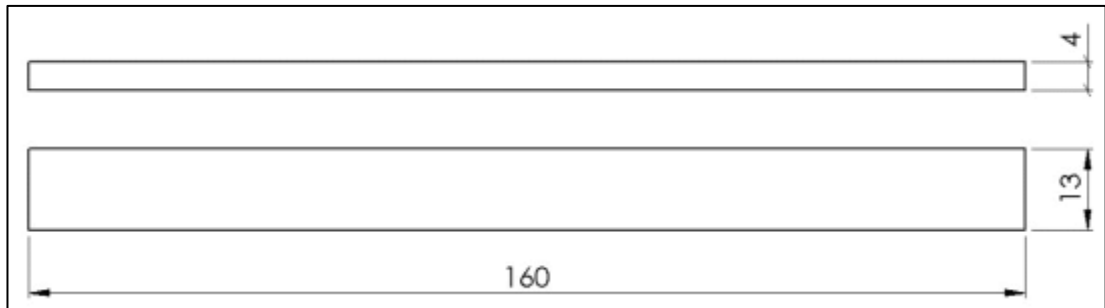


Figura 10. Probeta para ensayo a flexión según la norma ASTM D7264-07.

Fuente: La Autora

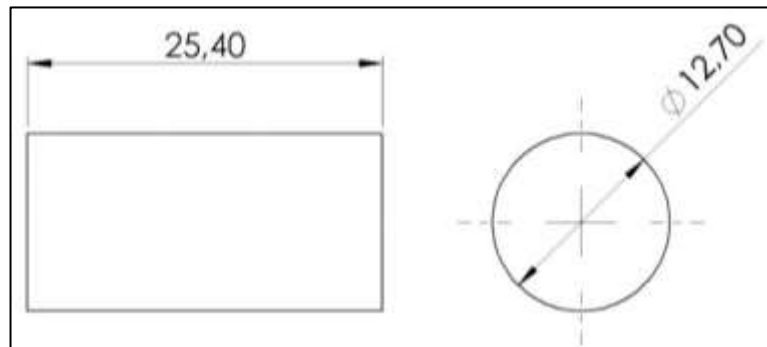


Figura 11. Probeta para ensayo a compresión según la norma ASTM D695-15.

Fuente: La Autora

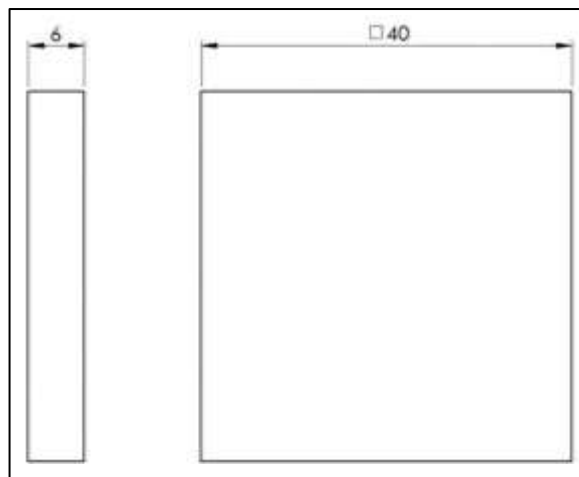


Figura 12. Probeta para ensayo de dureza según la norma ASTM D785-03 y/o ASTM D2240-05

Fuente: La Autora

4.4.4. Selección y/o diseño del molde para la fabricación de probetas

Con las dimensiones y geometría de cada una de las probetas detalladas en el acápite anterior, se diseñó un molde para la fabricación de probetas a flexión y dureza por ser planas y se utilizó neplos PVC como molde para la fabricación de probetas a compresión.

A. Molde para probetas para ensayo a flexión y dureza

Se diseñó un molde de tal manera permita la fabricación de láminas del material compuesto con distinto espesor. Se utilizó un área de trabajo $A = 99,80 \text{ cm}^2$, de la que se obtuvieron indistintamente las 7 probetas a flexión (Figura 13) y las 7 probetas para dureza (Figura 14).

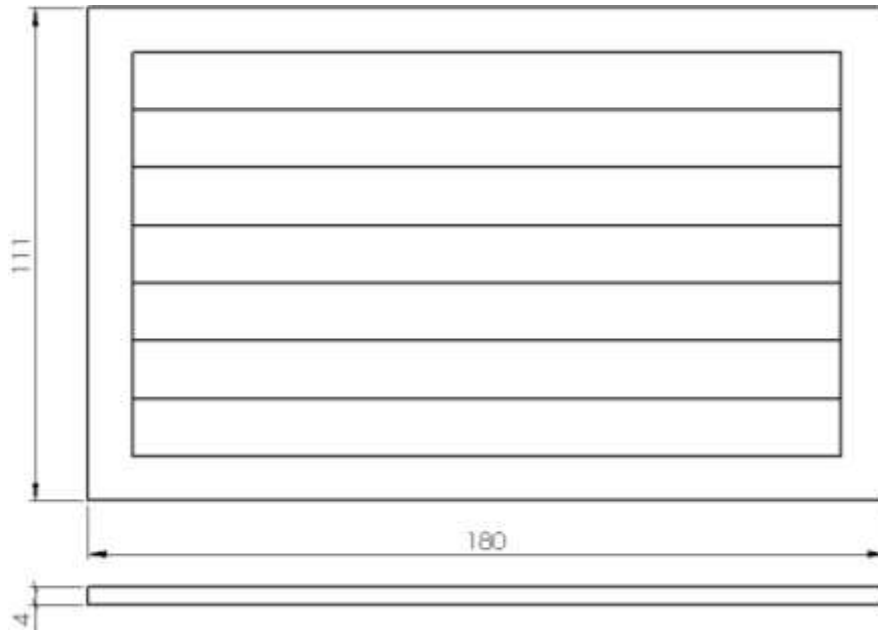


Figura 13. Distribución de las probetas a flexión en el área de trabajo del molde, dimensiones en *mm*.

Fuente: La Autora

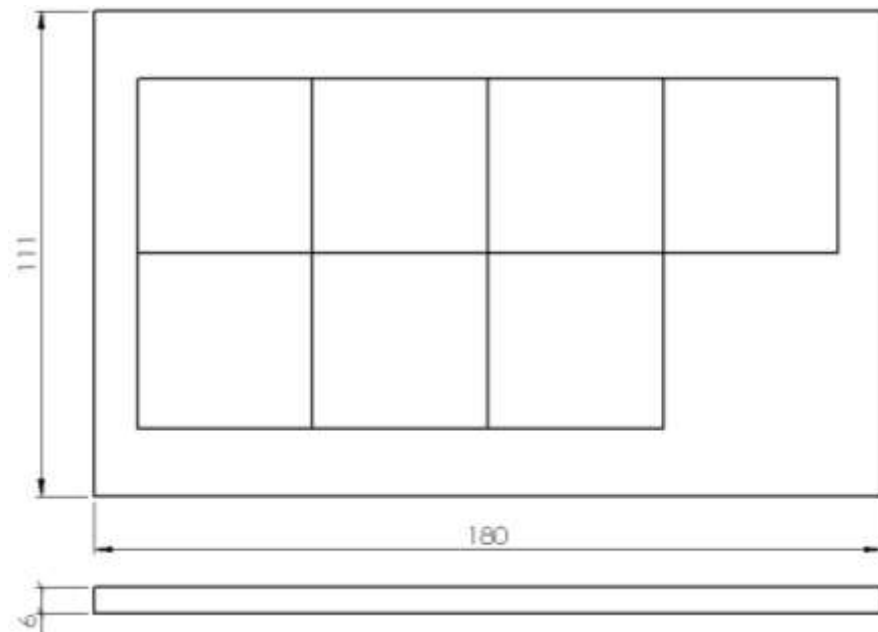


Figura 14. Distribución de las probetas de dureza en el área de trabajo del molde, dimensiones en *mm*.

Fuente: La Autora

El plano de construcción del molde se encuentra adjunto en el ANEXO 3. El espesor de las láminas se definió por medio de dos marcos fabricados de platinas, uno con espesor de 4 mm para las probetas a flexión y el otro con espesor de 6 mm para las probetas de dureza. Se utilizó acero estructural A36 para la construcción del molde.

B. Molde para probetas a compresión

El molde establecido para la fabricación de probetas a compresión considerando su geometría cilíndrica fueron nepllos PVC 1/2 pulgada de diámetro interno por 6 cm de largo y tapón hembra para ambos extremos, Figura 15. Se utilizó la cantidad de 10 nepllos y 20 tapones considerando posibles imperfectos para poder obtener las 7 probetas por composición en cada preparación.



Figura 15. Molde para probetas a compresión.

Fuente: La Autora

4.4.5. Cálculo del volumen y peso de la matriz y el refuerzo

En la Tabla 7, se detallan los valores del área y el volumen por probeta y molde calculados a partir de las dimensiones establecidas anteriormente.

Tabla 7. Área y volumen por probeta y molde.

ENSAYO	PROBETA		MOLDE	
	ÁREA, A	VOLUMEN, V	ÁREA	VOLUMEN
Flexión	$20,80 \text{ cm}^2$	$8,32 \text{ cm}^3$	$199,80 \text{ cm}^2$	$79,92 \text{ cm}^3$
Compresión	$1,27 \text{ cm}^2$	$7,62 \text{ cm}^3$	$1,27 \text{ cm}^2$	$76,20 \text{ cm}^3$
Dureza	16 cm^2	96 cm^3	$199,80 \text{ cm}^2$	$119,88 \text{ cm}^3$

Fuente: La Autora

Cálculo del volumen para la matriz y el refuerzo

Para determinar el volumen de cada probeta y el volumen que constituyen tanto la matriz (resina poliéster) como el refuerzo (partículas de caucho) de acuerdo con su fracción volumétrica se utilizó las ecuaciones descritas en el acápite 2.1.6.1.

El volumen V de la probeta es igual al volumen del compuesto v_c , por lo tanto, se determinó con la ecuación 1; el volumen del refuerzo v_p se determinó con la ecuación 3, al despejar esta variable; y el volumen de la matriz v_m se determinó con la ecuación 4, al despejar esta variable.

Cálculo de la masa para la matriz y el refuerzo

Con las ecuaciones 15 y 16 se determinó el peso en masa de la matriz p_m y el refuerzo p_p respectivamente:

A continuación, en la Tabla 8, se muestran las cantidades en volumen y masa por probeta determinadas a partir de las ecuaciones mencionadas.

Tabla 8. Valores de volumen y masa por probeta.

ENSAYO	FRACCIONES VOLUMÉTRICAS		v_p (cm^3)	v_m (cm^3)	p_p (g)	p_m (g)
	V_p	V_m				
Flexión	0,30	0,70	2,496	5,824	2,271	6,162
	0,35	0,65	2,912	5,408	2,650	5,722
	0,40	0,60	3,328	4,992	3,028	5,282
Compresión	0,30	0,70	0,966	2,254	0,879	2,385
	0,35	0,65	1,127	2,093	1,026	2,214
	0,40	0,60	1,288	1,932	1,172	2,044
Dureza	0,30	0,70	2,88	6,72	2,621	7,110
	0,35	0,65	3,36	6,24	3,058	6,602
	0,40	0,60	3,84	5,76	3,494	6,094

Fuente: La Autora

En la Tabla 9, se detallan las cantidades de cada una de las materias primas para la fabricación del material compuesto. En referencia al volumen del molde, se utilizó una sobremedida la misma que garantizó la compresión para la obtención de un material sólido sin cavidades u oquedad. También, se incluyó en cada ensayo cantidades para una concentración del 0% de refuerzo, es decir sólo resina poliéster para fabricación de probetas con la finalidad de comparar el incremento o disminución de las propiedades mecánicas del compuesto respecto a la matriz pura.

Tabla 9. Cálculo de cantidades en masa y volumen para la preparación del material compuesto.

ENSAYO	VOL. TOTAL	REFUERZO (%)	VOL. REFUERZO (cc)	MASA DEL REFUERZO (g)	VOL. MATRIZ (cc)	VOL. ESTIRENO (cc)*	VOL. PERÓX. / MECK (cc)**	VOL. COBALTO (cc)***	VOL. RESINA POLIÉSTER (cc)	MASA RESINA POLIÉSTER (g)
FLEXIÓN	186,8	0%	0,0	0,0	186,8	18,7	3,7	0,9	168,1	177,9
	186,8	30%	56,0	51,0	130,8	13,1	2,6	0,7	117,7	124,5
	186,8	35%	65,4	59,5	121,4	12,1	2,4	0,6	109,3	115,6
	186,8	40%	74,7	68,0	112,1	11,2	2,2	0,6	100,9	106,7
DUREZA	232,4	0%	0,0	0,0	232,4	23,2	4,6	1,2	209,2	221,3
	232,4	30%	69,7	63,4	162,7	16,3	3,3	0,8	146,4	154,9
	232,4	35%	81,3	74,0	151,1	15,1	3,0	0,8	136,0	143,8
	232,4	40%	93,0	84,6	139,4	13,9	2,8	0,7	125,5	132,8
COMPRESIÓN	180,0	0%	0,0	0,0	180,0	18,0	3,6	0,9	162,0	171,4
	180,0	30%	54,0	49,1	126,0	12,6	2,5	0,6	113,4	120,0
	180,0	35%	63,0	57,3	117,0	11,7	2,3	0,6	105,3	111,4
	180,0	40%	72,0	65,5	108,0	10,8	2,2	0,5	97,2	102,8

* 10% del volumen de la matriz

** 2% del volumen de la matriz

*** 0,5% del volumen de la matriz

Fuente: La Autora

4.4.6. Fabricación de probetas

4.4.6.1. Materiales y equipos

A continuación, en la Tabla 10 se detalla cada uno de los materiales y equipos utilizados para la fabricación del material compuesto estudiado en esta investigación.

Tabla 10. Equipos y materiales utilizados para la fabricación de probetas.





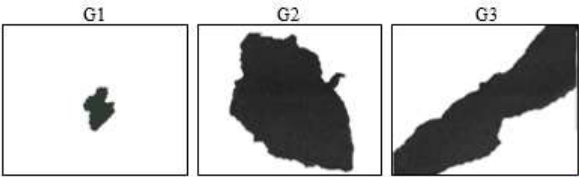
MATERIAL/EQUIPO	FIGURA
Resina poliéster Ortoftálica de propósito general POL R 33000	
Monómero de Estireno	
Octoato de Cobalto al 12 % de Co	
MEK, peróxido metil etil cetonal al 9% de oxígeno activo	
Partículas de caucho de neumático reciclados	

Tabla 10. Equipos y materiales utilizados para la fabricación de probetas (Continuación 1).



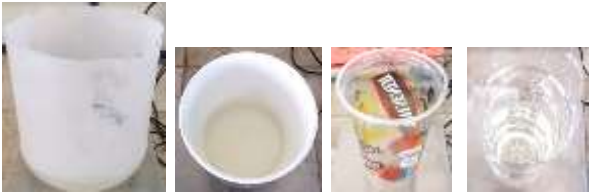
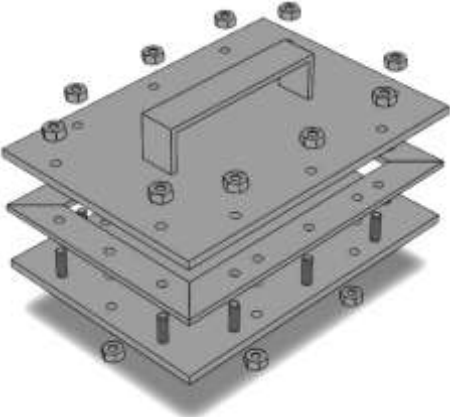


MATERIAL/EQUIPO	FIGURA
Jeringas de 3, 5, 10 y 20 ml	
Probeta graduada de 100 ml	
Recipientes	
Molde de acero	
Neplos PVC de 1/2" x 6cm	
Tapones Hembra PVC de 1/2"	

Tabla 10. Equipos y materiales utilizados para la fabricación de probetas (Continuación 2).

MATERIAL/EQUIPO	FIGURA
Cera desmoldante AUTO CARE	
Guaípe	
Racha manual	
Espátula	
Embudos	
Balanza Digital	

Tabla 10. Equipos y materiales utilizados para la fabricación de probetas (Continuación 3).

MATERIAL/EQUIPO	FIGURA
Cortadora láser	
Sierra circular	
Lija de agua	
Mandil	
Guantes	
Mascarilla	

Fuente: La Autora

4.4.6.2.Procedimiento

A continuación, se describen los diferentes pasos realizados para la fabricación de probetas según las dimensiones y geometría anteriormente establecida para cada ensayo.

A. Fabricación de probetas a Flexión

1. Como se observa en la Figura 16, se aplicó la cera desmoldante AUTO CARE en la superficie y bordes del molde con la ayuda de guaipe, se dio entre 3-5 pasadas (manos) con intervalos de tiempo de secado de 5 min. Se usó el marco de 4 mm de espesor.

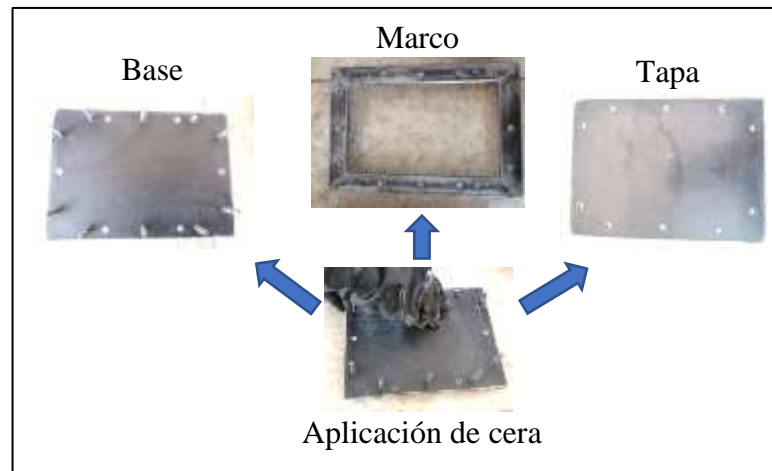


Figura 16. Aplicación de la cera desmoldante en el molde.

Fuente: La Autora

2. Con los valores descritos en la Tabla 9, se pesó en la balanza digital la resina poliéster (Figura 17.a) y las partículas del caucho (Figura 17.b) y con las jeringas y/o probeta graduada se midió las cantidades de estireno, peróxido (MECK) y cobalto (Figura 17.c).

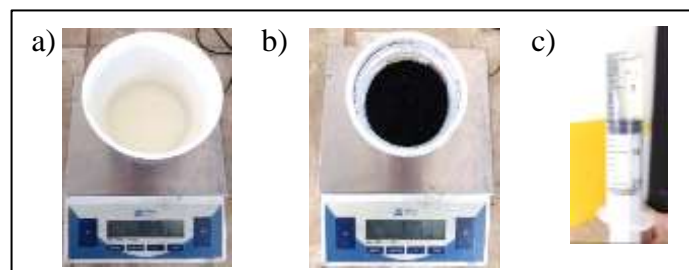


Figura 17. a) Pesaje de la resina poliéster, b) pesaje de las partículas de caucho, y c) medición del estireno, peróxido y cobalto.

Fuente: La Autora

- Una vez preparado todos los materiales como se observa en la Figura 18, se procedió a ubicar al molde sobre papel para evitar derrames sobre otras superficies.



Figura 18. Materiales preparados.

Fuente: La Autora

- Se preparó la matriz al mezclar la resina poliéster con el estireno, el cobalto y el peróxido. En la Figura 19, se muestra de izquierda a derecha el orden de adición de cada uno de los componentes químicos.



Figura 19. Elaboración de la matriz.

Fuente: La Autora

- En la mezcla homogénea de la matriz se incorporó las partículas de caucho como se observa en la Figura 20.

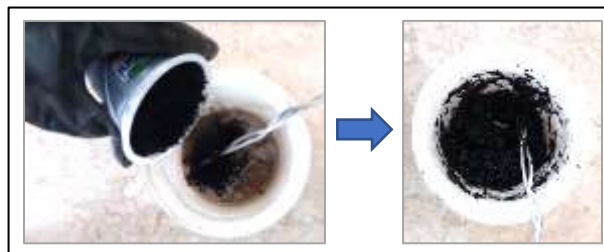


Figura 20. Combinación de la matriz y el refuerzo

Fuente: La Autora

- Inmediatamente, se agregó el compuesto al molde y con la ayuda de una espátula se distribuyó de manera uniforme sobre toda el área de trabajo, ver Figura 21.

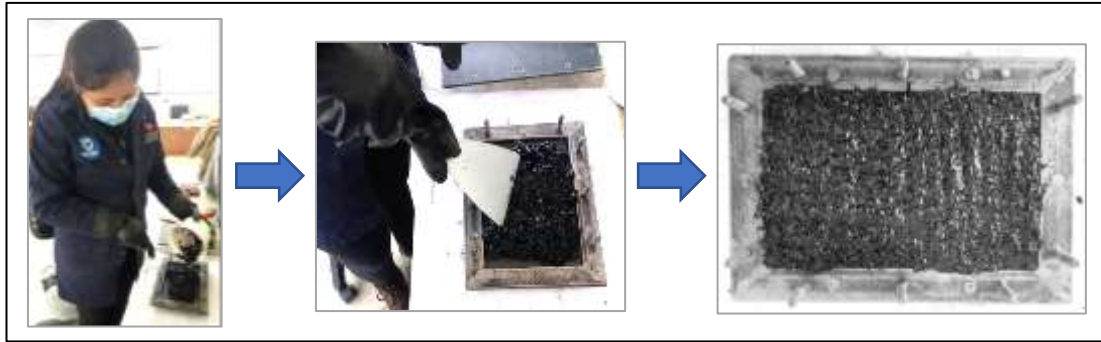


Figura 21. Colado y distribución del compuesto sobre el molde.

Fuente: La Autora

7. Se colocó la tapa al molde y se comprimió la mezcla al ajustar las tuercas, ver Figura 22.

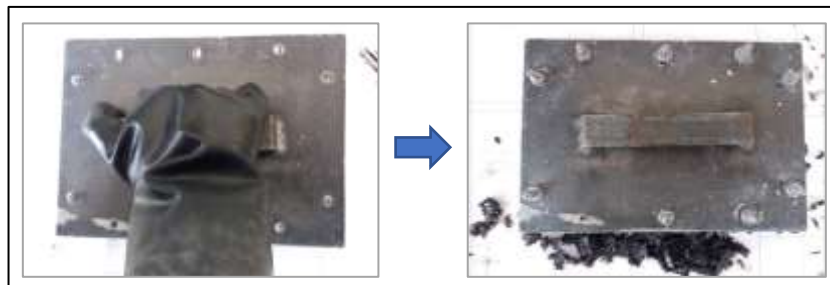


Figura 22. Compresión del compuesto.

Fuente: La Autora

8. Una vez transcurrido 24 horas de secado se procedió a desmoldar la lámina del material compuesto como se observa en la Figura 23.



Figura 23. Lámina de material compuesto para probetas a flexión.

Fuente: La Autora

9. Se repitió los pasos del 1 al 8 hasta la obtención de todas las láminas de distinta fracción volumétrica. Se obtuvo un total de 10 láminas, incluida la de matriz pura.
10. Como se muestra en la Figura 24, las probetas fueron cortadas con las dimensiones normalizadas mediante una cortadora láser.



Figura 24. Corte de las probetas.

Fuente: La Autora

En la Tabla 11, se muestran los diferentes grupos de probetas obtenidas para el ensayo a flexión.

Tabla 11. Probetas para ensayo a flexión por composición.











PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN	
<p>Matriz pura, 0% Refuerzo</p> 	<p>30% Refuerzo G1 + 70% Matriz</p> 
<p>35% Refuerzo G1 + 65% Matriz</p> 	<p>40% Refuerzo G1 + 60% Matriz</p> 
<p>30% Refuerzo G2 + 70% Matriz</p> 	<p>35% Refuerzo G2 + 65% Matriz</p> 

Tabla 11. Probetas para ensayo a flexión por composición (Continuación).

PROBETAS PARA ENSAYO A FLEXIÓN	
40% Refuerzo G2 + 60% Matriz 	30% Refuerzo G3 + 70% Matriz 
35% Refuerzo G3 + 65% Matriz 	40% Refuerzo G3 + 60% Matriz 

Fuente: La Autora

B. Fabricación de probetas a Compresión

1. Se realizó los pasos del 1 al 5 del proceso anterior para fabricación de las probetas a compresión.
2. Inmediatamente, se agregó el compuesto en un embudo y se introdujo la mezcla al interior del molde (Neplo) tapado uno de sus extremos como se observa en la Figura 25. Con la ayuda de una varilla redonda lisa de $\frac{1}{2}$ in de diámetro se comprimió y una vez lleno de forma rebosante se tapó el extremo faltante.



Figura 25. Fabricación de probetas a compresión.

Fuente: La Autora

- Transcurrido el tiempo entre 24-36 horas de secado se procedió al desmolde de los cilindros de material compuesto obteniendo los cilindros mostrados en la Figura 26.



Figura 26. Obtención de cilindros de material compuesto para probetas a compresión.

Fuente: La Autora

- Las probetas fueron cortadas con las dimensiones requeridas con una sierra circular y lijando los extremos para garantizar el paralelismo entre las caras.

En la Tabla 12, se muestran los diferentes grupos de probetas obtenidas para el ensayo a compresión.

Tabla 12. Probetas para ensayo a compresión por composición.

PROBETAS PARA ENSAYO A COMPRESIÓN	
<p>Matriz pura, 0% Refuerzo</p>	<p>30% Refuerzo G1 + 70% Matriz</p>
<p>35% Refuerzo G1 + 65% Matriz</p>	<p>40% Refuerzo G1 + 60% Matriz</p>

Tabla 12. Probetas para ensayo a compresión por composición (Continuación).

PROBETAS PARA ENSAYO A COMPRESIÓN	
<p>30% Refuerzo G2 + 70% Matriz</p> 	<p>35% Refuerzo G2 + 65% Matriz</p> 
<p>40% Refuerzo G2 + 60% Matriz</p> 	<p>30% Refuerzo G3 + 70% Matriz</p> 
<p>35% Refuerzo G3 + 65% Matriz</p> 	<p>40% Refuerzo G3 + 60% Matriz</p> 











Fuente: La Autora

C. Fabricación de probetas de Dureza

La fabricación de las probetas para ensayo de dureza consistió en el mismo proceso de fabricación de probetas a flexión, con la excepción que se utilizó el marco de 6 mm de espesor para obtener las muestras con las dimensiones normalizadas.

En la Tabla 13, se muestran los diferentes grupos de probetas obtenidas para el ensayo de dureza.

Tabla 13. Probetas para ensayo de dureza por composición.

PROBETAS PARA ENSAYO DE DUREZA	
<p>Matriz pura, 0% Refuerzo</p> 	<p>30% Refuerzo G1 + 70% Matriz</p> 
<p>35% Refuerzo G1 + 65% Matriz</p> 	<p>40% Refuerzo G1 + 60% Matriz</p> 
<p>30% Refuerzo G2 + 70% Matriz</p> 	<p>35% Refuerzo G2 + 65% Matriz</p> 
<p>40% Refuerzo G2 + 60% Matriz</p> 	<p>30% Refuerzo G3 + 70% Matriz</p> 
<p>35% Refuerzo G3 + 65% Matriz</p> 	<p>40% Refuerzo G3 + 60% Matriz</p> 

Fuente: La Autora

4.4.7. Caracterización de las propiedades mecánicas del material compuesto

El ensayo a Flexión y Compresión fueron realizados en el laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de Tungurahua con la Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50, la misma que contó con los sellos de calibración INEN (ver Figura 27), los mismos que certifican que se encuentra dentro del periodo de validez, el cual es de 2 años.



Figura 27. Sellos de Calibración INEN de la Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50.

Fuente: La Autora

4.4.7.1. Ensayo a flexión

El ensayo a flexión aplicado para el material compuesto en estudio fue realizado bajo el procedimiento A de la Norma ASTM D7264/D7264M-07: *Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials* (ANEXO 4), procedimiento en el cual la probeta descansa sobre dos soportes y se le aplica una carga a la mitad entre los soportes.

Por medio de este ensayo se determinó el esfuerzo máximo de flexión (σ_f), deformación máxima (ϵ_f), módulo de elasticidad de flexión (E_f) y cálculos estadísticos (\bar{x} , S_{n-1} y CV) a partir de las ecuaciones 19 – 24 descritas en el acápite 2.1.7.1 del capítulo 2.

En la Tabla 14, se presenta la nomenclatura con la que se identifica el tipo de falla evaluado mediante los criterios de la norma.

Tabla 14. Nomenclatura del tipo de falla evaluado según los criterios de la norma ASTM D7264-07.

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

Fuente: La Autora

En la Figura 28, al lado izquierdo se muestra la Máquina Universal de Ensayos insertada el puente de flexión y al lado derecho se visualiza el ensayo de una de las muestra en estudio así como la creación de las curvas en el software de ensayo de materiales METROTEST.

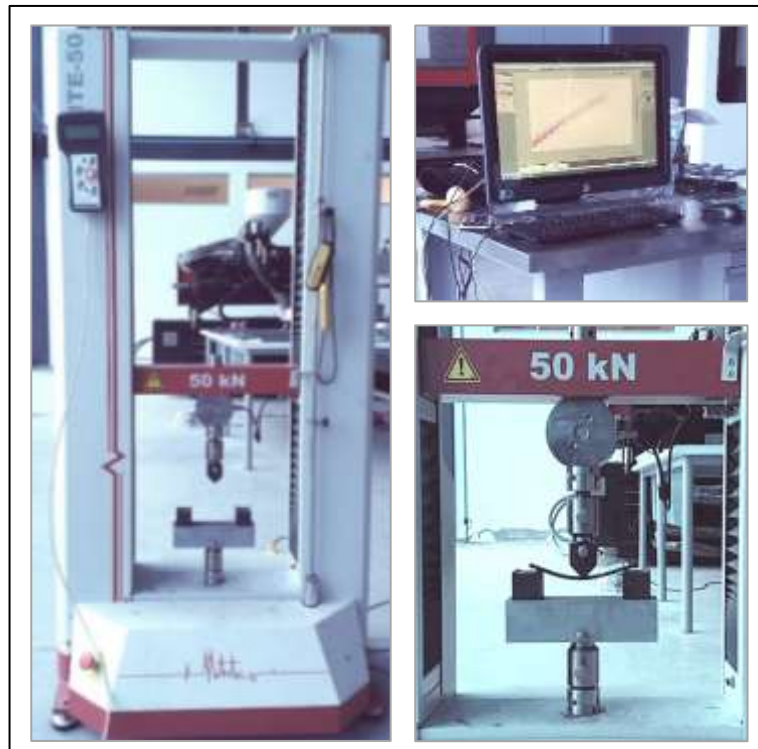





Figura 28. Ensayo de Flexión.

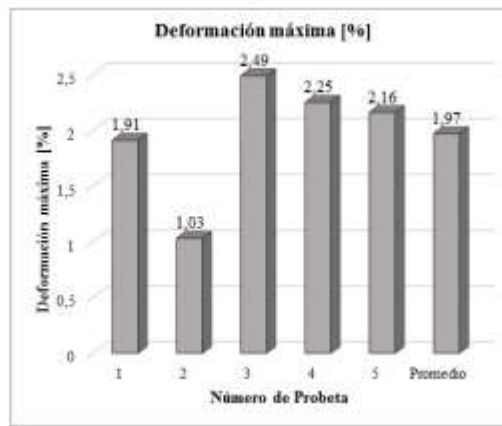
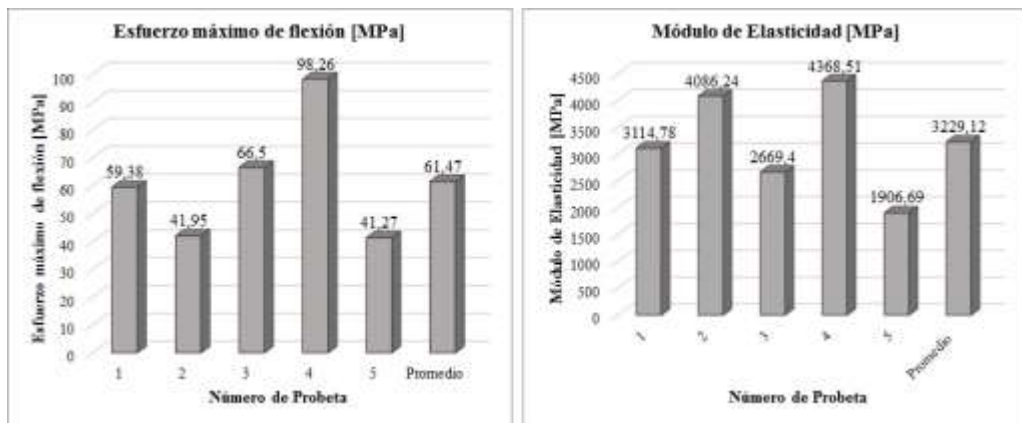
Fuente: La Autora

A continuación, se presenta las fichas técnicas de los datos y los resultados obtenidos del ensayo a flexión tanto para la matriz pura como para cada grupo de material compuesto.

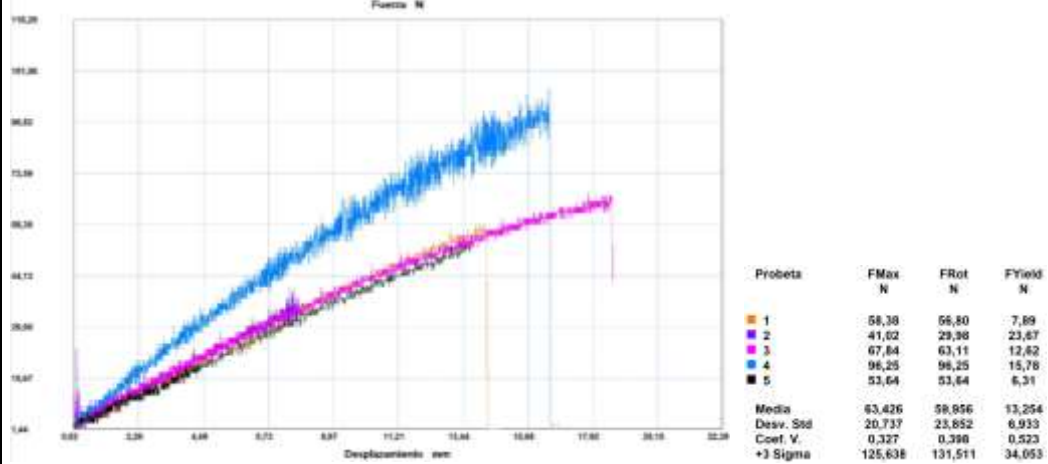
Tabla 15. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden 0%Ref+C sometido a ensayo a flexión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
Fecha de inicio:		24/01/2018		Fecha de finalización:		09/02/2018		
Ciudad:		Ambato		Identificación de grupo:		186502752020180104-EFC 01		
Laboratorio:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Norma:		ASTM D7264		Procedimiento:		A		
No. Probetas:		5						
Máquina:		Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50						
Velocidad de ensayo:		10 mm/min		Precarga:		0 N		
Distancia entre apoyos:		130 mm						
Matriz:		Resina Poliéster		Refuerzo:		-		
Granulometría:		-		Tamaño de las Partículas:		-		
Fracción Volumétrica:		100% Resina Poliéster		Orientación de las partículas:		-		
Dimensiones:		160 mm x 13 mm x e		Espesor promedio (e):		4 mm		
Estratificación:		Compresión		Temperatura:		25,5 °C		
Humedad Relativa:		48,2%						
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor						
1	12,80	3,87	58,38	13,88	59,38	3114,78	1,91	OLR
2	12,60	3,89	41,02	7,43	41,95	4086,24	1,03	OLR
3	12,75	3,95	67,84	17,76	66,50	2669,40	2,49	OUV
4	12,82	3,86	96,25	16,41	98,26	4368,51	2,25	OUV
5	12,80	4,45	53,64	13,70	41,27	1906,69	2,16	OUV
Promedio \bar{X}			63,43	13,84	61,47	3229,12	1,97	-
Desviación Estándar S_{n-1}			20,74	3,97	23,30	1013,41	0,57	-
Coeficiente de variación CV			32,70	28,70	37,91	31,38	28,76	-
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS






Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



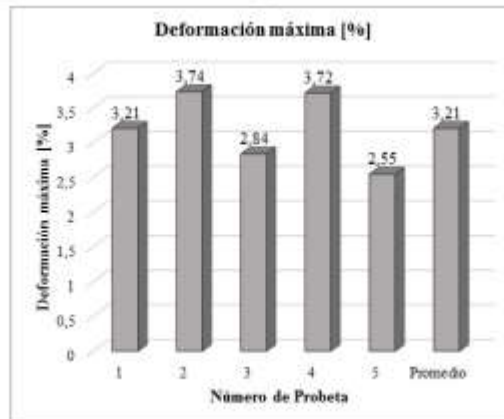
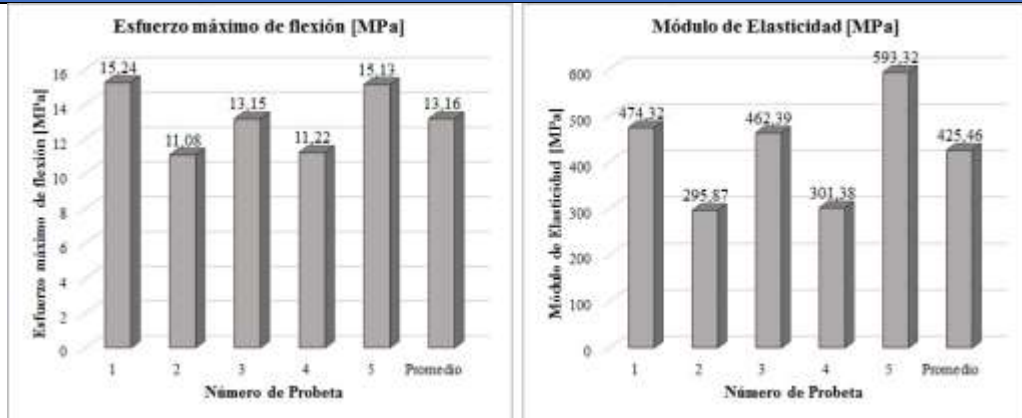
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> El espesor real promedio de este grupo de probetas fue 4 mm. El esfuerzo máximo de flexión promedio fue 61,47 MPa. El módulo de elasticidad de flexión promedio fue 3229,12 MPa. 	<ul style="list-style-type: none"> Las dos primeras probetas presentaron otro tipo de falla entre la carga y el punto de apoyo a la derecha. Las tres últimas probetas presentaron otro tipo de falla no conocido en varios segmentos. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

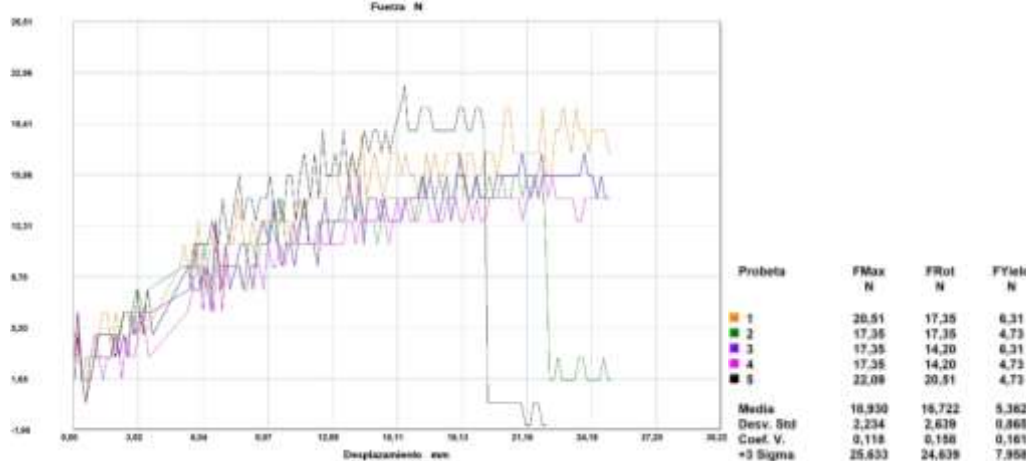
Tabla 16. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+30%+C sometido a ensayo a flexión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
Fecha de inicio:	24/01/2018	Fecha de finalización:	09/02/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-EFC 04					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D7264	Procedimiento:	A	No. Probetas:	5			
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Precarga:	0 N	Distancia entre apoyos:	130 mm			
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G1	Tamaño de las Partículas:	0,05 mm – 0,6 mm					
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho			Orientación de las partículas:	Aleatoria			
Dimensiones:	160 mm x 13 mm x e			Espesor promedio (e):	4,64 mm			
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	25,6 °C	Humedad Relativa:	49,1%			
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máx. (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máx. (%)	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor						
1	13,02	4,49	20,51	20,15	15,24	474,32	3,21	OLR
2	13,09	4,83	17,35	21,84	11,08	295,87	3,74	OOU
3	12,99	4,45	17,35	18,00	13,15	462,39	2,84	OAM
4	13,09	4,80	17,35	21,84	11,22	301,38	3,72	OLR
5	13,17	4,65	22,09	15,44	15,13	593,32	2,55	OLR
Promedio \bar{X}			18,93	19,46	13,16	425,46	3,21	-
Desviación Estándar S_{n-1}			2,23	2,74	2,02	126,61	0,53	-
Coeficiente de variación CV			11,80	14,09	15,33	29,76	16,45	-
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS






Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



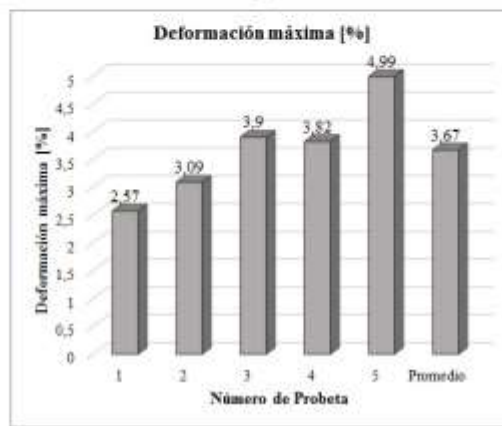
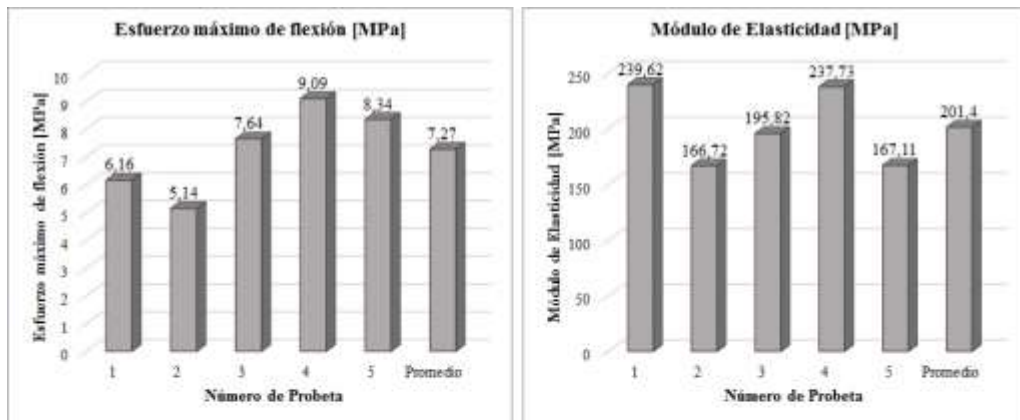
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
	<ul style="list-style-type: none"> El espesor real promedio de este grupo de probetas fue 4,64 mm. El esfuerzo máximo de flexión promedio fue 13,16 MPa. El módulo de elasticidad de flexión promedio fue 425,46 MPa. 	<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 1, 4 y 5 presentaron otro tipo de falla entre la carga y el punto de apoyo a la derecha. La probeta 2 presentó otro tipo de falla no conocido. La probeta 3 presentó otro tipo de falla entre el punto de carga en la mitad. 	
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

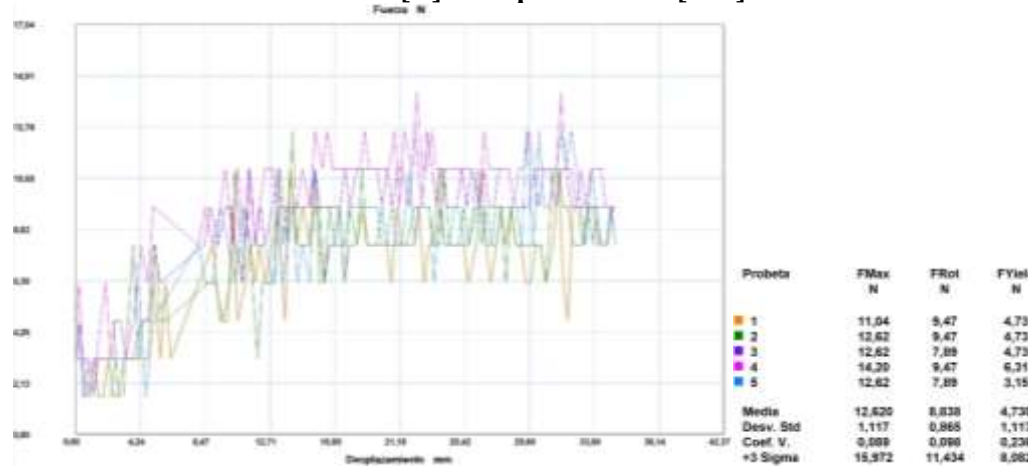
Tabla 17. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+35%+C sometido a ensayo a flexión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
Fecha de inicio:	24/01/2018	Fecha de finalización:	09/02/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-EFC 05					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D7264	Procedimiento:	A	No. Probetas:	5			
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Precarga:	0 N	Distancia entre apoyos:	130 mm			
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G1	Tamaño de las Partículas:	0,05 mm – 0,6 mm					
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho		Orientación de las partículas:	Aleatoria				
Dimensiones:	160 mm x 13 mm x e		Espesor promedio (e):	5,17 mm				
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	25,7 °C	Humedad Relativa:	44,4%			
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor						
1	13,08	5,17	11,04	14,00	6,16	239,62	2,57	OUU
2	12,69	6,14	12,62	14,15	5,14	166,72	3,09	OUU
3	13,10	4,96	12,62	22,14	7,64	195,82	3,90	OUU
4	13,06	4,83	14,20	22,29	9,09	237,73	3,82	OUU
5	12,97	4,77	16,62	29,47	8,34	167,11	4,99	OUU
Promedio \bar{X}			12,62	20,41	7,27	201,40	3,67	-
Desviación Estándar S_{n-1}			1,12	6,50	1,61	36,02	0,92	-
Coeficiente de variación CV			8,85	31,83	22,11	17,89	24,99	-
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS






Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



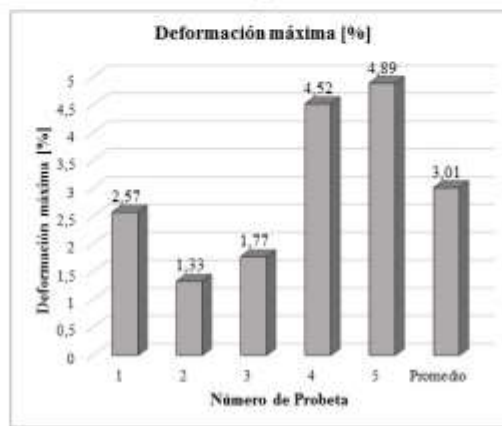
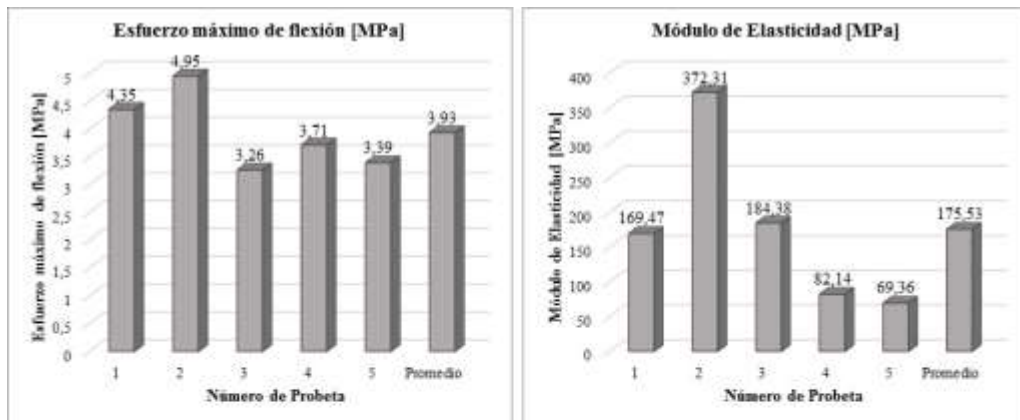
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> El espesor real promedio de este grupo de probetas fue 5,17 mm. El esfuerzo máximo de flexión promedio fue 7,27 MPa. El módulo de elasticidad de flexión promedio fue 201,40 MPa. 		<ul style="list-style-type: none"> Todas las probetas de este grupo presentaron según la norma otro tipo de falla no conocido con ubicación desconocida. 	
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

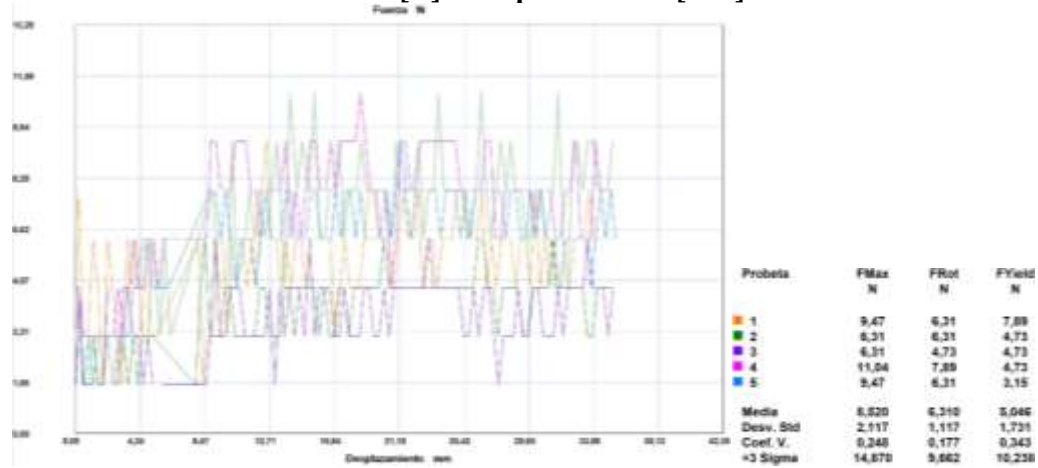
Tabla 18. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+40%+C sometido a ensayo a flexión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
Fecha de inicio:	24/01/2018	Fecha de finalización:	09/02/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-EFC 06					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D7264	Procedimiento:	A	No. Probetas:	5			
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Precarga:	0 N	Distancia entre apoyos:	130 mm			
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G1	Tamaño de las Partículas:	0,05 mm – 0,6 mm					
Fracción Volumétrica:	60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho		Orientación de las partículas:	Aleatoria				
Dimensiones:	160 mm x 13 mm x e		Espesor promedio (e):	5,79 mm				
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	26,3 °C	Humedad Relativa:	37,9%			
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor						
1	12,65	5,79	9,47	12,50	4,35	169,47	2,57	OUU
2	12,79	4,41	6,31	8,49	4,95	372,31	1,33	OUU
3	12,71	5,45	6,31	9,14	3,26	184,38	1,77	OUU
4	12,48	6,82	11,04	18,65	3,71	82,14	4,52	OUU
5	12,97	6,48	9,47	21,25	3,39	69,36	4,89	OUU
Promedio \bar{X}			8,52	14,00	3,93	175,53	3,01	-
Desviación Estándar S_{n-1}			2,12	5,71	0,71	121,28	1,61	-
Coeficiente de variación CV			24,85	40,78	18,00	69,09	53,39	-
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS






Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



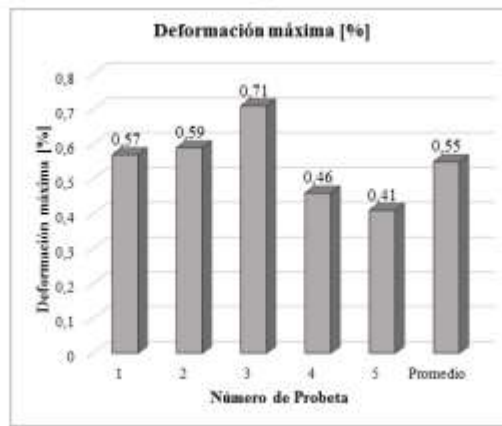
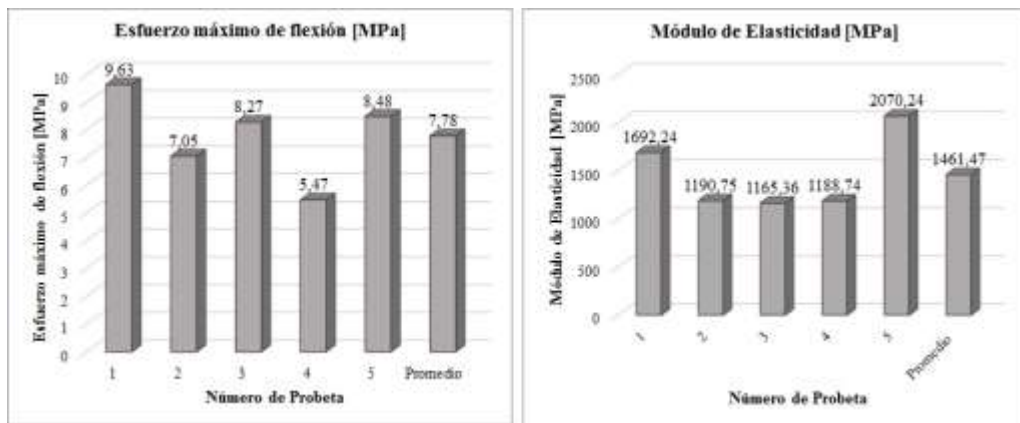
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> El espesor real promedio de este grupo de probetas fue 5,79 mm. El esfuerzo máximo de flexión promedio fue 3,93 MPa. El módulo de elasticidad de flexión promedio fue 175,53 MPa. 		<ul style="list-style-type: none"> Todas las probetas de este grupo presentaron según la norma otro tipo de falla no conocido con ubicación desconocida. 	
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

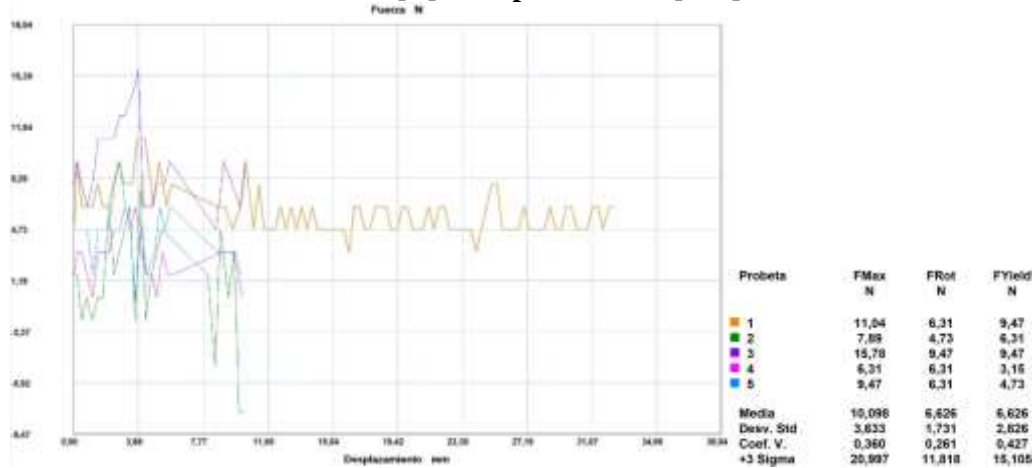
Tabla 19. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+30%+C sometido a ensayo a flexión.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
DATOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
Fecha de inicio:	24/01/2018		Fecha de finalización:	09/02/2018				
Ciudad:	Ambato		Identificación de grupo:	186502752020180104-EFC 09				
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D7264		Procedimiento:	A		No. Probetas:	5	
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	10 mm/min		Precarga:	0 N		Distancia entre apoyos:	130 mm	
Matriz:	Resina Poliéster		Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados				
Granulometría:	G2		Tamaño de las Partículas:	0,6 mm - 1,18 mm				
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho			Orientación de las partículas:	Aleatoria			
Dimensiones:	160 mm x 13 mm x e			Espesor promedio (e):	4,37 mm			
Estratificación:	Compresión		Temperatura:	20,2 °C		Humedad Relativa:	59,8%	
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor						
1	12,80	4,18	11,04	3,83	9,63	1692,24	0,57	OAM
2	12,73	4,14	7,89	4,03	7,05	1190,75	0,59	OAM
3	13,97	5,16	15,78	3,88	8,27	1165,36	0,71	OAM
4	12,81	4,19	6,31	3,09	5,47	1188,74	0,46	OAB
5	12,59	4,16	9,47	2,77	8,48	2070,24	0,41	OAB
Promedio \bar{X}			10,10	3,52	7,78	1461,47	0,55	-
Desviación Estándar S_{n-1}			3,63	0,55	1,58	405,96	0,12	-
Coeficiente de variación CV			35,98	15,71	20,32	27,78	21,49	-
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS






Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



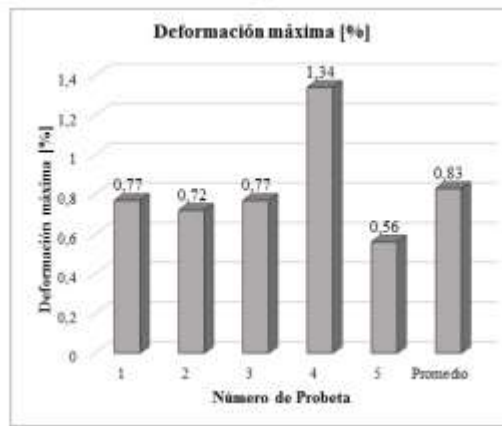
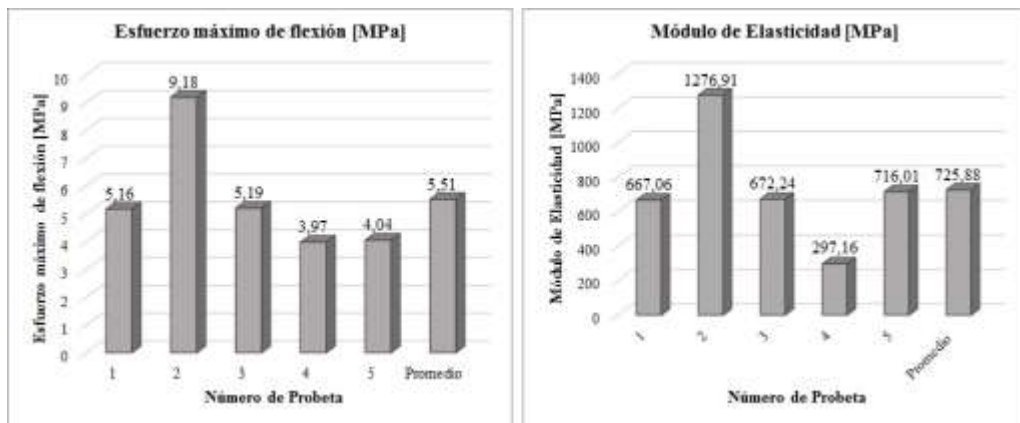
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín
<ul style="list-style-type: none"> El espesor real promedio de este grupo de probetas fue 4,37 mm. El esfuerzo máximo de flexión promedio fue 7,78 MPa. El módulo de elasticidad de flexión promedio fue 1461,47 MPa. 		<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 1, 2 y 3 presentaron otro tipo de falla en el punto de carga al medio. Las probetas 4 y 5 presentaron otro tipo de falla en el punto de carga al fondo. 	

Fuente: La Autora

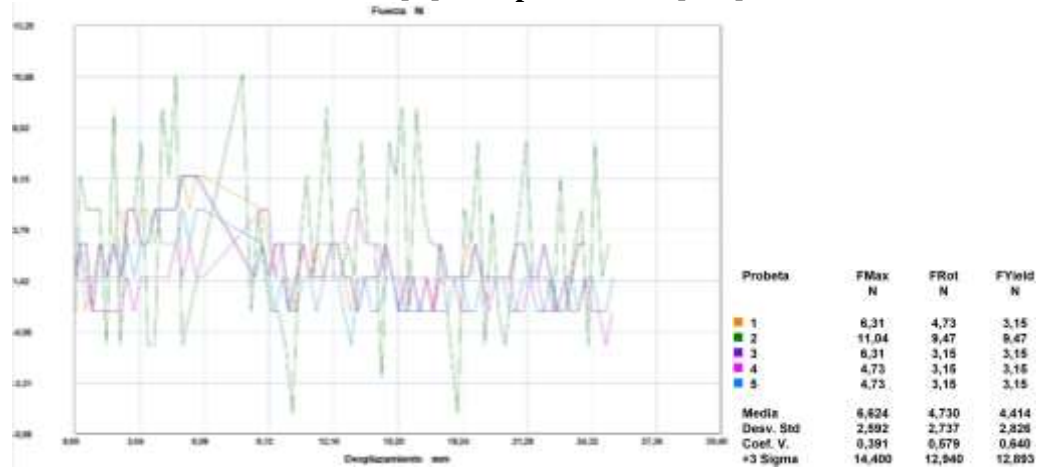
Tabla 20. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+35%+C sometido a ensayo a flexión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
Fecha de inicio:	24/01/2018	Fecha de finalización:	09/02/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-EFC 10					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D7264	Procedimiento:	A	No. Probetas:	5			
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Precarga:	0 N	Distancia entre apoyos:	130 mm			
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G2	Tamaño de las Partículas:	0,6 mm – 1,18 mm					
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho		Orientación de las partículas:	Aleatoria				
Dimensiones:	160 mm x 13 mm x e		Espesor promedio (e):	4,28 mm				
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	20,2 °C	Humedad Relativa:	59,8%			
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor						
1	12,83	4,31	6,31	5,06	5,16	667,06	0,77	OAM
2	12,86	4,27	11,04	4,74	9,18	1276,91	0,72	OAM
3	12,81	4,30	6,31	5,06	5,19	672,24	0,77	OAM
4	12,69	4,28	4,73	8,79	3,97	297,16	1,34	OLR
5	12,81	4,22	4,73	3,77	4,04	716,01	0,56	OLR
Promedio \bar{X}			6,62	5,48	5,51	725,88	0,83	-
Desviación Estándar S_{n-1}			2,59	1,92	2,13	351,38	0,29	-
Coeficiente de variación CV			39,13	35,03	38,74	48,41	35,22	-
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS






Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



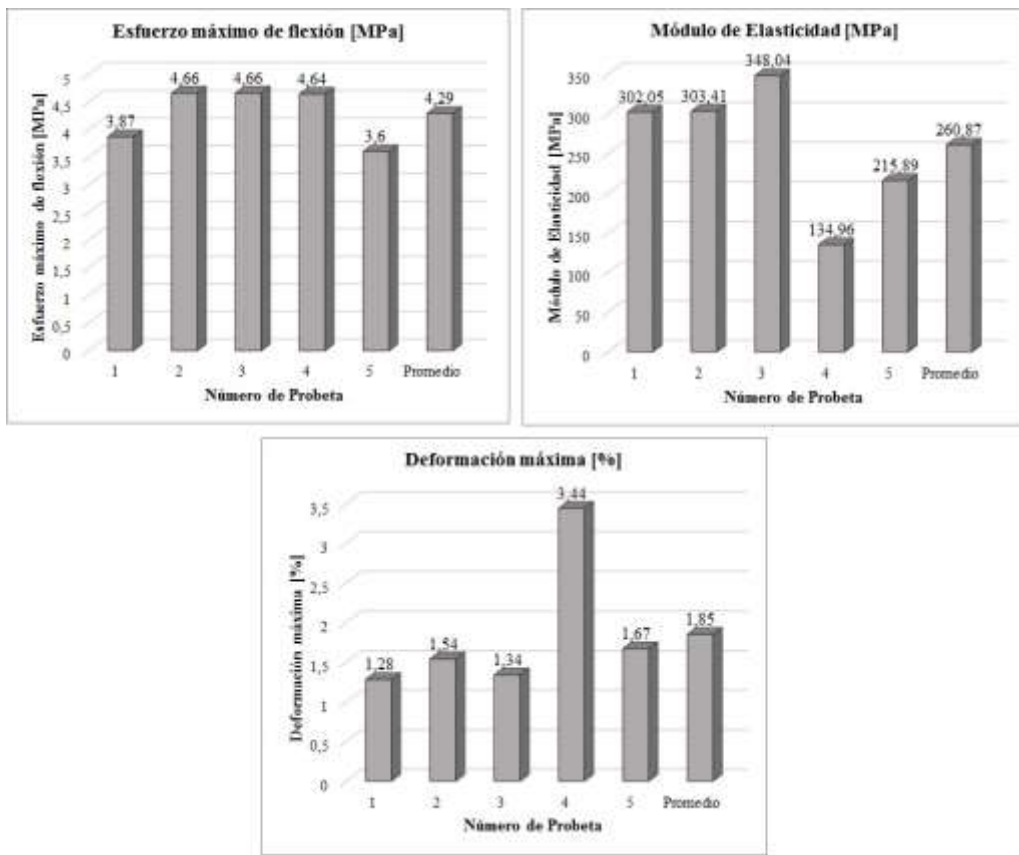
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> El espesor real promedio de este grupo de probetas fue 4,28 mm. El esfuerzo máximo de flexión promedio fue 5,51 MPa. El módulo de elasticidad de flexión promedio fue 725,88 MPa. 		<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 1, 2 y 3 presentaron otro tipo de falla en el punto de carga al medio. Las probetas 4 y 5 presentaron otro tipo de falla entre la carga y el punto de apoyo a la derecha. 	
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

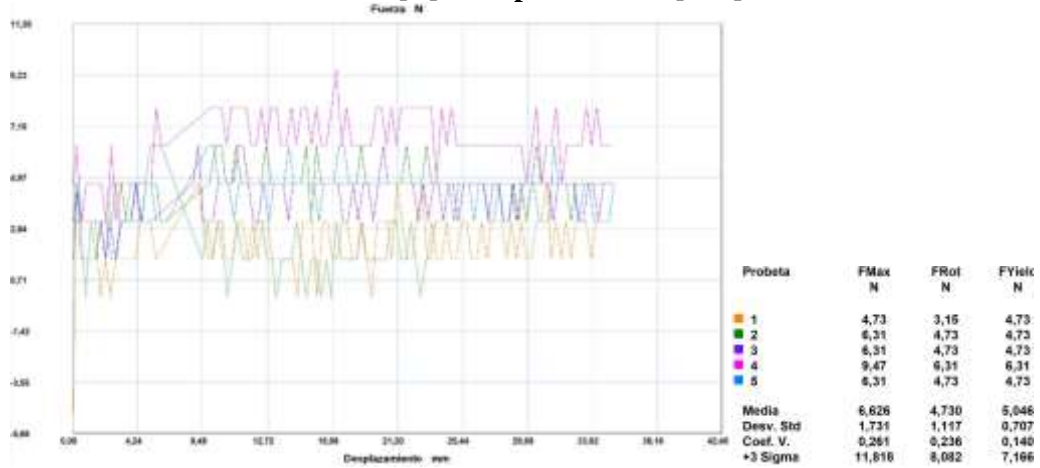
Tabla 21. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+40%+C sometido a ensayo a flexión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
Fecha de inicio:		24/01/2018		Fecha de finalización:		09/02/2018		
Ciudad:		Ambato		Identificación de grupo:		186502752020180104-EFC 11		
Laboratorio:		Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero						
Norma:		ASTM D7264		Procedimiento:		A		No. Probetas: 5
Máquina:		Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50						
Velocidad de ensayo:		10 mm/min		Precarga:		0 N		Distancia entre apoyos: 130 mm
Matriz:		Resina Poliéster		Refuerzo:		Partículas de caucho de neumaticos reciclados		
Granulometría:		G2		Tamaño de las Partículas:		0,6 mm - 1,18 mm		
Fracción Volumétrica:		60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho			Orientación de las partículas:		Aleatoria	
Dimensiones:		160 mm x 13 mm x e			Espesor promedio (e):		4,91 mm	
Estratificación:		Compresión		Temperatura:		20,5 °C		Humedad Relativa: 57,5%
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor						
1	12,36	4,39	4,73	8,23	3,87	302,05	1,28	OUU
2	12,31	4,63	6,31	9,35	4,66	303,41	1,54	OUU
3	12,43	4,61	6,31	8,18	4,66	348,04	1,34	OUU
4	12,55	5,63	9,47	17,21	4,64	134,96	3,44	OUU
5	12,22	5,29	6,31	8,87	3,60	215,89	1,67	OUU
Promedio \bar{X}			6,63	10,37	4,29	260,87	1,85	-
Desviación Estándar S_{n-1}			1,73	3,86	0,51	85,12	0,90	-
Coeficiente de variación CV			26,12	37,19	11,96	32,63	48,60	-
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN

- El espesor real promedio de este grupo de probetas fue 4,91 mm.
- El esfuerzo máximo de flexión promedio fue 4,29 MPa.
- El módulo de elasticidad de flexión promedio fue 260,87 MPa.




OBSERVACIÓN

- Todas las probetas de este grupo presentaron según la norma otro tipo de falla no conocido con ubicación desconocida.

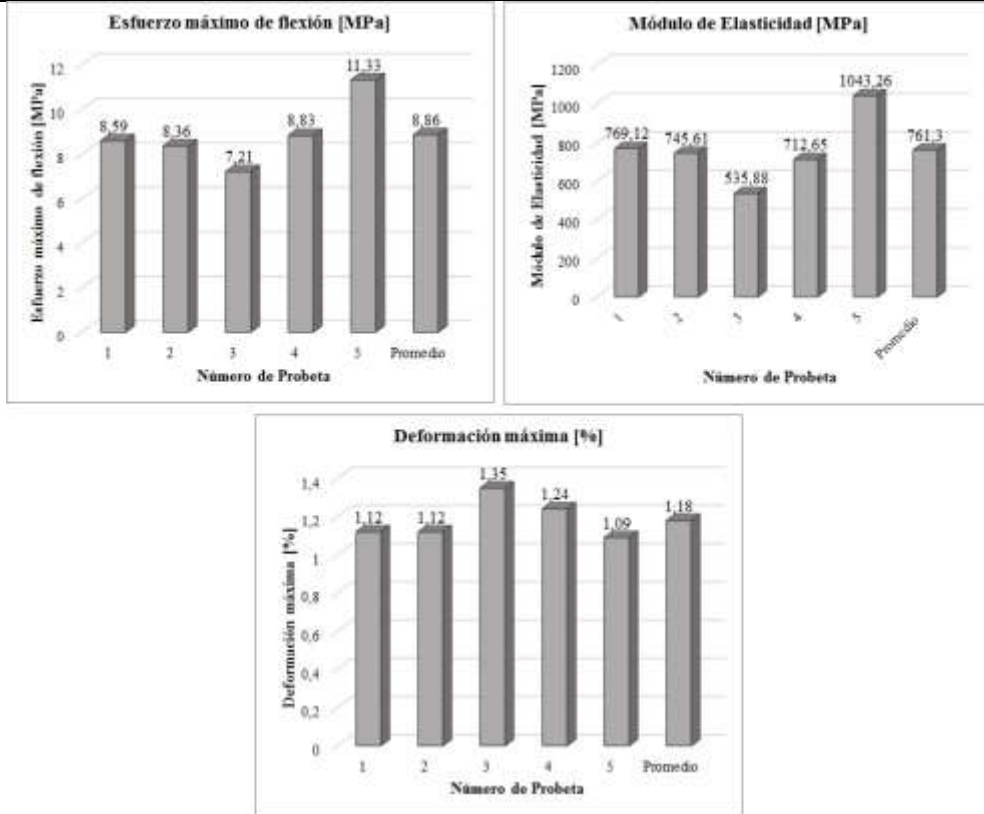
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín
-----------------	-----------------	----------------	------------------------

Fuente: La Autora

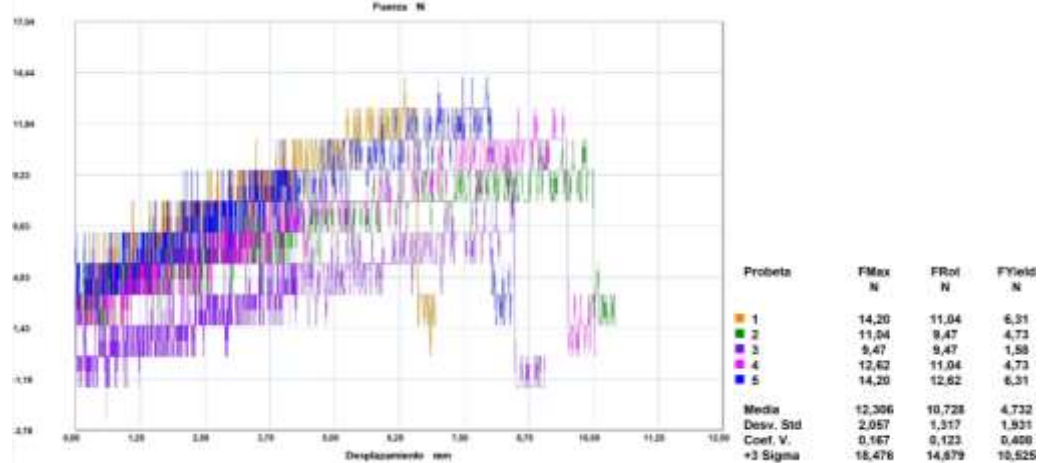
Tabla 22. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+30%+C sometido a ensayo a flexión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
Fecha de inicio:	24/01/2018	Fecha de finalización:	09/02/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-EFC 14					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D7264	Procedimiento:	A	No. Probetas:	5			
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Precarga:	0 N	Distancia entre apoyos:	130 mm			
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G3	Tamaño de las Partículas:	1,18 mm - 2,36 mm					
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho		Orientación de las partículas:	Aleatoria				
Dimensiones:	160 mm x 13 mm x e		Espesor promedio (e):	4,59 mm				
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	23,8 °C	Humedad Relativa:	49,5%			
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor						
1	13,15	4,95	14,20	6,36	8,59	769,12	1,12	OAB
2	12,89	4,47	11,04	7,06	8,36	745,61	1,12	OAB
3	12,76	4,48	9,47	8,46	7,21	535,88	1,35	OAB
4	12,73	4,68	12,62	7,45	8,83	712,65	1,24	OAM
5	12,86	4,36	14,20	7,01	11,33	1043,26	1,09	OLB
Promedio \bar{X}			12,31	7,27	8,86	761,30	1,18	-
Desviación Estándar S_{n-1}			2,06	0,77	1,51	182,34	0,11	-
Coeficiente de variación CV			16,71	10,63	17,04	23,95	9,19	-
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN

- El espesor real promedio de este grupo de probetas fue 4,59 mm.
- El esfuerzo máximo de flexión promedio fue 8,86 MPa.
- El módulo de elasticidad de flexión promedio fue 761,30 MPa.




OBSERVACIÓN

- Las probetas 1, 2 y 3 presentaron otro tipo de falla en el punto de carga al fondo.
- La probeta 4 presentó otro tipo de falla en el punto de carga al medio.
- La probeta 5 presentó otro tipo de falla entre la carga y el punto de apoyo al fondo.

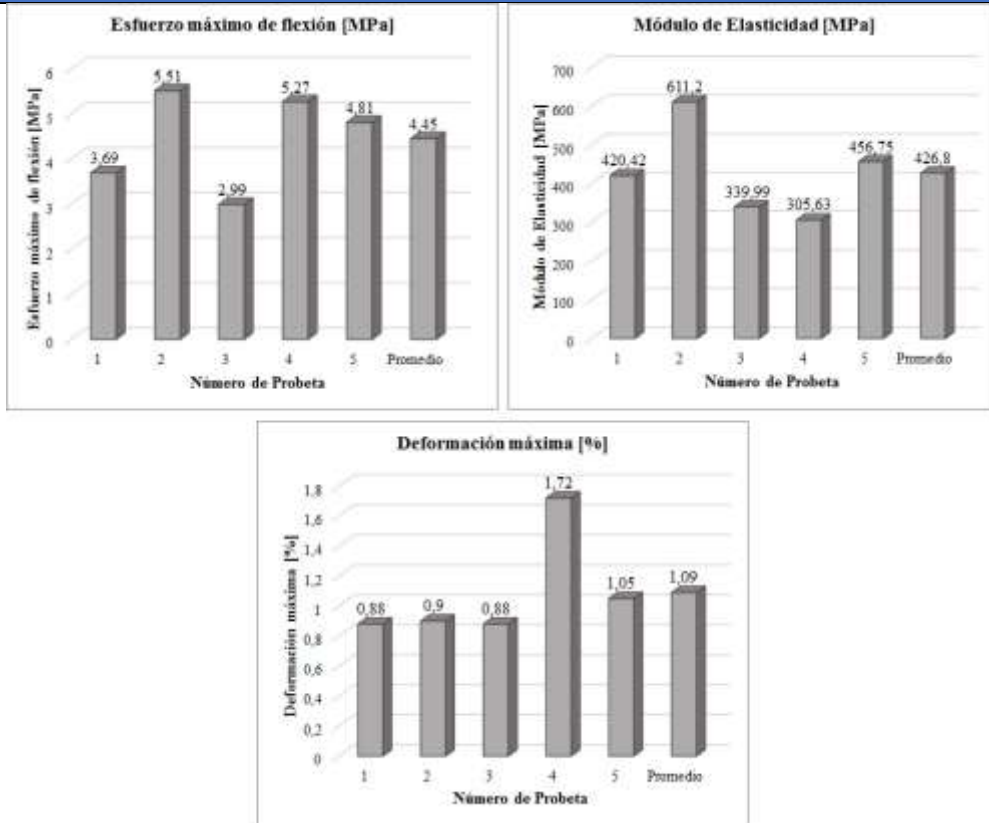
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín
-----------------	-----------------	----------------	------------------------

Fuente: La Autora

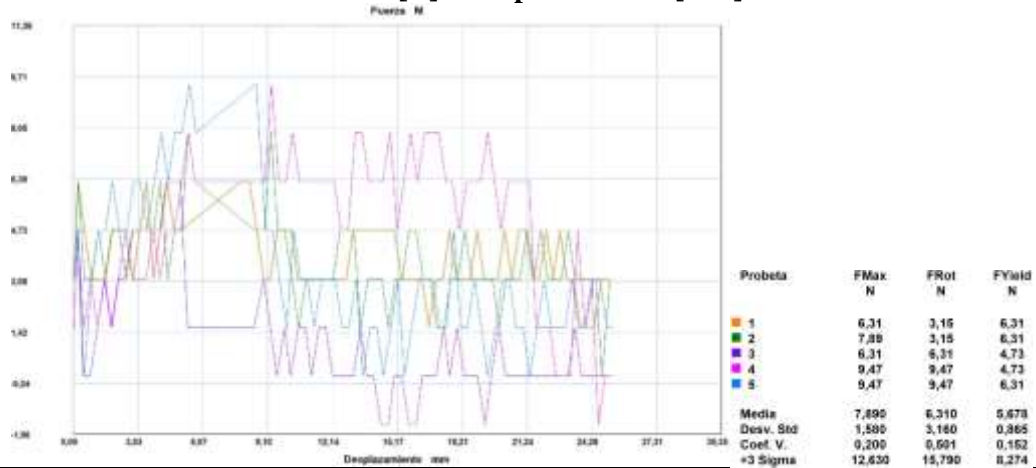
Tabla 23. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+35%+C sometido a ensayo a flexión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
Fecha de inicio:	24/01/2018	Fecha de finalización:	09/02/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-EFC 15					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero							
Norma:	ASTM D7264	Procedimiento:	A	No. Probetas:	5			
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Precarga:	0 N	Distancia entre apoyos:	130 mm			
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G3	Tamaño de las Partículas:	1,18 mm - 2,36 mm					
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho		Orientación de las partículas:	Aleatoria				
Dimensiones:	160 mm x 13 mm x e		Espesor promedio (e):	5,24 mm				
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	25 °C	Humedad Relativa:	46,3%			
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor						
1	12,77	5,11	6,31	4,84	3,69	420,42	0,88	OLR
2	12,54	4,72	7,89	5,38	5,51	611,20	0,90	OAM
3	12,85	5,66	6,31	4,38	2,99	339,99	0,88	OLR
4	12,81	5,23	9,47	9,29	5,27	305,63	1,72	OAM
5	12,84	5,47	9,47	5,42	4,81	456,75	1,05	OLL
Promedio \bar{X}			7,89	5,86	4,45	426,80	1,09	-
Desviación Estándar S_{n-1}			1,58	1,96	1,08	119,54	0,36	-
Coeficiente de variación CV			20,03	33,51	24,16	28,01	33,46	-
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN

- El espesor real promedio de este grupo de probetas fue 5,24 mm.
- El esfuerzo máximo de flexión promedio fue 4,45 MPa.
- El módulo de elasticidad de flexión promedio fue 426,80 MPa.




OBSERVACIÓN

- La probeta 1 y 3 presentó otro tipo de falla entre la carga y el punto de apoyo a la derecha.
- Las probetas 2 y 4 presentaron otro tipo de falla en el punto de carga al medio.
- La probeta 5 presentó otro tipo de falla entre la carga y el punto de apoyo a la izquierda.

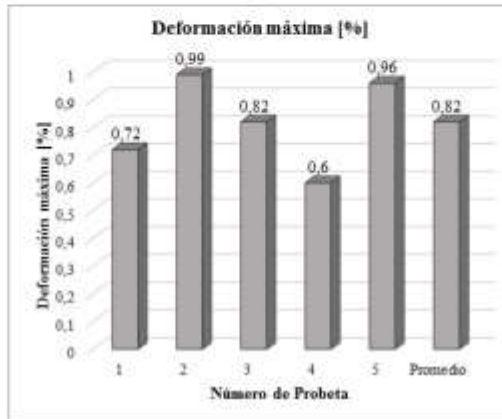
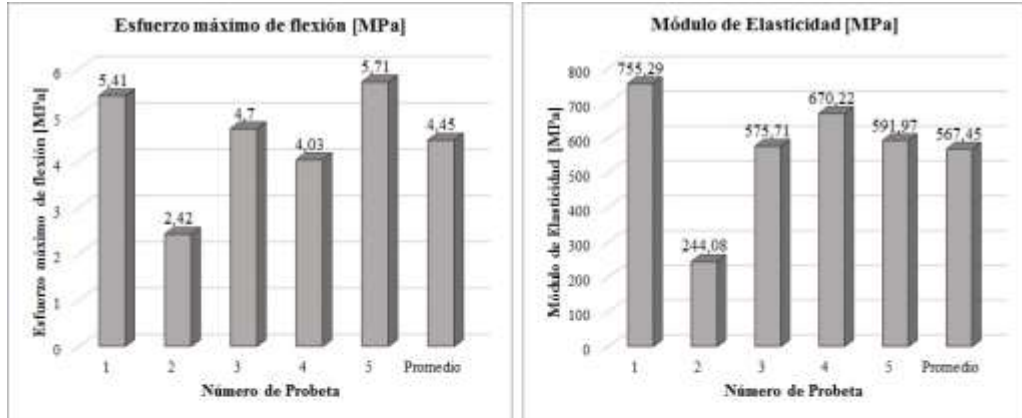
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín
-----------------	-----------------	----------------	------------------------

Fuente: La Autora

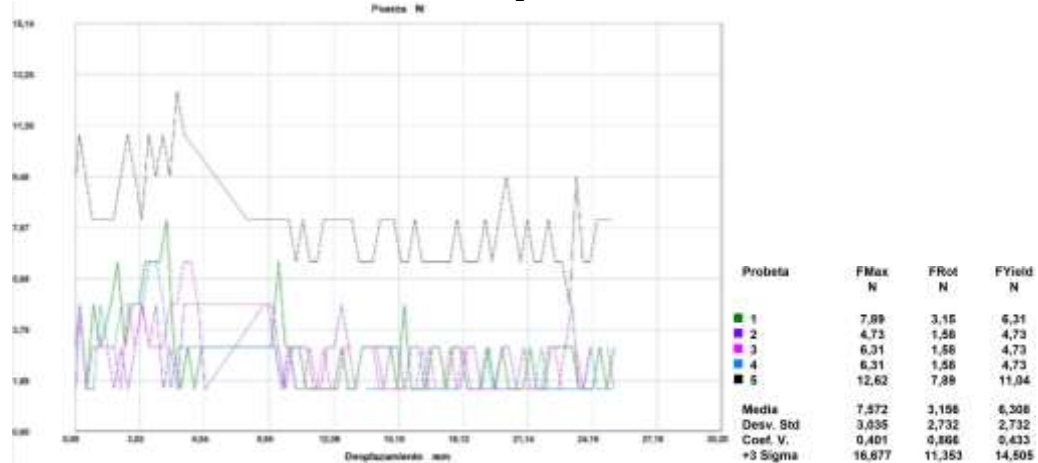
Tabla 24. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+40%+C sometido a ensayo a flexión.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
DATOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
Fecha de inicio:	24/01/2018		Fecha de finalización:	09/02/2018				
Ciudad:	Ambato		Identificación de grupo:	186502752020180104-EFC 16				
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D7264		Procedimiento:	A		No. Probetas:	5	
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	10 mm/min		Precarga:	0 N		Distancia entre apoyos:	130 mm	
Matriz:	Resina Poliéster		Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados				
Granulometría:	G3		Tamaño de las Partículas:	1,18 mm - 2,36 mm				
Fracción Volumétrica:	60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho			Orientación de las partículas:	Aleatoria			
Dimensiones:	160 mm x 13 mm x e			Espesor promedio (e):	5,06 mm			
Estratificación:	Compresión		Temperatura:	24,7 °C		Humedad Relativa:	47,8%	
RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
	Ancho	Espesor						
1	12,83	4,71	7,89	4,28	5,41	755,29	0,72	OAM
2	12,67	5,49	4,73	5,08	2,42	244,08	0,99	OLR
3	12,82	4,52	6,31	5,09	4,70	575,71	0,82	OLR
4	12,88	4,87	6,31	3,48	4,03	670,22	0,60	OAB
5	13,23	5,71	12,62	4,75	5,71	591,97	0,96	OAM
Promedio \bar{X}			7,57	4,53	4,45	567,45	0,82	-
Desviación Estándar S_{n-1}			3,04	0,68	1,31	194,35	0,16	-
Coeficiente de variación CV			40,08	14,92	29,44	34,25	20,13	-
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> El espesor real promedio de este grupo de probetas fue 5,06 mm. El esfuerzo máximo de flexión promedio fue 4,45 MPa. El módulo de elasticidad de flexión promedio fue 567,45 MPa. 		<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 1 y 5 presentaron otro tipo de falla en el punto de carga al medio. La probeta 2 y 3 presentó otro tipo de falla entre la carga y el punto de apoyo a la derecha. La probeta 4 presentó otro tipo de falla en el punto de carga al fondo. 	
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

A continuación, en la Tabla 25 se presenta el resumen de los datos de las propiedades mecánicas obtenidas a partir del ensayo a flexión. Se tomaron los valores promedios del esfuerzo máximo de flexión, módulo de elasticidad de flexión y la deformación máxima.

Tabla 25. Recolección de los datos promedios del material compuesto sometido a ensayo a flexión.

Granulometría	Concentración Volumétrica del refuerzo	PROPIEDADES MECÁNICAS		
		Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación máxima (%)
G1	30%	13,16	425,46	3,21
	35%	7,27	201,40	3,67
	40%	3,93	175,53	3,01
G2	30%	7,78	1461,47	0,55
	35%	5,51	725,88	0,83
	40%	4,29	260,87	1,85
G3	30%	8,86	761,30	1,18
	35%	4,45	426,80	1,09
	40%	4,45	567,45	0,82

Fuente: La Autora

En la Figura 29, se representó en gráficos de barras los datos de la tabla anterior para: a) el esfuerzo máximo de flexión y b) el módulo de elasticidad. Los resultados evidencian que, para las tres granulometrías, estas propiedades disminuyen en función que aumenta el contenido de partículas llegando a su valor más alto para concentraciones del 30%; en función del tamaño de la partícula el esfuerzo máximo de flexión es mayor para G1, mientras que el módulo de elasticidad mayor es para G2.

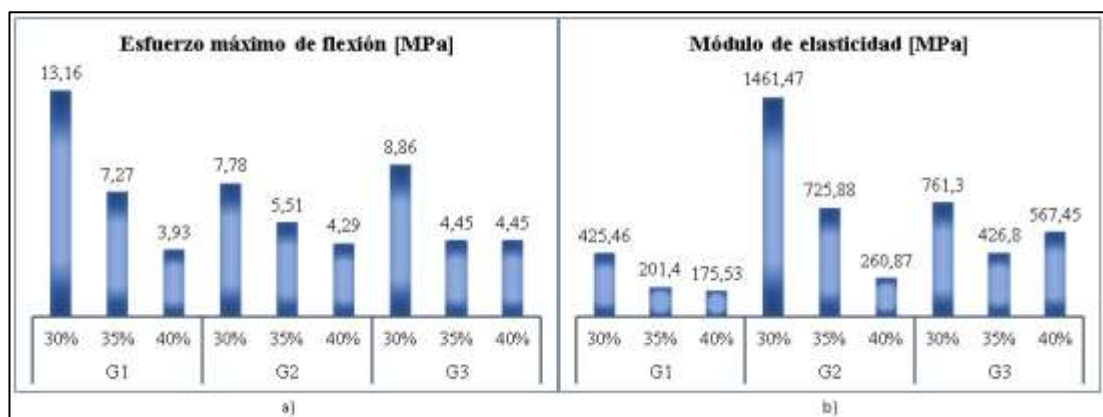


Figura 29. Ensayo a compresión.

Fuente: La Autora

4.4.7.2. Ensayo a compresión

El ensayo a compresión aplicado para el material compuesto en estudio fue realizado bajo la Norma ASTM D695-15: *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics* (ANEXO 5). En la Figura 30, al lado izquierdo se muestra la Máquina Universal de Ensayos insertada los platos de compresión y al lado derecho se visualiza el ensayo de una de las muestra en estudio.





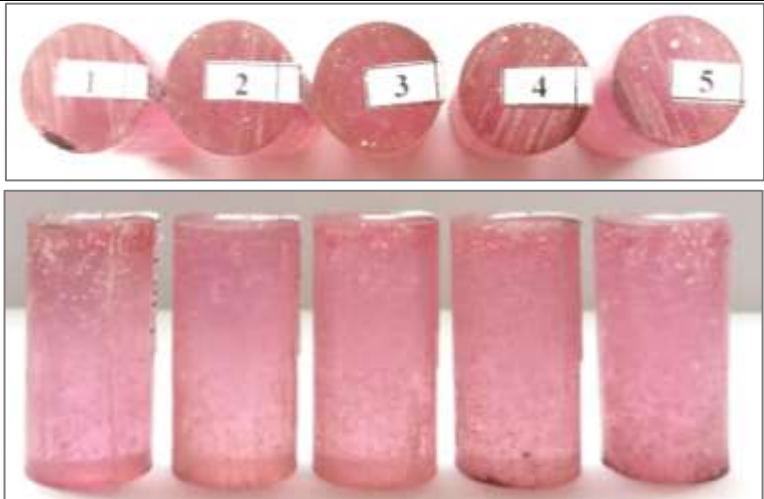
Figura 30. Ensayo a compresión.

Fuente: La Autora

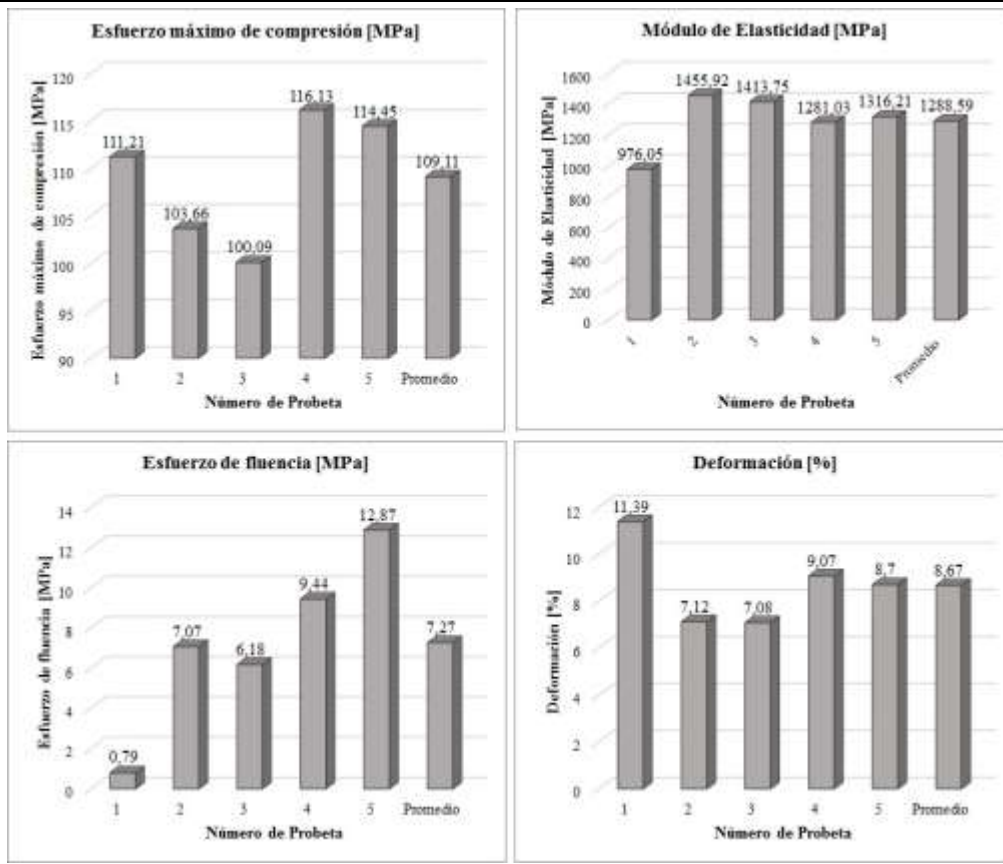
Por medio de este ensayo se determinó el esfuerzo máximo de compresión (σ_c), el esfuerzo de fluencia (S_{yc}), el módulo de elasticidad a compresión (E_c) y la deformación máxima más allá del punto de fluencia (ϵ_c) con las ecuaciones 25 – 28 descritas en el acápite 2.1.7.2 y cálculos estadísticos (\bar{x} , S_{n-1} y CV) de cada propiedad a partir de las ecuaciones 22 – 24 descritas en el acápite 2.1.7.1 del capítulo 2.

A continuación, se presenta las fichas técnicas de los datos y los resultados obtenidos del ensayo a compresión tanto para la matriz pura como para cada grupo de material compuesto.

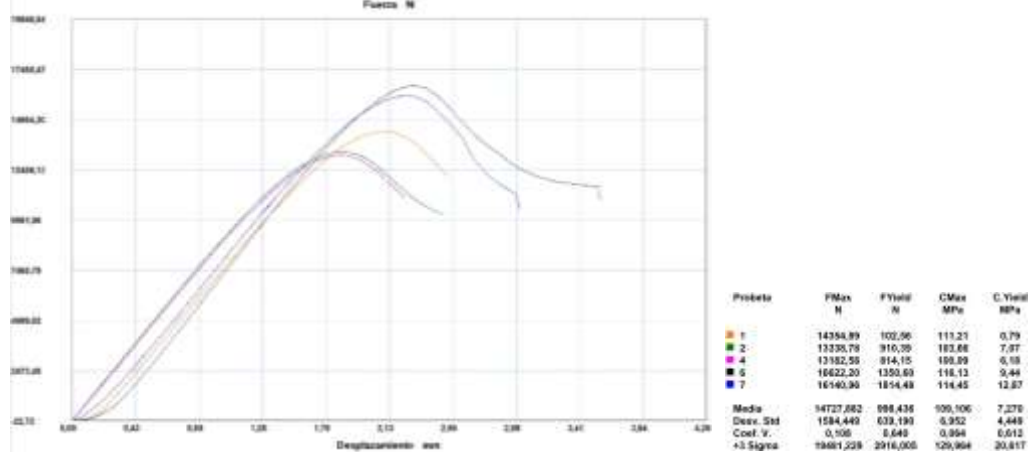
Tabla 26. Ficha Técnica de recolección de datos del material de orden 0%Ref+C sometido a ensayo a compresión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
Fecha de inicio:	29/01/2018	Fecha de finalización:	31/01/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-ECP 01					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D695-15	No. Probetas:	5					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	1,3 mm/min	Precarga:	0 N					
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	-					
Granulometría:	-	Tamaño de las Partículas:	-					
Fracción Volumétrica:	0% Partículas de caucho	Orientación de las partículas:	-					
Dimensiones:	Ø12,7 mm x 25,4 mm	Estratificación:	Compresión					
Temperatura:	22,3 °C	Humedad Relativa:	49,4%					
RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
	Diámetro	Longitud						
1	12,82	25,33	14354,89	102,56	111,21	0,79	11,39	976,05
2	12,80	25,38	13338,78	910,39	103,66	7,07	7,12	1455,92
3	12,95	25,44	13182,58	814,15	100,09	6,18	7,08	1413,75
4	13,50	25,35	16622,20	1350,60	116,13	9,44	9,07	1281,03
5	13,40	25,76	16140,96	1814,48	114,45	12,87	8,70	1316,21
Promedio \bar{X}			14727,88	998,44	109,11	7,27	8,67	1288,59
Desviación Estándar S_{n-1}			1584,45	639,19	6,95	4,45	1,77	188,53
Coeficiente de variación CV			10,76	64,02	6,37	61,19	20,39	14,63
FOTOGRAFÍAS A COMPRESIÓN								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN

- El esfuerzo máximo de compresión promedio fue 109,11 MPa.
- El módulo de elasticidad promedio fue 1288,59 MPa.
- El esfuerzo de fluencia promedio fue 7,27 MPa.
- La deformación promedio fue 8,67%.

OBSERVACIÓN





Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo.

Realizó: Carolina Acosta

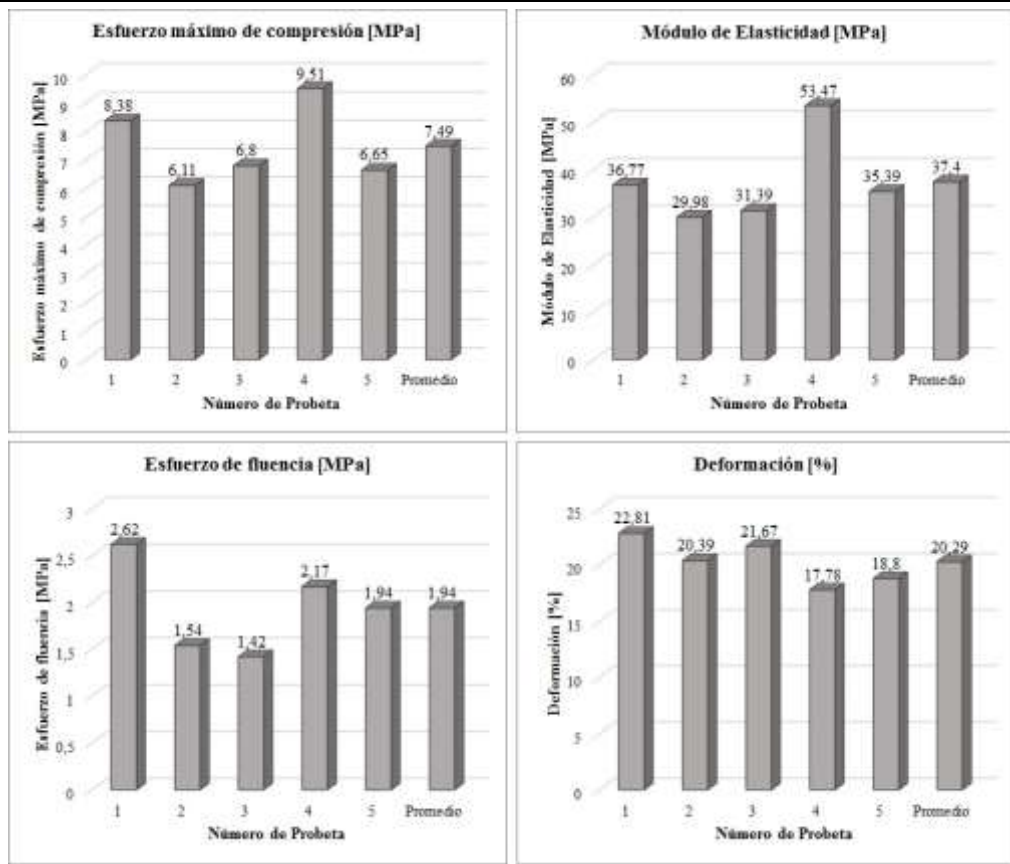
Revisó: Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

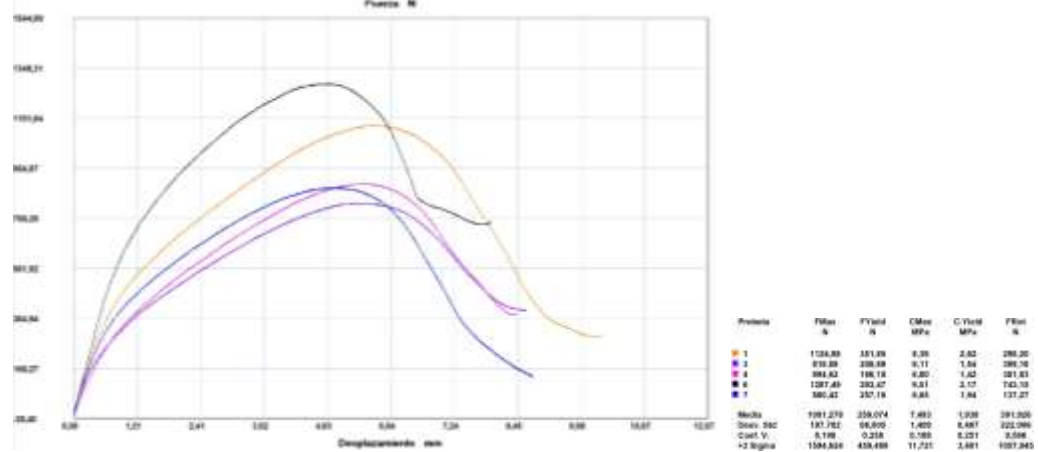
Tabla 27. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+30%+C sometido a ensayo a compresión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
Fecha de inicio:	29/01/2018	Fecha de finalización:	31/01/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-ECP 04					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D695-15	No. Probetas:	5					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	1,3 mm/min	Precarga:	0 N					
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G1	Tamaño de las Partículas:	0,05 mm – 0,6 mm					
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria					
Dimensiones:	Ø12,7 mm x 25,4 mm		Estratificación: Compresión					
Temperatura:	23 °C	Humedad Relativa:	47,1%					
RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
	Diámetro	Longitud						
1	13,07	25,12	1124,98	351,85	8,38	2,62	22,81	36,77
2	13,06	25,71	818,88	206,69	6,11	1,54	20,39	29,98
3	12,94	24,95	894,62	186,18	6,80	1,42	21,67	31,39
4	13,13	26,11	1287,49	293,47	9,51	2,17	17,78	53,47
5	12,98	25,48	880,42	257,18	6,65	1,94	18,80	35,39
Promedio \bar{X}			1001,28	259,07	7,49	1,94	20,29	37,40
Desviación Estándar S_{n-1}			197,78	66,81	1,41	0,49	2,05	9,41
Coeficiente de variación CV			19,75	25,79	18,81	25,14	10,09	25,15
FOTOGRAFÍAS								
								
								

GRÁFICAS







Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



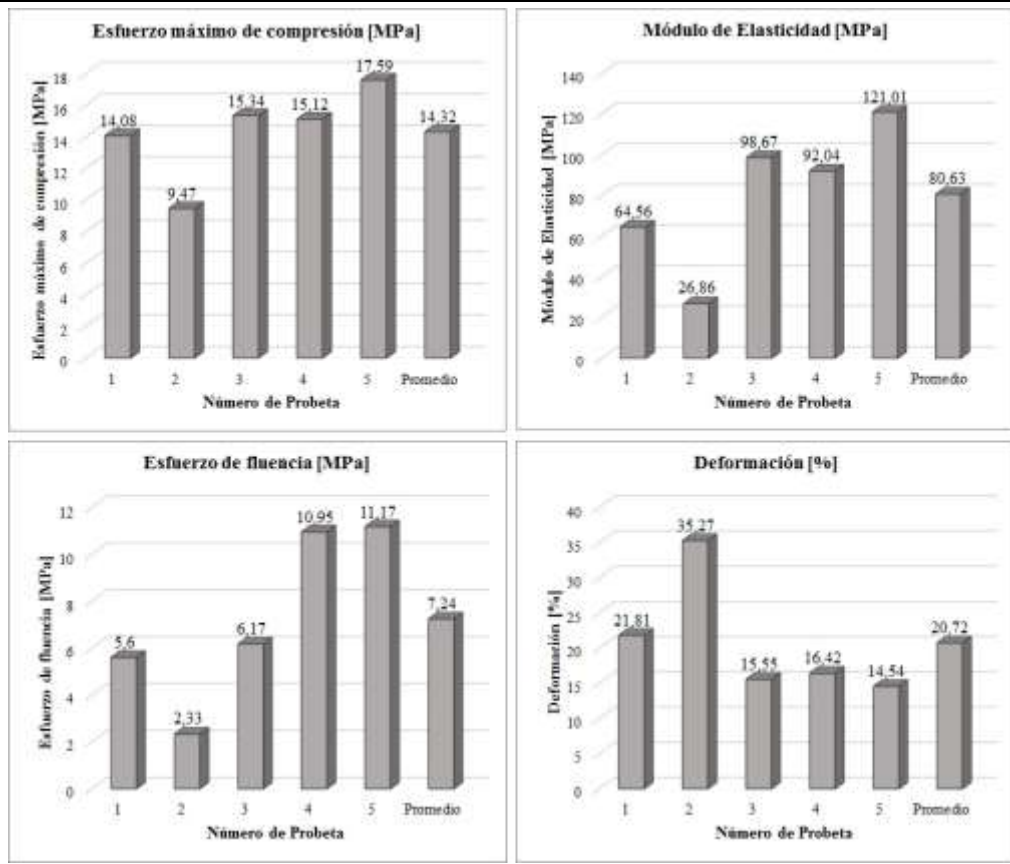
EVALUACIÓN	OBSERVACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> El esfuerzo máximo de compresión promedio fue 7,49 MPa. El módulo de elasticidad promedio fue 37,40 MPa. El esfuerzo de fluencia promedio fue 1,94 MPa. La deformación promedio fue 20,29%. 	<p>Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo.</p>
Realizó: Carolina Acosta	Revisó: Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

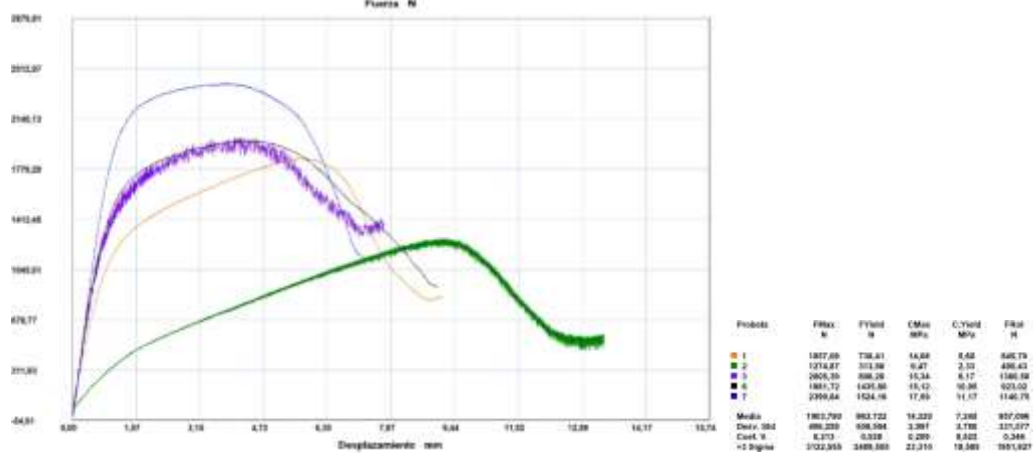
Tabla 28. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+35%+C sometido a ensayo a compresión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
Fecha de inicio:	29/01/2018	Fecha de finalización:	31/01/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-ECP 05					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D695-15	No. Probetas:	5					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	1,3 mm/min	Precarga:	0 N					
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G1	Tamaño de las Partículas:	0,05 mm – 0,6 mm					
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria					
Dimensiones:	Ø12,7 mm x 25,4 mm		Estratificación: Compresión					
Temperatura:	25 °C	Humedad Relativa:	46,2%					
RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
	Diámetro	Longitud						
1	12,96	25,65	1857,08	738,41	14,08	5,60	21,81	64,56
2	13,09	25,82	1274,87	313,98	9,47	2,33	35,27	26,86
3	12,90	25,78	2005,39	806,26	15,34	6,17	15,55	98,67
4	12,92	25,75	1981,72	1435,80	15,12	10,95	16,42	92,04
5	13,18	25,73	2399,84	1524,16	17,59	11,17	14,54	121,01
Promedio \bar{X}			1903,78	963,72	14,32	7,24	20,72	80,63
Desviación Estándar S_{n-1}			406,26	508,59	3,00	3,78	8,61	36,18
Coeficiente de variación CV			21,34	52,77	20,93	52,18	41,55	44,87
FOTOGRAFÍAS								
								
								

GRÁFICAS







Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



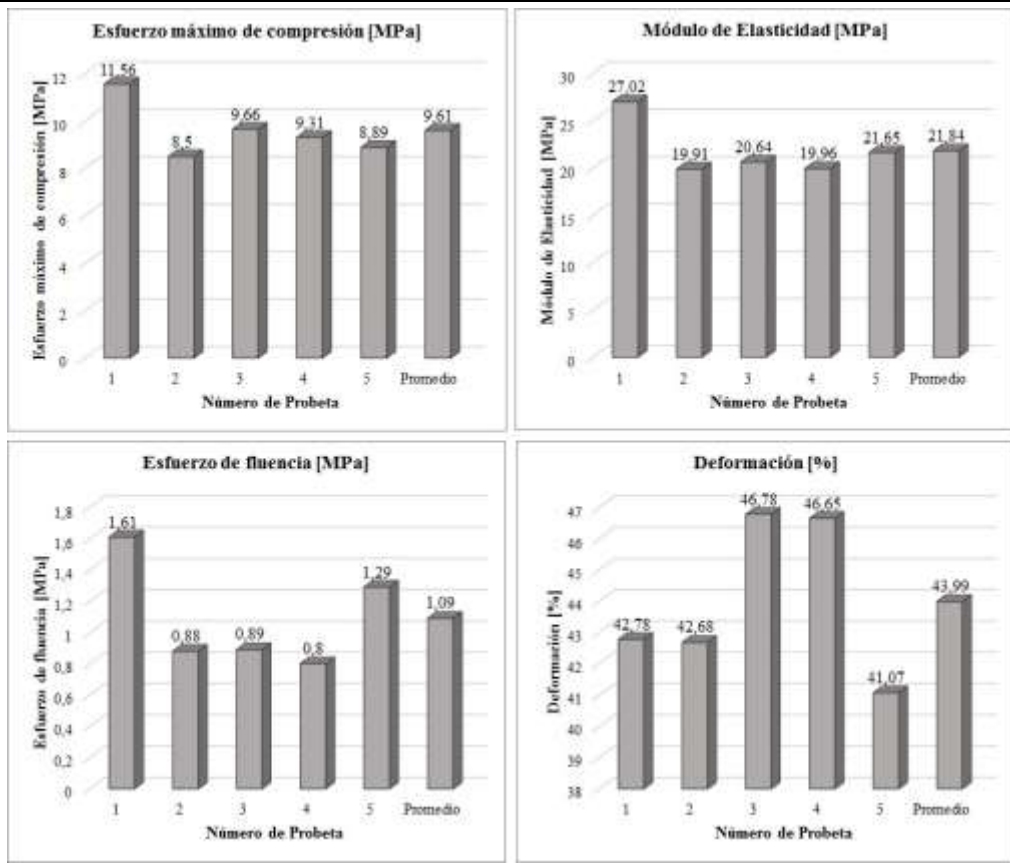
EVALUACIÓN	OBSERVACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> El esfuerzo máximo de compresión promedio fue 14,32 MPa. El módulo de elasticidad promedio fue 80,63 MPa. El esfuerzo de fluencia promedio fue 7,24 MPa. La deformación promedio fue 20,72%. 	<p>Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo.</p>
Realizó: Carolina Acosta	Revisó: Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

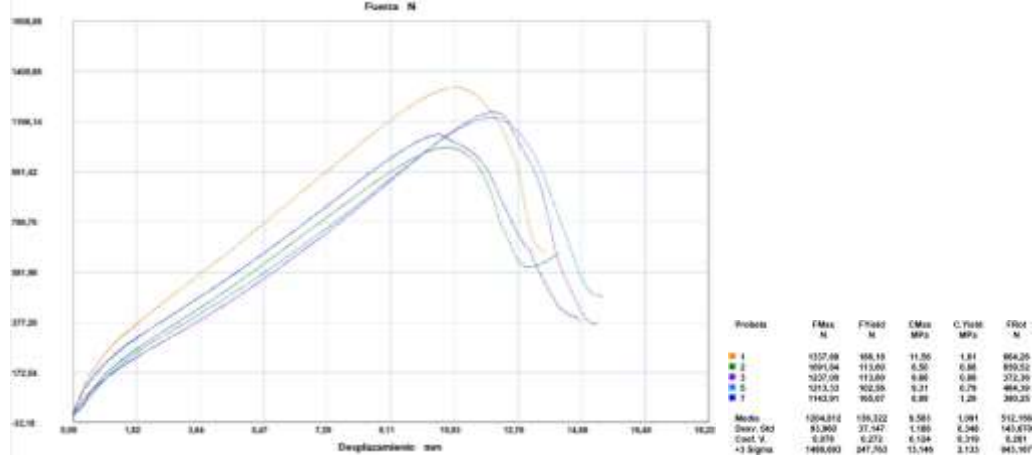
Tabla 29. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+40%+C sometido a ensayo a compresión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
Fecha de inicio:		29/01/2018		Fecha de finalización:		31/01/2018		
Ciudad:		Ambato		Identificación de grupo:		186502752020180104-ECP 06		
Laboratorio:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Norma:		ASTM D695-15			No. Probetas:		5	
Máquina:		Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50						
Velocidad de ensayo:		1,3 mm/min			Precarga:		0 N	
Matriz:		Resina Poliéster		Refuerzo:		Partículas de caucho de neumaticos reciclados		
Granulometría:		G1		Tamaño de las Partículas:		0,05 mm - 0,6 mm		
Fracción Volumétrica:		60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho			Orientación de las partículas:		Aleatoria	
Dimensiones:		Ø12,7 mm x 25,4 mm			Estratificación:		Compresión	
Temperatura:		24,5 °C		Humedad Relativa:		42,7%		
RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
	Diámetro	Longitud						
1	12,14	25,50	1337,98	186,18	11,56	1,61	42,78	27,02
2	12,79	25,03	1091,84	113,60	8,50	0,88	42,68	19,91
3	12,77	25,56	1237,00	113,60	9,66	0,89	46,78	20,64
4	12,88	25,58	1213,33	102,56	9,31	0,80	46,65	19,96
5	12,80	25,45	1143,91	165,67	8,89	1,29	41,07	21,65
Promedio \bar{X}			1204,81	136,32	9,61	1,09	43,99	21,84
Desviación Estándar S_{n-1}			93,96	37,15	1,18	0,35	2,58	2,98
Coeficiente de variación CV			7,80	27,25	12,30	31,60	5,86	13,64
FOTOGRAFÍAS								
								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN

- El esfuerzo máximo de compresión promedio fue 9,61 MPa.
- El módulo de elasticidad promedio fue 21,84 MPa.
- El esfuerzo de fluencia promedio fue 1,09 MPa.
- La deformación promedio fue 43,99%.





OBSERVACIÓN

Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo.

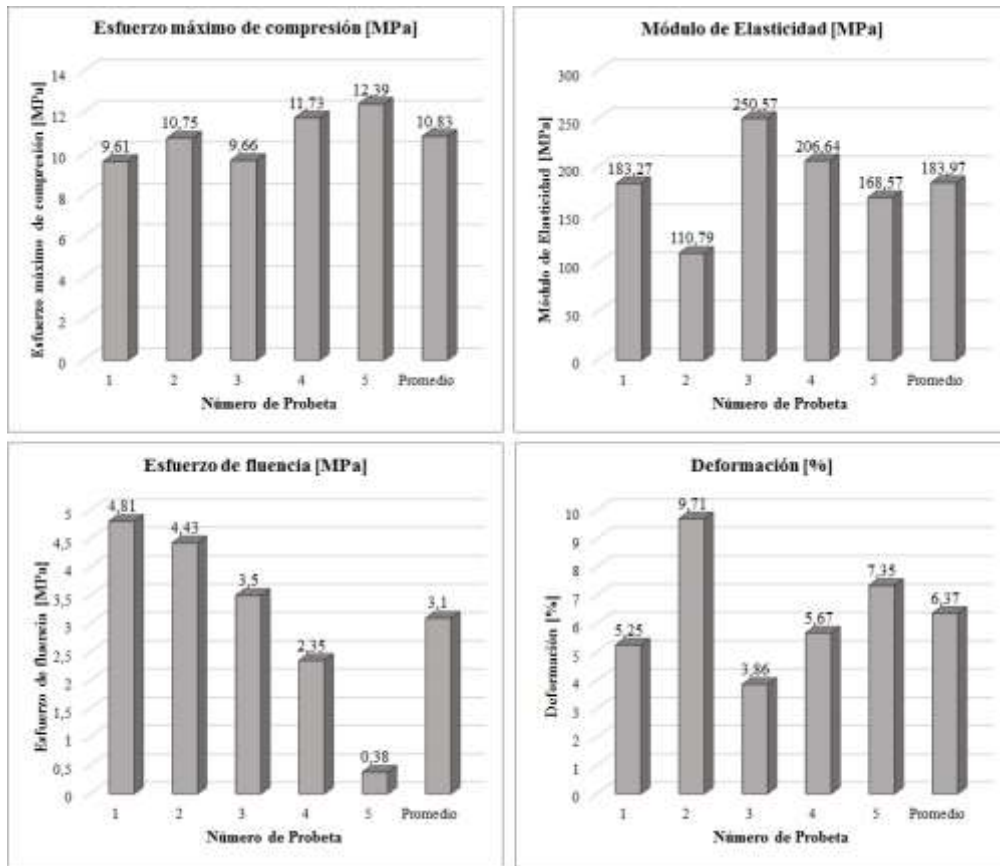
Realizó: Carolina Acosta **Revisó:** Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

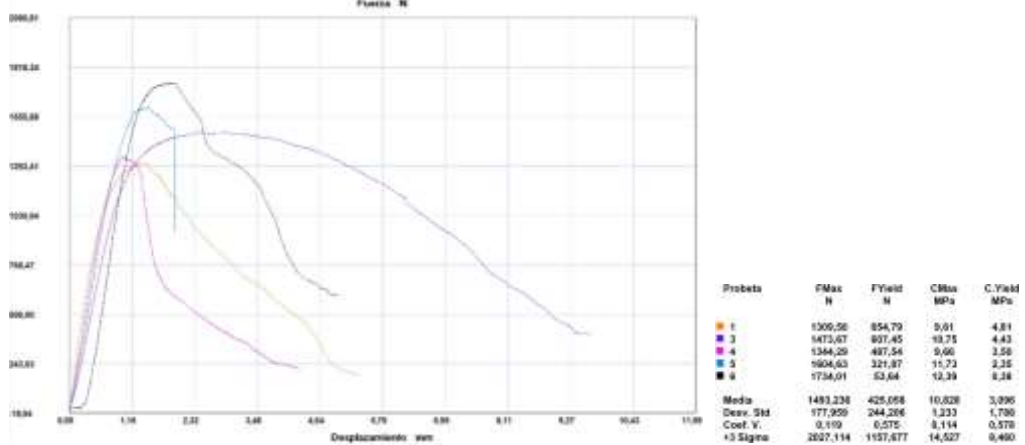
Tabla 30. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+30%+C sometido a ensayo a compresión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
Fecha de inicio:		29/01/2018		Fecha de finalización:		31/01/2018		
Ciudad:		Ambato		Identificación de grupo:		186502752020180104-ECP 09		
Laboratorio:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Norma:		ASTM D695-15			No. Probetas:		5	
Máquina:		Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50						
Velocidad de ensayo:		1,3 mm/min			Precarga:		0 N	
Matriz:		Resina Poliéster		Refuerzo:		Partículas de caucho de neumaticos reciclados		
Granulometría:		G2		Tamaño de las Partículas:		0,6 mm - 1,18 mm		
Fracción Volumétrica:		70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho			Orientación de las partículas:		Aleatoria	
Dimensiones:		Ø12,7 mm x 25,4 mm			Estratificación:		Compresión	
Temperatura:		21,2 °C		Humedad Relativa:		49,7%		
RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
	Diámetro	Longitud						
1	13,17	25,68	1309,58	654,79	9,61	4,81	5,25	183,27
2	13,21	25,45	1473,67	607,45	10,75	4,43	9,71	110,79
3	13,31	25,65	1344,29	487,54	9,66	3,50	3,86	250,57
4	13,20	25,73	1604,63	321,87	11,73	2,35	5,67	206,64
5	13,35	25,46	1734,01	53,64	12,39	0,38	7,35	168,57
Promedio \bar{X}			1493,24	425,06	10,83	3,10	6,37	183,97
Desviación Estándar S_{n-1}			177,96	244,21	1,23	1,79	2,24	51,34
Coeficiente de variación CV			11,92	57,45	11,39	57,77	35,26	27,91
FOTOGRAFÍAS								
								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN

- El esfuerzo máximo de compresión promedio fue 10,83 MPa.
- El módulo de elasticidad promedio fue 183,97 MPa.
- El esfuerzo de fluencia promedio fue 3,10 MPa.
- La deformación promedio fue 6,37%.

OBSERVACIÓN





Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo.

Realizó: Carolina Acosta

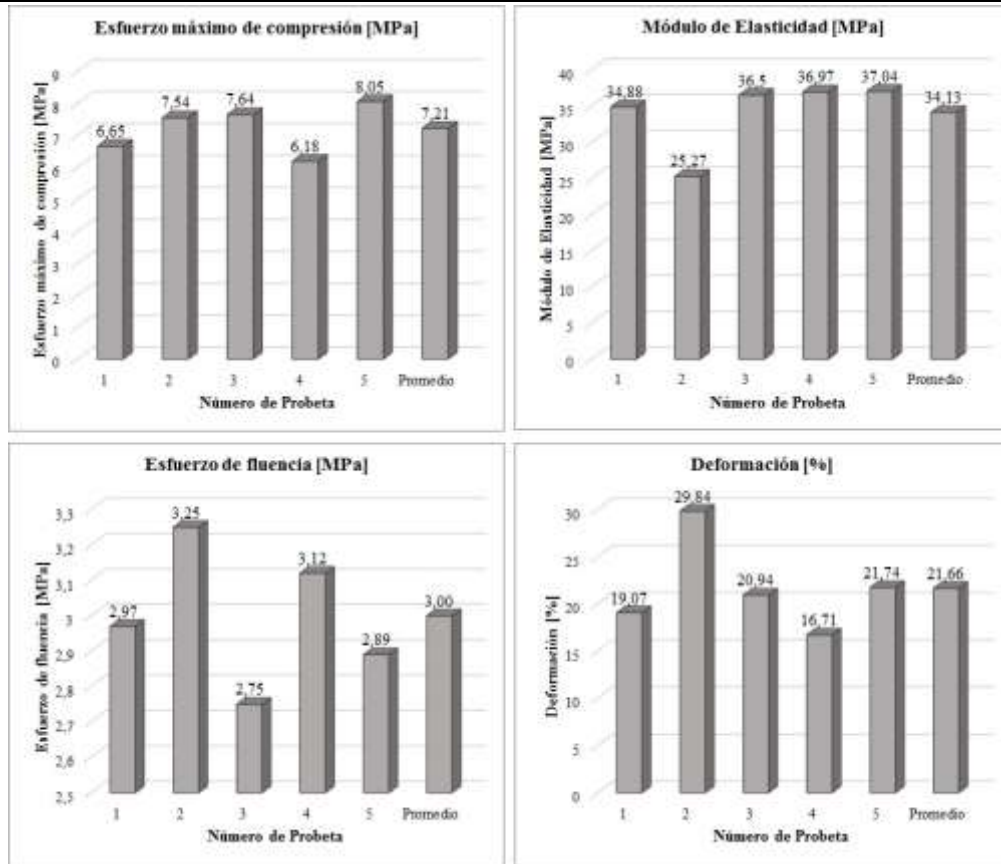
Revisó: Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

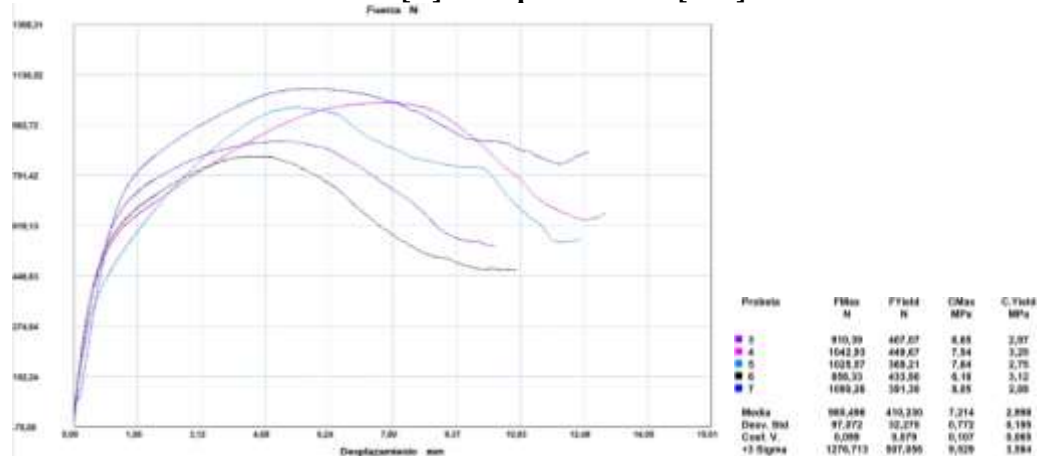
Tabla 31. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+35%+C sometido a ensayo a compresión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
Fecha de inicio:	29/01/2018	Fecha de finalización:	31/01/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-ECP 10					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D695-15	No. Probetas:	5					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	1,3 mm/min	Precarga:	0 N					
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G2	Tamaño de las Partículas:	0,6 mm - 1,18 mm					
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria					
Dimensiones:	Ø12,7 mm x 25,4 mm		Estratificación: Compresión					
Temperatura:	21,5 °C	Humedad Relativa:	50,6%					
RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
	Diámetro	Longitud						
1	13,20	25,81	910,39	407,07	6,65	2,97	19,07	34,88
2	13,27	25,48	1042,93	449,67	7,54	3,25	29,84	25,27
3	13,07	25,44	1025,57	369,21	7,64	2,75	20,94	36,50
4	13,30	25,66	858,33	433,90	6,18	3,12	16,71	36,97
5	13,13	25,40	1090,26	391,30	8,05	2,89	21,74	37,04
Promedio \bar{X}			985,50	410,23	7,21	3,00	21,66	34,13
Desviación Estándar S_{n-1}			97,07	32,28	0,77	0,20	4,97	5,03
Coeficiente de variación CV			9,85	7,87	10,70	6,52	22,93	14,74
FOTOGRAFÍAS								
								
								

GRÁFICAS







Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



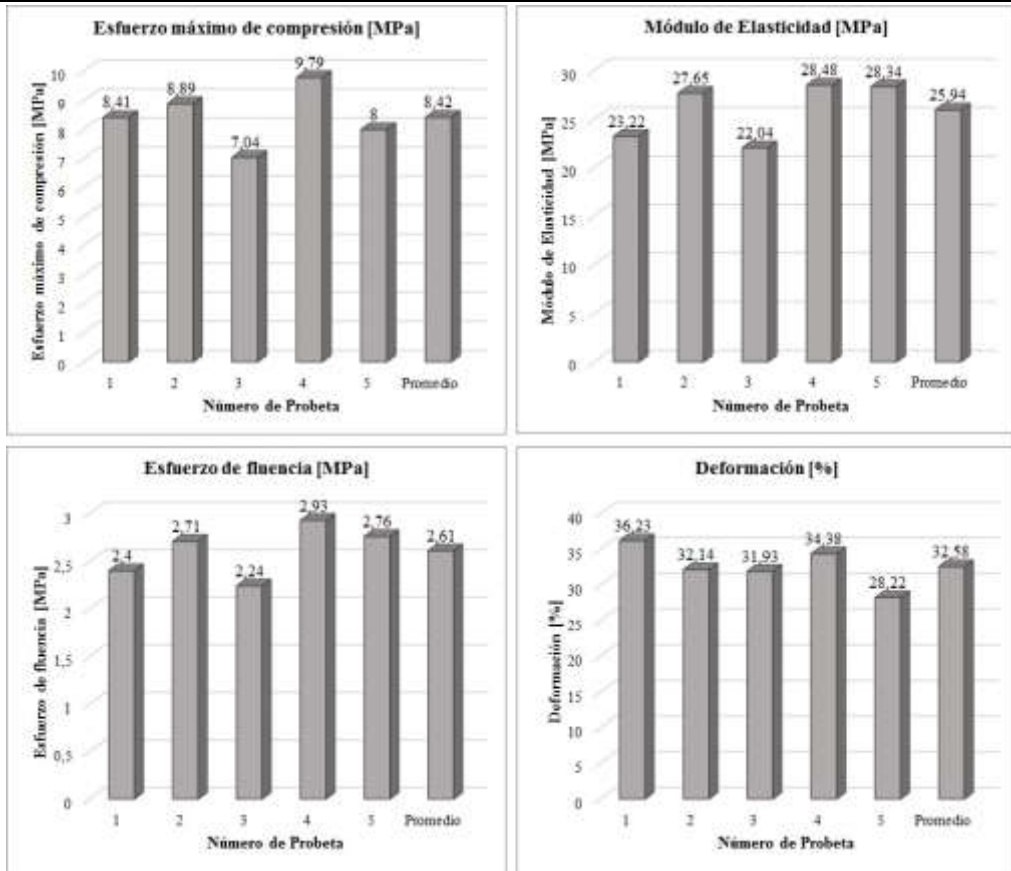
EVALUACIÓN	OBSERVACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> El esfuerzo máximo de compresión promedio fue 7,21 MPa. El módulo de elasticidad promedio fue 34,13 MPa. El esfuerzo de fluencia promedio fue 3,00 MPa. La deformación promedio fue 21,66%. 	<p>Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo.</p>
Realizó: Carolina Acosta	Revisó: Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

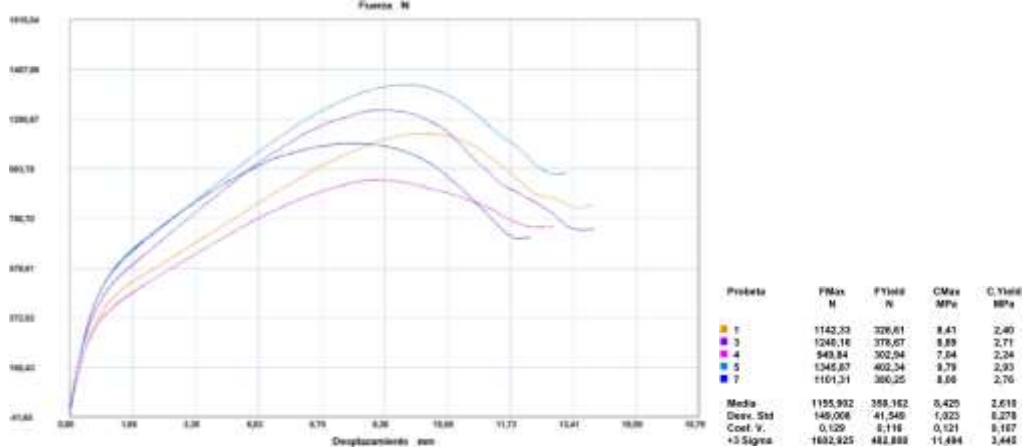
Tabla 32. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+40%+C sometido a ensayo a compresión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
Fecha de inicio:	29/01/2018	Fecha de finalización:	31/01/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-ECP 11					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D695-15	No. Probetas:	5					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	1,3 mm/min	Precarga:	0 N					
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G2	Tamaño de las Partículas:	0,6 mm - 1,18 mm					
Fracción Volumétrica:	60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria					
Dimensiones:	Ø12,7 mm x 25,4 mm		Estratificación: Compresión					
Temperatura:	21,9 °C	Humedad Relativa:	50,1%					
RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
	Diámetro	Longitud						
1	13,15	25,83	1142,33	326,61	8,41	2,40	36,23	23,22
2	13,33	25,78	1240,16	378,67	8,89	2,71	32,14	27,65
3	13,11	25,81	949,84	302,94	7,04	2,24	31,93	22,04
4	13,23	25,79	1345,87	402,34	9,79	2,93	34,38	28,48
5	13,24	25,92	1101,31	380,25	8,00	2,76	28,22	28,34
Promedio \bar{X}			1155,90	358,16	8,42	2,61	32,58	25,94
Desviación Estándar S_{n-1}			149,01	41,55	1,02	0,28	3,01	3,07
Coeficiente de variación CV			12,89	11,60	12,14	10,66	9,23	11,85
FOTOGRAFÍAS								
								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN

- El esfuerzo máximo de compresión promedio fue 8,42 MPa.
- El módulo de elasticidad promedio fue 25,94 MPa.
- El esfuerzo de fluencia promedio fue 2,61 MPa.
- La deformación promedio fue 35,58%.

OBSERVACIÓN





Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo.

Realizó: Carolina Acosta

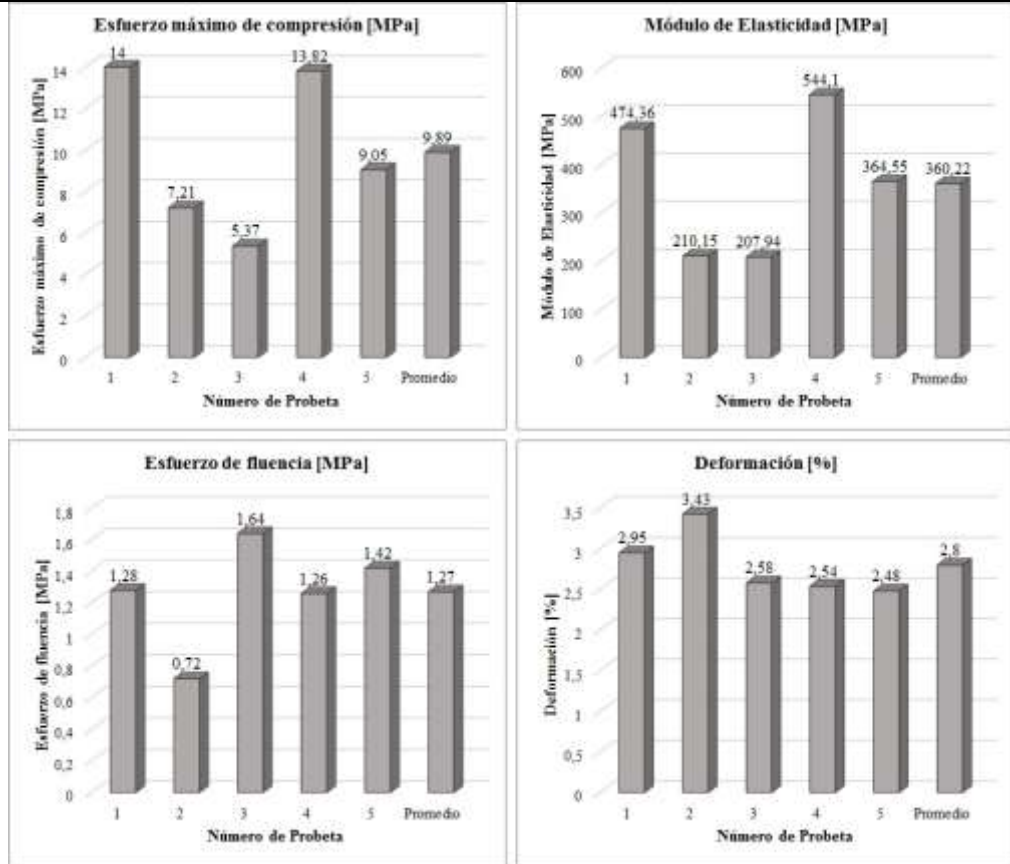
Revisó: Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

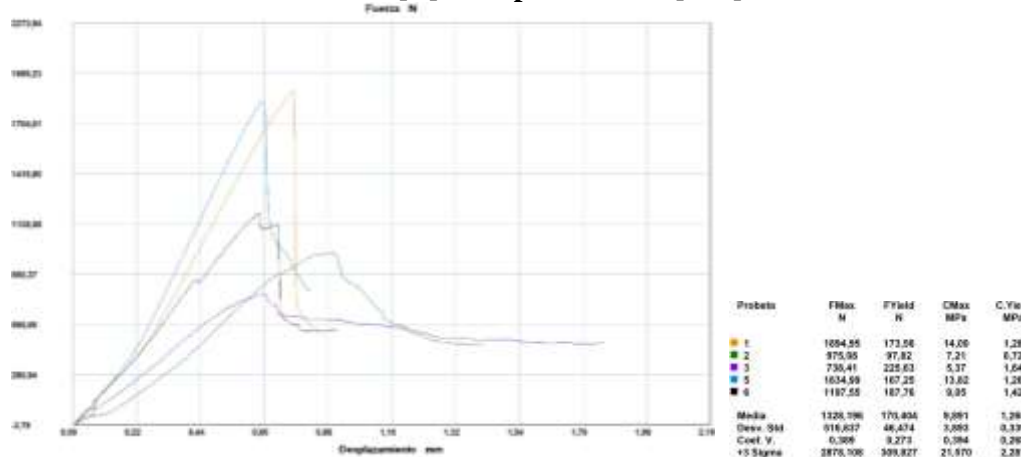
Tabla 33. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+30%+C sometido a ensayo a compresión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
Fecha de inicio:	29/01/2018	Fecha de finalización:	31/01/2018					
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-ECP 14					
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero							
Norma:	ASTM D695-15	No. Probetas:	5					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50							
Velocidad de ensayo:	1,3 mm/min	Precarga:	0 N					
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados					
Granulometría:	G3	Tamaño de las Partículas:	1,18 mm - 2,36 mm					
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria					
Dimensiones:	Ø12,7 mm x 25,4 mm		Estratificación: Compresión					
Temperatura:	22,3 °C	Humedad Relativa:	48,7%					
RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
	Diámetro	Longitud						
1	13,13	25,76	1894,95	173,56	14,00	1,28	2,95	474,36
2	13,12	26,02	975,08	97,82	7,21	0,72	3,43	210,15
3	13,23	25,24	738,41	225,63	5,37	1,64	2,58	207,94
4	13,00	25,70	1834,99	167,25	13,82	1,26	2,54	544,10
5	12,98	25,78	1197,55	187,76	9,05	1,42	2,48	364,55
Promedio \bar{X}			1328,20	170,40	9,89	1,27	2,80	360,22
Desviación Estándar S_{n-1}			516,64	46,47	3,89	0,34	0,40	152,13
Coeficiente de variación CV			38,90	27,27	39,36	26,77	14,26	42,23
FOTOGRAFÍAS								
								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN

- El esfuerzo máximo de compresión promedio fue 9,89 MPa.
- El módulo de elasticidad promedio fue 360,22 MPa.
- El esfuerzo de fluencia promedio fue 1,27 MPa.
- La deformación promedio fue 2,80%.

OBSERVACIÓN





Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo.

Realizó: Carolina Acosta

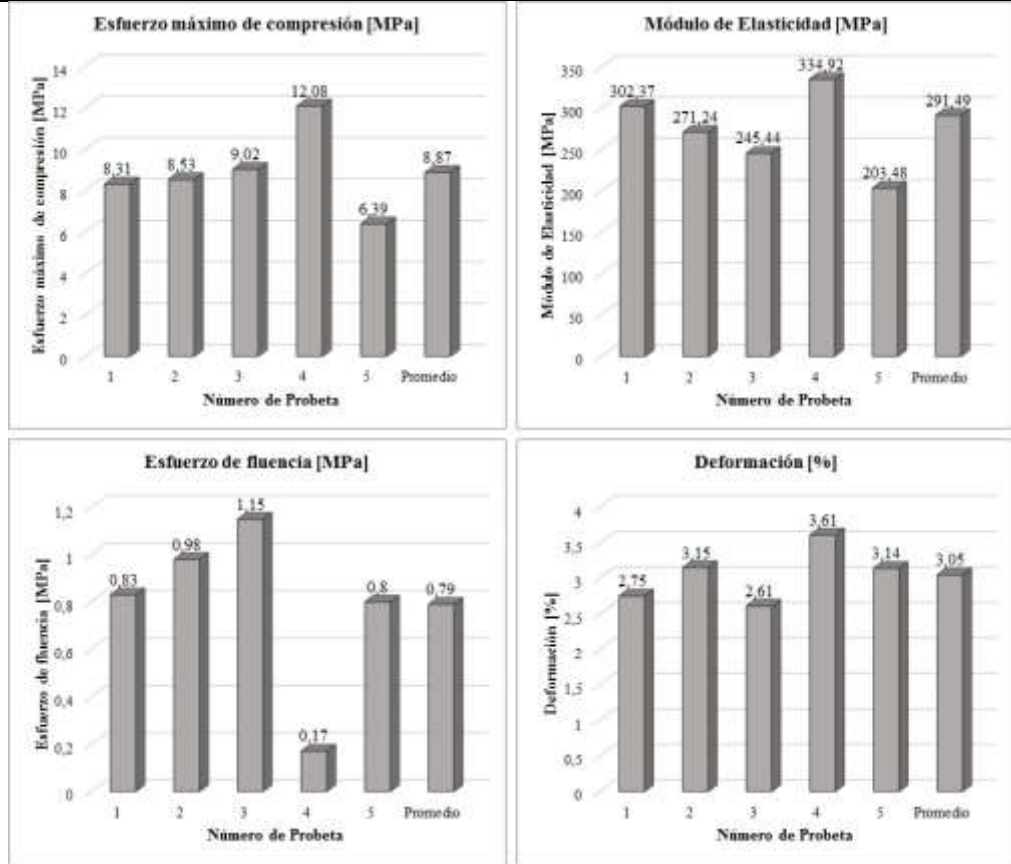
Revisó: Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

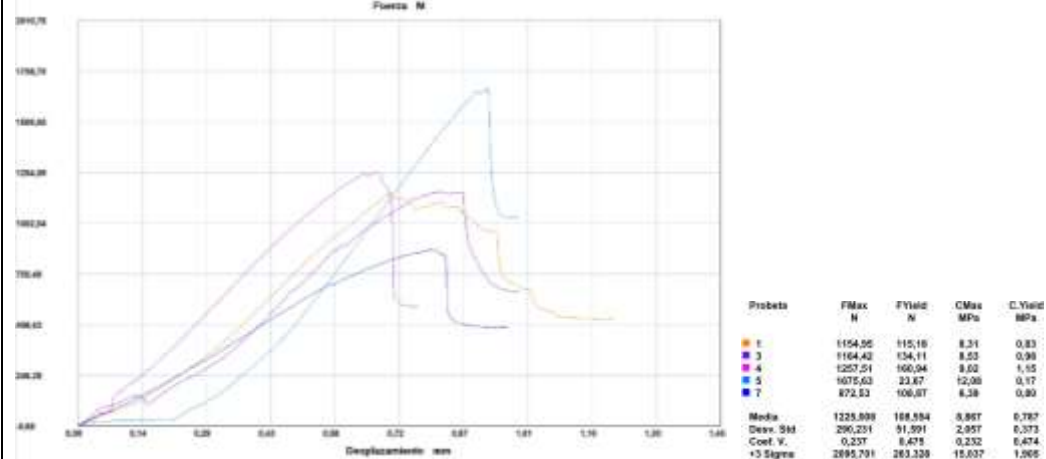
Tabla 34. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+35%+C sometido a ensayo a compresión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
Fecha de inicio:		29/01/2018		Fecha de finalización:		31/01/2018		
Ciudad:		Ambato		Identificación de grupo:		186502752020180104-ECP 15		
Laboratorio:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Norma:		ASTM D695-15			No. Probetas:		5	
Máquina:		Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50						
Velocidad de ensayo:		1,3 mm/min			Precarga:		0 N	
Matriz:		Resina Poliéster		Refuerzo:		Partículas de caucho de neumaticos reciclados		
Granulometría:		G3		Tamaño de las Partículas:		1,18 mm - 2,36 mm		
Fracción Volumétrica:		65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho			Orientación de las partículas:		Aleatoria	
Dimensiones:		Ø12,7 mm x 25,4 mm			Estratificación:		Compresión	
Temperatura:		22,4 °C		Humedad Relativa:		49%		
RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
	Diámetro	Longitud						
1	13,30	25,57	1154,95	115,18	8,31	0,83	2,75	302,37
2	13,18	25,87	1164,42	134,11	8,53	0,98	3,15	271,24
3	13,32	25,80	1257,51	160,94	9,02	1,15	2,61	245,44
4	13,29	25,62	1675,63	23,67	12,08	0,17	3,61	334,92
5	13,19	25,62	872,53	108,87	6,39	0,80	3,14	203,48
Promedio \bar{X}			1225,01	108,55	8,87	0,79	3,05	291,49
Desviación Estándar S_{n-1}			290,23	51,59	2,06	0,37	0,39	57,16
Coeficiente de variación CV			23,69	47,53	23,19	47,36	12,79	19,61
FOTOGRAFÍAS								
								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN

- El esfuerzo máximo de compresión promedio fue 8,87 MPa.
- El módulo de elasticidad promedio fue 291,49 MPa.
- El esfuerzo de fluencia promedio fue 0,789 MPa.
- La deformación promedio fue 3,05%.

OBSERVACIÓN




Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo.

Realizó: Carolina Acosta

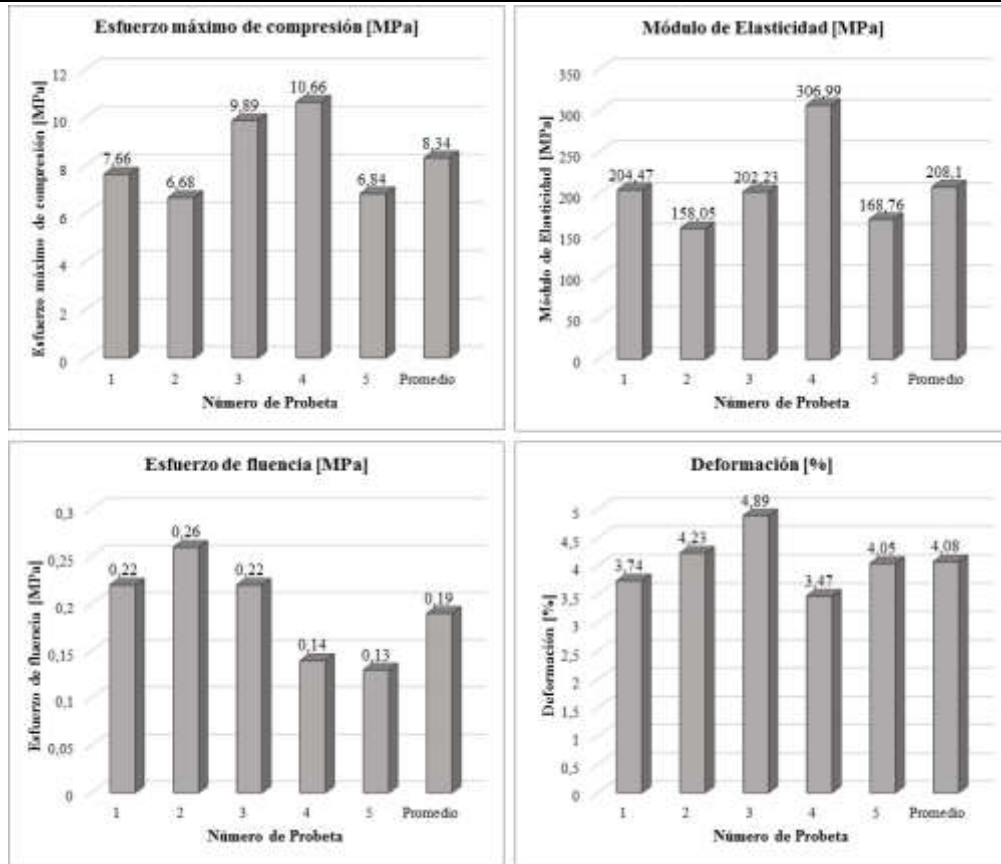
Revisó: Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

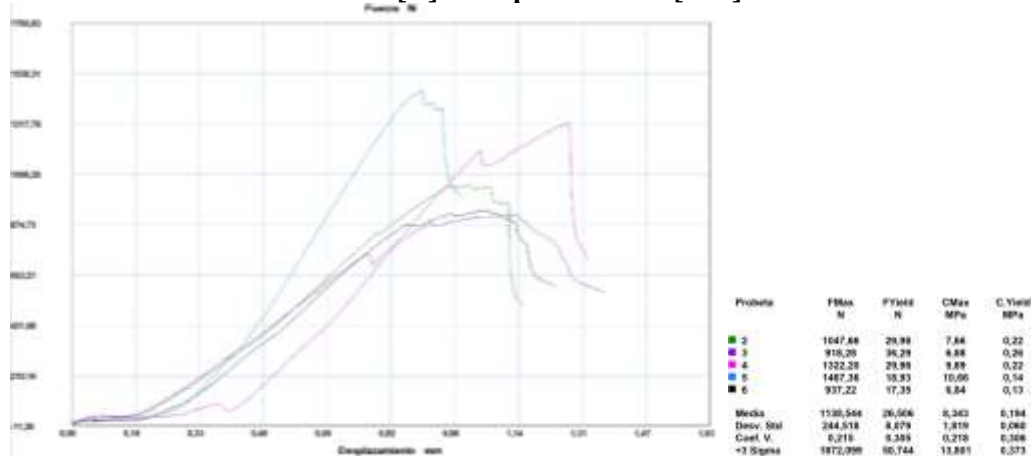
Tabla 35. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+40%+C sometido a ensayo a compresión.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
Fecha de inicio:		29/01/2018		Fecha de finalización:		31/01/2018		
Ciudad:		Ambato		Identificación de grupo:		186502752020180104-ECP 16		
Laboratorio:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Norma:		ASTM D695-15			No. Probetas:		5	
Máquina:		Máquina Universal de Ensayos Metrotest MTE-50						
Velocidad de ensayo:		1,3 mm/min			Precarga:		0 N	
Matriz:		Resina Poliéster		Refuerzo:		Partículas de caucho de neumaticos reciclados		
Granulometría:		G3		Tamaño de las Partículas:		1,18 mm – 2,36 mm		
Fracción Volumétrica:		60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho			Orientación de las partículas:		Aleatoria	
Dimensiones:		Ø12,7 mm x 25,4 mm			Estratificación:		Compresión	
Temperatura:		22,5 °C		Humedad Relativa:		48,7%		
RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN								
No.	Dimensiones (mm)		Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)
	Diámetro	Longitud						
1	13,20	25,96	1047,66	29,98	7,66	0,22	3,74	204,47
2	13,23	26,24	918,28	36,29	6,68	0,26	4,23	158,05
3	13,05	25,92	1322,20	29,98	9,89	0,22	4,89	202,23
4	13,24	25,78	1467,36	18,93	10,66	0,14	3,47	306,99
5	13,21	26,16	937,22	17,35	6,84	0,13	4,05	168,76
Promedio \bar{X}			1138,54	26,51	8,34	0,19	4,08	208,10
Desviación Estándar S_{n-1}			244,52	8,08	1,82	0,06	0,54	58,91
Coeficiente de variación CV			21,48	30,48	21,81	30,64	13,20	23,31
FOTOGRAFÍAS								
								

GRÁFICAS



Fuerza [N] – Desplazamiento [mm]



EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> El esfuerzo máximo de compresión promedio fue 8,34 MPa. El módulo de elasticidad promedio fue 208,10 MPa. El esfuerzo de fluencia promedio fue 0,19 MPa. La deformación promedio fue 4,08%. 		<p>Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo.</p>	
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

En la Tabla 36, se presenta el resumen de los datos de las propiedades mecánicas del material compuesto obtenidas a partir del ensayo a compresión. Se tomaron los valores promedios del esfuerzo máximo de compresión, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad de compresión y la deformación por compresión.

Tabla 36. Recolección de los datos promedios del material compuesto sometido a ensayo a compresión.

Granulometría	Concentración Volumétrica del refuerzo	PROPIEDADES MECÁNICAS			
		Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación por compresión (%)
G1	30%	7,49	1,94	37,40	20,29
	35%	14,32	7,24	80,63	20,72
	40%	9,61	1,09	21,84	43,99
G2	30%	10,83	3,10	183,97	6,37
	35%	7,21	3,00	34,13	21,66
	40%	8,42	2,61	25,94	32,58
G3	30%	9,89	1,27	360,22	2,80
	35%	8,87	0,79	291,49	3,05
	40%	8,34	0,19	208,10	4,08

Fuente: La Autora

En la Figura 31, se representó en gráficos de barras los datos de la tabla anterior para: a) el esfuerzo máximo de compresión y b) el módulo de elasticidad. Los resultados varían de acuerdo con el tamaño y contenido de las partículas ya que estos incrementan o disminuyen; el mayor esfuerzo máximo de compresión es para 35%G1, mientras que el mayor módulo de elasticidad es para 30%G3.

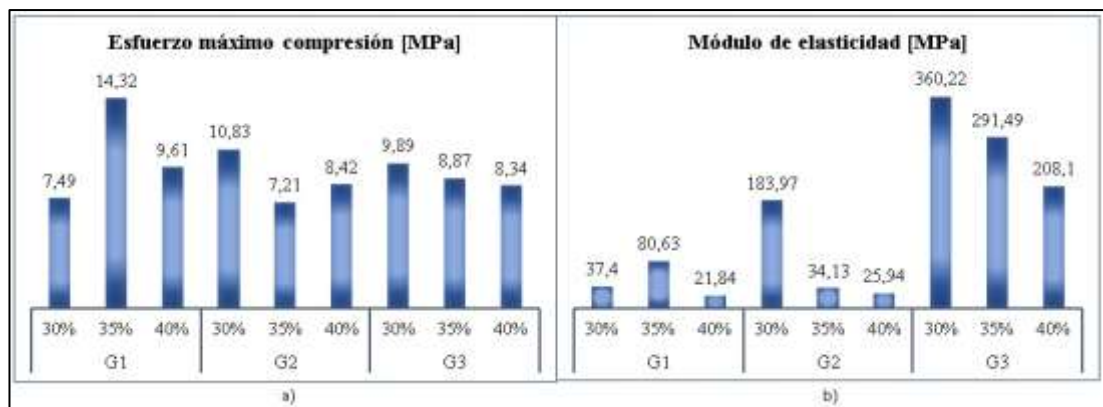


Figura 31. Ensayo a compresión.

Fuente: La Autora

4.4.7.3. Ensayo de dureza

Para la ejecución de este ensayo se utilizaron dos normas, las mismas que fueron aplicadas de acuerdo con las características que presentaron cada composición del material compuesto en estudio respecto a la granulometría y contenido de refuerzo. En la Tabla 37, se describen los grupos y la norma utilizada para los mismos.

Tabla 37. Norma aplicada para ensayo de dureza para los diferentes grupos de material en estudio.

Identificación del Grupo	Norma
186502752020180104-EDRP 01	ASTM D785-03
186502752020180104-EDRP 04	
186502752020180523-EDRP 05	ASTM D2240-03
186502752020180523-EDRP 06	
186502752020180523-EDRP 09	
186502752020180523-EDRP 10	
186502752020180523-EDRP 11	
186502752020180523-EDRP 14	
186502752020180523-EDRP 15	
186502752020180523-EDRP 16	

Fuente: La Autora

El primer grupo corresponde a muestras de matriz pura, y el segundo al material compuesto con fracción volumétrica del 30% partículas de caucho de granulometría G1 más el 70% matriz polimérica, para ambos grupos se aplicó el procedimiento B de la norma ASTM D785-03: *Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials* (ANEXO 6), procedimiento que usa la escala de dureza Rockwell (R) y se aplica una carga de 60 kg. La dureza Rockwell generalmente es usada para plásticos más duros.

El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de Tungurahua con el Equipo Durómetro Universal ERNST modelo NR3 DR como se muestra en la Figura 32.



Figura 32. Durómetro Universal ERNST modelo NR3 DR.

Fuente: La Autora

Los grupos restantes presentaban características de un material más blando, razón por lo que el ensayo se realizó bajo la Norma ASTM D2240-05: *Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness* (ANEXO 7) con escala de dureza Shore A. Esta escala generalmente se usa para materiales más flexibles como: cauchos/elastómeros y plásticos más blandos. El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio antes mencionado con el Equipo Durómetro Shore como se muestra en la Figura 33.




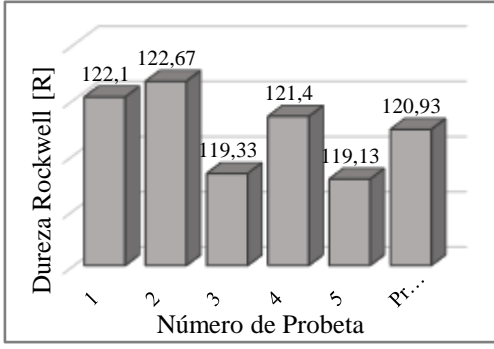


Figura 33. Durómetro Shore A.

Fuente: La Autora




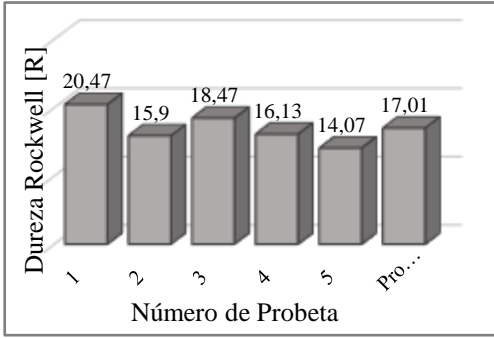
A continuación, se presenta las fichas técnicas de los datos y los resultados obtenidos del ensayo de dureza tanto para la matriz pura como para cada grupo de material compuesto.

Tabla 38. Ficha Técnica de recolección de datos del material polimérico de orden 0%Ref+C sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DATOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Fecha de inicio:	21/03/2018	Fecha de finalización:	21/03/2018	
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-EDRP 01	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Norma:	ASTM D785	Procedimiento:	B	
No. Probetas:	5			
Máquina:	Durómetro universal ERNST NR3 DR.			
Dirección de la prueba:	Perpendicular	Escala de Dureza:	Rockwell (R)	
Carga:	60 kg			
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	-	
Granulometría:	-	Tamaño de las Partículas:	-	
Fracción Volumétrica:	0% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	-	
Dimensiones:	40 mm x 40 mm x e	Espesor promedio (e):	5,63 mm	
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	28,8 °C	
Humedad Relativa:	49,8%			
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
No.	Dureza Rockwell (R)			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición Promedio
1	122,60	121,70	122,00	122,10
2	122,40	123,80	121,80	122,67
3	119,30	119,90	118,80	119,33
4	121,00	122,00	121,20	121,40
5	121,00	117,80	118,60	119,13
Promedio \bar{X}				120,93
Desviación Estándar S_{n-1}				1,61
Coeficiente de variación CV				1,33
FOTOGRAFÍAS		GRÁFICAS		
				
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN		
<p>La dureza promedio para este grupo de probetas correspondiente a solo matriz fue 120,93 HR.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Se realizó 3 mediciones por probeta y se calculó la medición promedio. Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín	



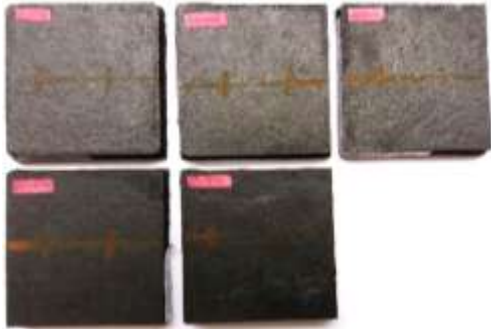
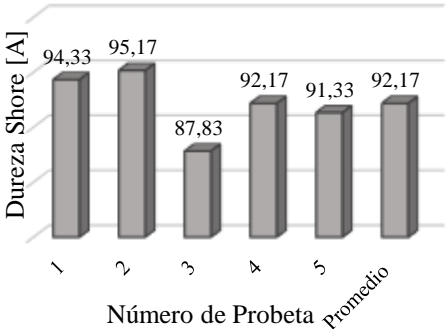
Fuente: La Autora

Tabla 39. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+30%+C sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DATOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Fecha de inicio:	21/03/2018	Fecha de finalización:	21/03/2018	
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180104-EDRP 04	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Norma:	ASTM D785	Procedimiento:	B	
No. Probetas:	5			
Máquina:	Durómetro universal ERNST NR3 DR.			
Dirección de la prueba:	Perpendicular	Escala de Dureza:	Rockwell (R)	
Carga:	60 kg			
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados	
Granulometría:	G1	Tamaño de las Partículas:	0,05 mm – 0,6 mm	
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria	
Dimensiones:	40 mm x 40 mm x e		Espesor promedio (e): 5,62 mm	
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	24 °C	
Humedad Relativa:	49,1%			
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
No.	Dureza Rockwell (R)			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición Promedio
1	22,40	18,50	20,50	20,47
2	16,90	17,50	13,30	15,90
3	15,40	22,50	17,50	18,47
4	17,90	16,20	14,30	16,13
5	15,70	13,90	12,60	14,07
Promedio \bar{X}				17,01
Desviación Estándar S_{n-1}				2,49
Coeficiente de variación CV				14,62
FOTOGRAFÍAS		GRÁFICAS		
				
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN		
<p>La dureza promedio para este grupo de probetas fue 17,01 HR.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Se realizó 3 mediciones por probeta y se calculó la medición promedio. Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín	

Fuente: La Autora

Tabla 40. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+35%+C sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DATOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Fecha de inicio:	21/05/2018	Fecha de finalización:	21/05/2018	
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180523-EDRP 05	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Norma:	ASTM D2240	No. Probetas:	5	
Máquina:	Durómetro Shore	Escala de Dureza:	Shore A	
Medio de prueba:	Manual	Intervalo de tiempo de indentación:	1 s	
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados	
Granulometría:	G1	Tamaño de las Partículas:	0,05 mm – 0,6 mm	
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria	
Dimensiones:	40 mm x 40 mm x e	Espesor promedio (e):	5,71 mm	
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	22,6 °C	
		Humedad Relativa:	56,6%	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
No.	Dureza SHORE (A)			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición Promedio
1	96,50	94,00	92,50	94,33
2	92,50	97,00	96,00	95,17
3	89,00	84,50	90,00	87,83
4	91,00	93,00	92,50	92,17
5	89,00	92,50	92,50	91,33
	Promedio \bar{X}			92,17
	Desviación Estándar S_{n-1}			2,88
	Coeficiente de variación CV			3,12
FOTOGRAFÍAS		GRÁFICAS		
				
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN		
<p>La dureza promedio para este grupo de probetas fue 92,17 Shore A.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Se realizó 3 mediciones por probeta y se calculó la medición promedio. Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín	

Fuente: La Autora

Tabla 41. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G1+40%+C sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DATOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Fecha de inicio:	21/05/2018	Fecha de finalización:	21/05/2018	
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180523-EDRP 06	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Norma:	ASTM D2240	No. Probetas:	5	
Máquina:	Durómetro Shore	Escala de Dureza:	Shore A	
Medio de prueba:	Manual	Intervalo de tiempo de indentación:	1 s	
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados	
Granulometría:	G1	Tamaño de las Partículas:	0,05 mm – 0,6 mm	
Fracción Volumétrica:	60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria	
Dimensiones:	40 mm x 40 mm x e	Espesor promedio (e):	5,72 mm	
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	22,3 °C	
		Humedad Relativa:	57,1%	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
No.	Dureza SHORE (A)			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición Promedio
1	96,50	97,00	97,50	97,00
2	97,00	97,50	97,50	97,33
3	94,00	96,50	96,50	95,67
4	97,00	96,00	95,50	96,17
5	96,00	96,00	96,50	96,17
	Promedio \bar{X}			96,47
	Desviación Estándar S_{n-1}			0,68
	Coeficiente de variación CV			0,71
FOTOGRAFÍAS		GRÁFICAS		
				
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN		
<p>La dureza promedio para este grupo de probetas fue 96,47 Shore A.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Se realizó 3 mediciones por probeta y se calculó la medición promedio. Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín	

Fuente: La Autora

Tabla 42. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+30%+C sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DATOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Fecha de inicio:	21/05/2018	Fecha de finalización:	21/05/2018	
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180523-EDRP 09	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Norma:	ASTM D2240	No. Probetas:	5	
Máquina:	Durómetro Shore	Escala de Dureza:	Shore A	
Medio de prueba:	Manual	Intervalo de tiempo de indentación:	1 s	
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados	
Granulometría:	G2	Tamaño de las Partículas:	0,6 mm - 1,18 mm	
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria	
Dimensiones:	40 mm x 40 mm x e	Espesor promedio (e):	5,85 mm	
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	22,2 °C	
		Humedad Relativa:	57,2%	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
No.	Dureza SHORE (A)			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición Promedio
1	98,50	99,00	98,50	98,67
2	96,50	98,00	97,50	97,33
3	98,00	96,50	98,50	97,67
4	97,50	97,00	97,00	97,17
5	98,00	94,50	98,50	97,00
	Promedio \bar{X}			97,57
	Desviación Estándar S_{n-1}			0,66
	Coeficiente de variación CV			0,68
FOTOGRAFÍAS		GRÁFICAS		
				
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN		
<p>La dureza promedio para este grupo de probetas fue 97,57 Shore A.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Se realizó 3 mediciones por probeta y se calculó la medición promedio. Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín	

Fuente: La Autora

Tabla 43. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+35%+C sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DATOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Fecha de inicio:	21/05/2018	Fecha de finalización:	21/05/2018	
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180523-EDRP 10	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Norma:	ASTM D2240	No. Probetas:	5	
Máquina:	Durómetro Shore	Escala de Dureza:	Shore A	
Medio de prueba:	Manual	Intervalo de tiempo de indentación:	1 s	
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados	
Granulometría:	G2	Tamaño de las Partículas:	0,6 mm - 1,18 mm	
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria	
Dimensiones:	40 mm x 40 mm x e	Espesor promedio (e):	6,12 mm	
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	22,2 °C	
		Humedad Relativa:	56,2%	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
No.	Dureza SHORE (A)			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición Promedio
1	96,50	92,50	91,50	93,50
2	97,00	97,00	97,00	97,00
3	91,50	93,00	91,00	91,83
4	95,00	95,00	97,00	95,67
5	96,00	94,50	96,00	95,50
	Promedio \bar{X}			94,70
	Desviación Estándar S_{n-1}			2,03
	Coeficiente de variación CV			2,15
FOTOGRAFÍAS		GRÁFICAS		
				
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN		
<p>La dureza promedio para este grupo de probetas fue 94,70 Shore A.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Se realizó 3 mediciones por probeta y se calculó la medición promedio. Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín	

Fuente: La Autora

Tabla 44. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G2+40%+C sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DATOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Fecha de inicio:	21/05/2018	Fecha de finalización:	21/05/2018	
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180523-EDRP 11	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Norma:	ASTM D2240	No. Probetas:	5	
Máquina:	Durómetro Shore	Escala de Dureza:	Shore A	
Medio de prueba:	Manual	Intervalo de tiempo de indentación:	1 s	
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados	
Granulometría:	G2	Tamaño de las Partículas:	0,6 mm – 1,18 mm	
Fracción Volumétrica:	60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria	
Dimensiones:	40 mm x 40 mm x e	Espesor promedio (e):	6,13 mm	
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	22,1 °C	
		Humedad Relativa:	57,5%	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
No.	Dureza SHORE (A)			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición Promedio
1	91,50	97,00	97,00	95,17
2	95,00	96,50	96,50	96,00
3	93,50	96,50	95,50	95,17
4	97,50	96,00	95,00	96,17
5	96,00	96,50	94,00	95,50
	Promedio \bar{X}			95,60
	Desviación Estándar S_{n-1}			0,47
	Coeficiente de variación CV			0,49
FOTOGRAFÍAS		GRÁFICAS		
				
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN		
<p>La dureza promedio para este grupo de probetas fue 95,60 Shore A.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Se realizó 3 mediciones por probeta y se calculó la medición promedio. Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín	



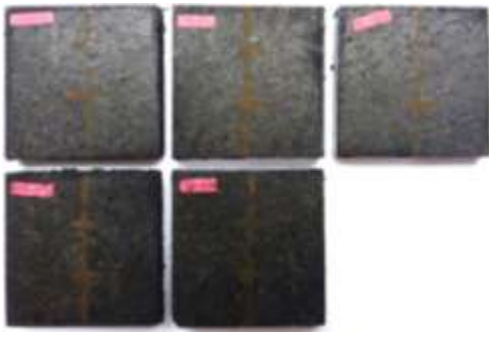
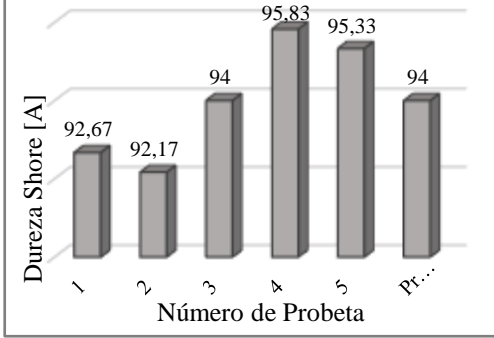
Fuente: La Autora

Tabla 45. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+30%+C sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DATOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Fecha de inicio:	21/05/2018	Fecha de finalización:	21/05/2018	
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180523-EDRP 14	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Norma:	ASTM D2240	No. Probetas:	5	
Máquina:	Durómetro Shore	Escala de Dureza:	Shore A	
Medio de prueba:	Manual	Intervalo de tiempo de indentación:	1 s	
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados	
Granulometría:	G3	Tamaño de las Partículas:	1,18 mm- 2,36 mm	
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria	
Dimensiones:	40 mm x 40 mm x e	Espesor promedio (e):	5,73 mm	
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	22,1 °C	
		Humedad Relativa:	55,9%	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
No.	Dureza SHORE (A)			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición Promedio
1	98,50	97,00	97,50	97,67
2	98,00	97,00	98,50	97,83
3	95,50	94,50	96,00	95,33
4	95,50	96,50	93,00	95,00
5	97,00	98,00	95,50	96,83
	Promedio \bar{X}			96,53
	Desviación Estándar S_{n-1}			1,31
	Coeficiente de variación CV			1,36
FOTOGRAFÍAS		GRÁFICAS		
				
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN		
<p>La dureza promedio para este grupo de probetas fue 96,53 Shore A.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Se realizó 3 mediciones por probeta y se calculó la medición promedio. Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín	




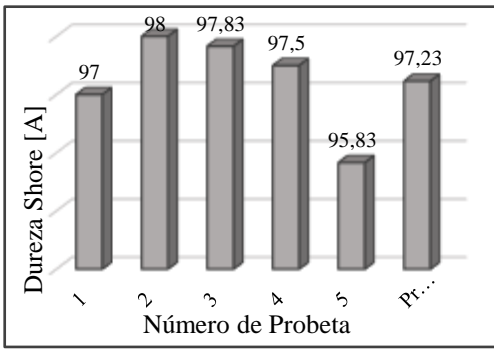
Fuente: La Autora

Tabla 46. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+35%+C sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DATOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Fecha de inicio:	21/05/2018	Fecha de finalización:	21/05/2018	
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180523-EDRP 15	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Norma:	ASTM D2240	No. Probetas:	5	
Máquina:	Durómetro Shore	Escala de Dureza:	Shore A	
Medio de prueba:	Manual	Intervalo de tiempo de indentación:	1 s	
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados	
Granulometría:	G3	Tamaño de las Partículas:	1,18 mm- 2,36 mm	
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria	
Dimensiones:	40 mm x 40 mm x e	Espesor promedio (e):	5,99 mm	
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	22,6 °C	
		Humedad Relativa:	55,5%	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
No.	Dureza SHORE (A)			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición Promedio
1	92,00	94,50	91,50	92,67
2	92,50	93,50	90,50	92,17
3	95,50	91,00	95,50	94,00
4	96,00	96,50	95,00	95,83
5	96,50	95,00	94,50	95,33
	Promedio \bar{X}			94,00
	Desviación Estándar S_{n-1}			1,60
	Coeficiente de variación CV			1,71
FOTOGRAFÍAS				
				
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN		
<p>La dureza promedio para este grupo de probetas fue 94,00 Shore A.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Se realizó 3 mediciones por probeta y se calculó la medición promedio. Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín	

Fuente: La Autora

Tabla 47. Ficha Técnica de recolección de datos del material compuesto de orden G3+40%+C sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
DATOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Fecha de inicio:	21/05/2018	Fecha de finalización:	21/05/2018	
Ciudad:	Ambato	Identificación de grupo:	186502752020180523-EDRP 16	
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Norma:	ASTM D2240	No. Probetas:	5	
Máquina:	Durómetro Shore	Escala de Dureza:	Shore A	
Medio de prueba:	Manual	Intervalo de tiempo de indentación:	1 s	
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados	
Granulometría:	G3	Tamaño de las Partículas:	1,18 mm–2,36 mm	
Fracción Volumétrica:	60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho	Orientación de las partículas:	Aleatoria	
Dimensiones:	40 mm x 40 mm x e	Espesor promedio (e):	6,78 mm	
Estratificación:	Compresión	Temperatura:	22,1 °C	
		Humedad Relativa:	55,8%	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA				
No.	Dureza SHORE (A)			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición Promedio
1	97,00	96,50	97,50	97,00
2	98,00	98,00	98,00	98,00
3	98,00	97,50	98,00	97,83
4	97,50	98,00	97,00	97,50
5	97,00	95,00	95,50	95,83
	Promedio \bar{X}			97,23
	Desviación Estándar S_{n-1}			0,87
	Coeficiente de variación CV			0,90
FOTOGRAFÍAS		GRÁFICAS		
				
EVALUACIÓN		OBSERVACIÓN		
<p>La dureza promedio para este grupo de probetas fue 97,23 Shore A.</p>		<ul style="list-style-type: none"> Se realizó 3 mediciones por probeta y se calculó la medición promedio. Las fotografías mostradas son de las probetas después del ensayo. 		
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín	

Fuente: La Autora

En la Tabla 48, se presenta el resumen de los datos promedios de dureza del material compuesto y se puede observar que sólo el grupo de probetas con una fracción volumétrica de 30% partículas de caucho G1 y 70 % matriz polimérica (resina poliéster) fue posible medir en escala de dureza Rockwell, por lo tanto, es aquella composición que posee mayor resistencia a la penetración. Sin embargo,

Tabla 48. Recolección de los datos promedios del ensayo de dureza.

Granulometría	Fracción Volumétrica del refuerzo	Dureza Shore A
G1	30%	17,01 Rockwell
	35%	92,17
	40%	96,47
G2	30%	97,57
	35%	94,70
	40%	95,60
G3	30%	96,53
	35%	94,00
	40%	97,23

Fuente: La Autora

4.4.7.4. Ensayo de Fractografía

El ensayo se realizó en el Laboratorio de Materiales – FICM – IM de la Universidad Técnica de Ambato con la utilización del Microscopio de Barrido SEM marca TESCAN modelo VEGA 3 como se muestra en la Figura 34. Se trabajó en condiciones de bajo vacío debido a que el material no es conductor.

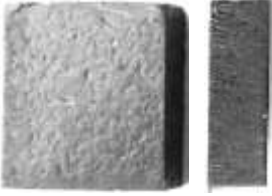
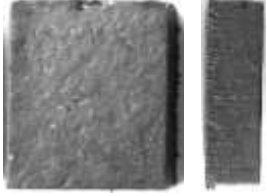
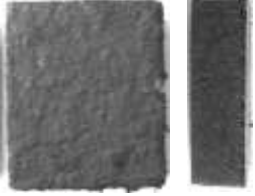
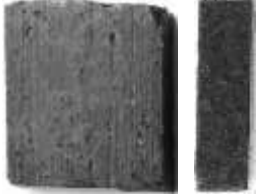


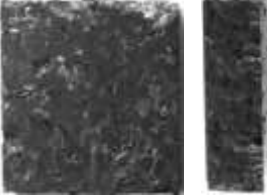

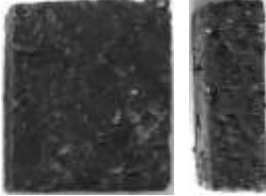


Figura 34. Ensayo de Fractografía

Fuente: La Autora

Este ensayo de adherencia entre matriz y refuerzo se realizó a una muestra por composición del material compuesto y tamaño de la partícula, por lo tanto 9 muestras fueron preparadas con dimensiones de $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times e$ como se muestra en la Tabla 49, con la finalidad de analizar el comportamiento del material compuesto luego de haber sido sometido a una carga flexionante.



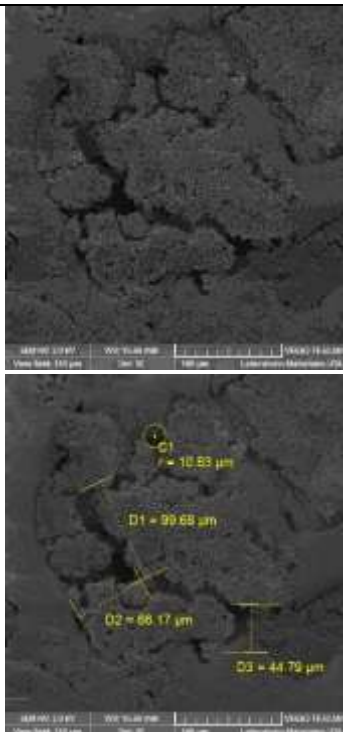
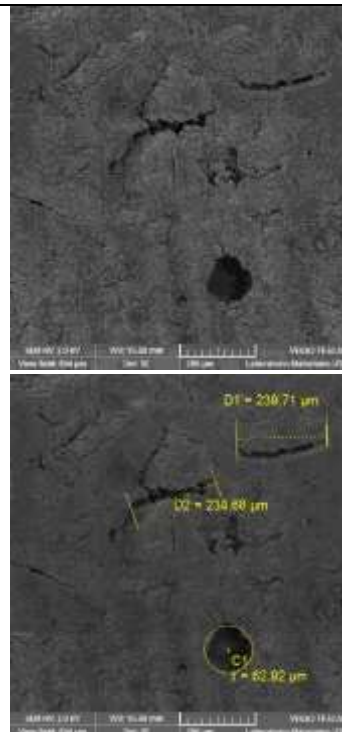
Tabla 49. Probetas de Fractografía.

Muestra para ensayo de Fractografía		
<p>G1+30%+C</p> 	<p>G1+35%+C</p> 	<p>G1+40%+C</p> 
<p>G2+30%+C</p> 	<p>G2+35%+C</p> 	<p>G2+40%+C</p> 
<p>G3+30%+C</p> 	<p>G3+35%+C</p> 	<p>G3+40%+C</p> 

Fuente: La Autora



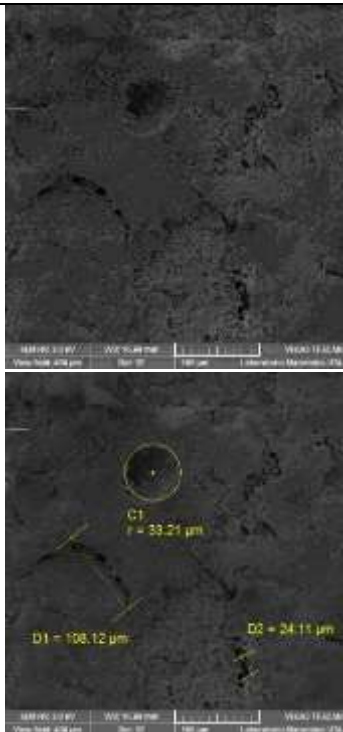
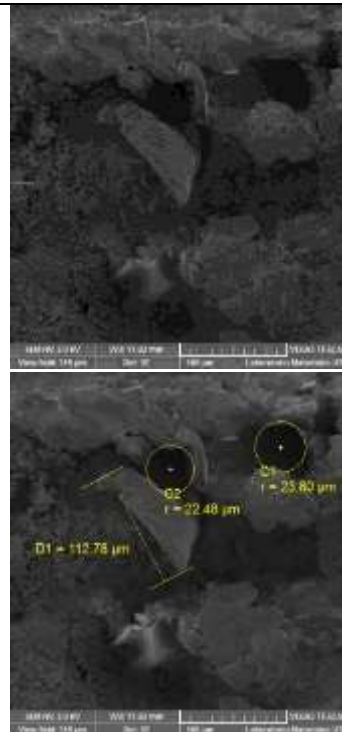
A continuación, se presenta las fichas técnicas de los datos y los resultados obtenidos del ensayo de Fractografía para cada grupo de material compuesto.

Tabla 50. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G1+30%+C.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS DEL ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha:	28/05/2018	Ciudad:	Ambato
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía – FICM – IM		
Realizado por:	Ing. José Luis Yunapanta	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Marca:	TESCAN
		Modelo:	VEGA 3
Voltaje:	2.0 kV	HV	LV
		X	
		Numero de meuestras:	1
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados
Granulometría:	G1	Orientación de las partículas:	Aleatoria
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho	Estratificación:	Compresión
Dimensiones de la probeta:	10 mm x 10 mm x e	Espesor (e):	4,64 mm
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO			
MAG. 439x		MAG. 155x	
			
OBSERVACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • El análisis fue realizado en muestras sometidas a ensayo a flexión. • Se pudo observar un agujero de 0,06292 mm de radio el cual puede ser producto de la manufactura del material compuesto. • Se observa la a presencia de grietas debido al desprendimiento del refuerzo de la matriz producto de las cargas a la cual fue sometida la muestra. 			
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín



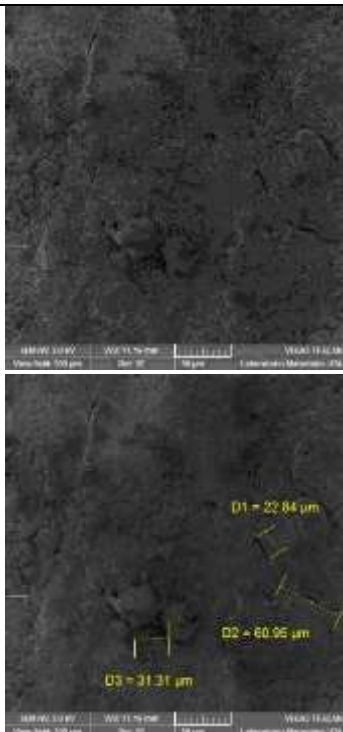
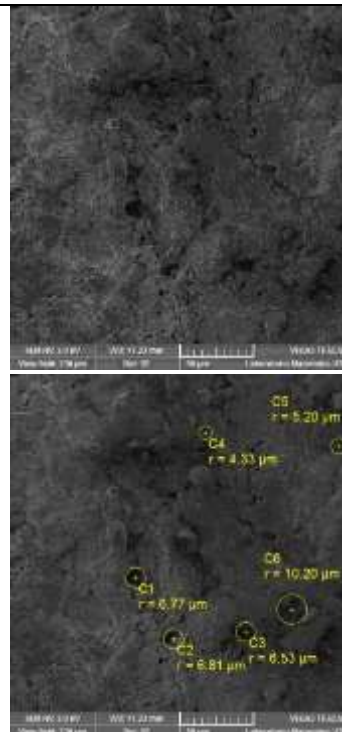
Fuente: La Autora

Tabla 51. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G1+35%+C.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS DEL ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha:	28/05/2018	Ciudad:	Ambato
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía – FICM – IM		
Realizado por:	Ing. José Luis Yunapanta	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Marca:	TESCAN
		Modelo:	VEGA 3
Voltaje:	2.0 kV	HV	LV
		X	
		Numero de meuestras:	1
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados
Granulometría:	G1	Orientación de las partículas:	Aleatoria
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho	Estratificación:	Compresión
Dimensiones de la probeta:	10 mm x 10 mm x e	Espesor (e):	5,17 mm
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO			
MAG. 346x		MAG. 439x	
			
OBSERVACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • El análisis fue realizado en muestras sometidas a ensayo a flexión. • Se observa la a presencia de fisuras y desgarró del compuesto producto de las cargas a la cual fue sometida la muestra. • En la imagen de 439x se pudo apreciar y medir una partícula de 0,11278 mm, misma que se encuentra en el rango de granulometría analizada, (0,05 – 0,6)mm. 			
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín



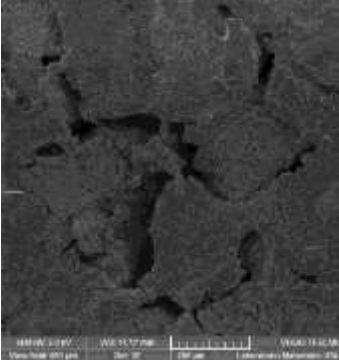
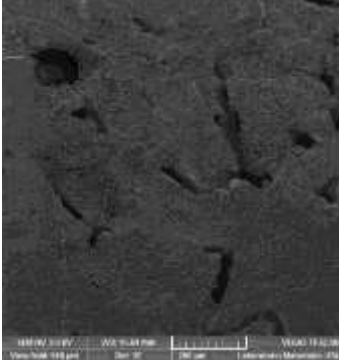
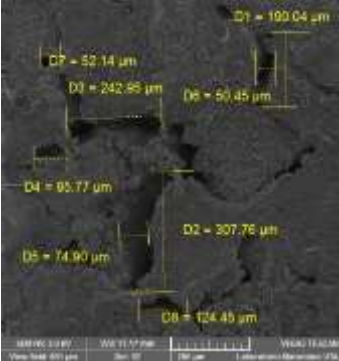
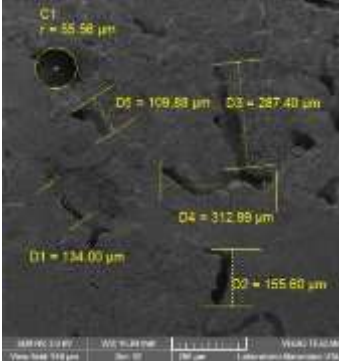
Fuente: La Autora

Tabla 52. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G1+40%+C.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS DEL ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha:	28/05/2018	Ciudad:	Ambato
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía – FICM – IM		
Realizado por:	Ing. José Luis Yunapanta	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Marca:	TESCAN
		Modelo:	VEGA 3
Voltaje:	2.0 kV	HV	LV
		X	
		Numero de meuestras:	1
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados
Granulometría:	G1	Orientación de las partículas:	Aleatoria
Fracción Volumétrica:	60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho	Estratificación:	Compresión
Dimensiones de la probeta:	10 mm x 10 mm x e	Espesor (e):	5,79 mm
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO			
MAG. 454x		MAG. 600x	
			
OBSERVACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • El análisis fue realizado en muestras sometidas a ensayo a flexión. • Se pudo observar una mejor adherencia entre la matriz y el refuerzo. • Se observa pocas grietas/fisuras producto de las cargas a la cual fue sometida la muestra. También, se observa nidos de poros, el cual puedo ser producto el desgarro del material. 			
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín



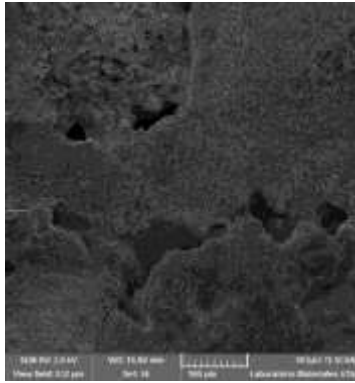
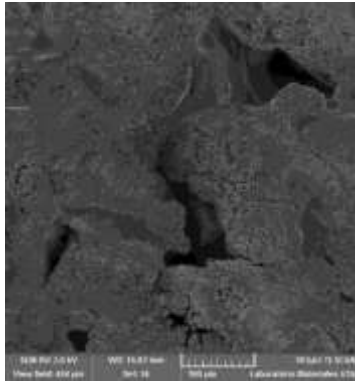
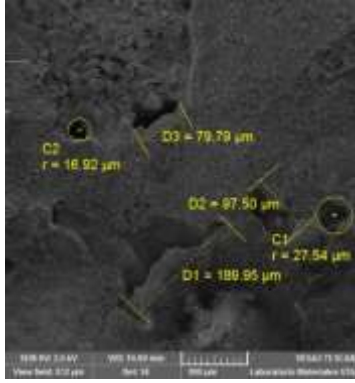
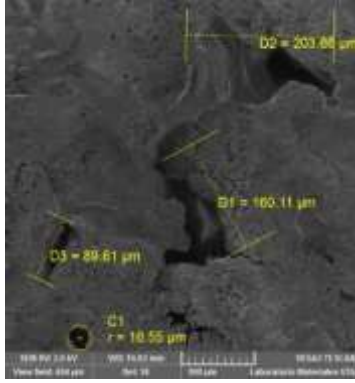
Fuente: La Autora

Tabla 53. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G2+30%+C.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS DEL ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha:	28/05/2018	Ciudad:	Ambato
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía – FICM – IM		
Realizado por:	Ing. José Luis Yunapanta	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Marca:	TESCAN
		Modelo:	VEGA 3
Voltaje:	2.0 kV	HV	LV
		X	
		Numero de meuestras:	1
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados
Granulometría:	G2	Orientación de las partículas:	Aleatoria
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho	Estratificación:	Compresión
Dimensiones de la probeta:	10 mm x 10 mm x e	Espesor (e):	4,37 mm
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO			
MAG. 161x		MAG. 151x	
			
			
OBSERVACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • El análisis fue realizado en muestras sometidas a ensayo a flexión. • Se observa la presencia de grietas continuas de distinta orientación y cavidades de mayor tamaño producto del desgarro producido por las cargas a la cual fue sometida la muestra. 			
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín



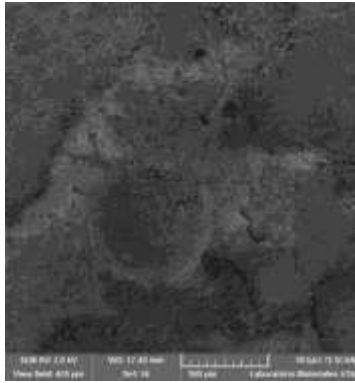
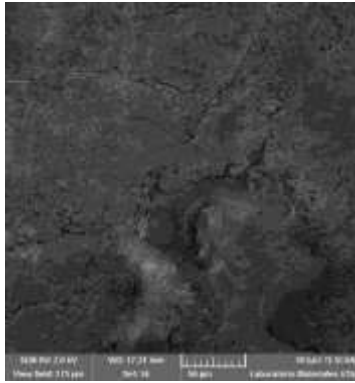
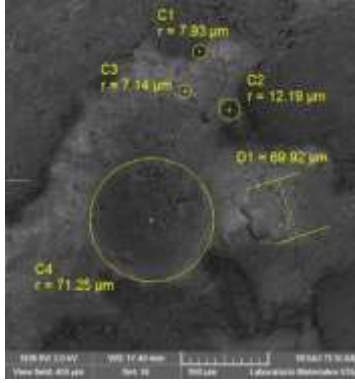
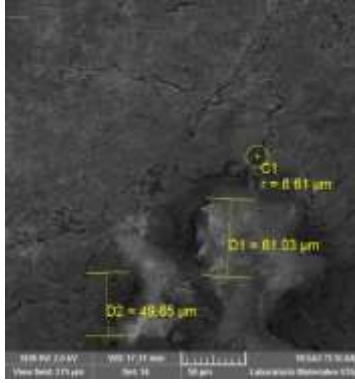
Fuente: La Autora

Tabla 54. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G2+35%+C.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS DEL ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha:	28/05/2018	Ciudad:	Ambato
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía – FICM – IM		
Realizado por:	Ing. José Luis Yunapanta	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Marca:	TESCAN
		Modelo:	VEGA 3
Voltaje:	2.0 kV	HV	LV
		X	
		Numero de meuestras:	1
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados
Granulometría:	G2	Orientación de las partículas:	Aleatoria
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho	Estratificación:	Compresión
Dimensiones de la probeta:	10 mm x 10 mm x e	Espesor (e):	4,28 mm
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO			
MAG. 260x		MAG. 286x	
			
			
OBSERVACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • El análisis fue realizado en muestras sometidas a ensayo a flexión. • Se observa la presencia de grietas y cavidades de mayor profundidad, producto del desgarro producido por las cargas a la cual fue sometida la muestra. 			
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín



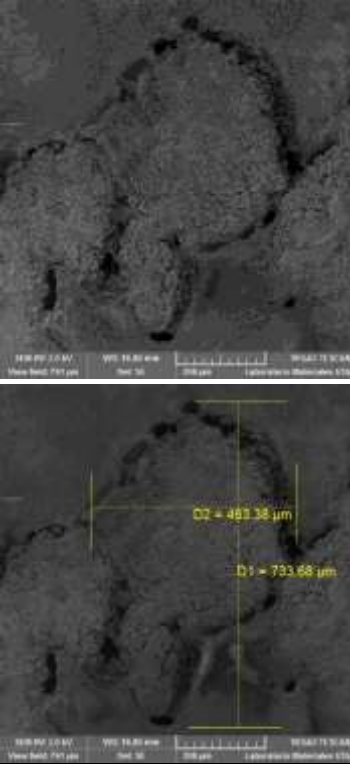
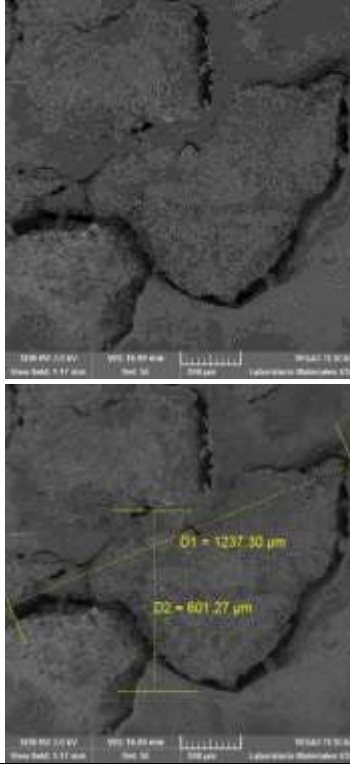
Fuente: La Autora

Tabla 55. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G2+40%+C.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS DEL ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha:	28/05/2018	Ciudad:	Ambato
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía – FICM – IM		
Realizado por:	Ing. José Luis Yunapanta	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Marca:	TESCAN
		Modelo:	VEGA 3
Voltaje:	2.0 kV	HV	LV
		X	
		Numero de meuestras:	1
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados
Granulometría:	G2	Orientación de las partículas:	Aleatoria
Fracción Volumétrica:	60% Resina Poliéster y 40% Partículas de Caucho	Estratificación:	Compresión
Dimensiones de la probeta:	10 mm x 10 mm x e	Espesor (e):	4,91 mm
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO			
MAG. 341x		MAG. 503x	
			
			
OBSERVACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • El análisis fue realizado en muestras sometidas a ensayo a flexión. • Se pudo observar una menor cantidad de cavidades y grietas • Mejor adherencia entre la matriz y el refuerzo. 			
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín



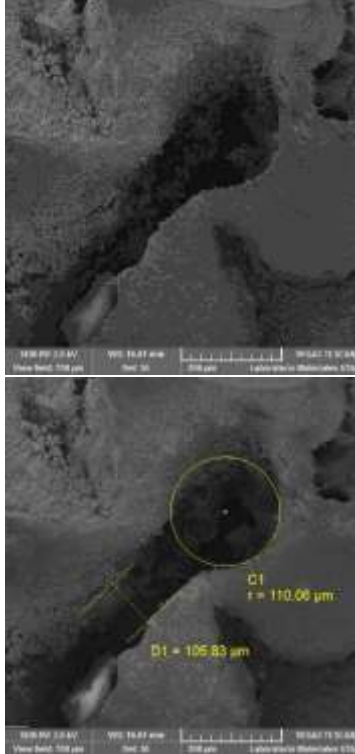
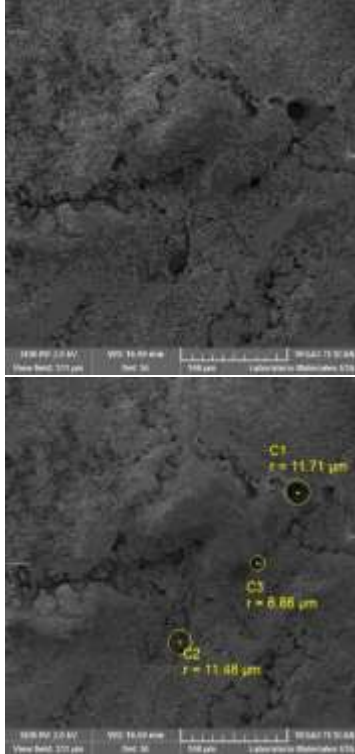
Fuente: La Autora

Tabla 56. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G3+30%+C.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS DEL ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha:	28/05/2018	Ciudad:	Ambato
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía – FICM – IM		
Realizado por:	Ing. José Luis Yunapanta	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Marca:	TESCAN
		Modelo:	VEGA 3
Voltaje:	2.0 kV	HV	LV
		X	
		Numero de meuestras:	1
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados
Granulometría:	G3	Orientación de las partículas:	Aleatoria
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho	Estratificación:	Compresión
Dimensiones de la probeta:	10 mm x 10 mm x e	Espesor (e):	4,50 mm
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO			
MAG. 175x		MAG. 118x	
			
OBSERVACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • El análisis fue realizado en muestras sometidas a ensayo a flexión. • Se observa la a presencia de grietas de mayor tamaño debido al desprendimiento del refuerzo de la matriz por desgarro, producto de las cargas a la cual fue sometida la muestra. 			
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín



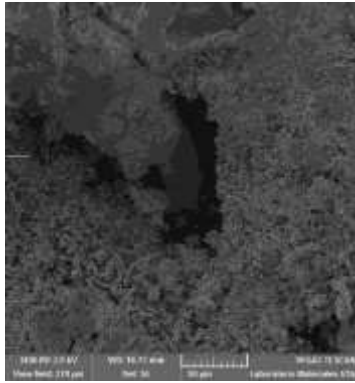
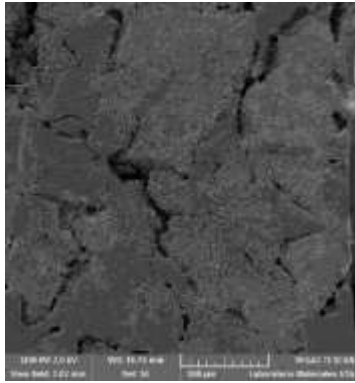
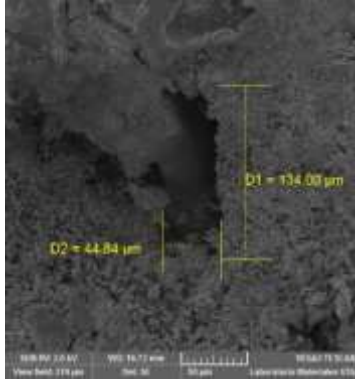
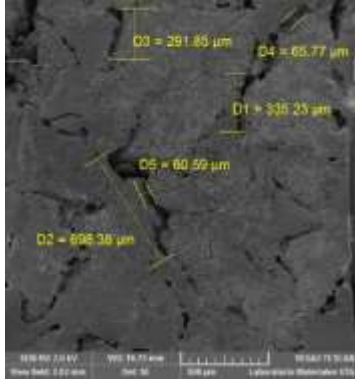
Fuente: La Autora

Tabla 57. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G3+35%+C.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS DEL ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha:	28/05/2018	Ciudad:	Ambato
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía – FICM – IM		
Realizado por:	Ing. José Luis Yunapanta	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Marca:	TESCAN
		Modelo:	VEGA 3
Voltaje:	2.0 kV	HV	LV
		X	
		Numero de meuestras:	1
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados
Granulometría:	G3	Orientación de las partículas:	Aleatoria
Fracción Volumétrica:	65% Resina Poliéster y 35% Partículas de Caucho	Estratificación:	Compresión
Dimensiones de la probeta:	10 mm x 10 mm x e	Espesor (e):	5,24
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO			
MAG. 193x		MAG. 418xx	
			
OBSERVACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • El análisis fue realizado en muestras sometidas a ensayo a flexión. • Se pueden observar una distribución de múltiples tamaños de cavidad. • Existe la presencia de grietas profundas producto del desgarro producido por las cargas a la cual fue sometida la muestra. 			
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

Tabla 58. Ficha Técnica de recolección de datos para ensayos de Fractografía del material compuesto de orden G3+40%+C.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS DEL ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA			
Fecha:	28/05/2018	Ciudad:	Ambato
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía – FICM – IM		
Realizado por:	Ing. José Luis Yunapanta	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Equipo:	Microscopio de Barrido SEM	Marca:	TESCAN
		Modelo:	VEGA 3
Voltaje:	2.0 kV	HV	LV
		X	
		Numero de meuestras:	1
Matriz:	Resina Poliéster	Refuerzo:	Partículas de caucho de neumaticos reciclados
Granulometría:	G3	Orientación de las partículas:	Aleatoria
Fracción Volumétrica:	70% Resina Poliéster y 30% Partículas de Caucho	Estratificación:	Compresión
Dimensiones de la probeta:	10 mm x 10 mm x e	Espesor (e):	5,06 mm
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO			
MAG. 512x		MAG. 69x	
			
			
OBSERVACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • El análisis fue realizado en muestras sometidas a ensayo a flexión. • Se pudo observar múltiples grietas y desgarró. 			
Realizó:	Carolina Acosta	Revisó:	Ing. Mg. Segundo Espín

Fuente: La Autora

4.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.5.1. Análisis de resultados de ensayo a flexión

A continuación, en la Tabla 59 se realizó el análisis de los datos promedios de cada grupo de probetas de material compuesto sometido a flexión.

Tabla 59. Análisis de las propiedades mecánicas promedios del material compuesto sometido a ensayo de flexión.

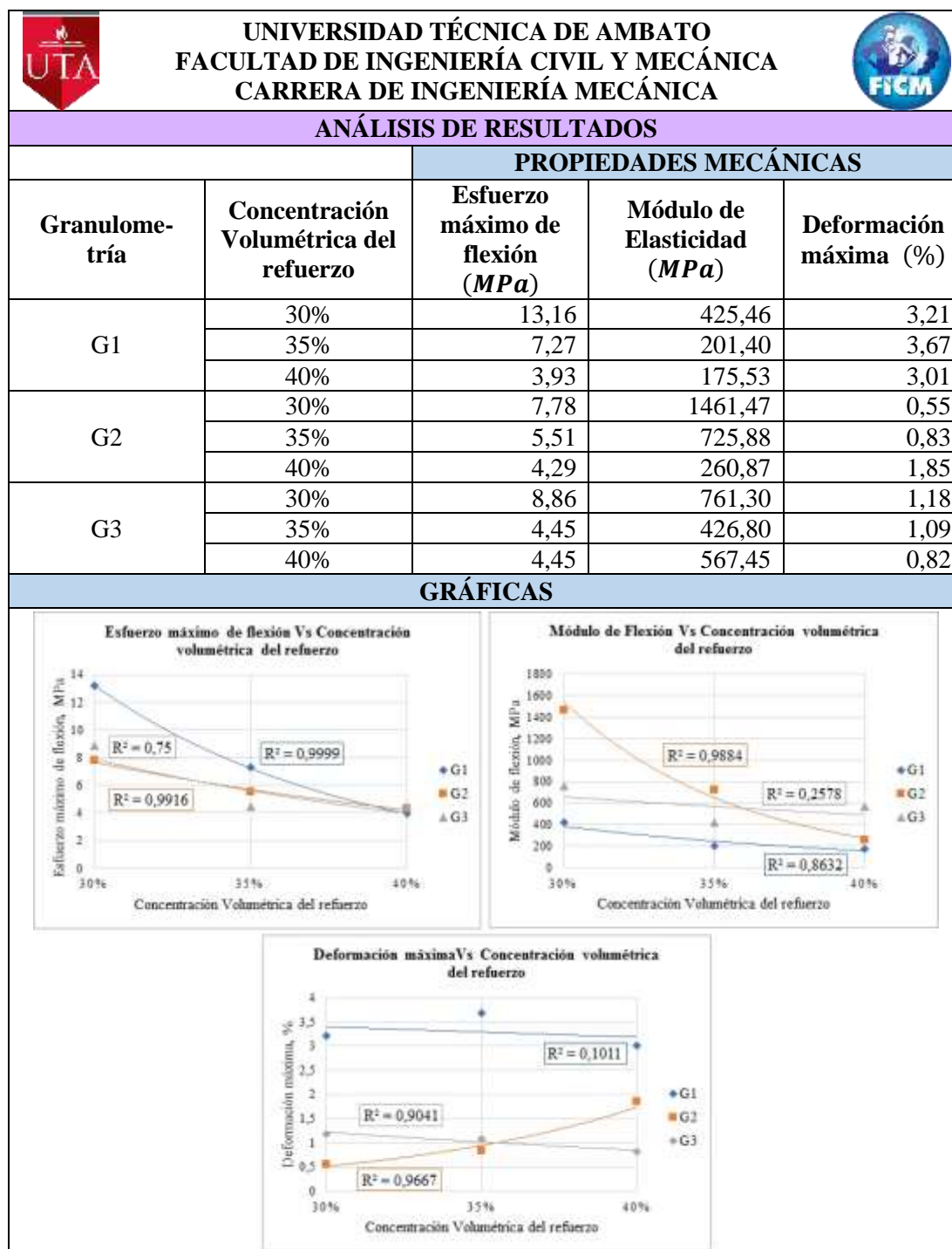


Tabla 59. Análisis de las propiedades mecánicas promedios del material compuesto sometido a ensayo de flexión (Continuación).

OBSERVACIONES:	
<ul style="list-style-type: none"> • En la primera y segunda gráfica se puede observar que el esfuerzo máximo de flexión y el módulo de elasticidad de flexión disminuyen a medida que aumenta la concentración volumétrica del refuerzo tanto de G1, G2 y G3. • En la tercera gráfica se observa que la deformación máxima aumenta a medida que aumenta la concentración volumétrica del refuerzo tanto de G1, G2 y G3. • También se puede observar que las líneas de tendencia exponencial de G2 para los tres gráficos tiene un ajuste casi perfecto ya que su valor de R^2 se aproxima a 1. • De estos resultados promedios se establece el material compuesto con una concentración volumétrica del refuerzo de: 30% G1 soporta mayor esfuerzo a flexión, 30% G2 posee mayor módulo de elasticidad a flexión y 30%, 35%, 40% G1 mayores deformaciones. 	

Fuente: La Autora

4.5.2. Análisis de resultados de ensayo a compresión

A continuación, en la Tabla 60 se realizó el análisis de los datos promedios de cada grupo de probetas de material compuesto sometido a compresión.

Tabla 60. Análisis de las propiedades mecánicas promedios del material compuesto sometido a ensayo de compresión.



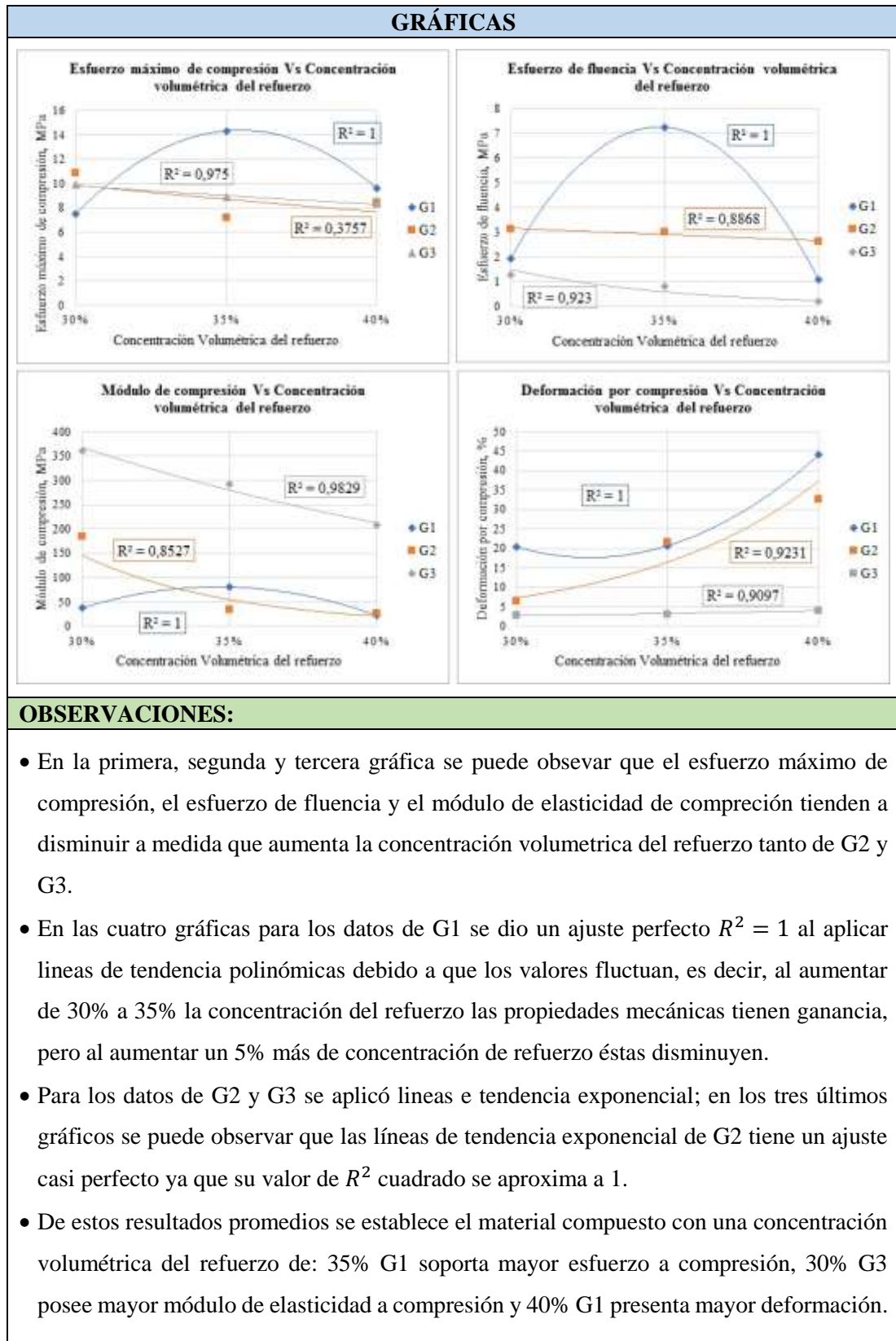
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
ANÁLISIS DE RESULTADOS					
		PROPIEDADES MECÁNICAS			
Granulometría	Concentración Volumétrica del refuerzo	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deformación por compresión (%)
G1	30%	7,49	1,94	37,40	20,29
	35%	14,32	7,24	80,63	20,72
	40%	9,61	1,09	21,84	43,99
G2	30%	10,83	3,10	183,97	6,37
	35%	7,21	3,00	34,13	21,66
	40%	8,42	2,61	25,94	32,58
G3	30%	9,89	1,27	360,22	2,80
	35%	8,87	0,79	291,49	3,05
	40%	8,34	0,19	208,10	4,08

Tabla 60. Análisis de las propiedades mecánicas promedios del material compuesto sometido a ensayo de compresión (Continuación).



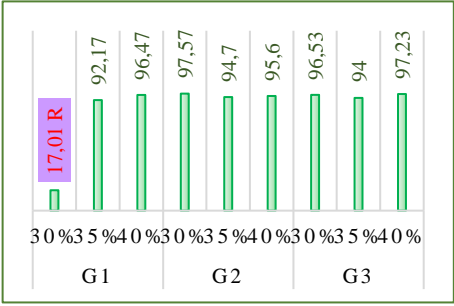


Fuente: La Autora

4.5.3. Análisis de resultados de ensayo de dureza

A continuación, en la Tabla 61 se realizó el análisis de los datos promedios de cada grupo de probetas de material compuesto sometido a ensayo de dureza.

Tabla 61. Análisis de las propiedades mecánicas promedios del material compuesto sometido a ensayo de dureza.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE RESULTADOS			
Granulometría	Concentración Volumétrica del refuerzo	Dureza Shore A	GRÁFICA
G1	30%	17,01 Rockwell	
	35%	92,17	
	40%	96,47	
G2	30%	97,57	
	35%	94,70	
	40%	95,60	
G3	30%	96,53	
	35%	94,00	
	40%	97,23	

OBSERVACIONES:

- El material compuesto G1 con concentración volumétrica del 30% de refuerzo presenta mayor resistencia a la penetración debido a que su valor fue obtenido en escala de dureza Rockwell, misma que generalmente es usada para materiales más duros.
- Según el gráfico para el resto de las composiciones, el material compuesto con mayor resistencia a la penetración en escalas de dureza Shore A es G2 + 30% con un valor de 97,57 Shore A.
- Además, se puede observar que al aumentar de 30% a 35% la concentración del refuerzo la dureza disminuye, pero al aumentar un 5% más de concentración de refuerzo ésta vuelve a obtener ganancia en su valor tanto para G1, G2 y G3.

Fuente: La Autora

A continuación, en la Tabla 62 se realizó una ponderación de los datos promedios de las propiedades mecánicas obtenidas por los ensayos de flexión, compresión y dureza; se analizó a todos los grupos de material compuesto con la finalidad de determinar cuál es el mejor caso, es decir, aquel grupo que posee las mejores propiedades mecánicas del material en estudio.

Tabla 62. Interpretación de resultados de los ensayos a flexión, compresión y dureza.

Granulometría	% Refuerzo	FLEXIÓN						COMPRESIÓN						DUREZA					
		σ_f [MPa]	Δ	E_f [MPa]	Δ	ϵ_f (%)	Δ	σ_c [MPa]	Δ	S_{cy} [MPa]	Δ	E_c [MPa]	Δ	ϵ_c (%)	Δ	Dureza Shore A	Δ	Acceptación sobre 10	% Aceptación
G1	30	13,16	6,53	425,46	-130,78	3,21	1,41	7,49	-1,95	1,94	-0,42	37,40	-100,79	20,29	3,01	17,01		7,50	75,0
	35	7,27	0,64	201,40	-354,84	3,67	1,87	14,32	4,88	7,24	4,88	80,63	-57,56	20,72	3,44	92,17	-3,36	7,00	70,0
	40	3,93	-2,70	175,53	-380,71	3,01	1,21	9,61	0,17	1,09	-1,27	21,84	-116,35	43,99	26,71	96,47	0,94	7,00	70,0
G2	30	7,78	1,15	1461,47	905,23	0,55	-1,25	10,83	1,39	3,10	0,74	183,97	45,78	6,37	-10,91	97,57	2,04	6,50	65,0
	35	5,51	-1,12	725,88	169,64	0,83	-0,97	7,21	-2,23	3,00	0,64	34,13	-104,06	21,66	4,38	94,70	-0,83	5,50	55,0
	40	4,29	-2,34	260,87	-295,37	1,85	0,05	8,42	-1,02	2,61	0,25	25,94	-112,25	32,58	15,30	95,60	0,07	6,50	65,0
G3	30	8,86	2,23	761,30	205,06	1,18	-0,62	9,89	0,45	1,27	-1,09	360,22	222,03	2,80	-14,48	96,53	1,00	6,50	65,0
	35	4,45	-2,18	426,80	-129,44	1,09	-0,71	8,87	-0,57	0,79	-1,57	291,49	153,30	3,05	-14,23	94,00	-1,53	6,50	65,0
	40	4,45	-2,18	567,45	11,21	0,82	-0,98	8,34	-1,10	0,19	-2,17	208,10	69,91	4,08	-13,20	97,23	1,70	5,50	55,0
				6,63		556,24		1,80		2,36		138,19		17,28		95,53			
				3,02		400,37		1,19		2,09		127,58		14,55		1,82			
Valores límites		Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Ponderación	
Aceptable		9,65	>	956,61	>	2,99	>	11,60	>	4,45	>	265,77	>	31,83	>	97,36	>	10	
Medianamente aceptable		3,62	9,65	155,87	956,61	0,61	2,99	7,28	11,60	0,27	4,45	10,61	265,77	2,73	31,83	93,71	97,36	6	
No aceptable		<	3,62	<	155,87	<	0,61	<	7,28	<	0,27	<	10,61	<	2,73	<	93,71	2	
Dureza Rockwell R																			

Fuente: La Autora

El mejor material compuesto, se determinó utilizando el valor promedio y la desviación estándar de las propiedades mecánicas promedios de los grupos de probetas obtenidas en cada ensayo. La ponderación mostrada en la Tabla 62, se realizó con valores límites: a) aceptable $> (\bar{X} + S_{n-1})$ con un valor de 10, b) medianamente aceptable entre $(\bar{X} + S_{n-1})$ y $(\bar{X} - S_{n-1})$ con un valor de 6 y c) no aceptable $< (\bar{X} - S_{n-1})$ con un valor de 2.

El mejor grupo se determinó con un porcentaje de aceptación del 75 %, recayendo el material compuesto conformado del 30% de partículas de caucho de neumáticos reciclados de Granulometría 1 G1 y 70 % matriz (resina poliéster POL® 33000 + 10% estireno + 2% peróxido + 0,5% cobalto) debido a que posee mejores propiedades mecánicas, las mismas que se describen en la Tabla 63.

Tabla 63. Propiedades mecánicas del material compuesto 30% refuerzo G1+70% matriz.

Propiedades de ensayo a Flexión	
Esfuerzo máximo de flexión, [MPa]	13,16
Módulo de elasticidad de flexión, [MPa]	425,46
Deformación máxima, %	3,21
Propiedades de ensayo a Compresión	
Esfuerzo máximo de compresión, [MPa]	7,49
Esfuerzo de fluencia, [MPa]	1,94
Módulo de elasticidad de compresión, [MPa]	37,49
Deformación por compresión, %	20,29
Propiedades de ensayo de Dureza	
Dureza Rockwell	17,01

Fuente: La Autora

Cálculo de la densidad del material compuesto

Con la ecuación 9 del acápite 2.1.6 se calculó la densidad del material compuesto con fracciones 30% partículas de caucho de neumáticos reciclados y 70% matriz (resina poliéster, para esto se reemplazó la ecuación 1 y 5 en esta. Se determinó la siguiente densidad:

$$\rho_c = 1,0136 \text{ g/cm}^3$$

o

$$\rho_c = 1013,6 \text{ kg/m}^3$$

4.5.4. Simulación de la mejor composición de material compuesto

La siguiente simulación se realizó con el software CAD SolidWorks 2016 utilizando parámetros del ensayo a flexión con las propiedades mecánicas del mejor grupo de material compuesto descritas en la Tabla 63.

Inicialmente se elaboró el croquis de la probeta a flexión, con las dimensiones normalizadas como se muestra en la Figura 35.

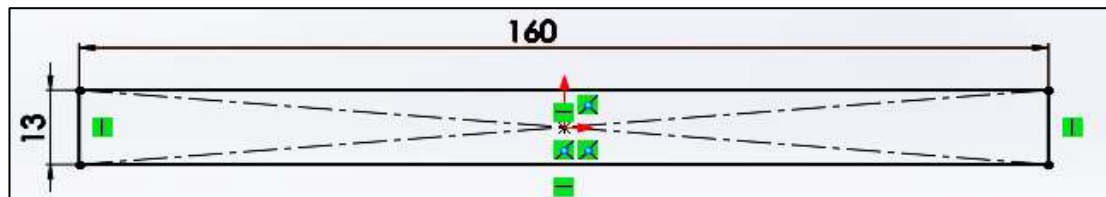


Figura 35. Croquis de la probeta a flexión en SolidWorks.

Fuente: La Autora

Consecutivamente como se muestra en la Figura 36 se extruyó el croquis dando un espesor de 4 mm. Además, se creó un punto de referencia para aplicar la carga $P = 18,93 N$.

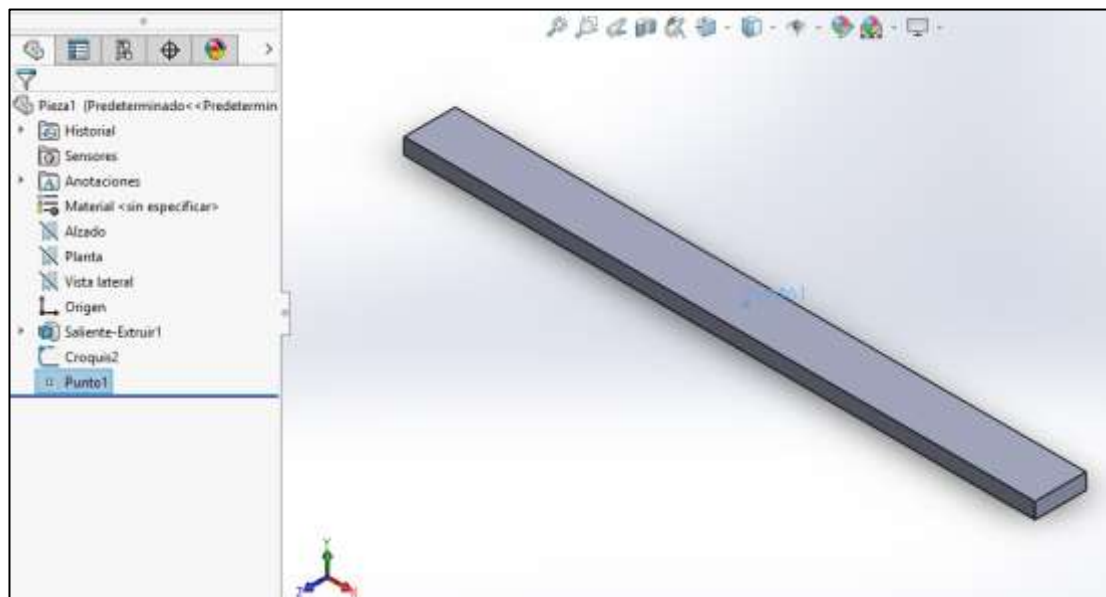


Figura 36. Plano isométrico de la probeta y punto de referencia.

Fuente: La Autora

Posteriormente se asignó un nuevo material con las propiedades del mejor grupo obtenido como se muestra en la Figura 37.

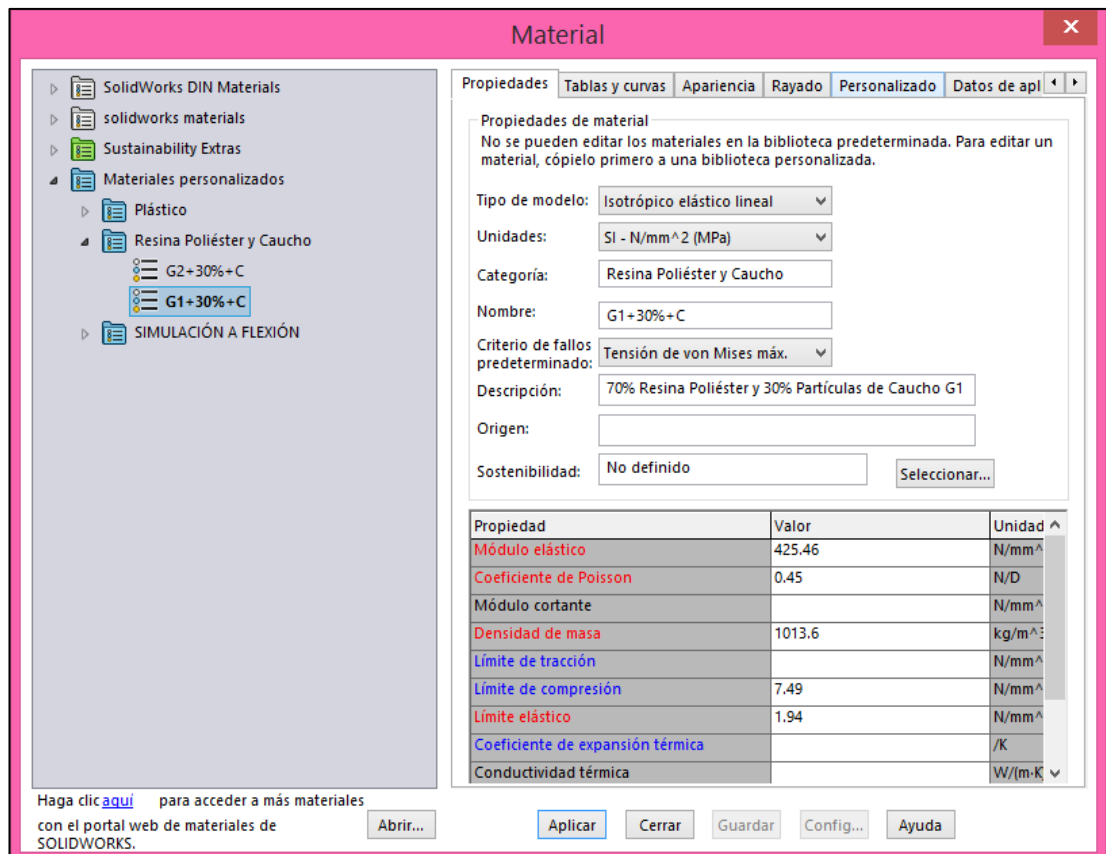


Figura 37. Propiedades del material compuesto.

Fuente: La Autora

Se procedió a realizar la simulación creando un nuevo estudio de análisis estático. Se seleccionó en la opción tratar como viga para mostrar los grupos de juntas como se muestra en la Figura 38.

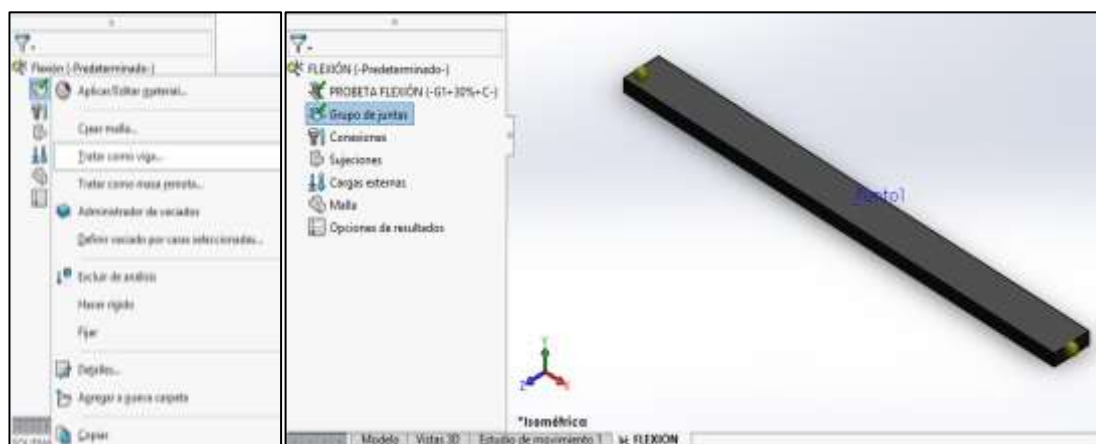


Figura 38. Análisis estático.

Fuente: La Autora

Después, en sujeciones se restringió los desplazamiento en las juntas de los extremos de la viga. Se seleccionó las caras y se ingresó un valor de cero al sentido en que no existe desplazamiento alguno como se muestra en la Figura 39.

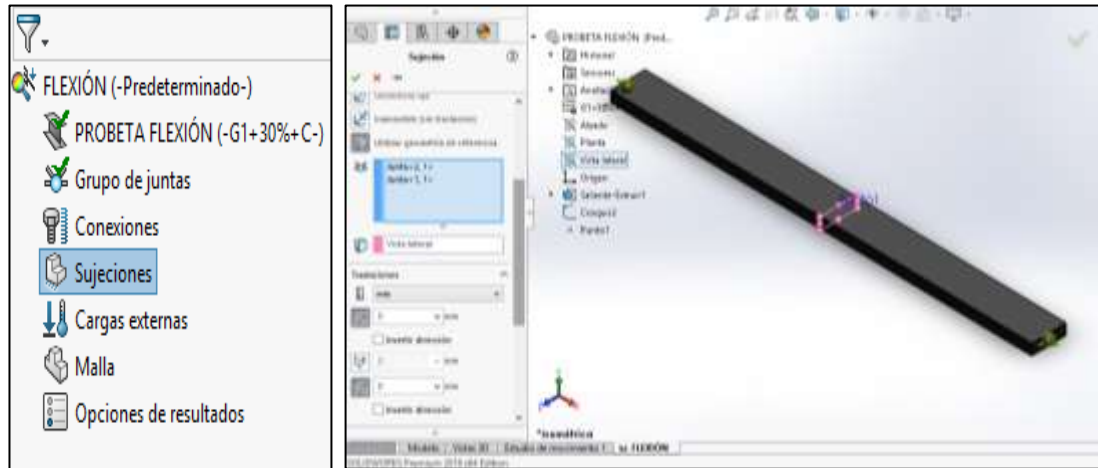


Figura 39. Sujeciones.

Fuente: La Autora

Finalmente, en la opción de cargas externas se seleccionó aplicar fuerza para ingresar la fuerza/carga P en el punto de referencia creado seleccionando el eje vertical y el sentido de aplicación de las misma como se muestra en la Figura 40.

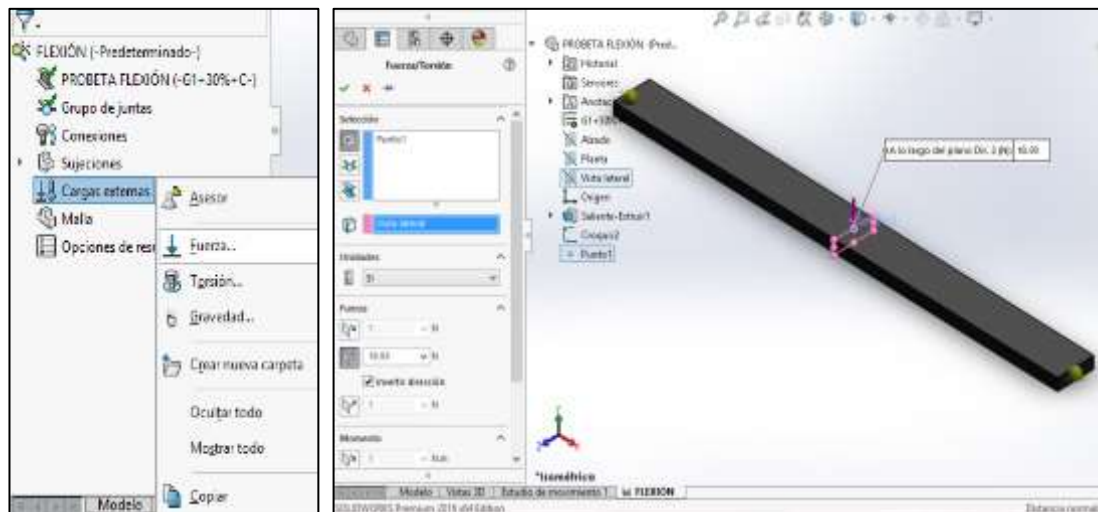


Figura 40. Aplicación de la carga $P = 18,93 \text{ N}$.

Fuente: La Autora

Una vez restringido los desplazamientos y aplicada la carga se generó automáticamente la malla del elemento y se ejecutó el análisis obteniendo como resultado los esfuerzos máximo y mínimos como se observa en la Figura 41.

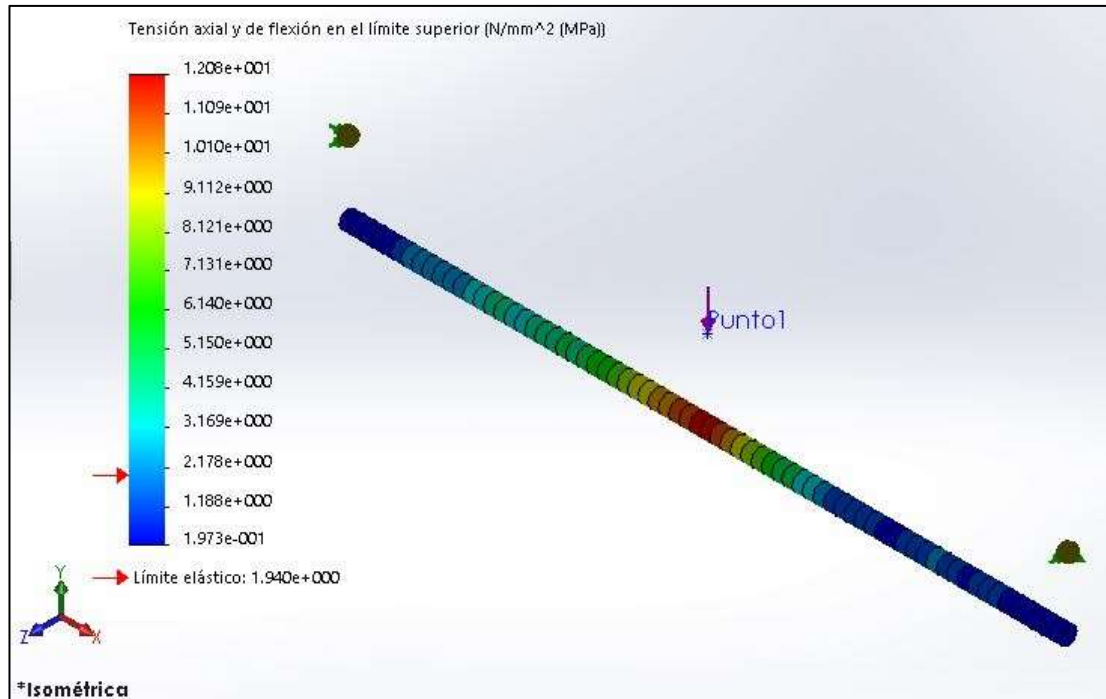


Figura 41. Resultado de la simulación en SolidWorks.

Fuente: La Autora

Cálculo de error

Con la finalidad de determinar el porcentaje de error existente entre el valor del esfuerzo máximo a flexión ensayado y el simulado se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$E_a = |V_e - V_a| \quad (29)$$

$$E_r = \frac{E_a}{V_e} \cdot 100 \quad (30)$$

Donde:

V_e : valor exacto (valor ensayado)

V_a : valor aproximado (valor simulado)

E_a : error absoluto

E_r : error relativo

$V_a = 7,78 \text{ MPa} \rightarrow \text{Tabla 63 (Esfuerzo máximo de flexión)}$

$V_e = 7,168 \text{ MPa} \rightarrow \text{Figura 38}$

$$E_a = |13,16 \text{ MPa} - 12,08 \text{ MPa}|$$

$$E_a = 1,08 \text{ MPa}$$

$$E_r = \frac{1,08 \text{ MPa}}{13,16 \text{ MPa}} \cdot 100$$

$$E_r = 12,24 \%$$

4.6. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La hipótesis planteada para el este estudio está sujeta a verificación estadística y comparativa, por lo tanto, se aplicó pruebas estadísticas para cada una de las propiedades mecánicas obtenidas mediante el ensayo a flexión, compresión y dureza de los grupos: 1) material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 y 2) material de resina poliéster pura, con el propósito de validar los resultados obtenidos.

Se utilizó la prueba estadística *t*-Student (también llamada prueba *t*) ya que es un método de prueba de hipótesis que compara los promedios (medias) específicamente de dos muestras de tamaño ≤ 30 [30]. Esta prueba permite saber si cuan significativas son las diferencias entre los promedios de los grupos por medio de un puntaje *t*. Cuanto mayor sea *t*, mayor será su diferencia, y cuanto menor sea *t*, más similitud hay entre los grupos. Además, cada puntaje de *t* tiene un valor *P*, que es la probabilidad de que los resultados de una muestra ocurran por casualidad. Los valores *P* son de 0% a 100% y comúnmente se escriben de forma decimal. En la mayoría de los casos, se acepta un valor de 0,05 (5%) para indicar que los datos son válidos. Existen tres tipos de prueba *t*: 1) una prueba *t* de muestras independientes compara las medias para dos grupos, 2) una prueba *t* de muestras apareadas compara las medias de un mismo grupo en diferentes circunstancias, y 3) una prueba *t* de una muestra evalúa la media de un solo grupo con respecto a una media conocida.

Para este estudio se aplicó la prueba *t* de muestras independientes con las muestras de dos grupos antes mencionados. Esta prueba debe cumplir con tres suposiciones: 1) suposición de independencia cuando los dos grupos independientes representen a su variable independiente, 2) suposición de normalidad donde los datos de la muestra de la variable dependiente deben distribuirse aproximadamente normal, y 3) suposición de varianza o homocedasticidad cuando las varianzas de los grupos son iguales [31].

Se utilizó un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, ya que es generalmente usado para proyectos de investigación.

Antes de aplicar la prueba t a las muestras de los dos grupos se verificó la veracidad de los supuestos. Como se conoce que los grupos son independientes uno del otro, entonces se cumple con el supuesto 1. Para el supuesto 2 y 3 se realizó lo siguiente:

- Para verificar la veracidad del supuesto 2, se realizó gráficas de probabilidad de los datos de cada una de las muestras para determinar si estos siguen una distribución normal. Se comparó los valores P de cada muestra con los siguientes criterios: a) si $P < \alpha$, los datos no siguen una distribución normal y b) si $P > \alpha$, los datos siguen una distribución normal.
- Par verificar la veracidad del supuesto 3, se realizó la prueba F para varianzas de dos muestras para determinar si las varianzas (σ_1 y σ_1) de los grupos son iguales. Se comparó los valores de F con el valor crítico para F con los siguientes criterios: a) si $F > \text{valor crítico } F$, las varianzas son distintas y b) sí $F < \text{valor crítico } F$, las varianzas no son diferentes.

De la prueba t , se evaluó los valores del estadístico t y los valores críticos de t de dos colas (significancia igual a $\alpha/2$). Se rechazó la hipótesis nula H_0 y se aceptó la hipótesis alternativa H_1 sí *estadístico $t > los valores críticos de $t$$* , caso contrario se aceptó la hipótesis nula.

4.6.1. Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a flexión

- **Esfuerzo máximo de flexión**

H_0 : No hay diferencia entre el esfuerzo máximo de flexión del material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1 y el esfuerzo máximo de flexión del material de resina poliéster pura.

H_1 : El esfuerzo máximo de flexión del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 es menor que el esfuerzo máximo de flexión del material de resina poliéster pura.

En la Tabla 64, se presenta los datos muestrales correspondiente a los resultados del esfuerzo máximo de flexión obtenidos en el ensayo a flexión para la muestra del material de resina poliéster pura y el material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1.

Tabla 64. Datos muestrales del esfuerzo máximo de flexión de Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

MATRIZ PURA RESINA POLIÉSTER		MATERIAL COMPUESTO 30% G1	
	Esfuerzo máximo de flexión MPa		Esfuerzo máximo de flexión MPa
1	59,38	1	15,24
2	41,95	2	11,08
3	66,50	3	13,15
4	98,26	4	11,22
5	41,27	5	15,13
\bar{X}	61,57	\bar{X}	13,16
S	23,30	S	2,02

Fuente: La Autora

En la Figura 42, se observa las gráficas de probabilidad de los datos de las muestras realizadas mediante un software estadístico. Los valores de P (0,324 y 0,222) para ambas muestras son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.

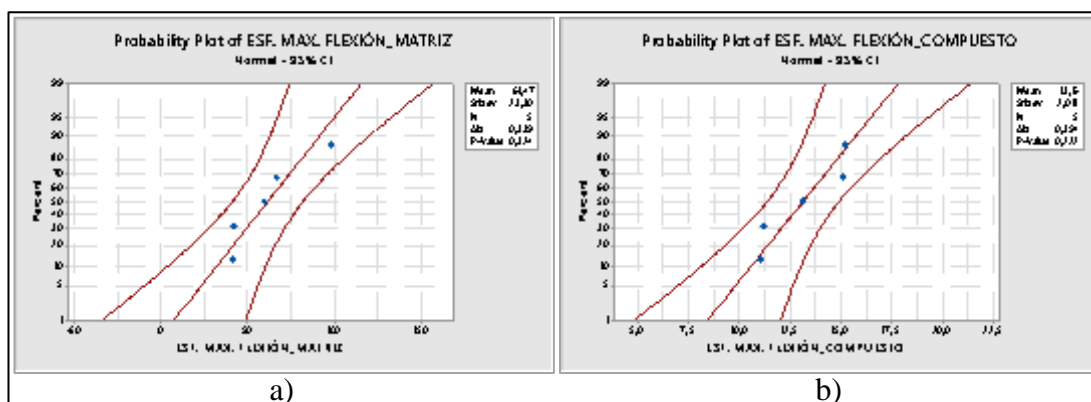


Figura 42. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales del esfuerzo máximo de flexión: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.

Fuente: La Autora

En la Tabla 65, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (133,29) es mayor que el valor crítico para F (6,39), por lo tanto, se considera que las varianzas son diferentes.

Tabla 65. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales del esfuerzo máximo de flexión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	61,47	13,16
Varianza	543,06	4,07
Observaciones	5,00	5,00
Grados de libertad	4,00	4,00
F	133,29	
P(F<=f) una cola	0,0002	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Fuente: La Autora

A partir de establecer la veracidad de los supuestos, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba *t* para las dos muestras suponiendo varianzas desiguales como se observa en la Tabla 66.

Tabla 66. Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo de flexión.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	61,47	13,16
Varianza	543,06	4,07
Observaciones	5,00	5,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	4,00	
Estadístico t	4,62	
P(T<=t) una cola	0,0049	
Valor crítico de t (una cola)	2,13	
P(T<=t) dos colas	0,0099	
Valor crítico de t (dos colas)	2,78	

Fuente: La Autora

En la Tabla 66, el estadístico *t* (4,62) es mayor que el valor crítico de *t* de dos colas (2,78), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Es decir, el esfuerzo máximo de flexión del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 ($\bar{X} = 13,16 \text{ MPa}$) es significativamente menor que el esfuerzo máximo de flexión del material de resina poliéster pura ($\bar{X} = 61,57 \text{ MPa}$).

- **Módulo de elasticidad de flexión**

H_0 : No hay diferencia entre el módulo de elasticidad de flexión del material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1 y el módulo de elasticidad de flexión del material de resina poliéster pura.

H_1 : El módulo de elasticidad de flexión del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 es menor que el módulo de elasticidad de flexión del material de resina poliéster pura.

En la Tabla 67, se presenta los datos muestrales correspondiente a los resultados del módulo de elasticidad de flexión obtenidos en el ensayo a flexión para la muestra del material de resina poliéster pura y el material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1.

Tabla 67. Datos muestrales del módulo de elasticidad de flexión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

MATRIZ PURA RESINA POLIÉSTER		MATERIAL COMPUESTO 30% G1	
	Módulo de elasticidad de flexión MPa		Módulo de elasticidad de flexión MPa
1	3114,78	1	474,32
2	4086,24	2	295,87
3	2669,40	3	462,39
4	4368,51	4	301,38
5	1906,69	5	593,32
\bar{X}	3229,12	\bar{X}	425,46
S	1013,41	S	126,61

Fuente: La Autora

En la Figura 43, se observa las gráficas de probabilidad de los datos de las muestras realizadas mediante un software estadístico. Los valores de P (0,729 y 0,334) para ambas muestras son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se acepta H_0 : $P > \alpha$ y se considera que ambas presentan una distribución normal.

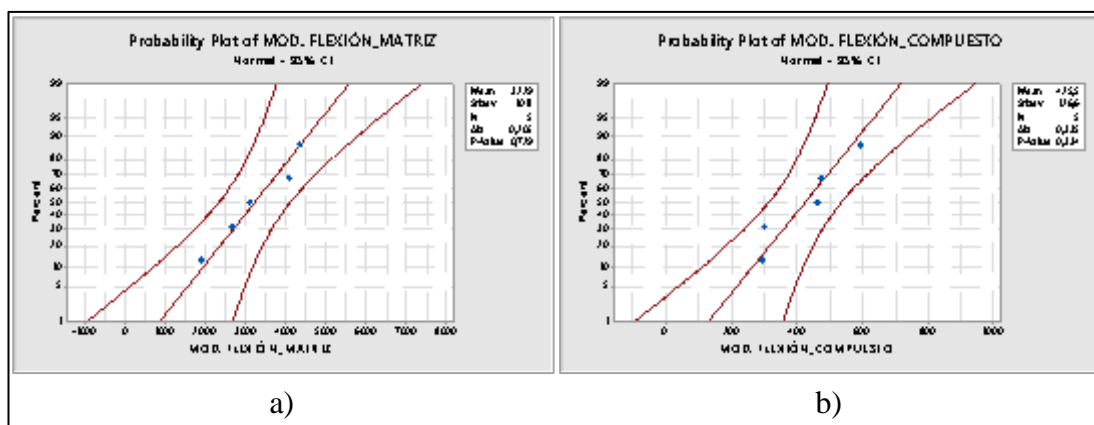


Figura 43. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales del módulo de elasticidad de flexión: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.

Fuente: La Autora

En la Tabla 68, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (64,07) es mayor que el valor crítico para F (6,39), por lo tanto, se considera que las varianzas son diferentes.

Tabla 68. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales del módulo de elasticidad de flexión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	3229,12	425,46
Varianza	1027011,40	16029,38
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	64,07	
P(F<=f) una cola	0,0007	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Fuente: La Autora

A partir de establecer la veracidad de los supuestos, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba t para las dos muestras suponiendo varianzas desiguales como se observa en la Tabla 69.

Tabla 69. Prueba de hipótesis para el módulo de elasticidad de flexión.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	3229,12	425,46
Varianza	1027011,37	16029,38
Observaciones	5,00	5,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	4,00	
Estadístico t	6,14	
P(T<=t) una cola	0,0018	
Valor crítico de t (una cola)	2,13	
P(T<=t) dos colas	0,0036	
Valor crítico de t (dos colas)	2,78	

Fuente: La Autora

En la Tabla 69, el estadístico t (6,14) es mayor que el valor crítico de t de dos colas (2,78), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Es decir, el módulo de elasticidad de flexión del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 ($\bar{X} = 425,46 \text{ MPa}$) es significativamente menor que el módulo de elasticidad de flexión del material de resina poliéster pura ($\bar{X} = 3229,12 \text{ MPa}$).

- **Deformación máxima**

H_0 : No hay diferencia entre la deformación máxima del material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1 y la deformación máxima del material de resina poliéster pura.

H_1 : La deformación máxima del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 es mayor que la deformación máxima del material de resina poliéster pura.

En la Tabla 70, se presenta los datos muestrales correspondiente a los resultados de la deformación máxima obtenidos en el ensayo a flexión para la muestra del material de resina poliéster pura y el material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1.

Tabla 70. Datos muestrales de la deformación máxima de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

MATRIZ PURA RESINA POLIÉSTER		MATERIAL COMPUESTO 30% G1	
	Deformación máxima %		Deformación máxima %
1	1,91	1	3,21
2	1,03	2	3,74
3	2,49	3	2,84
4	2,25	4	3,72
5	2,16	5	2,55
\bar{X}	1,97	\bar{X}	3,21
S	0,57	S	0,53

Fuente: La Autora

En la Figura 44, se observa las gráficas de probabilidad de los datos de las muestras realizadas mediante un software estadístico. Los valores de P (0,21 y 0,467) para ambas muestras son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.

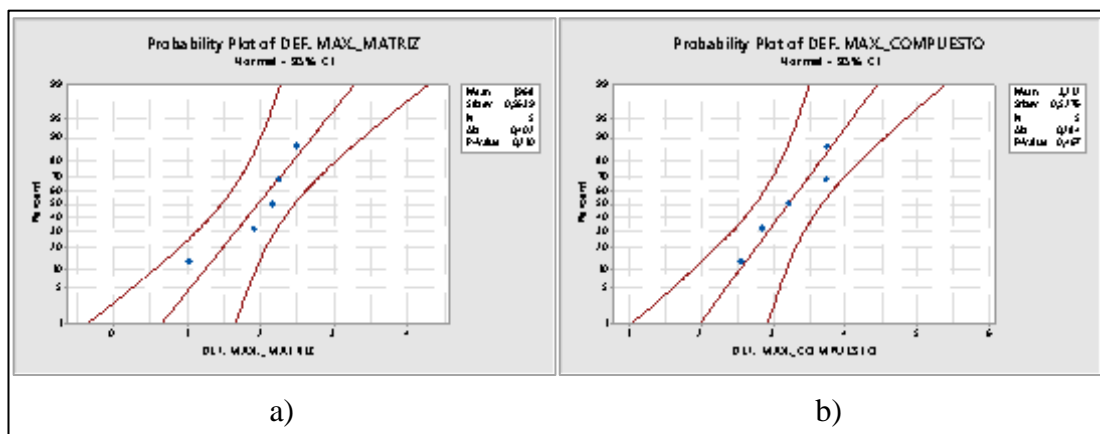


Figura 44. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales de la deformación máxima: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.

Fuente: La Autora

En la Tabla 71, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (1,14) es menor que el valor crítico para F (6,39), por lo tanto, se considera igualdad de varianzas.

Tabla 71. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales de la deformación máxima de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	<i>RESINA POLIÉSTER</i>	<i>COMPUESTO 30% G1</i>
Media	1,97	3,21
Varianza	0,32	0,28
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	1,14	
P(F<=f) una cola	0,45	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Fuente: La Autora

A partir de establecer la veracidad de los supuestos, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba *t* para las dos muestras suponiendo varianzas iguales como se observa en la Tabla 72.

Tabla 72. Prueba de hipótesis para la deformación máxima.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>RESINA POLIÉSTER</i>	<i>COMPUESTO 30% G1</i>
Media	1,97	3,21
Varianza	0,32	0,28
Observaciones	5,00	5,00
Varianza agrupada	0,30	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	-3,60	
P(T<=t) una cola	0,0035	
Valor crítico de t (una cola)	1,86	
P(T<=t) dos colas	0,0070	
Valor crítico de t (dos colas)	2,31	

Fuente: La Autora

En la Tabla 72, el estadístico *t* (3,60) es mayor que el valor crítico de *t* de dos colas (2,31), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Es decir, la deformación máxima del material compuesto 30% partículas de caucho de

granulometría G1 ($\bar{X} = 3,21 \%$) es significativamente mayor que la deformación máxima del material de resina poliéster pura ($\bar{X} = 1,97 \%$).

4.6.2. Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas a compresión

- **Esfuerzo máximo de compresión**

H_0 : No hay diferencia entre el esfuerzo máximo de compresión del material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1 y el esfuerzo máximo de compresión del material de resina poliéster pura.

H_1 : El esfuerzo máximo de compresión del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 es menor que el esfuerzo máximo de compresión del material de resina poliéster pura.

En la Tabla 73, se presenta los datos muestrales correspondiente a los resultados del esfuerzo máximo de compresión obtenidos en el ensayo a compresión para la muestra del material de resina poliéster pura y el material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1.

Tabla 73. Datos muestrales del esfuerzo máximo de compresión de Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

MATRIZ PURA RESINA POLIÉSTER		MATERIAL COMPUESTO 30% G1	
	Esfuerzo máximo de compresión MPa		Esfuerzo máximo de compresión MPa
1	111,21	1	8,38
2	103,66	2	6,11
3	100,09	3	6,80
4	116,13	4	9,51
5	114,45	5	6,65
\bar{X}	109,11	\bar{X}	7,49
S	6,95	S	1,41

Fuente: La Autora

En la Figura 45, se observa las gráficas de probabilidad de los datos de las muestras realizadas mediante un software estadístico. Los valores de P (0,46 y 0,339) para ambas muestras son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.

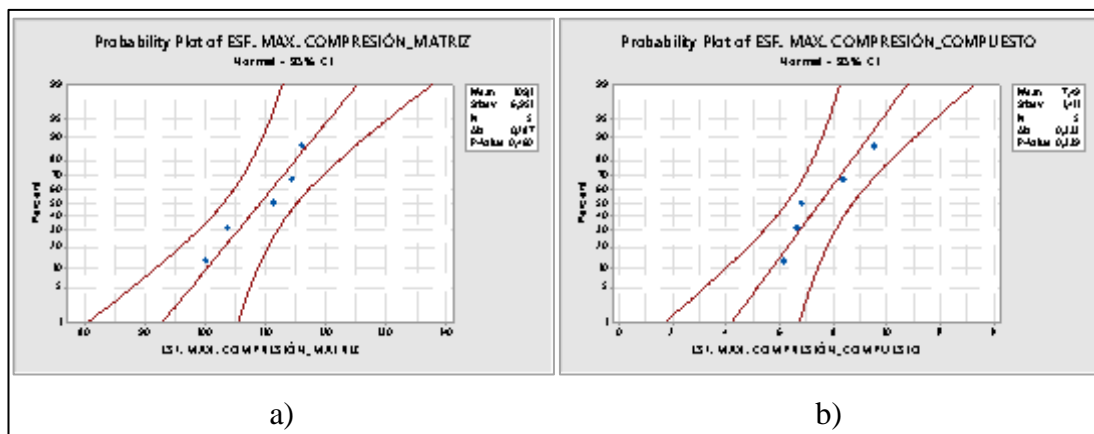


Figura 45. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales del esfuerzo máximo de compresión: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.

Fuente: La Autora

En la Tabla 74, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (24,28) es mayor que el valor crítico para F (6,39), por lo tanto, se considera que las varianzas son diferentes.

Tabla 74. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales del esfuerzo máximo de compresión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	109,11	7,49
Varianza	48,32	1,99
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	24,28	
P(F<=f) una cola	0,0046	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Fuente: La Autora

A partir de establecer la veracidad de los supuestos, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba t para las dos muestras suponiendo varianzas desiguales como se observa en la Tabla 75.

Tabla 75. Prueba de hipótesis para el esfuerzo máximo de compresión.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	109,11	7,49
Varianza	48,32	1,99
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	32,04	
P(T<=t) una cola	0,000003	
Valor crítico de t (una cola)	2,13	
P(T<=t) dos colas	0,000006	
Valor crítico de t (dos colas)	2,78	

Fuente: La Autora

En la Tabla 75, el estadístico t (32,04) es mayor que el valor crítico de t de dos colas (2,78), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Es decir, el esfuerzo máximo de compresión del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 ($\bar{X} = 7,49 MPa$) es significativamente menor que el esfuerzo máximo de compresión del material de resina poliéster pura ($\bar{X} = 109,11 MPa$).

- **Esfuerzo de fluencia**

H_0 : No hay diferencia entre el esfuerzo de fluencia del material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1 y el esfuerzo de fluencia del material de resina poliéster pura.

H_1 : El esfuerzo de fluencia del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 es menor que el esfuerzo de fluencia del material de resina poliéster pura.

En la Tabla 76, se presenta los datos muestrales correspondiente a los resultados del esfuerzo de fluencia obtenidos en el ensayo a compresión para la muestra del material de resina poliéster pura y el material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1.

Tabla 76. Datos muestrales del esfuerzo de fluencia de Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

MATRIZ PURA RESINA POLIÉSTER		MATERIAL COMPUESTO 30% G1	
	Esfuerzo de fluencia MPa		Esfuerzo de fluencia MPa
1	0,79	1	2,62
2	7,07	2	1,54
3	6,18	3	1,42
4	9,44	4	2,17
5	12,87	5	1,94
\bar{X}	7,27	\bar{X}	1,94
S	4,45	S	0,49

Fuente: La Autora

En la Figura 46, se observa las gráficas de probabilidad de los datos de las muestras realizadas mediante un software estadístico. Los valores de P (0,797 y 0,745) para ambas muestras son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.

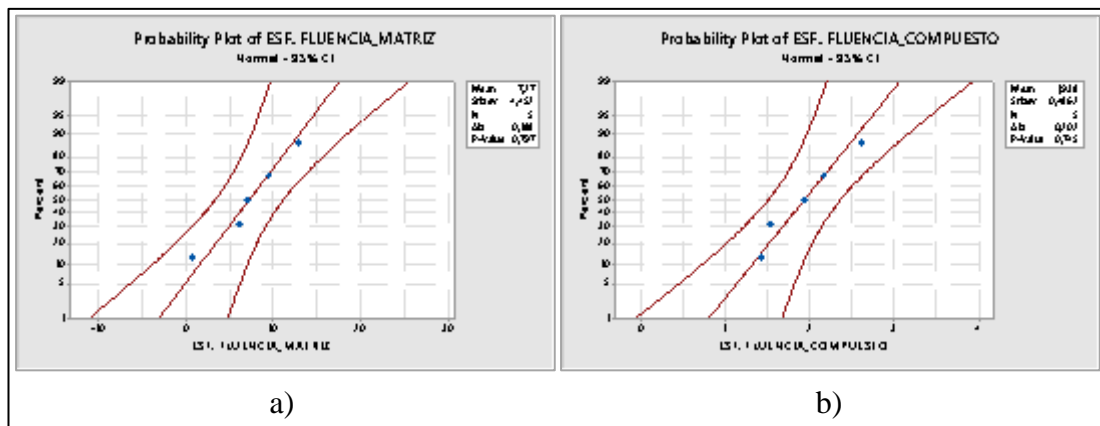


Figura 46. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales del esfuerzo de fluencia: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.

Fuente: La Autora

En la Tabla 77, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (83,84) es mayor que el valor crítico para F (6,39), por lo tanto, se considera que las varianzas son diferentes.

Tabla 77. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales del esfuerzo de fluencia de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	7,27	1,94
Varianza	19,82	0,24
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	83,84	
P(F<=f) una cola	0,000414	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Fuente: La Autora

A partir de establecer la veracidad de los supuestos, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba *t* para las dos muestras suponiendo varianzas desiguales como se observa en la Tabla 78.

Tabla 78. Prueba de hipótesis para el esfuerzo de fluencia.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	7,27	1,94
Varianza	19,82	0,24
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	2,66	
P(T<=t) una cola	0,0281	
Valor crítico de t (una cola)	2,13	
P(T<=t) dos colas	0,056	
Valor crítico de t (dos colas)	2,78	

Fuente: La Autora

En la Tabla 78, el estadístico *t* (2,66) es menor que el valor crítico de *t* de dos colas (2,78), por lo que se acepta la hipótesis nula. Es decir, no hay diferencia significativa entre el esfuerzo de fluencia del material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1 ($\bar{X} = 1,94 \text{ MPa}$) y el esfuerzo de fluencia del material de resina

poliéster pura. ($\bar{X} = 7,27 \text{ MPa}$), por lo tanto, se considera que las medias son similares.

- **Módulo de elasticidad de compresión**

H_0 : No hay diferencia entre el módulo de elasticidad de compresión del material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1 y el módulo de elasticidad de compresión del material de resina poliéster pura.

H_1 : El módulo de elasticidad de compresión del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 es menor que el módulo de elasticidad de compresión del material de resina poliéster pura.

En la Tabla 79, se presenta los datos muestrales correspondiente a los resultados del módulo de elasticidad de compresión obtenidos en el ensayo a compresión para la muestra del material de resina poliéster pura y el material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1.

Tabla 79. Datos muestrales del módulo de elasticidad de compresión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

MATRIZ PURA RESINA POLIÉSTER		MATERIAL COMPUESTO 30% G1	
	Módulo de elasticidad de compresión, MPa		Módulo de elasticidad de compresión, MPa
1	976,05	1	36,77
2	1455,92	2	29,98
3	1413,75	3	31,39
4	1281,03	4	53,47
5	1316,21	5	35,39
\bar{X}	1288,59	\bar{X}	37,40
S	188,53	S	9,41

Fuente: La Autora

En la Figura 47, se observa las gráficas de probabilidad de los datos de las muestras realizadas mediante un software estadístico. Los valores de P (0,218 y 0,089) para ambas muestras son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.

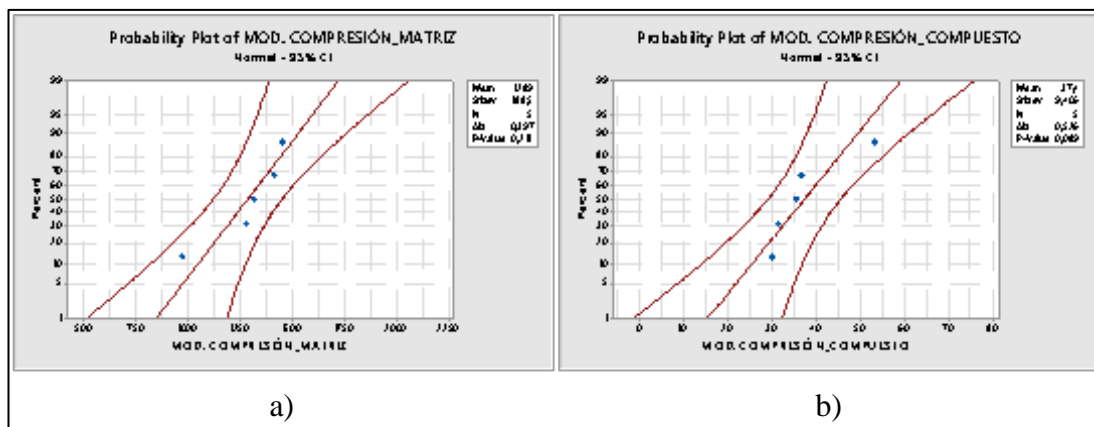


Figura 47. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales del módulo de elasticidad de compresión:
a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.

Fuente: La Autora

En la Tabla 80, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (401,76) es mayor que el valor crítico para F (6,39), por lo tanto, se considera que las varianzas son diferentes.

Tabla 80. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales del módulo de elasticidad de compresión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	1288,59	37,40
Varianza	35541,41	88,46
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	401,76	
P(F<=f) una cola	1,85E-05	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Fuente: La Autora

A partir de establecer la veracidad de los supuestos, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba t para las dos muestras suponiendo varianzas desiguales como se observa en la Tabla 81.

Tabla 81. Prueba de hipótesis para el módulo de elasticidad de compresión.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	1288,59	37,40
Varianza	35541,41	88,46
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	14,82	
P(T<=t) una cola	6,03E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2,13	
P(T<=t) dos colas	1,21E-04	
Valor crítico de t (dos colas)	2,78	

Fuente: La Autora

En la Tabla 81, el estadístico t (14,82) es mayor que el valor crítico de t de dos colas (2,78), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Es decir, el módulo de elasticidad de compresión del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 ($\bar{X} = 37,40 \text{ MPa}$) es significativamente menor que el módulo de elasticidad de compresión del material de resina poliéster pura ($\bar{X} = 1288,59 \text{ MPa}$).

- **Deformación por compresión**

H_0 : No hay diferencia entre la deformación por compresión del material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1 y la deformación por compresión del material de resina poliéster pura.

H_1 : La deformación por compresión del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 es mayor que la deformación por compresión del material de resina poliéster pura.

En la Tabla 82, se presenta los datos muestrales correspondiente a los resultados de la deformación por compresión obtenidos en el ensayo a compresión para la muestra del material de resina poliéster pura y el material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1.

Tabla 82. Datos muestrales de la deformación por compresión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

MATRIZ PURA RESINA POLIÉSTER		MATERIAL COMPUESTO 30% G1	
	Deformación por compresión, %		Deformación por compresión, %
1	11,39	1	22,81
2	7,12	2	20,39
3	7,08	3	21,67
4	9,07	4	17,78
5	8,70	5	18,80
\bar{X}	8,67	\bar{X}	20,29
S	1,77	S	2,05

Fuente: La Autora

En la Figura 48, se observa las gráficas de probabilidad de los datos de las muestras realizadas mediante un software estadístico. Los valores de P (0,349 y 0,86) para ambas muestras son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.

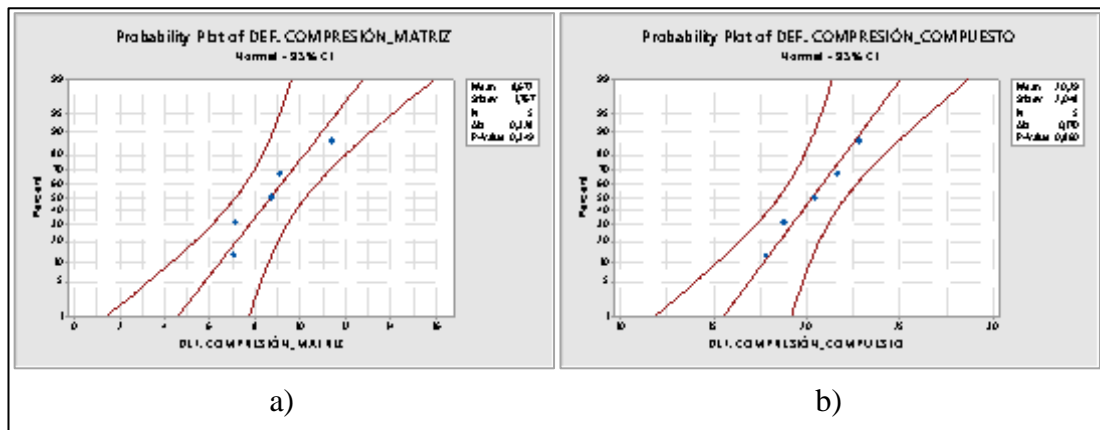


Figura 48. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales de la deformación por compresión: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.

Fuente: La Autora

En la Tabla 83, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (0,74) es menor que el valor crítico para F (0,16), por lo tanto, se considera desigualdad de varianzas.

Tabla 83. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales de la deformación por compresión de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	8,67	20,29
Varianza	3,12	4,20
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	0,74	
P(F<=f) una cola	0,39	
Valor crítico para F (una cola)	0,16	

Fuente: La Autora

A partir de establecer la veracidad de los supuestos, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba *t* para las dos muestras suponiendo varianzas desiguales como se observa en la Tabla 84.

Tabla 84. Prueba de hipótesis para la deformación por compresión.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	8,67	20,29
Varianza	3,12	4,20
Observaciones	5,00	5,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	8,00	
Estadístico t	-9,60	
P(T<=t) una cola	5,74E-06	
Valor crítico de t (una cola)	1,86	
P(T<=t) dos colas	1,15E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2,31	

Fuente: La Autora

En la Tabla 84, el estadístico *t* (9,60) es mayor que el valor crítico de *t* de dos colas (2,31), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Es decir, la deformación por compresión del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 ($\bar{X} = 20,29\%$) es significativamente mayor que la deformación por compresión del material de resina poliéster pura ($\bar{X} = 8,67\%$).

4.6.3. Prueba de hipótesis para dureza

H_0 : No hay diferencia entre la dureza del material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1 y la dureza del material de resina poliéster pura.

H_1 : La dureza del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 es menor que la dureza del material de resina poliéster pura.

En la Tabla 85, se presenta los datos muestrales correspondiente a los resultados de dureza Rockwell obtenidos en el ensayo de dureza para la muestra del material de resina poliéster pura y el material compuesto del 30% partículas de caucho de granulometría G1.

Tabla 85. Datos muestrales del ensayo de dureza de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

MATRIZ PURA RESINA POLIÉSTER		MATERIAL COMPUESTO 30% G1	
	Dureza Rockwell		Dureza Rockwell
1	122,10	1	20,47
2	122,67	2	15,90
3	119,33	3	18,47
4	121,40	4	16,13
5	119,13	5	14,07
\bar{X}	120,93	\bar{X}	17,01
S	1,61	S	2,49

Fuente: La Autora

En la Figura 49, se observa las gráficas de probabilidad de los datos de las muestras realizadas mediante un software estadístico. Los valores de P (0,297 y 0,657) para ambas muestras son mayores al nivel de significancia α (0,05), por lo tanto, se considera que ambas presentan una distribución normal.

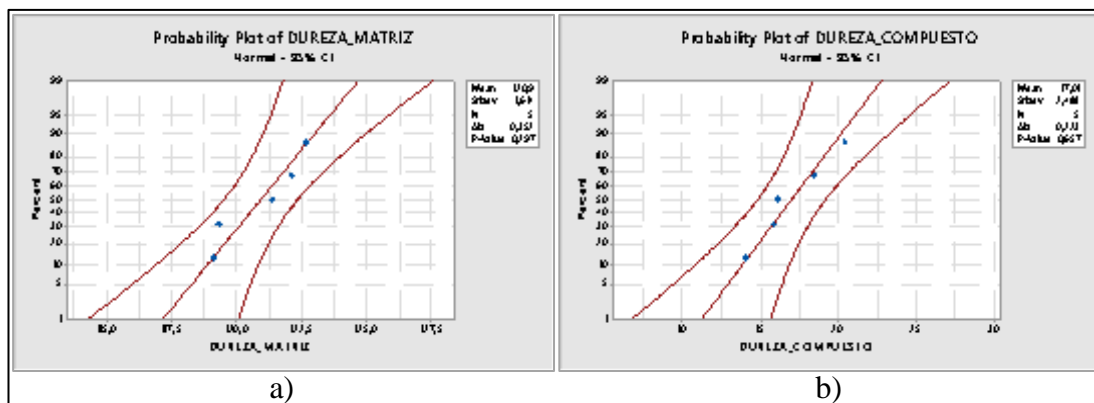


Figura 49. Gráficas de probabilidad de los datos muestrales de dureza: a) Resina poliéster y b) Compuesto de 30% G1.

Fuente: La Autora

En la Tabla 86, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se realizó la prueba F de los datos de las muestras. El valor de F (0,42) es mayor que el valor crítico para F (0,16), por lo tanto, se considera que las varianzas son diferentes.

Tabla 86. Prueba de homocedasticidad de los datos muestrales de dureza de la Resina poliéster y el Compuesto de 30% G1.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	120,93	17,01
Varianza	2,60	6,19
Observaciones	5,00	5,00
Grados de libertad	4,00	4,00
F	0,42	
P(F<=f) una cola	0,21	
Valor crítico para F (una cola)	0,16	

Fuente: La Autora

A partir de establecer la veracidad de los supuestos, mediante la ayuda de herramientas estadísticas de análisis de datos de Excel se aplicó la prueba t para las dos muestras suponiendo varianzas desiguales como se observa en la Tabla 87.

Tabla 87. Prueba de hipótesis para la dureza.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	RESINA POLIÉSTER	COMPUESTO 30% G1
Media	120,93	17,01
Varianza	2,60	6,19
Observaciones	5,00	5,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	7,00	
Estadístico t	78,36	
P(T<=t) una cola	7,25E-12	
Valor crítico de t (una cola)	1,895	
P(T<=t) dos colas	1,45E-11	
Valor crítico de t (dos colas)	2,37	

Fuente: La Autora

En la Tabla 87, el estadístico t (78,36) es mayor que el valor crítico de t de dos colas (2,37), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Es decir, la dureza del material compuesto 30% partículas de caucho de granulometría G1 ($\bar{X} = 17,01$ Rockwell) es significativamente menor que la dureza del material de resina poliéster pura ($\bar{X} = 120,93$ Rockwell).

Mediante la verificación de la hipótesis, se demostró que:

- El material compuesto conformado de partículas de cauchos de neumáticos reciclados y matriz polimérica inciden de manera negativa en las propiedades mecánicas como: los esfuerzos máximos de flexión y compresión, los módulos de elasticidad de flexión y compresión, y dureza. Estas propiedades mecánicas del material compuesto de 30% de partículas de caucho de neumáticos reciclados de Granulometría G1 y 70 % resina poliéster son significativamente menores respecto a las del material de resina poliéster pura.
- El material compuesto conformado de partículas de cauchos de neumáticos reciclados y matriz polimérica inciden de manera positiva en las propiedades mecánicas de deformación máxima a flexión y deformación por compresión. Estas propiedades mecánicas del material compuesto de 30% de partículas de caucho de

neumáticos reciclados de Granulometría G1 y 70 % resina poliéster son significativamente mayores respecto a las del material de resina poliéster pura.

- El material compuesto conformado de partículas de cauchos de neumáticos reciclados y matriz polimérica no influyen en la característica mecánica de esfuerzo de fluencia, ya que, se determinó que no existe una diferencia significativa entre el esfuerzo de fluencia del material compuesto de 30% de partículas de caucho de neumáticos reciclados de Granulometría G1 y 70 % resina poliéster y el esfuerzo de fluencia del material de resina poliéster pura.

4.4 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA CARROCERA

Con el propósito de contribuir al proyecto de investigación “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON PARTÍCULAS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN PARTES EXTERIORES DE CARROCERÍAS DE LA INDUSTRIA CARROCERA DE TUNGURAHUA”, se realizó el análisis aerodinámico y estático de un cerco de faro (parte externa frontal) de un bus Hino AK como se muestra en la Figura 50, utilizando las propiedades mecánicas del mejor grupo de material compuesto (30% partículas de caucho de neumáticos reciclados de Granulometría G1 y 70% de resina poliéster).



Figura 50. Vista Isométrica del cerco de faro en SolidWorks.

Fuente: La Autora

El diseño tridimensional del cerco de faro se obtuvo a partir de la medición de una pieza fabricada mediante la utilización de un molde proporcionado por la empresa Carrocerías Santa Cruz de la provincia de Tungurahua, la misma que se muestra en la Figura 51.



Figura 51. Cerco de faro fabricada con el mejor grupo de material compuesto.

Fuente: La Autora

El plano con las dimensiones de la superficie de la pieza se adjunta en el ANEXO 11.

Análisis aerodinámico

Inicialmente, se realizó el análisis aerodinámico de la pieza antes mencionada con el propósito de determinar el comportamiento aerodinámico a condiciones diarias de un bus en movimiento. El análisis se realizó con la herramienta Flow Simulation del software SolidWorks con los parámetros mostrados en la Figura 52.

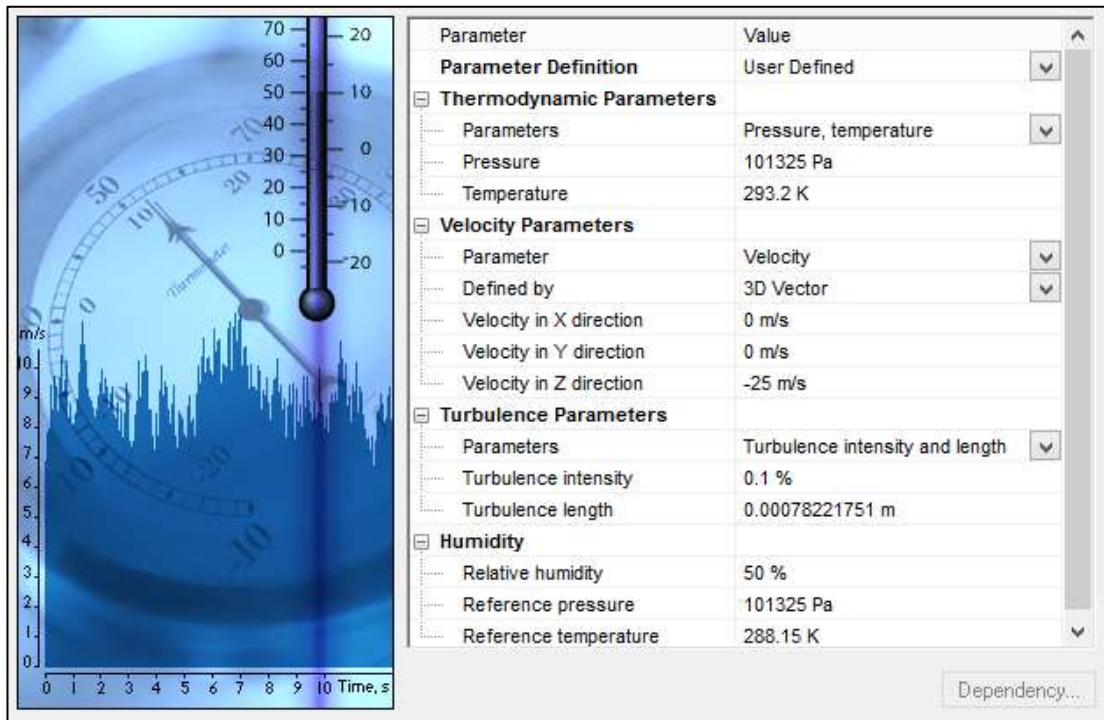


Figura 52. Parámetros para análisis aerodinámico.

Fuente: La Autora

Se aplicó una velocidad de 25 m/s equivalente a 90 km/h , el cual corresponde al límite de velocidad máximo para vehículos de transporte público de pasajeros en rectas de carreteras establecido por la Agencia Nacional de Transito.

En la figura 53, se muestra el cálculo del área frontal del cerco de faro mediante SolidWorks ($A_f = 161360,95 \text{ mm}^2 = 0,16136095 \text{ m}^2$).

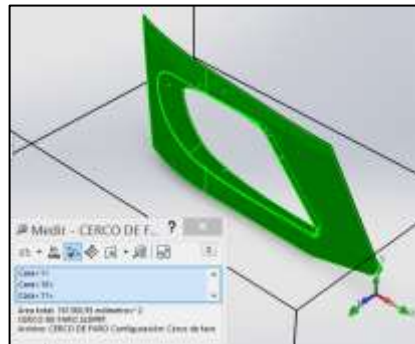



Figura 53. Área frontal del cerco de faro.

Fuente: La Autora

El análisis fue realizado indistintamente para espesores de 3 mm, 4 mm y 5 mm de la pieza, obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 88.

Tabla 88. Resultados del análisis aerodinámico.

	Esesor (mm)	F_f , (N)	C_d	P_f , (Pa)
	3	60,2636	0,975598	375,45
	4	55,1980	0,893591	342,19
	5	54,0425	0,874884	335,03

Fuente: La Autora

F_f , es la fuerza frontal sobre el área frontal de la pieza.

C_d , corresponde al coeficiente aerodinámico o coeficiente de arrastre obtenido a partir de la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{2F_f}{\rho_{aire} \cdot V^2 \cdot A_f} \quad (31)$$

donde:

ρ_{aire} : densidad del aire ($1,225 \text{ kg/m}^3$)

V : velocidad del aire (25 m/s)

P_f , es la presión de aire en la parte frontal de la pieza y se calculó con la siguiente ecuación:

$$P_f = \frac{F_f}{A_f} \quad (32)$$

A continuación, en las Figuras 54, 55 y 56 se observa la respuesta de la pieza frente a una fuente de aire externa, producto del movimiento del bus ocasionando una presión en la superficie exterior de esta representando oposición al movimiento del bus.

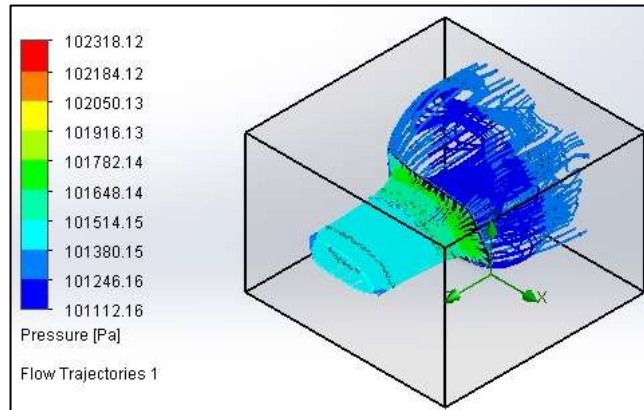


Figura 54. Respuesta al túnel del viento del cerco de faro de 3 mm de espesor.

Fuente: La Autora

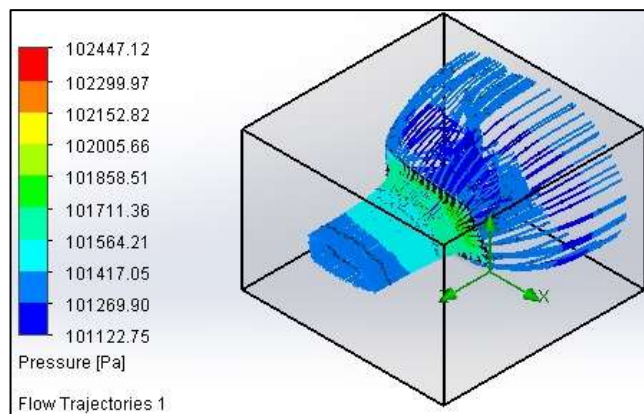


Figura 55. Respuesta al túnel del viento del cerco de faro de 4 mm de espesor.

Fuente: La Autora

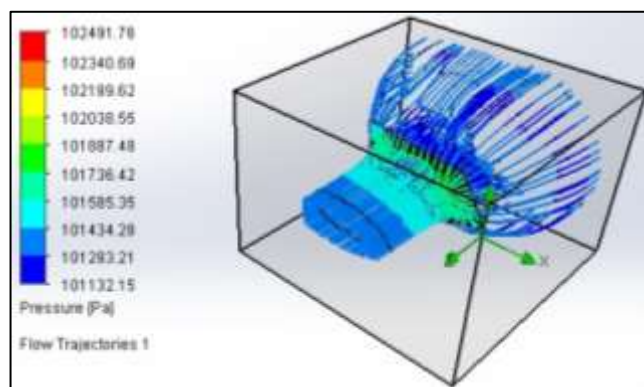


Figura 56. Respuesta al túnel del viento del cerco de faro de 5 mm de espesor.

Fuente: La Autora

Análisis estático

Se realizó el análisis estático aplicando una sujeción fija a los bordes y una carga (presión) en el área frontal de la pieza como se observa en la figura 57.

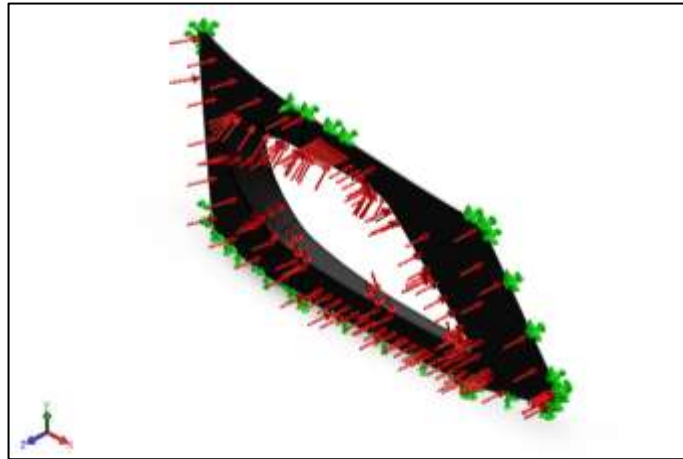


Figura 57. Sujeciones y cargas para análisis estático.

Fuente: La Autora

El análisis fue realizado indistintamente para espesores de 3 mm, 4 mm y 5 mm de la pieza aplicando la presión obtenida mediante el análisis aerodinámico descritas en la Tabla 88. Se obtuvo los siguientes resultados de factor de seguridad (FDS):

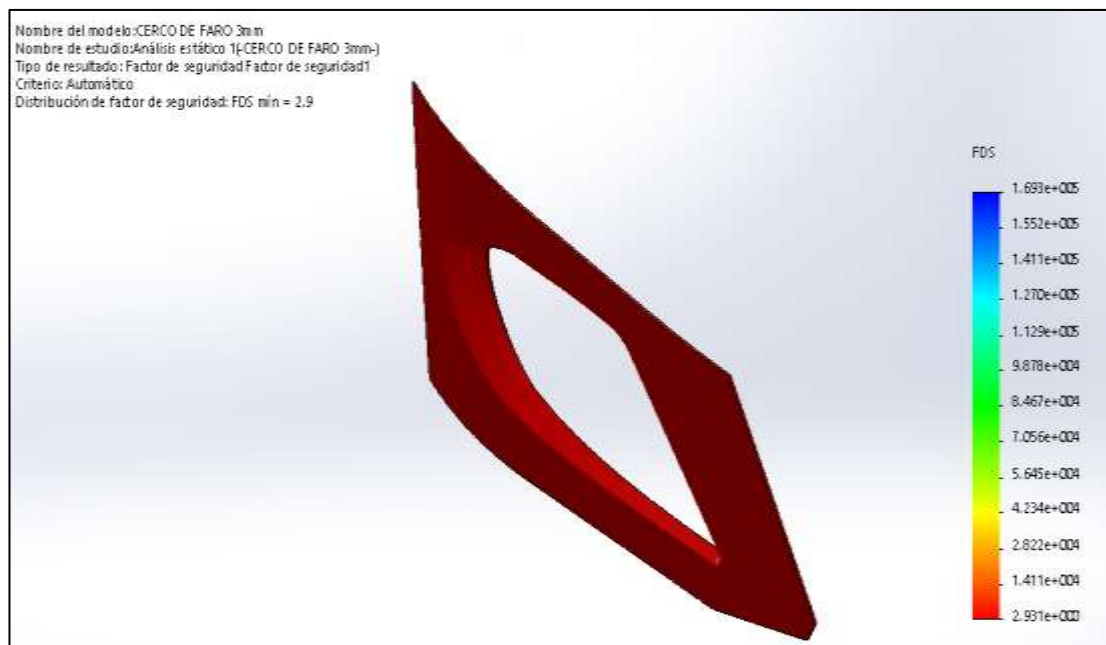


Figura 58. Factor de seguridad del cerco de faro de 3 mm de espesor.

Fuente: La Autora

En la Figura 58, se observa un $FDS_{min} = 2,931$ y un $FDS_{max} = 1,693 \times 10^5$ para la pieza en espesor de 3 mm de espesor.

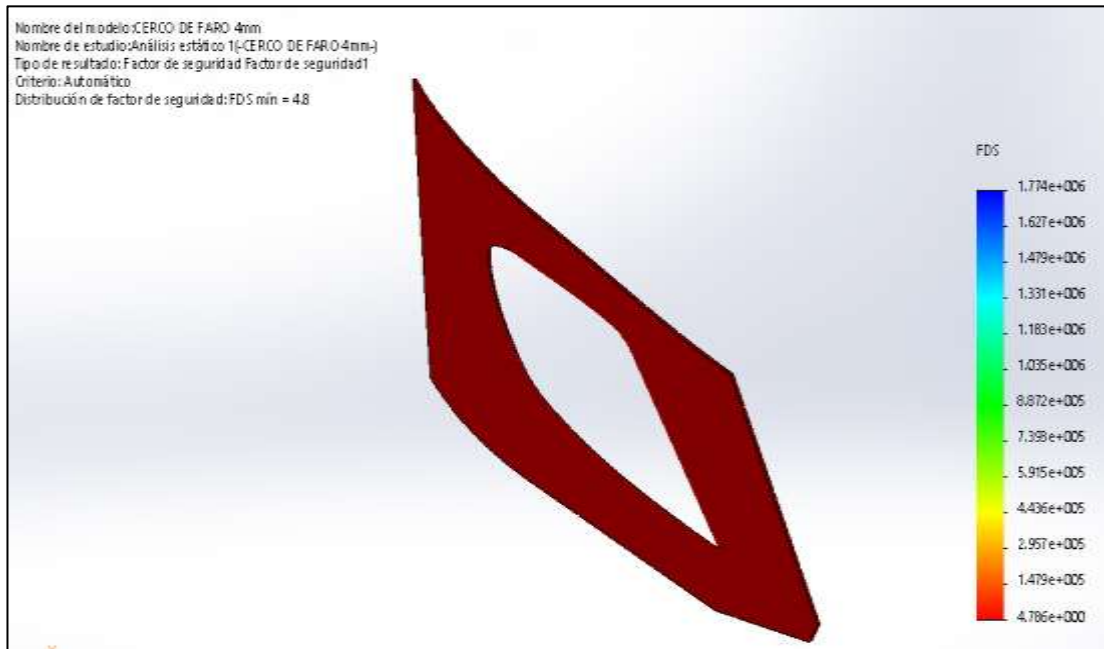


Figura 59. Factor de seguridad del cerco de faro de 4 mm de espesor.

Fuente: La Autora

En la Figura 59, se observa un $FDS_{min} = 4,786$ y un $FDS_{max} = 1,774 \times 10^6$ para la pieza en espesor de 4 mm de espesor.

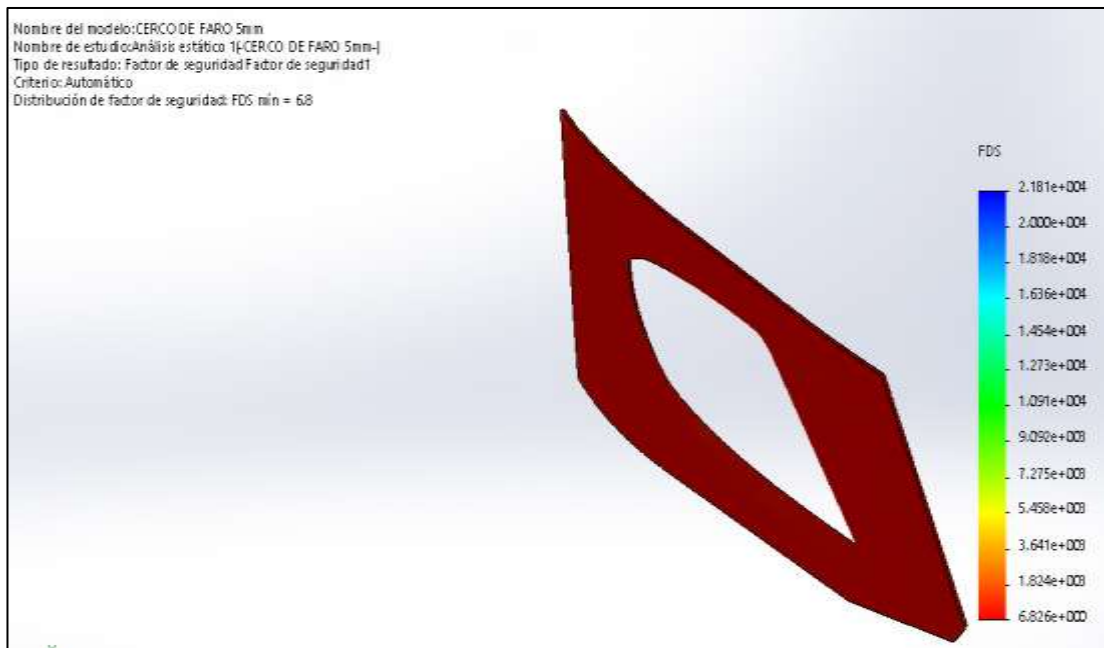


Figura 60. Factor de seguridad del cerco de faro de 5 mm de espesor.

Fuente: La Autora

En la Figura 60, se observa un $FDS_{min} = 6,826$ y un $FDS_{max} = 2,181 \times 10^4$ para la pieza en espesor de 4 mm de espesor.

Entonces:

Como conclusión se establece que el material compuesto con una concentración volumétrica del 30% partículas de caucho de neumáticos reciclados de tamaño G1 y el 70% matriz de resina poliéster, es adecuado para la aplicación de fabricación de partes exteriores de carrocerías como cercos de faro de un Bus Hino AK con un mínimo de 3 mm, ya que éste cumple con un factor de seguridad mínimo de 2,931, el mismo que asegura el adecuado funcionamiento de la pieza a condiciones aerodinámicas, ya que a medida que aumenta el espesor de la pieza, la presión que se genera en el área frontal de la pieza disminuye, por lo tanto, su factor de seguridad incrementa pero aumenta el costo de producción.

En la Figura 61, se muestra la ubicación del cerco de faro analizado en un bus Hino AK de la Carrocería Santa Cruz.



Figura 61. Cerco de faro de un bus Hino AK de la carrocería Santa Cruz.

Fuente: La Autora

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.4. CONCLUSIONES

- Se obtuvo el material compuesto de partículas de caucho de neumáticos reciclados y resina poliéster Ortoftálica de propósito general POL® 33000 con tres tipos de granulometría (G1, G2 y G3) y tres concentraciones volumétricas (30%, 35% y 40%) de partículas de caucho. Las granulometrías G1, G2 y G3 corresponden a un tamaño de partículas entre $0,05\text{ mm} - 0,6\text{ mm}$, $0,6\text{ mm} - 1,18\text{ mm}$ y $1,18\text{ mm} - 2,36\text{ mm}$ respectivamente. Se obtuvo un total de 9 configuraciones de material compuesto.
- Se elaboró probetas con dimensiones establecidas para cada ensayo según normativa ASTM, 70 probetas para ensayo a flexión con la norma ASTM D7264, 70 probetas para ensayo a compresión con la norma ASTM D695, y 70 probetas para ensayo de dureza con la norma ASTM D785. Las 70 probetas fabricadas por ensayo corresponden a 7 especímenes por configuración/grupo, las 9 configuraciones de material compuesto más la configuración de concentración volumétrica 0% partículas de caucho, es decir, 100% matriz pura.
- Se analizó el comportamiento del material compuesto para cada propiedad mecánica promedio en función de la granulometría y la concentración volumétrica de las partículas de caucho de cada ensayo. En las propiedades a flexión, a medida que aumenta el contenido de partículas de caucho de neumáticos reciclados disminuye el esfuerzo máximo de flexión y módulo de elasticidad de flexión para los tres tamaños de granulometría (G1, G2 y G3). En las propiedades a compresión, a medida que aumenta el contenido de partículas de caucho de neumáticos reciclados disminuye el esfuerzo máximo de compresión, el esfuerzo de fluencia y módulo de elasticidad de compresión para dos tamaños de granulometría, G2 y G3; éstas propiedades para la granulometría G1 presentan un comportamiento creciente-decreciente, es decir, las propiedades mecánicas del compuesto aumentan su valor al incrementar el contenido de las partículas de caucho de 30% a 35%, pero

disminuyen al incrementa su contenido a 40% . Los valores de dureza presentan un comportamiento pérdida-ganancia para los tres tamaños de granulometría (G1, G2 y G3), es decir, el material compuesto pierde dureza al incrementar el contenido de las partículas de caucho de 30% a 35%, pero gana dureza al incrementa su contenido de 35% a 40%.

- Se determinó por ponderación de los datos promedio que el mejor grupo con las mejores propiedades mecánicas fue la configuración con concentración volumétrica del 30% partículas de caucho de granulometría G1 y 70% resina poliéster: esfuerzo máximo de flexión de 13,16 *MPa*, módulo de elasticidad de flexión de 425,46 *MPa*, deformación máxima de 3,21%, esfuerzo máximo de compresión de 7,49 *MPa*, esfuerzo de fluencia de 1,94 *MPa*, módulo de elasticidad de compresión de 37,40 *MPa* , deformación por compresión de 20,29%, y dureza de 17,01 Rockwell.
- Mediante la verificación de la hipótesis se determinó que la inclusión de partículas de caucho de neumáticos reciclados en una matriz de resina poliéster inciden negativamente en las propiedades mecánicas como: esfuerzos máximos de flexión y compresión, los módulos de elasticidad de flexión y compresión, y dureza, ya que éstas disminuyen significativamente. También, se determinó que incide positivamente en la de deformación, ya que soportaron mayores deformaciones tanto a flexión y compresión. Además, las partículas de caucho no influyeron en la característica mecánica de esfuerzo de fluencia debido a que no se obtuvo una diferencia significativa entre el esfuerzo de fluencia del material compuesto y el material de matriz pura.
- A partir del análisis aerodinámico y estático de un cerco de faro (parte externa-frontal) de un bus Hino AK, se estableció que el material compuesto del 30% partículas de caucho de neumático reciclados de granulometría G1 y 70% resina poliéster es adecuado para la fabricación de estas piezas con espesor mínimo de 3 *mm*, ya que cumple con un factor de seguridad mínimo de 2,931 garantizando su exposición a condiciones aerodinámicas producto del normal funcionamiento del bus en movimiento. Sí se desea incrementar su factor de seguridad sólo es necesario aumentar su espesor.

5.5.RECOMENDACIONES

- Calcular las fracciones en peso tanto de la matriz como del refuerzo, ya que esto facilita la medición de la cantidad correspondiente a cada uno al momento de su preparación.
- En la fabricación del material compuesto evitar el contacto directo de la piel con las sustancias químicas, por lo tanto, se debe utilizar todo el equipo de seguridad necesario, además utilizar guantes contra solventes.
- Untar de manera uniforme el número de capas de cera necesarias al molde para que facilitar y desmolde del compuesto facilitar y consecuentemente evitar adherencias.
- Para una mejor adherencia entre la matriz y el refuerzo adicionar anhídrido maleico, ya que éste sirve como agente compatibilizante entre las fases.
- Es importante considerar las recomendaciones y/o condiciones de curado de la resina poliéster por el fabricante como tiempos de curado y temperatura.
- Realizar nuevas investigaciones variando el tipo de secado del material compuesto y/o agregando otro material de refuerzo para el análisis de un material híbrido.
- Principalmente se recomienda el análisis de nuevos materiales a partir de la incorporación de partículas de cauchos de neumáticos reciclados, ya que esta es una forma ser respetuosos con el medio ambiente debido a la incorporación de materiales de desecho como son los neumáticos en desuso, resultando como tal una forma más de reciclaje.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Olmos, R. Vela, A. Alvarez, and J. González, “Rubber particles from tires out of use as toughness modifiers of epoxy-based thermosets,” *Adhesion*, vol. 89, no. 9, pp. 697–713, 2013.
- [2] B. Abu-Jdayil, A. H. I. Mourad, and A. Hussain, “Investigation on the mechanical behavior of polyester-scrap tire composites,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 127, pp. 896–903, 2016.
- [3] P. Valášek, M. Müller, and J. Ružbarský, “Using Recycled Rubber Particles as Filler of Polymers,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 616, pp. 260–267, 2014.
- [4] A. S. Silva, G. C. L. Nacif, T. H. Panzera, A. L. Christoforo, F. B. Batista, and V. Mano, “Incorporação de resíduos de borracha em compósitos de matriz polimérica termorrígida,” *Matéria*, vol. 17, no. 4, pp. 1158–1165, 2012.
- [5] J. Williams, “What can the world do with 1.5 billion waste tyres?,” *MAKE WEALTH HISTORY*, 2017. [Online]. Available: <https://makewealthhistory.org/2017/06/29/what-can-the-world-do-with-1-5-billion-waste-tyres/>.
- [6] G. J. Peláez, S. M. Velásquez, and D. H. Giraldo, “Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura,” *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 27, no. 2, pp. 27–50, 2017.
- [7] ECUADORINMEDIATO, “Ecuador fomenta la reducción, reutilización, reciclaje de neumáticos fuera de uso,” #4866, 05-Jun-2016. [Online]. Available: http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=2818802933.
- [8] J. G. Paredes, C. F. Pérez, and C. B. Castro, “Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz (Analysis of the mechanical properties of the composite of polyester matrix reinforced with glass fiber,” pp. 1–15, 2017.

- [9] D. Askeland, P. Fulay, and W. Wright, *The Science and Engineering of Materials*, 6th ed. Australia: Cengage Learning, 2011.
- [10] Pacific Northwest Laboratory, *Material Science and Technology Teachers Handbook*. Washington, 2008.
- [11] F. Stupenengo, “Materiales compuestos,” in *Materiales y materias primas*, Buenos Aires, 2011.
- [12] H. Abramovich, “Stability and Vibrations of Thin Walled Composite Structures,” in *Composite Materials Engineering*, vol. 1, Israel: Elsevier Ltd, 2017, pp. 1–61.
- [13] J.-M. Berthelot, *Composite Materials*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999.
- [14] E. Gaibor, “Caracterización de un material compuesto con matriz de resina de poliéster reforzado con partícula de totora,” Universidad Internacional SEK, 2017.
- [15] M. Gonzalez, “Optimización de las Propiedades Mecánicas de Compositos de Resina Poliéster Reforzados con Fibras de Vidrio y Cargas de Carbonato de Calcio,” Universidad Autónoma de Nuevo León, 2014.
- [16] A. Gil, “Resinas de poliéster: Guía de manejo,” 2012. [Online]. Available: [http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia de manejo de resinas.pdf](http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf).
- [17] Gazechim Composites Ibérica, “Propiedades Resina Poliéster,” 2013. [Online]. Available: <http://www.gazechim.es/blog/131-resina-poliester1.html>.
- [18] A. Alvarez, “Efecto de partículas de caucho provenientes de neumáticos fuera de uso como modificador de la tenacidad en materiales compuestos,” Universidad Carlos III de Madrid, 2015.
- [19] L. Pino, “Materiales Compuestos,” Cuba, 2011.
- [20] University of Virginia, “Composites,” 2004. [Online]. Available: <http://www.virginia.edu/bohr/mse209/chapter17.htm>.
- [21] W. Callister and D. Rethwisch, “Materials science and engineering, An

introduction,” in *Materials Science and Engineering, an Introduction*, 8th ed., Washington: WILEY, 2010, p. 1000.

- [22] C. Cardona and L. Rodríguez, “Estudio del desempeño tribológico de un material compuesto de matriz fenólica cargado con partículas de caucho estireno butadieno SBR,” Universidad Pontificia Bolivariana, 2013.
- [23] Universidad del País Vasco, “Tema 2: Materiales compuestos de matriz orgánica: Procesos de fabricación.” [Online]. Available: https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/7038/mod_resource/content/1/materia_com_p/tema-4-materiales-compuestos-de-matriz-organica-procesos-de-fabricacion.pdf.
- [24] ASTM D7264/D7264M–15, “Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- [25] ASTM D695-15, “Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- [26] ASTM D785-03, “Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003.
- [27] ASTM D2240-05, “Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.
- [28] NanoScience Instruments, “Fractography,” 2017. [Online]. Available: <https://www.nanoscience.com/applications/forensics/fractography/>.
- [29] C. A. Rodríguez Vázquez, “Patrones Y Mecanismos De Fractura En Los Materiales Compuestos De Matriz Polimérica Reforzados Con Fibras,” Universidad Autónoma de Nuevo León, 2013.
- [30] S. Reinaldo, “T-Student. Usos y abusos,” *Rev. Mex. Cardiol.*, vol. 26, no. 1, pp. 59–61, 2015.
- [31] S. Glen, “T Test (Student’s T-Test),” *Statistics How To*, 2016. [Online]. Available: <http://www.statisticshowto.com/t-test/#PairedTTest>.

ANEXOS

ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE RESINA POLIÉSTER

ANEXO 2: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

ANEXO 3: PLANOS DEL MOLDE

ANEXO 4: NORMA ASTM D7264/D7264M-07

ANEXO 5: NORMA ASTM 695-15

ANEXO 6: NORMA ASTM D785-03

ANEXO 7: NORMA ASTM D2240-05

ANEXO 8: INFORME TÉCNICO DE ENSAYO A FLEXIÓN

ANEXO 9: INFORME TÉCNICO DE ENSAYO A COMPRESIÓN

ANEXO 10: INFORME TÉCNICO DE ENSAYO DE DUREZA

ANEXO 11: PLANO CERCO DE FARO

ANEXO 12: ARTÍCULO

**ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE RESINA
POLIÉSTER**



POL® 33000

Resina poliéster Ortoftálica de propósito general

APLICACIONES

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

RECOMENDACIONES DE USO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

FORMA DE APLICACIÓN DEL PRODUCTO

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

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

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

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

Fecha de actualización: Enero 2015 v.1



ESPECIFICACIONES DE LA RESINA LÍQUIDA

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

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

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

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

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

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

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

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

SEGURIDAD Y MANEJO

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

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

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

CERTIFICACIONES

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

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

Fecha de actualización: Enero 2015 v.1



LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDADES

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

INFORMACIÓN DEL CONTACTO

andercol s.a.

Dirección: Carrera 64C No. 95-84

Medellín, Colombia

Teléfono: 57 (4) 470 0700

Página Web: www.andercol.com.co

Fax: 57 (4) 267 8135

Apartado Aéreo: 2065

Fecha de actualización: Enero 2015 v.1

Miembro de:



Responsabilidad Integral
Colombia
Compromiso Social y Ambiental
con el Desarrollo Sostenible

ANEXO 2: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Tabla 1. Granulometría partículas de caucho G1



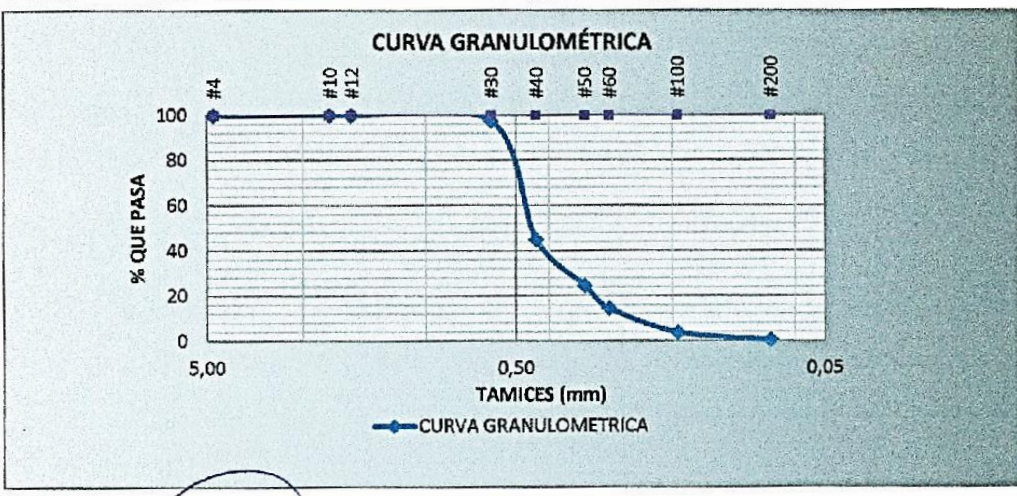


 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA DE MATERIAL COMPUESTO					
PROYECTO:	Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica y partículas de caucho de neumático reciclado y su aplicabilidad en la industria carrocera.	FECHA INICIO:	15-ene-18		
COORDINADOR PRINCIPAL:	Ing. Segundo Espin	FECHA EXP:	21-feb-18		
ENSAYADO:	Egda. Gabriela Jiménez	DESCRIPCIÓN DE MUESTRA:	Partículas de caucho de neumáticos reciclado - 1		
UBICACIÓN:	Laboratorio de Ingeniería Civil				
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA					
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS					
TAMIZ #	mm	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN
#4	4,76	0,10	0,03	99,97	-
#10	2,00	0,20	0,06	99,94	-
#12	1,70	0,30	0,09	99,91	-
#30	0,60	9,00	2,57	97,43	-
#40	0,43	192,40	54,97	45,03	-
#50	0,30	263,40	75,26	24,74	-
#60	0,25	299,00	85,43	14,57	-
#100	0,15	336,40	96,11	3,89	-
#200	0,08	348,20	99,49	0,51	-
PASA #200		1,80	0,51		
TOTAL		350,00			
OBSERVACIONES:		NORMA:		ASTM-C136	
					
 Ing. Byron Lopez TÉCNICO EN LABORATORIO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA			 Egda. Gabriela Jiménez LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS FICM FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA		

Tabla 2. Granulometría partículas de caucho G2



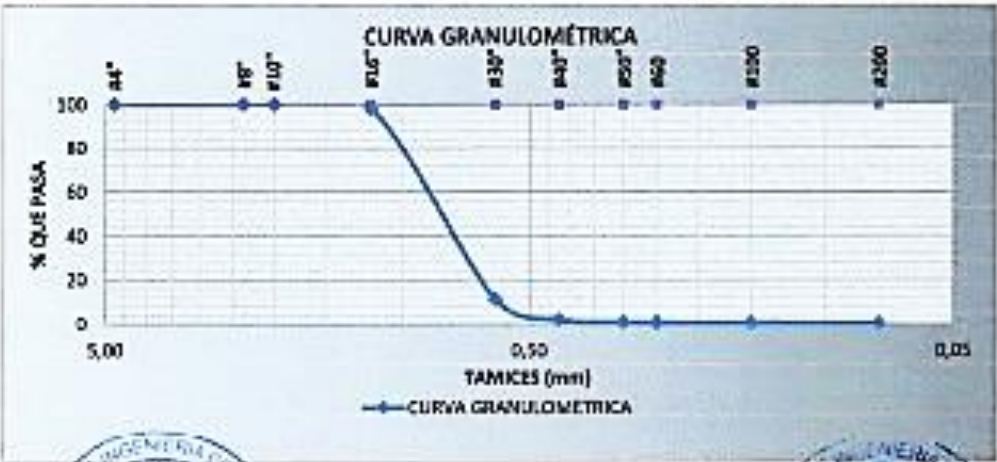




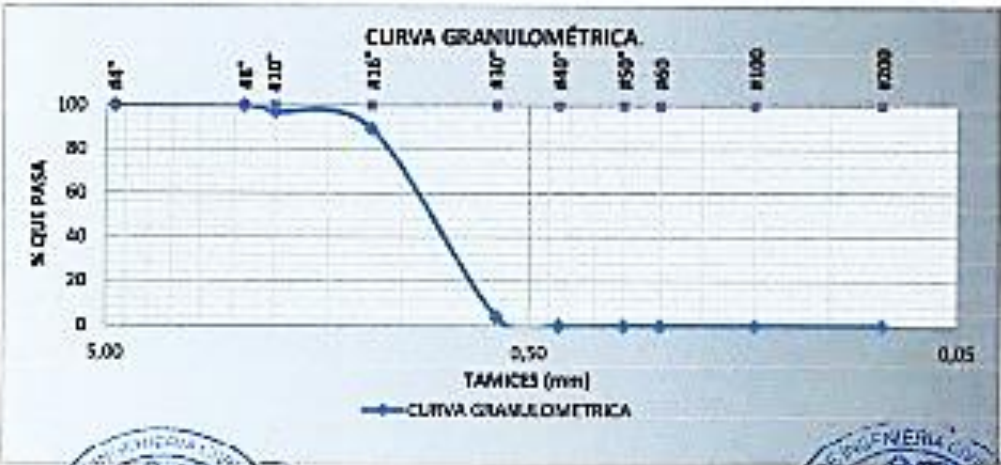


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS GRANULOMETRÍA DE SUELOS					
PROYECTO:	Aplicabilidad de un material compuesto con matriz polimérica reforzada con partículas de neumáticos recortados en partes exteriores de carrocerías de la industria carrozera de Tungurahua.	FECHA INICIO:	12-may-17		
SOLICITADO:	Ing. Jorge Guamanquispe	FECHA EXP:	12-may-17		
ENSAYADO:	Ing. Tatiana Fiellos	DESCRIPCIÓN DE MUESTRA:	Partículas de Neumáticos Fino		
UBICACIÓN:	Cantón Ambato				
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS					
TAMIZ #	mm	PESO RET./CUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN
#4	4,75	0,00	0,00	100,00	-
#8	2,36	0,00	0,00	100,00	-
#10	2,00	0,00	0,00	100,00	-
#16	1,18	11,00	2,00	98,00	-
#30	0,60	489,10	88,80	11,20	-
#40	0,43	540,00	98,04	1,96	-
#50	0,30	546,50	99,22	0,78	-
#60	0,25	547,30	99,36	0,64	-
#100	0,15	548,30	99,55	0,45	-
#200	0,08	549,80	99,82	0,18	-
PASA #200		0,00			
TOTAL		550,80			
Total - Diferencia (gr)			1,00		
OBSERVACIONES:		NORMA:			
					
 <p>Ing. Dyab López TÉCNICO DE LABORATORIO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA U.T.A.</p>			 <p>Ing. Tatiana Fiellos LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS F.I.C.M. FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA U.T.A.</p>		

Tabla 3. Granulometría partículas de caucho G3

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GRANULOMETRIA DE SUELOS					
PROYECTO:	Aplicabilidad de un material compuesto con matriz polimera reforzado con partículas de neumáticos reciclados en partes superiores de carrocerías de la industria camocera de Tungurahua.	FECHA INICIO:	12 may-17		
SOLICITADO:	Ing. Jorge Guamanquispe	FECHA EXP:	12 may-17		
ENSAYADO:	Ing. Tatiana Fallos	DESCRIPCIÓN DE MUESTRA:	Partículas de Neumáticos Grueso		
UBICACIÓN:	Cantón Ambato				
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA DE LOS SUELOS					
TAMIZ #	mm	PESO RET./ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN
#4	4,75	0,00	0,00	100,00	-
#8	2,36	0,00	0,00	100,00	-
#10	2,00	8,40	2,62	97,38	-
#16	1,18	34,90	10,90	89,10	-
#30	0,60	307,10	95,98	4,06	-
#40	0,43	319,95	99,95	0,05	-
#50	0,30	319,95	99,95	0,05	-
#60	0,25	319,95	99,95	0,05	-
#100	0,15	319,95	99,95	0,05	-
#200	0,08	319,95	99,95	0,05	-
PASA #200		0,00			
TOTAL		320,10			
Total - Diferencia (gr)				0,15	
OBSERVACIONES:		NORMA:			
					
					

De acuerdo con el análisis de granulometría realizado se determinan 3 tamaños de partículas con los que se trabajó en la investigación: G1 (0,05mm – 0,6mm), G2 (0,6 – 1,18mm) y G3 (1,18mm – 2,36mm).

Determinación de las propiedades geométricas de las partículas de refuerzo del material compuesto

Se analizó la morfología de las tres partículas G1, G2 y G3 utilizando el microscopio VAN GUARD del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato a 40X, presentando la geometría que se muestra en la figura 1, determinando que las tres partículas tienen morfología irregular.

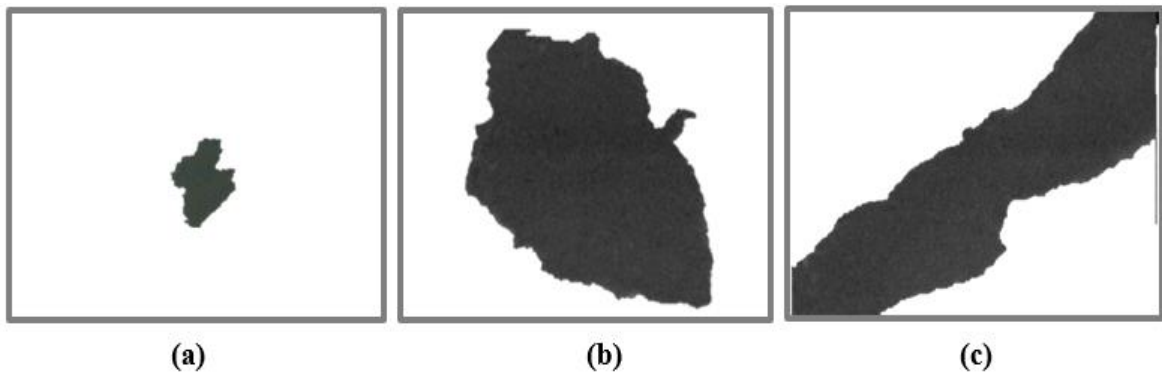
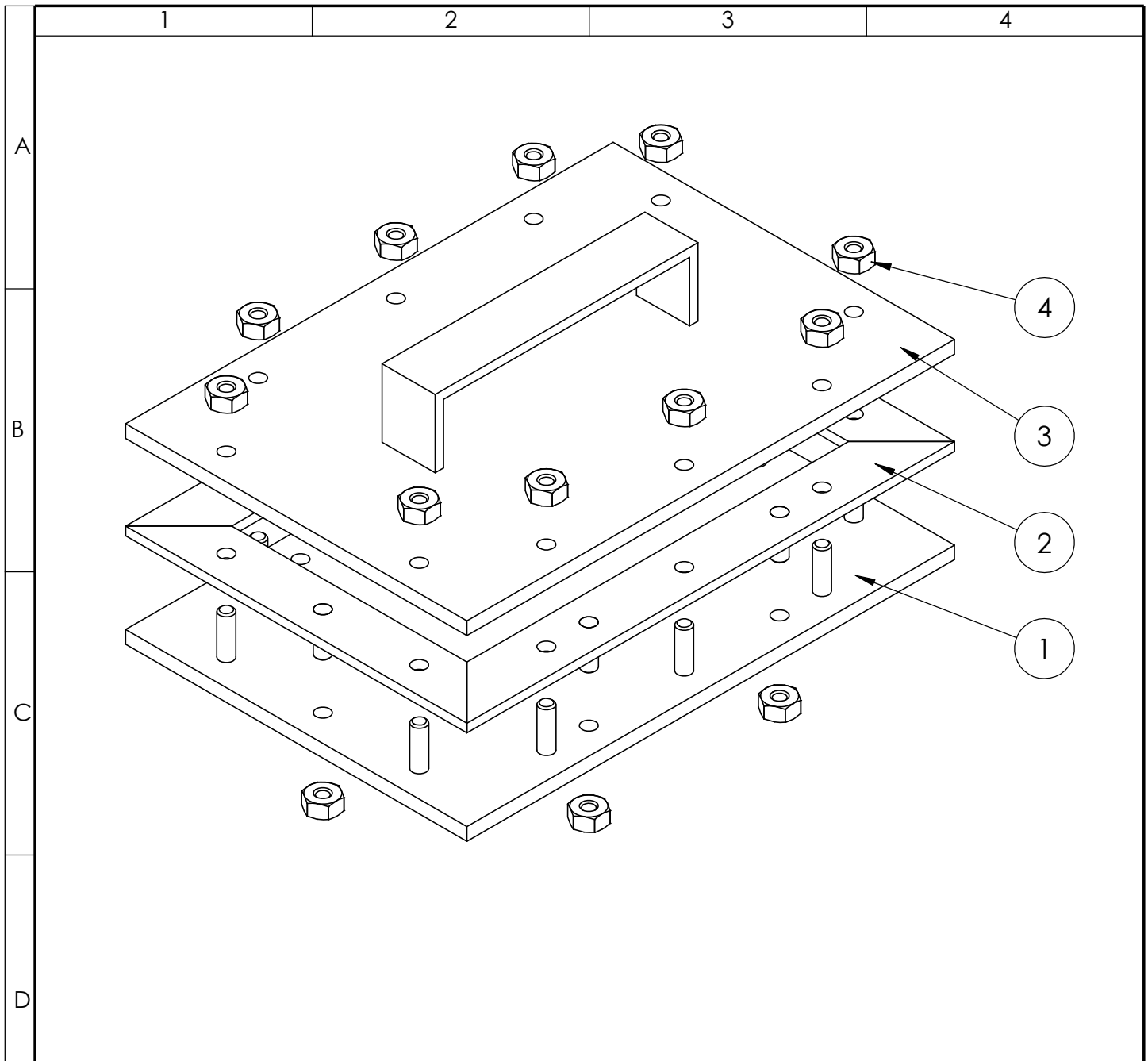


Figura 1. Morfología de las partículas de caucho: a) Partícula G1 a 40X, b) partícula G2 a 40X, c) Partícula G3 a 40X.

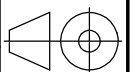
Fuente: Grupo de investigación

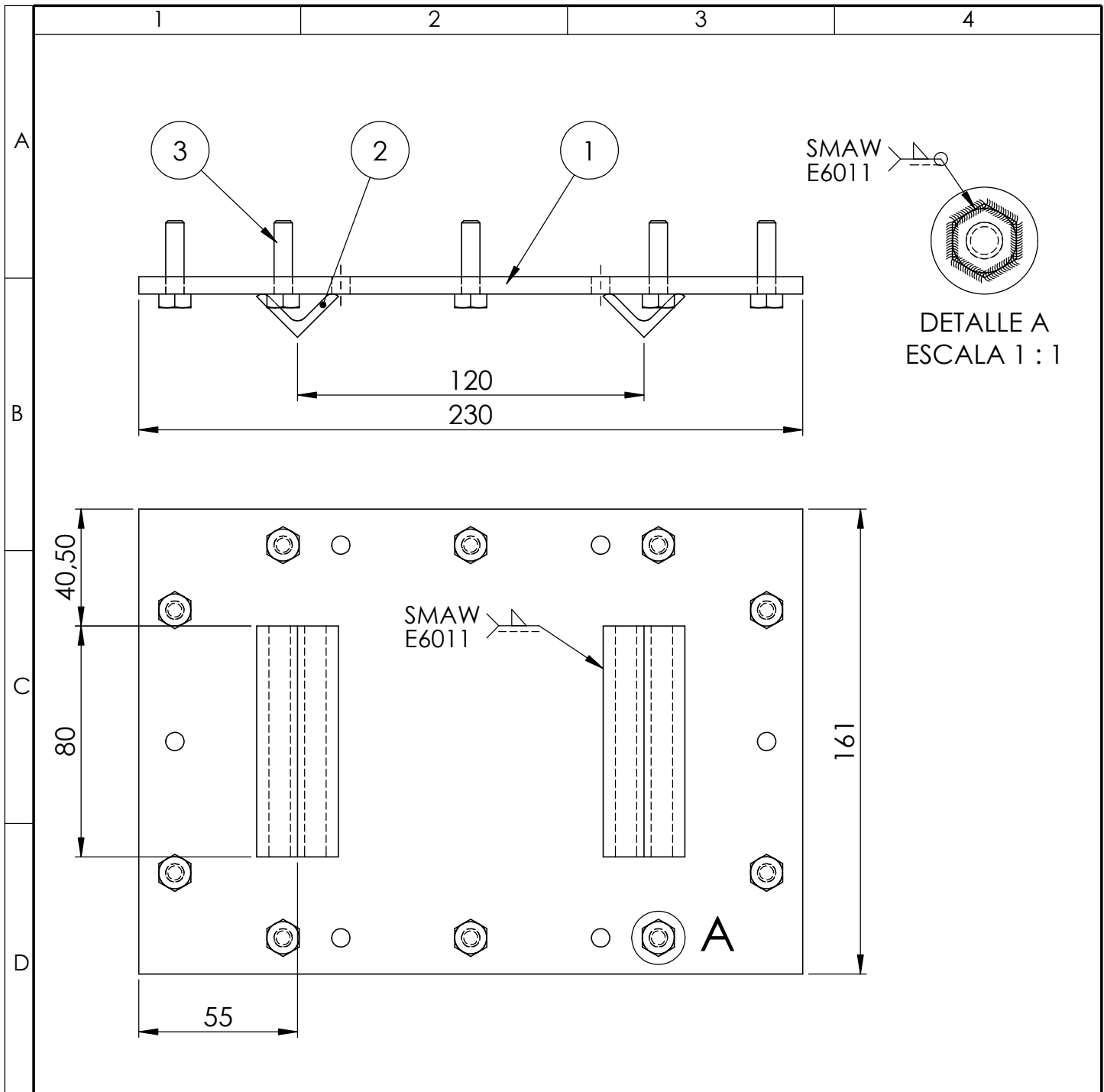
ANEXO 3: PLANOS DEL MOLDE



No.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (g)	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	BASE	ASTM A36 Acero	1960.91	1	Fabricar
2	MARCO	ASTM A36 Acero	547.63	1	Fabricar
3	TAPA	ASTM A36 Acero	1870.50	1	Fabricar
4	TUERCA HEXAGONAL 0.25pulg	Acero medio al carbono templado	5.90	16	Comprar

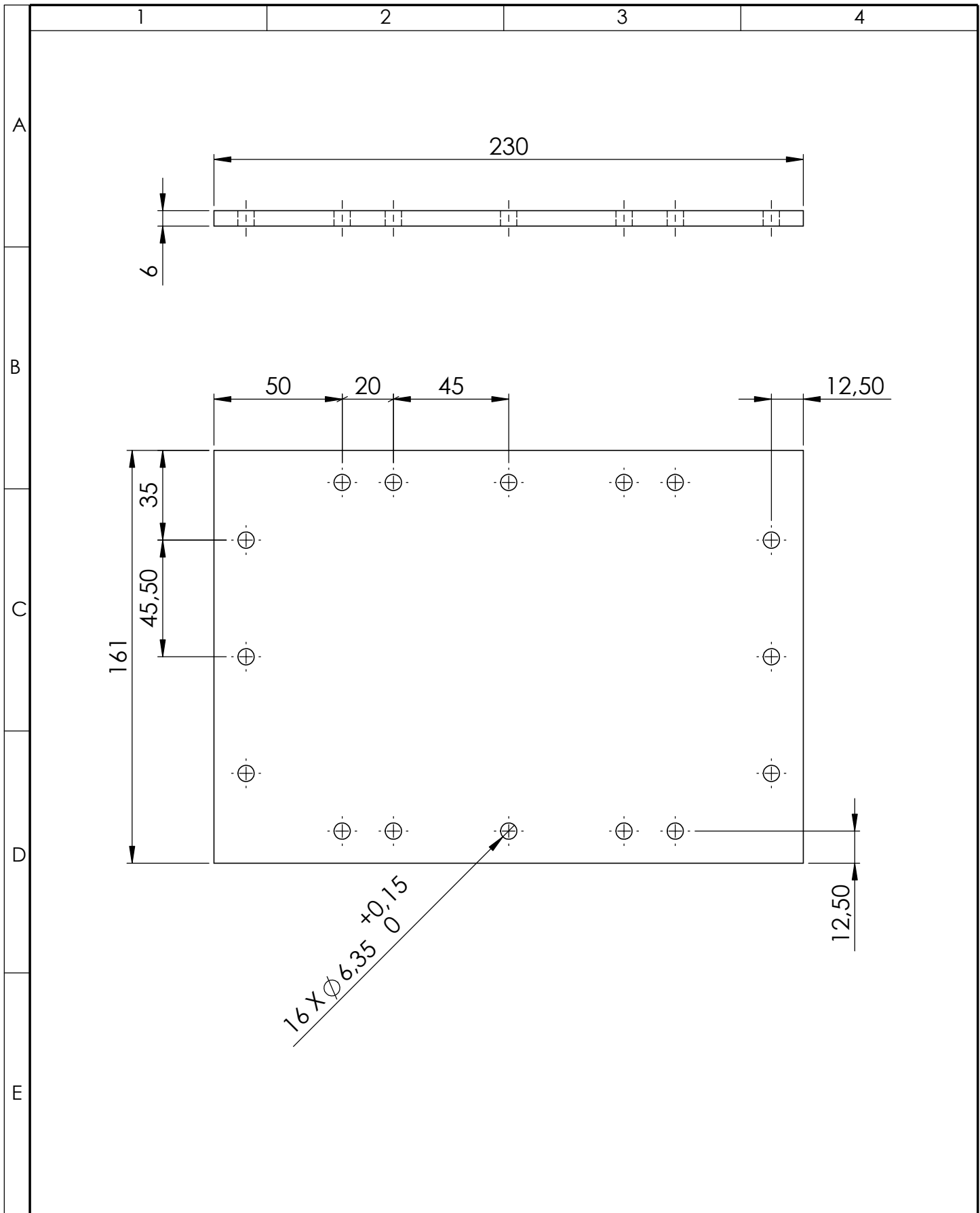
				TOLERANCIA: ±1	PESO: 4473.36 g	MATERIAL: Varios		
						TÍTULO: MOLDE	ESCALA: 1:2	
				DIBUJÓ:	28/10/2017		CAROLINA ACOSTA	
				REVISÓ:	03/11/2017		ING. SEGUNDO ESPÍN	
				APROBÓ:	03/11/2017		ING. SEGUNDO ESPÍN	
				U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA HOJA 1 DE 7	REGISTRO:	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:		



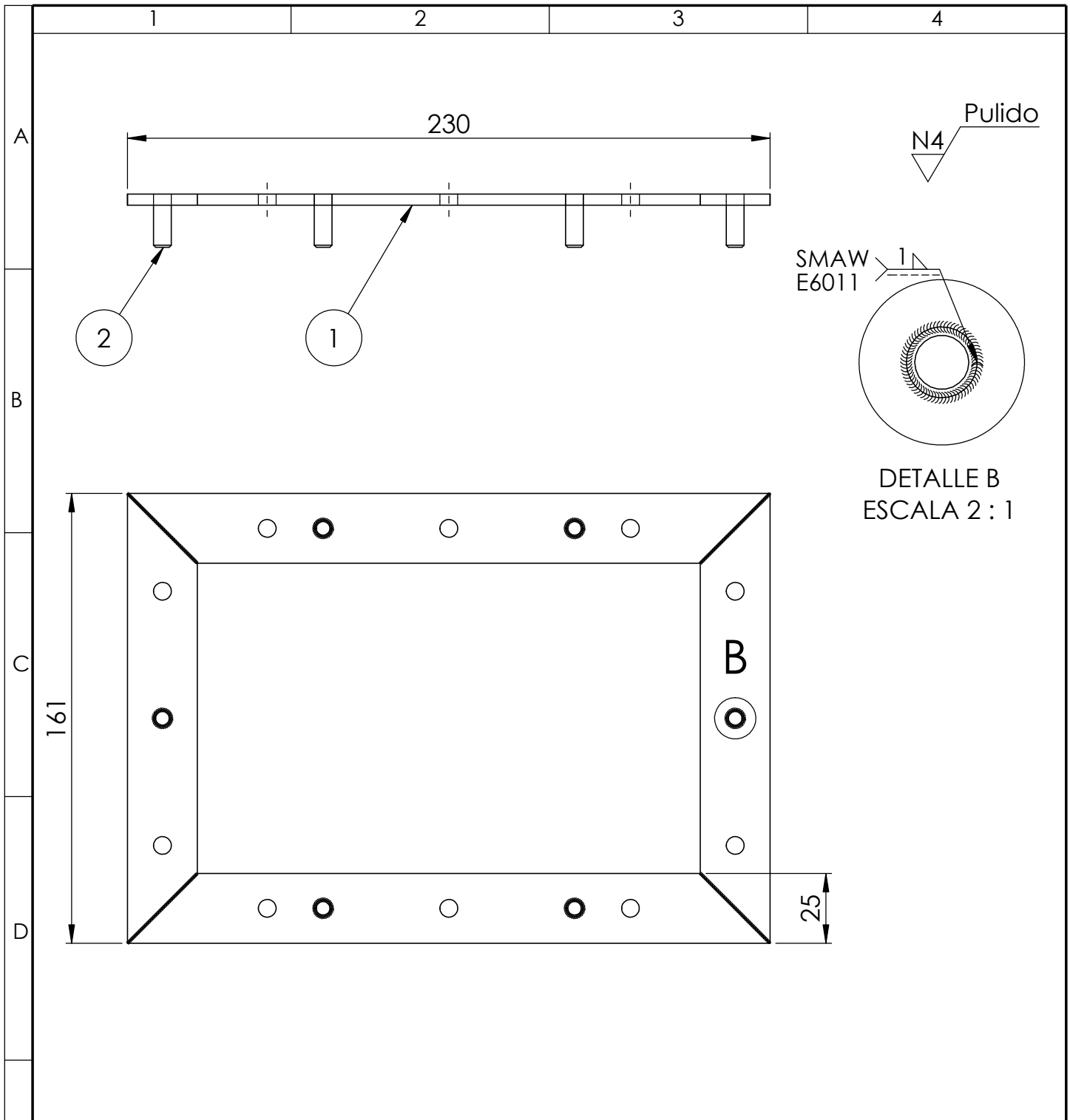


No.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (g)	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	PLACA-BASE	ASTM A36 Acero	1720.25	1	Fabricar
2	ÁNGULO (1x1x0.125) pulg	ASTM A36 Acero	137.87	1	Comprar
3	PERNO HEXAGONAL (0.25x1) pulg	Acero medio al carbono templado	0.0227	10	Comprar

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±1	1960.91 g	Varios	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 28/10/2017	CAROLINA ACOSTA	BASE	
				REVISÓ: 03/11/2017	ING. SEGUNDO ESPÍN		
				APROBÓ: 03/11/2017	ING. SEGUNDO ESPÍN		
				U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA	ESCALA:
						HOJA 2 DE 7	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:		REGISTRO:	

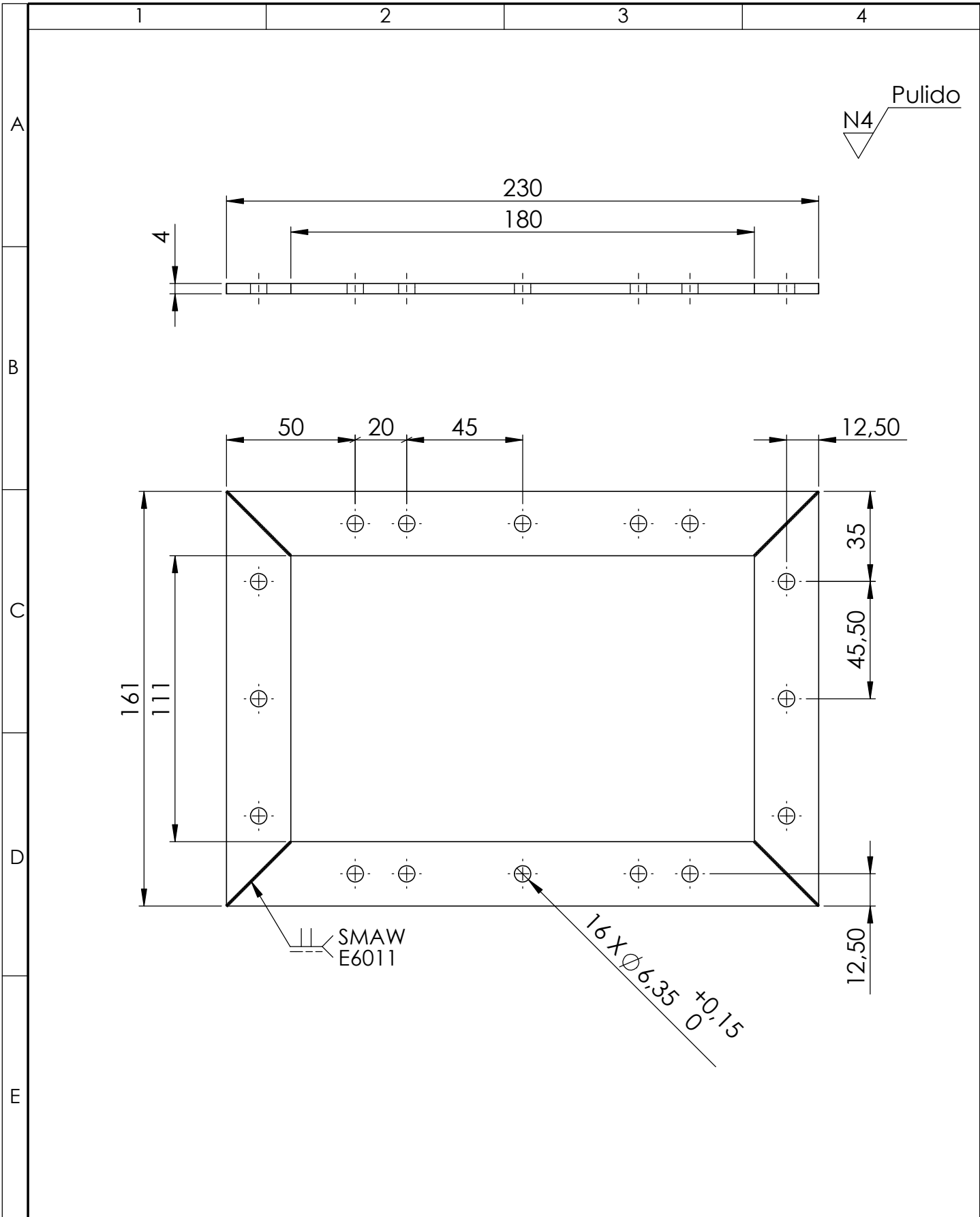


				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 1720.25 g	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
						TÍTULO: PLACA-BASE	ESCALA: 1:2
				DIBUJÓ: 28/10/2017	CAROLINA ACOSTA		
				REVISÓ: 03/11/2017	ING. SEGUNDO ESPÍN		
				APROBÓ: 03/11/2017	ING. SEGUNDO ESPÍN		
				U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA HOJA 3 DE 7	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	

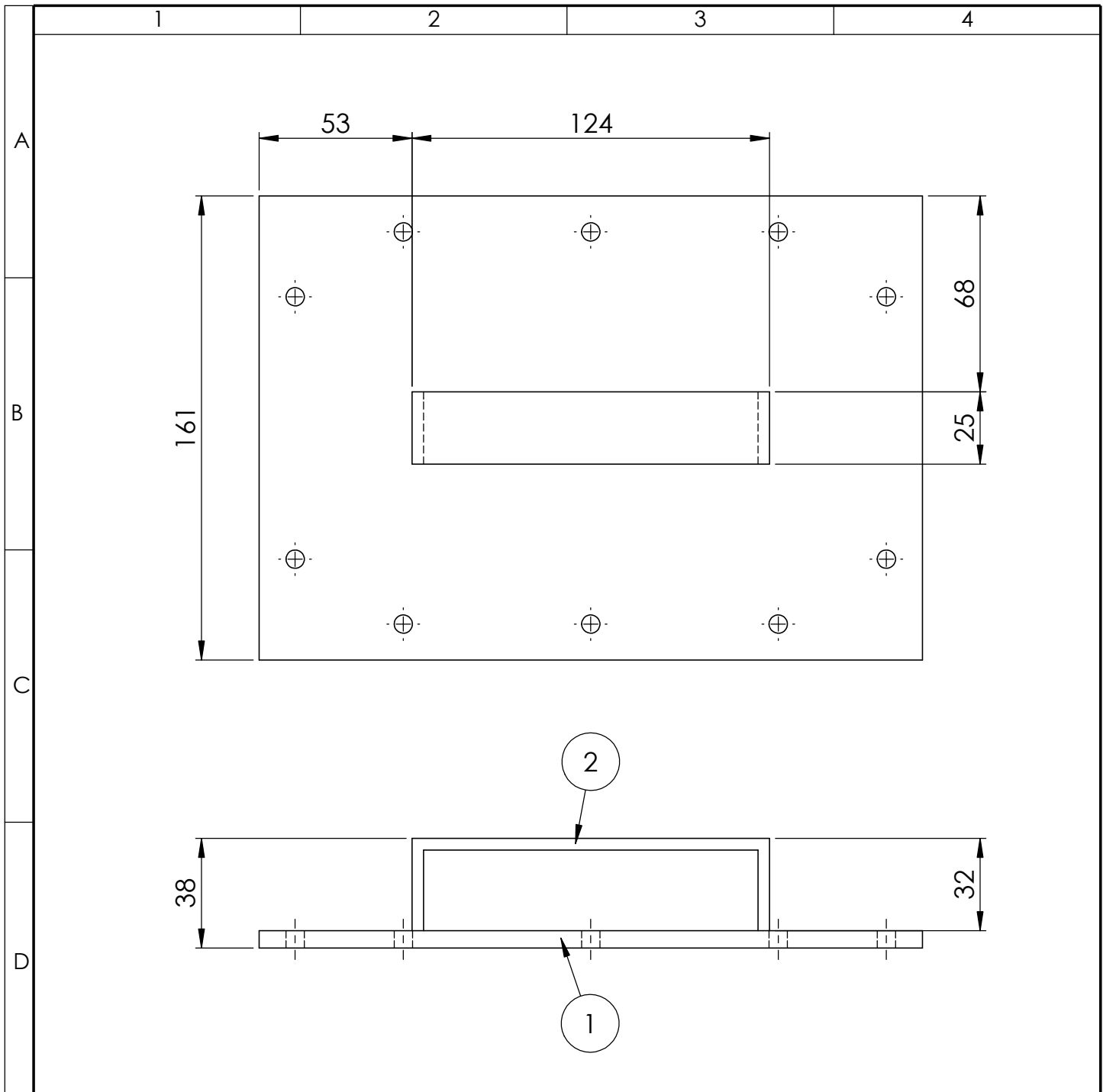


No.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (g)	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	PLATINA (25x4)mm	ASTM A36 Acero	519.46	1	Comprar
2	PERNO HEXAGONAL (0.25X0.75)pulg	Acero medio al carbono templado	0.0261	6	Comprar

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 547.63 g	MATERIAL: Varios	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: MARCO1	ESCALA: 1:2
				DIBUJÓ: 28/10/2017	CAROLINA ACOSTA		
				REVISÓ: 03/11/2017	ING. SEGUNDO ESPÍN		
				APROBÓ: 03/11/2017	ING. SEGUNDO ESPÍN	N.º DE LÁMINA HOJA 4 DE 7	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	

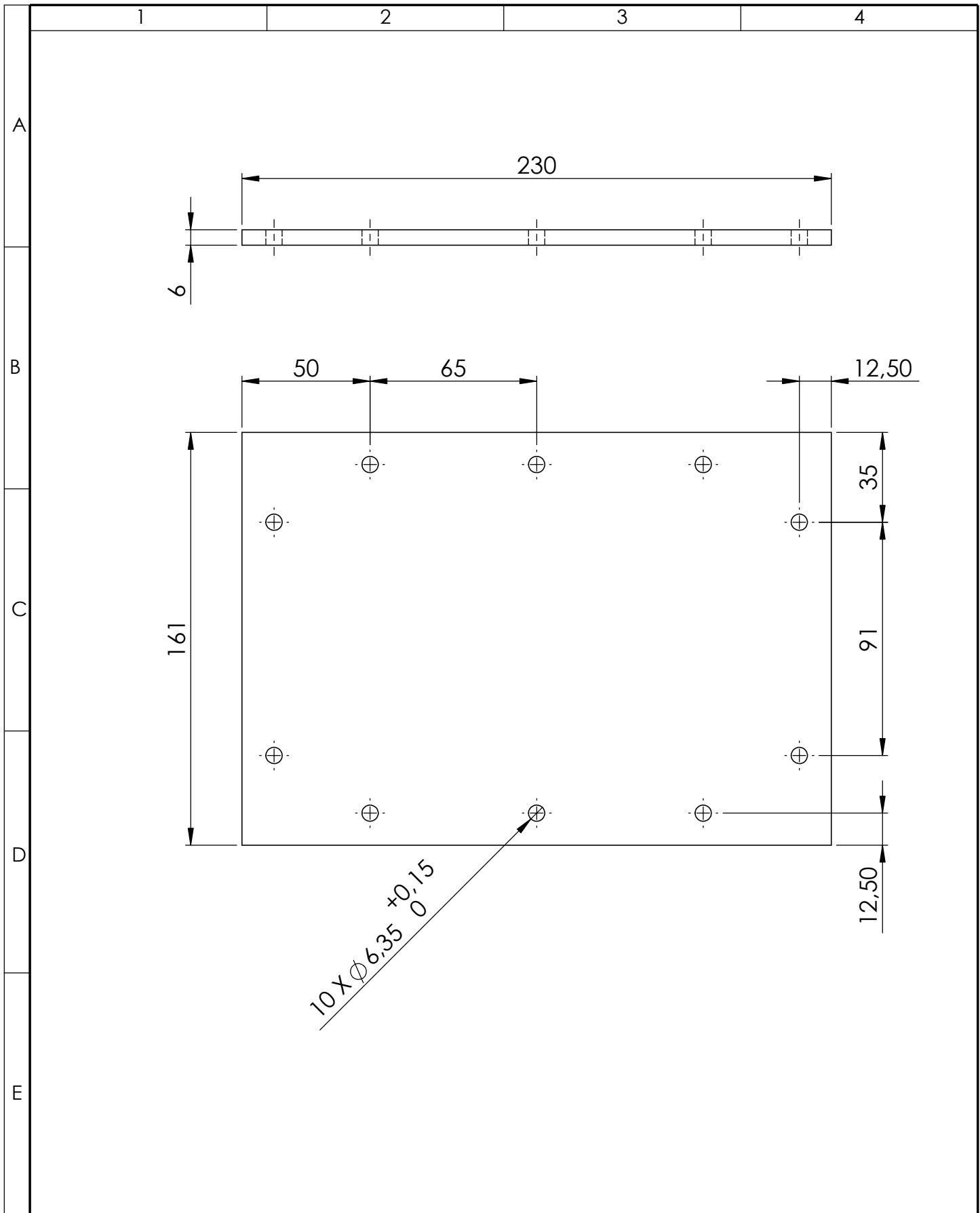


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±1	519.46 g	ASTM A36 Acero		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:	
				DIBUJÓ: 28/10/2017	CAROLINA ACOSTA		PLATINA 25X4	1:2
				REVISÓ: 03/11/2017	ING. SEGUNDO ESPÍN			REGISTRO:
				APROBÓ: 03/11/2017	ING. SEGUNDO ESPÍN			
				U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA	REGISTRO:	
						HOJA 5 DE 7		
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:				



No.	N.º DE PIEZA	MATERIAL	PESO	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	PLACA-TAPA	ASTM A36 Acero	1729.20	1	Fabricar
2	JALADERA	ASTM A36 Acero	141.30	1	Fabricar

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 1870.50 g	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: TAPA	ESCALA: 1:2
				DIBUJÓ: 28/10/2017	CAROLINA ACOSTA		REGISTRO:
				REVISÓ: 03/11/2017	ING. SEGUNDO ESPÍN		
				APROBÓ: 03/11/2017	ING. SEGUNDO ESPÍN	N.º DE LÁMINA HOJA 6 DE 7	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	



10 x $\phi 6.35^{+0.15}_0$

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 1729.20 g	MATERIAL: ASTM A36 Acero		
						TÍTULO: PLACA-TAPA	ESCALA: 1:2	
				DIBUJÓ:	28/10/2017		CAROLINA ACOSTA	
				REVISÓ:	03/11/2017		ING. SEGUNDO ESPÍN	
				APROBÓ:	03/11/2017		ING. SEGUNDO ESPÍN	
				U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA HOJA 7 DE 7	REGISTRO:	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:		

ANEXO 4: NORMA ASTM
D7264/D7264M-07



Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

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

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

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

3. Terminology

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

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

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

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

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

3.3 Symbols:

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

4. Summary of Test Method

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

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

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

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

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

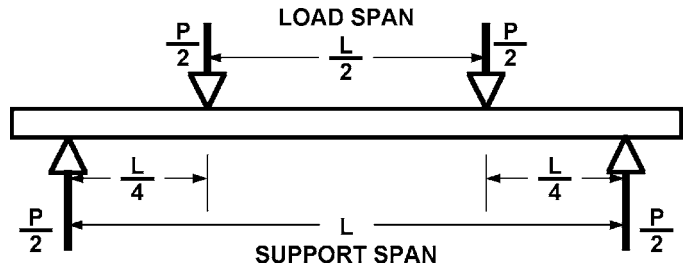


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

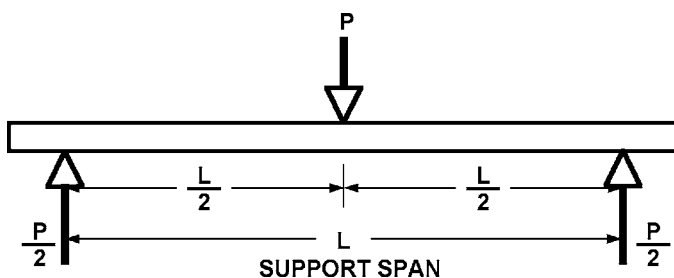


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the $\pm 45^\circ$ direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

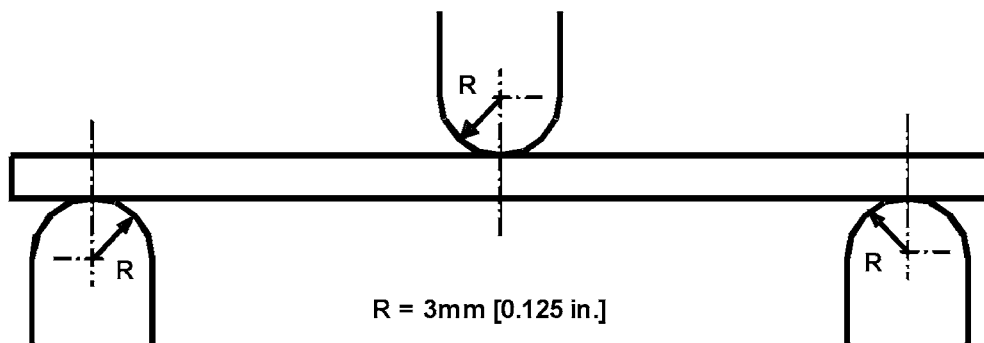
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of

uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

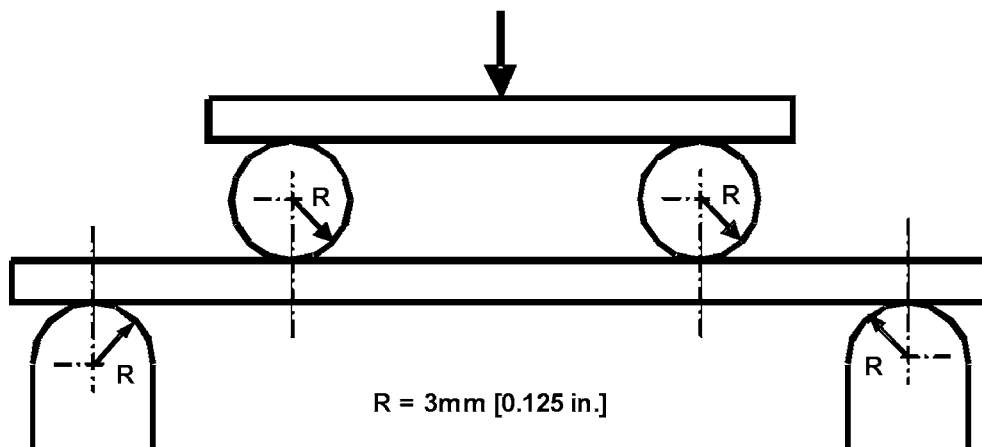
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed $\pm 1\%$ of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces of radius 3.00 mm [0.125 in.] as shown in Fig. 3, with a hardness of 60 to 62 HRC, as specified in Test Methods E 18, and shall have finely



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



Four-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Rolling Loading Noses

FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

ground surfaces free of indentation and burrs with all sharp edges relieved. Loading noses and supports may be arranged in a fixed, rotatable or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

7.3 *Micrometers*—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.02 mm [± 0.001 in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.1 mm [± 0.004 in.] is adequate for length measurement.

7.4 *Deflection Measurement*—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of ± 1 % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 *Conditioning Chamber*—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 1^\circ\text{C}$ [$\pm 2^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 3 % relative humidity, as outlined in Test Method **D 5229/D 5229M**. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 *Environmental Test Chamber*—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature

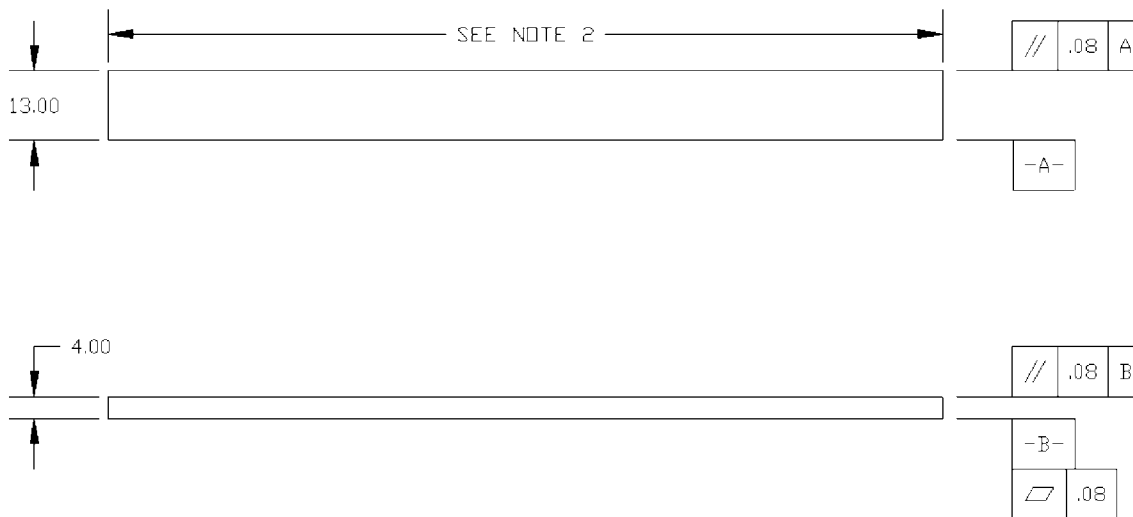
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

8.1 *Specimen Preparation*—Guide **D 5687/D 5687M** provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

8.2 *Specimen Size* is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See Figs. 4 and 5 for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide **D 6856**. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

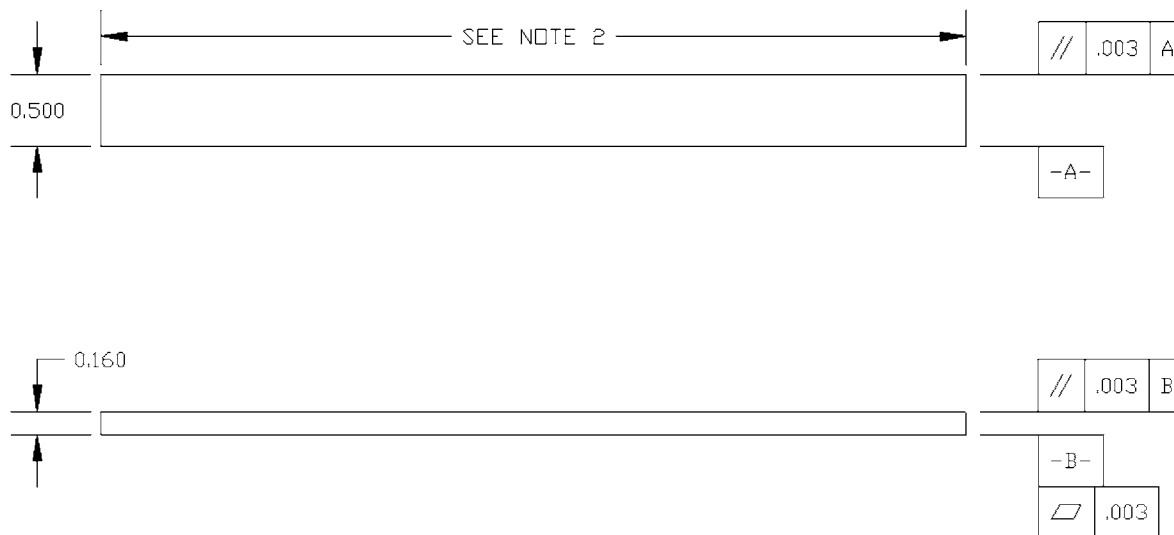


NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUEP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.



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

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

9. Number of Test Specimens

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

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning but before testing, measure and record the specimen width and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a

rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

11.7 *Failure Modes*—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

11.7.1 *Failure Identification Codes*—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

12. Validation

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) should be reexamined.

13. Calculation

NOTE 5—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 *Maximum Flexural Stress, Procedure A*—When a beam of homogenous, elastic material is tested in flexure as a

beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

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

where:

- σ = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.⁴ Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

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

where:

- σ = stress at the outer surface in the load span region, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and

⁴ For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2.

13.3 *Flexural Strength*—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure. (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the peak applied force.

13.4 *Flexural Stress at a Given Strain*—The maximum flexural stress at any given strain may be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6.

13.5 *Maximum Strain, Procedure A*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (3)$$

where:

- ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.6 *Maximum Strain, Procedure B*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{4.36\delta h}{L^2} \quad (4)$$

where:

- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.7 Flexural Modulus of Elasticity:

13.7.1 *Flexural Chord Modulus of Elasticity*—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
- $\Delta\sigma$ = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.⁵ For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 *For Procedure A:*

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

where:

- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.],
- h = thickness of beam, mm [in.] and
- m = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 *For Procedure B:*

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

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - nx^2 \right)}{n-1}}$$

$$CV = 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

where:

- \bar{x} = average value or sample mean,
- x_i = value of single measured or derived property,
- n = number of specimens,
- s_{n-1} = estimated standard deviation,
- CV = coefficient of variation in percentage.

⁵ For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

14. Report

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.

14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.

14.1.3 The name(s) of the test operator(s).

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

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

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

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

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

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

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

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

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

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

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

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

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

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

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

A1.2 *Measurement of Span:*

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

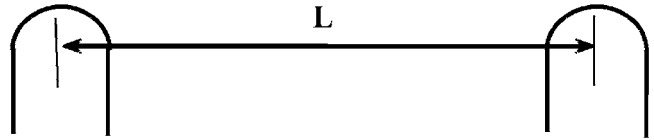


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

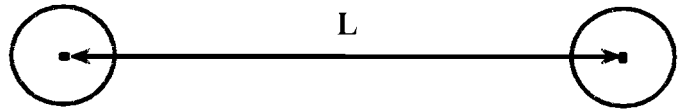


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

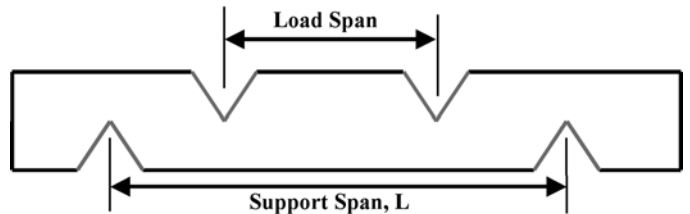


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

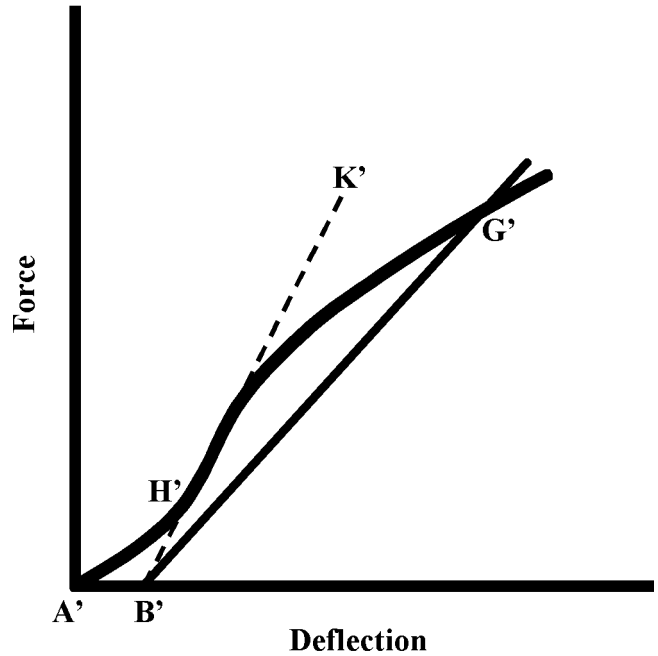


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

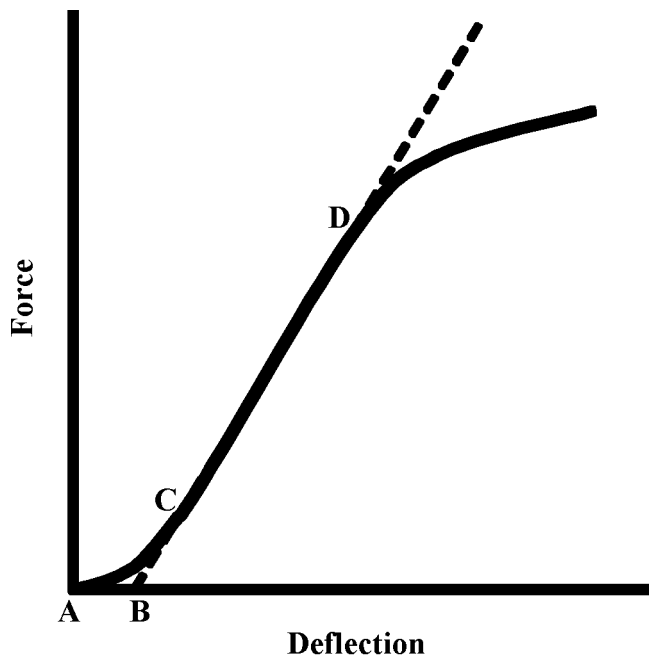


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41AM single-user license only, copying and networking prohibited.

 **D 7264/D 7264M – 07**

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

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

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

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited. /

ANEXO 5: NORMA ASTM 695-15



Designation: D695 – 15

Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D695; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the mechanical properties of unreinforced and reinforced rigid plastics, including high-modulus composites, when loaded in compression at relatively low uniform rates of straining or loading. Test specimens of standard shape are employed. This procedure is applicable for a composite modulus up to and including 41,370 MPa (6,000,000 psi).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

NOTE 1—For compressive properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous, discontinuous, or cross-ply reinforcements, tests may be made in accordance with Test Method [D3410/D3410M](#) or [D6641/D6641M](#).

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* A specific precautionary statement is given in [13.1](#).

NOTE 2—This standard is equivalent to ISO 604.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- [D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing](#)
- [D638 Test Method for Tensile Properties of Plastics](#)
- [D883 Terminology Relating to Plastics](#)
- [D3410/D3410M Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading](#)
- [D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials](#)

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee [D20](#) on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee [D20.10](#) on Mechanical Properties.

Current edition approved Sept. 1, 2015. Published September 2015. Originally approved in 1942. Last previous edition approved in 2010 as [D695 - 10](#). DOI: 10.1520/D0695-15.

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

[D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens](#)

[D6641/D6641M Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials Using a Combined Loading Compression \(CLC\) Test Fixture](#)

[E4 Practices for Force Verification of Testing Machines](#)

[E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems](#)

[E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method](#)

2.2 *ISO Standard:*³

[ISO 604 Plastics—Determination of Compressive Properties](#)

3. Terminology

3.1 *General*—The definitions of plastics used in this test method are in accordance with Terminology [D883](#) unless otherwise indicated.

3.2 Definitions:

3.2.1 *compressive deformation*—the decrease in length produced in the gage length of the test specimen by a compressive load. It is expressed in units of length.

3.2.2 *compressive strain*—the ratio of compressive deformation to the gage length of the test specimen, that is, the change in length per unit of original length along the longitudinal axis. It is expressed as a dimensionless ratio.

3.2.3 *compressive strength*—the maximum compressive stress (nominal) carried by a test specimen during a compression test. It may or may not be the compressive stress (nominal) carried by the specimen at the moment of rupture.

3.2.4 *compressive strength at failure (nominal)*—the compressive stress (nominal) sustained at the moment of failure of the test specimen if shattering occurs.

3.2.5 *compressive stress (nominal)*—the compressive load per unit area of minimum original cross section within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment. It is expressed in force per unit area.

3.2.5.1 *Discussion*—The expression of compressive properties in terms of the minimum original cross section is almost

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

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

universally used. Under some circumstances the compressive properties have been expressed per unit of prevailing cross section. These properties are called “true” compressive properties.

3.2.6 compressive stress-strain diagram—a diagram in which values of compressive stress are plotted as ordinates against corresponding values of compressive strain as abscissas.

3.2.7 compressive yield point—the first point on the stress-strain diagram at which an increase in strain occurs without an increase in stress.

3.2.8 compressive yield strength—normally the stress at the yield point (see also section 3.2.11).

3.2.9 crushing load—the maximum compressive force applied to the specimen, under the conditions of testing, that produces a designated degree of failure.

3.2.10 modulus of elasticity—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material. It is expressed in force per unit area based on the average initial cross-sectional area.

3.2.11 offset compressive yield strength—the stress at which the stress-strain curve departs from linearity by a specified percent of deformation (offset).

3.2.12 percent compressive strain—the compressive deformation of a test specimen expressed as a percent of the original gage length.

3.2.13 proportional limit—the greatest stress that a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke’s law). It is expressed in force per unit area.

3.2.14 slenderness ratio—the ratio of the length of a column of uniform cross section to its least radius of gyration. For specimens of uniform rectangular cross section, the radius of gyration is 0.289 times the smaller cross-sectional dimension. For specimens of uniform circular cross section, the radius of gyration is 0.250 times the diameter. For specimens of tubular cross section, the radius of gyration is calculated as follows:

$$R_g = \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4} \quad (1)$$

where:

- R_g = radius of gyration,
- D = outside diameter, and
- d = inside diameter.

4. Significance and Use

4.1 Compression tests provide information about the compressive properties of plastics when employed under conditions approximating those under which the tests are made.

4.2 Compressive properties include modulus of elasticity, yield stress, deformation beyond yield point, and compressive strength (unless the material merely flattens but does not fracture). Materials possessing a low order of ductility may not exhibit a yield point. In the case of a material that fails in compression by a shattering fracture, the compressive strength has a very definite value. In the case of a material that does not

fail in compression by a shattering fracture, the compressive strength is an arbitrary one depending upon the degree of distortion that is regarded as indicating complete failure of the material. Many plastic materials will continue to deform in compression until a flat disk is produced, the compressive stress (nominal) rising steadily in the process, without any well-defined fracture occurring. Compressive strength can have no real meaning in such cases.

4.3 Compression tests provide a standard method of obtaining data for research and development, quality control, acceptance or rejection under specifications, and special purposes. The tests cannot be considered significant for engineering design in applications differing widely from the load-time scale of the standard test. Such applications require additional tests such as impact, creep, and fatigue.

4.4 Before proceeding with this test method, reference should be made to the ASTM specification for the material being tested. Any test specimen preparation, conditioning, dimensions, and testing parameters covered in the materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there is no material specification, then the default conditions apply. Table 1 in Classification **D4000** lists the ASTM materials standards that currently exist.

5. Apparatus

5.1 **Testing Machine**—Any suitable testing machine capable of control of constant-rate-of-crosshead movement and comprising essentially the following:

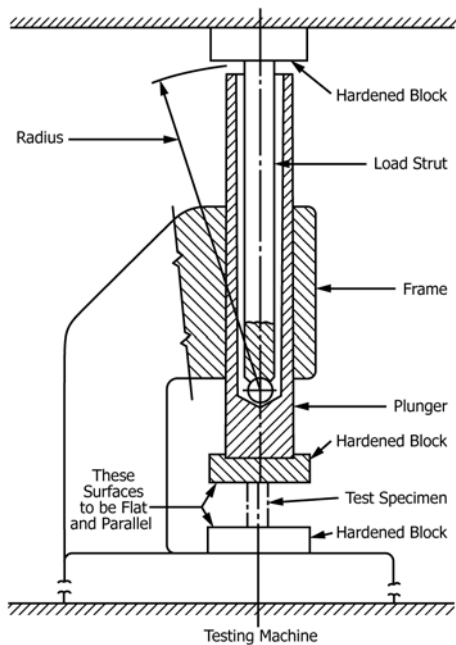
5.1.1 **Drive Mechanism**—A drive mechanism for imparting to the movable cross-head member, a uniform, controlled velocity with respect to the base (fixed member), with this velocity to be regulated as specified in Section 9.

5.1.2 **Load Indicator**—A load-indicating mechanism capable of showing the total compressive load carried by the test specimen. The mechanism shall be essentially free from inertia-lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of $\pm 1\%$ of the maximum indicated value of the test (load). The accuracy of the testing machine shall be verified at least once a year in accordance with Practices **E4**.

5.2 **Compressometer**—A suitable instrument for determining the distance between two fixed points on the test specimen at any time during the test. It is desirable that this instrument automatically record this distance (or any change in it) as a function of the load on the test specimen. The instrument shall be essentially free of inertia-lag at the specified rate of loading and shall conform to the requirements for a Class B-2 extensometer as defined in Practice **E83**.

NOTE 3—The requirements for extensometers cited herein apply to compressometers as well.

5.3 **Compression Tool**—A compression tool for applying the load to the test specimen. This tool shall be so constructed that loading is axial within 1:1000 and applied through surfaces that are flat within 0.025 mm (0.001 in.) and parallel to each other in a plane normal to the vertical loading axis. Examples of suitable compression tools are shown in **Fig. 1** and **Fig. 2**.



NOTE 1—Devices similar to the one illustrated have been successfully used in a number of different laboratories. Details of the device developed at the National Institute for Standards and Technology are given in the paper by Aitchinson, C. S., and Miller, J. A., “A Subpress for Compressive Tests,” National Advisory Committee for Aeronautics, Technical Note No. 912, 1943.

FIG. 1 Subpress for Compression Tests

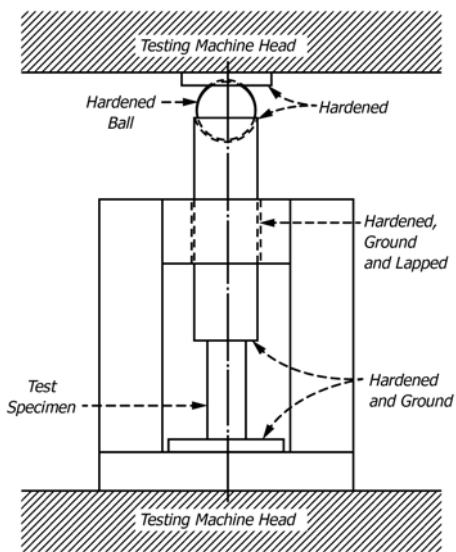


FIG. 2 Compression Tool

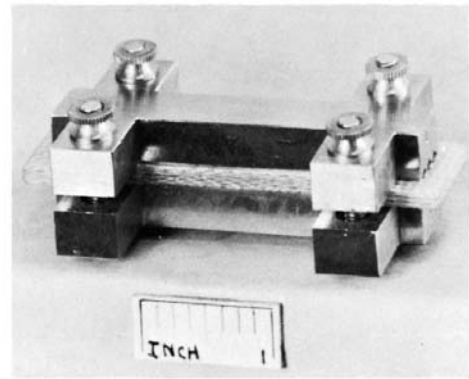


FIG. 3 Support Jig for Thin Specimen

be used. These specimens may be prepared by machining operations from materials in sheet, plate, rod, tube, or similar form, or they may be prepared by compression or injection molding of the material to be tested. All machining operations shall be done carefully so that smooth surfaces result. Great care shall be taken in machining the ends so that smooth, flat parallel surfaces and sharp, clean edges, to within 0.025 mm (0.001 in.) perpendicular to the long axis of the specimen, result.

6.2 The standard test specimen for strength measurements, except as indicated in 6.3 – 6.8, shall be in the form of a right cylinder or prism whose length is twice its principal width or diameter. Preferred specimen sizes are 12.7 by 12.7 by 25.4 mm (0.50 by 0.50 by 1 in.) (prism), or 12.7 mm in diameter by 25.4 mm (cylinder). The standard test specimen for modulus or offset yield measurements shall be of such dimensions that the slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1. In this case, preferred specimen sizes are 12.7 by 12.7 by 50.8 mm (0.50 by 0.50 by 2 in.) (prism), or 12.7 mm in diameter by 50.8 mm (cylinder).

6.2.1 When the standard specimens (right cylinders or prisms) cannot be obtained due to the thinness of the material (typically less than 6.4 mm (0.25 in.)), alternative specimens outlined in 6.7.1 and 6.7.2 shall be used.

6.3 For rod, the test specimen for strength measurements shall have a diameter equal to the diameter of the rod and a length twice the diameter of the rod. The test specimen for modulus or offset yield measurements shall have a diameter equal to the diameter of the rod and a length such that slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1. If the diameter of the rod is too large to obtain failure due to limitations of the test equipment, specimens outlined in 6.2 shall be machined from the center of the rod.

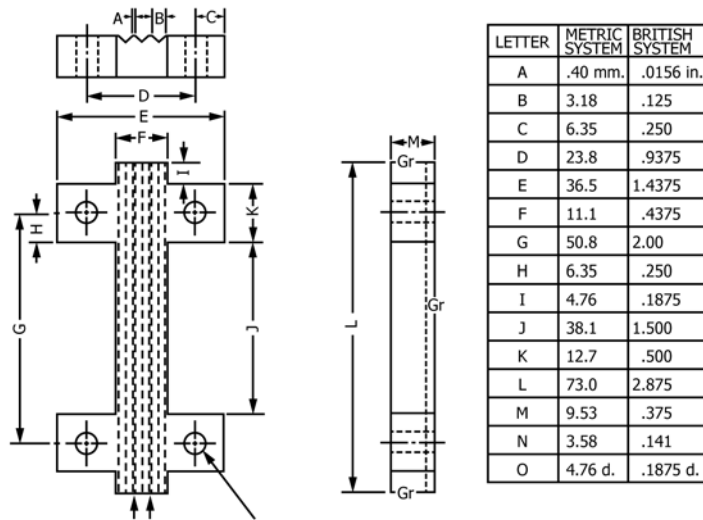
6.4 For tubes, the test specimen for strength measurements shall have a diameter equal to the diameter of the tube and a length of 25.4 mm (1 in.). This specimen shall be used for tubes with a wall thickness of 1 mm (0.039 in.) or over, to inside diameters of 6.4 mm (0.25 in.) or over, and to outside diameters of 50.8 mm (2.0 in.) or less. If the diameter of the tube is too large to obtain failure due to limitations of the test equipment, specimens outlined in 6.2 shall be machined from the wall of the tube. For crushing-load determinations (at right

5.4 *Supporting Jig*—A supporting jig for thin specimens is shown in Fig. 3 and Fig. 4.

5.5 *Micrometers*—Suitable micrometers, reading to 0.01 mm or 0.001 in. for measuring the width, thickness, diameter, and length of the specimens.

6. Test Specimens

6.1 Unless otherwise specified in the materials specifications, the specimens described in 6.2 through 6.8 shall



NOTE 1—Cold rolled steel.

NOTE 2—Furnished four steel machine screws and nuts, round head, slotted, length 31.75 mm (1¼ in.).

NOTE 3—Grind surfaces denoted “Gr.”

FIG. 4 Support Jig, Details

angles to the longitudinal axis), the specimen size shall be the same, with the diameter becoming the height. The test specimen for modulus or offset yield measurements shall have a diameter equal to the diameter of the tube and a length such that the slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1.

6.5 Where it is desired to test conventional high-pressure laminates in the form of sheets, the thickness of which is less than 25.4 mm (1 in.), a pile-up of sheets 12.7 mm square, with a sufficient number of layers to produce a height of approximately 25.4 mm (actual height achievable will be dependent upon individual layer thickness), shall be used for strength measurements. The test specimen for modulus or offset yield measurements shall consist of a pile-up of 12.7 mm square sheets to produce a height such that slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1.

6.6 When testing material that may be suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared having their long axis respectively parallel with and normal to the suspected direction of anisotropy.

6.7 *Reinforced Plastics, including High-Strength Composites and Highly Orthotropic Laminates*—The following specimens shall be used for reinforced materials.

6.7.1 For materials 3.2 mm to 6.4 mm (0.125 in. to 0.25 in.), the specimen used for strength measurements shall consist of a prism having a cross section of 12.7 mm (0.5 in.) by the thickness of the material and a length of 12.7 mm (0.5 in.). (Specimen length may be shortened if buckling is observed). For material greater than 6.4 mm (0.25 in.) in thickness, specimens outlined in 6.2 shall be used. The test specimen for modulus or offset yield measurements shall be of such dimensions that slenderness ratio is in the range from 11 to 16:1 (Note 4).

6.7.2 For materials under 3.2 mm (0.125 in.) thick, or where elastic modulus testing is required and the slenderness ratio does not provide for enough length for attachment of a

compressometer or similar device, a specimen conforming to that shown in Fig. 5 shall be used. The supporting jig shown in Fig. 3 and Fig. 4 shall be used to support the specimen during testing (Note 5).

NOTE 4—If failure for specimens utilized in 6.7.1 is by delamination rather than by the desirable shear plane fracture, the material may be tested in accordance with 6.7.2.

NOTE 5—Round-robin tests have established that relatively satisfactory measurements of modulus of elasticity may be obtained by applying a compressometer to the edges of the jig-supported specimen.

6.8 When testing syntactic foam, the standard test specimen shall be in the form of a right cylinder 25.4 mm (1 in.) in diameter by 50.8 mm (2 in.) in length. This specimen is appropriate for both strength and modulus determinations.

7. Conditioning

7.1 *Conditioning*—Condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice D618 unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. Conditioning time is specified as a minimum. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice D618 unless specified differently by contract or material specification.

7.2 *Test Conditions*—Conduct the tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice D618 unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification.

8. Number of Test Specimens

8.1 At least five specimens shall be tested for each sample in the case of isotropic materials.

8.2 Ten specimens, five normal to and five parallel with the principal axis of anisotropy, shall be tested for each sample in the case of anisotropic materials.

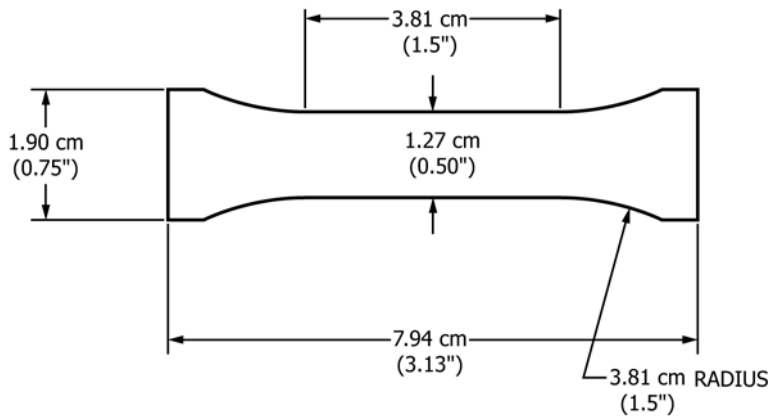


FIG. 5 Compression Test Specimen for Materials Less than 3.2 mm Thick

8.3 Specimens that break at some obvious flaw shall be discarded and retests made, unless such flaws constitute a variable, the effect of which it is desired to study.

9. Speed of Testing

9.1 Speed of testing shall be the relative rate of motion of the grips or test fixtures during the test. Rate of motion of the driven grip or fixture when the machine is running idle may be used if it can be shown that the resulting speed of testing is within the limits of variation allowed.

9.2 The standard speed of testing shall be 1.3 ± 0.3 mm (0.050 ± 0.010 in.)/min, except as noted in 10.5.4.

10. Procedure

10.1 Measure the width and thickness (or diameter) of the specimen to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) at several points along its length. Calculate and record the minimum value of the cross-sectional area. Measure the length of the specimen and record the value.

10.2 Place the test specimen between the surfaces of the compression tool, taking care to align the center line of its long axis with the center line of the plunger and to ensure that the ends of the specimen are parallel with the surface of the compression tool. Adjust the crosshead of the testing machine until it just contacts the top of the compression tool plunger.

NOTE 6—The compression tool may not be necessary for testing of lower modulus (for example, 700 MPa to 3500 MPa (100,000 psi to 500,000 psi)) material if the loading surfaces are maintained smooth, flat, and parallel to the extent that buckling is not incurred.

10.3 Place thin specimens in the jig (Fig. 3 and Fig. 4) so that they are flush with the base and centered (Note 7). The nuts or screws on the jig shall be finger tight (Note 8). Place the assembly in the compression tool as described in 5.3.

NOTE 7—A round-robin test, designed to assess the influence of specimen positioning in the supporting jig (that is, flush versus centered mounting), showed no significant effect on compressive strength due to this variable. However, flush mounting of the specimen with the base of the jig is specified for convenience and ease of mounting.⁴

NOTE 8—A round-robin test on the effect of lateral pressure at the

supporting jig has established that reproducible data can be obtained with the tightness of the jig controlled as indicated.

10.4 If only compressive strength or compressive yield strength, or both, are desired, proceed as follows:

10.4.1 Set the speed control at 1.3 mm/min (0.050 in./min) and start the machine.

10.4.2 Record the maximum load carried by the specimen during the test (usually this will be the load at the moment of rupture).

10.5 If stress-strain data are desired, proceed as follows:

10.5.1 Prepare the compressive strain indicator to directly read strain on the specimen.

10.5.2 Set the speed control at 1.3 mm/min (0.050 in./min) and start the machine.

10.5.3 Record loads and corresponding compressive strain at appropriate intervals of strain or, if the test machine is equipped with an automatic recording device, record the complete load-deformation curve.

10.5.4 After the yield point has been reached, it is allowable to increase the speed from 5 to 6 mm/min (0.20 to 0.25 in./min) and allow the machine to run at this speed until the specimen breaks. This may be done only with relatively ductile materials and on a machine with a weighing system with response rapid enough to produce accurate results.

11. Calculation

11.1 *Compressive Strength*—Calculate the compressive strength by dividing the maximum compressive load carried by the specimen during the test by the original minimum cross-sectional area of the specimen. Express the result in megapascals or pounds-force per square inch and report to three significant figures.

11.2 *Compressive Yield Strength*—Calculate the compressive yield strength by dividing the load carried by the specimen at the yield point by the original minimum cross-sectional area of the specimen. Express the result in megapascals or pounds-force per square inch and report to three significant figures.

11.3 *Offset Yield Strength*—Calculate the offset yield strength by the method referred to in 3.2.11.

11.4 *Modulus of Elasticity*—Calculate the modulus of elasticity by drawing a tangent to the initial linear portion of the

⁴ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D20-1061.

TABLE 1 Precision, Compressive Strength
(Values in Units of Megapascals)

Material	Average	S_r^A	S_R^B	r^C	R^D
Acetal	100	1.1	2.1	3.1	5.9
Polystyrene	106	1.4	3.5	3.9	9.8
Linen-filled phenolic	158	3.7	7.5	10.4	21.0

^A S_r is the within-laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_r = [((S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots + (S_n)^2)/n]^{1/2}$$

^B S_R is the between-laboratories reproducibility, expressed as a standard deviation, for the indicated material.

^C r is the within-laboratory repeatability limit, $r = 2.8 \times S_r$.

^D R is the between-laboratory reproducibility limit, $R = 2.8 \times S_R$.

TABLE 2 Precision, Compressive Modulus
(Values in Units of Gigapascals)

Material	Average	S_r^A	S_R^B	r^C	R^D
Acetal	3.28	0.14	0.25	0.39	0.70
Polystyrene	3.88	0.07	0.74	0.20	2.07
Linen-filled phenolic	6.82	0.23	0.90	0.64	2.52

^A S_r is the within-laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_r = [((S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots + (S_n)^2)/n]^{1/2}$$

^B S_R is the between-laboratories reproducibility, expressed as a standard deviation, for the indicated material.

^C r is the within-laboratory repeatability limit, $r = 2.8 \times S_r$.

^D R is the between-laboratory reproducibility limit, $R = 2.8 \times S_R$.

load deformation curve, selecting any point on this straight line portion, and dividing the compressive stress represented by this point by the corresponding strain, measure from the point where the extended tangent line intersects the strain-axis. Express the result in gigapascals or pounds-force per square inch and report to three significant figures (see [Annex A1](#)).

11.5 For each series of tests, calculate to three significant figures the arithmetic mean of all values obtained and report as the “average value” for the particular property in question.

11.6 Calculate the standard deviation (estimated) as follows and report to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n - 1)} \quad (2)$$

where:

s = estimated standard deviation,

X = value of single observation,

n = number of observations, and

\bar{X} = arithmetic mean of the set of observations.

NOTE 9—The method for determining the offset compressive yield strength is similar to that described in the Annex of Test Method [D638](#).

12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer’s code number, form, principal dimensions, previous history, etc.,

12.1.2 Method of preparing test specimens,

12.1.3 Type of test specimen and dimensions,

12.1.4 Conditioning procedure used,

12.1.5 Atmospheric conditions in test room,

12.1.6 Number of specimens tested,

12.1.7 Speed of testing,

12.1.8 Compressive strength, average value, and standard deviation,

12.1.9 Compressive yield strength and offset yield strength average value, and standard deviation, when of interest,

12.1.10 Modulus of elasticity in compression (if required), average value, standard deviation,

12.1.11 Date of test, and

12.1.12 Date of test method.

13. Precision and Bias

13.1 [Table 1](#) and [Table 2](#) are based on a round-robin test

conducted in 1987 in accordance with Practice [E691](#), involving three materials tested by six laboratories for Test Method [D695M](#). Since the test parameters overlap within tolerances and the test values are normalized, the same data are used for both test methods. For each material, all of the samples were prepared at one source. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material. (**Warning**—The following explanations of r and R ([13.2 – 13.2.3](#)) are only intended to present a meaningful way of considering the *approximate* precision of this test method. The data in [Table 1](#) and [Table 2](#) should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as these data apply only to the materials tested in the round robin and are unlikely to be rigorously representative of other lots, formulations, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice [E691](#) to generate data specific to their laboratory and materials or between specific laboratories. The principles of [13.2 – 13.2.3](#) would then be valid for such data.)

13.2 *Concept of r and R in [Table 1](#) and [Table 2](#)*—If $S(r)$ and $S(R)$ have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from testing of five specimens for each test result, then:

13.2.1 *Repeatability*—Two test results obtained within one laboratory shall be judged not equivalent if they differ by more than the “ r ” for that the material. “ r ” is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory.

13.2.2 *Reproducibility, R* —Two test results obtained by different laboratories shall be judged not equivalent if they differ by more than the “ R ” value for that material. “ R ” is the interval representing the critical difference between the two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories.

13.2.3 Any judgement in accordance with [13.2.1](#) and [13.2.2](#) would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.3 There are no recognized standards by which to estimate the bias of this test method.

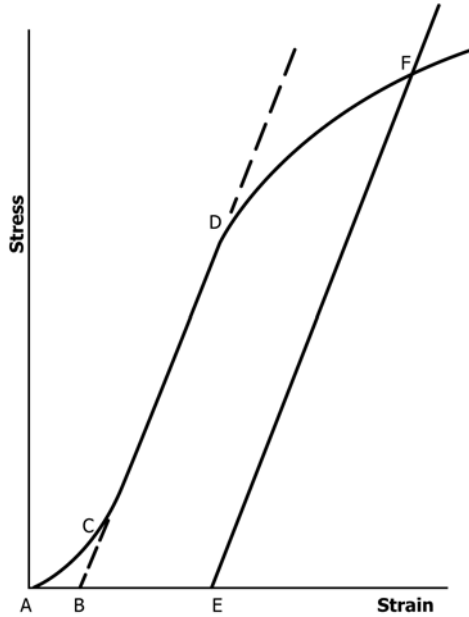
14. Keywords

14.1 compressive properties; compressive strength; modulus of elasticity; plastics

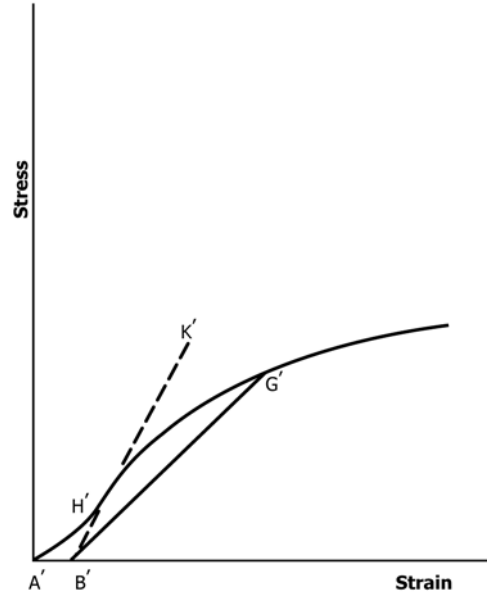
ANNEX

(Mandatory Information)

A1. TOE COMPENSATION



NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.
FIG. A1.1 Material with Hookean Region



NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.
FIG. A1.2 Material with No Hookean Region

A1.1 In a typical stress-strain curve (Fig. A1.1) there is a toe region, AC, that does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack, and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. A1.1), a continuation of the linear (CD) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection (B) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset (BE), if applicable. The

elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the line CD (or its extension) by the strain at the same point (measured from Point B, defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point (H'). This is extended to intersect the strain axis at Point B', the corrected zero-strain point. Using Point B' as zero strain, the stress at any point (G') on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of line B' G'). For those materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D695 - 10) that may impact the use of this standard. (September 1, 2015)

- (1) Added Test Method **D6641/D6641M** to **Note 1** and **2.1**.
- (2) Subsection **3.2.14**—Added calculation for radius of gyration for tubes to determine slenderness ratio.
- (3) Subsection **5.5**—Added “diameter” to one of the dimensions that can be measured.
- (4) Subsection **6.1**—Only referred to 6.2 – 6.7. This was updated to include 6.2 – 6.8.
- (5) Subsection **6.2**—Clarified specimens to be used for strength and modulus, and changed 6.3 - 6.7 to 6.3 - 6.8.
- (6) Added subsection **6.2.1**.
- (7) Added wording to clarify specimen dimension selection for strength and modulus to **6.3, 6.4, 6.5, 6.7, 6.7.1, and 6.8**.
- (8) Removed Note 4 and placed it in the body of **6.4** as it was not appropriate as a note.
- (9) Renumbered subsequent notes since Note 4 was removed.
- (10) Subsection **10.1**—Added diameter as a dimension that can be measured and corrected the unit conversion from mm to inch.
- (11) Subsection **10.5.1**—Revised the wording so the interpretation of “attach compressometer” was not misconstrued as only being able to use a contact extensometer. The wording now implies any type of compressometer (contact or noncontact) can be used.
- (12) Subsection **10.5.4**—Revised the wording “may be desirable” to “is allowable.”
- (13) Subsection **11.6**—The standard deviation calculation referenced number “(1)”; this was changed to “(2)” since the Radius of Gyration calculation for tubes is now “(1).”

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

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

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

ANEXO 6: NORMA ASTM D785-03



Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 785; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers two procedures for testing the indentation hardness of plastics and related plastic electrical insulating materials by means of the Rockwell hardness tester.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in brackets are for information only.

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

NOTE 1—This test method and ISO 2039-2 are equivalent. Procedure A of this test method is equivalent to the test method in the main body of ISO 2039-2. Procedure B of this test method is equivalent to the test method in the integral annex part of ISO 2039-2.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D 883 Terminology Relating to Plastics
- D 2240 Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness
- D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials
- E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standards³

ISO 2039-2 Plastics—Determination of Hardness—Part 2: Rockwell Hardness

3. Terminology

3.1 Definitions used in this test method are in accordance with Terminology D 883.

4. Significance and Use

4.1 A Rockwell hardness number is a number derived from the net increase in depth impression as the load on an indenter is increased from a fixed minor load to a major load and then returned to a minor load (Procedure A). A Rockwell alpha (α) hardness number represents the maximum possible remaining travel of a short-stroke machine from the net depth of impression, as the load on the indenter is increased from a fixed minor load to a major load (Procedure B). Indenters are round steel balls of specific diameters. Rockwell hardness numbers are always quoted with a scale symbol representing the indenter size, load, and dial scale used. This test method is based on Test Methods E 18. Procedure A (Section 11) yields the indentation of the specimen remaining 15 s after a given major load is released to a standard 10-kg minor load. Procedure B (Section 12) yields the indentation of the indenter into the specimen after a 15-s application of the major load while the load is still applied. Each Rockwell scale division represents 0.002-mm [0.00008-in.] vertical movement of the indenter. In practice, the Rockwell hardness number is derived from the following relationship:

$$HR = 130 - e \quad (1)$$

where:

HR = the Rockwell hardness number, and

e = the depth of impression after removal of the major load, in units of 0.002 mm. This relation only holds for the E, M, L, R, and K scales.

4.2 A Rockwell hardness number is directly related to the indentation hardness of a plastic material, with the higher the reading the harder the material. An α hardness number is equal to 150 minus the instrument reading. Due to a short overlap of

¹ This method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved November 1, 2003. Published January 2004. Originally approved in 1944. Last previous edition approved in 1998 as D 785 - 98^{ε1}.

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

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Rockwell hardness scales by Procedure A, two different dial readings on different scales may be obtained on the same material, both of which may be technically correct.

4.3 For certain types of materials having creep and recovery, the time factors involved in applications of major and minor loads have a considerable effect on the results of the measurements.

4.4 The results obtained by this test method are not generally considered a measure of the abrasion or wear resistance of the plastic materials in question.

4.5 Indentation hardness is used as an indication of cure of some thermosetting materials at room temperature. Generally, an uncured specimen has a hardness reading below normal.

4.6 Each Rockwell hardness scale in Table 1 is an extension of the preceding less severe scale, and while there is some overlap between adjacent scales, a correlation table is not desirable. Readings on one material may be satisfactory for such a table, but there is no guarantee that other plastic materials will give corresponding readings because of differences in elasticity, creep, and shear characteristics.

4.7 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Any test specimen preparation, conditioning, dimensions, and/or testing parameters covered in the materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no material specifications, then the default conditions apply.

5. Factors Affecting Reproducibility and Accuracy

5.1 Rockwell hardness readings have been found reproducible to ± 2 divisions for certain homogeneous materials with a Young's modulus in compression over 3400 MPa [5×10^5 psi]. Softer plastics and coarse-filled materials will have a wider range of variation. A large ball indenter will distribute the load more evenly and decrease the range of test results (Note 2). The sensitivity of the instrument decreases with an increase in the dial reading and becomes very poor for readings of 100 and over due to the shallow indentation of the steel ball. It is desirable to use the smallest ball and highest load that is practical because of this loss of sensitivity. Rockwell hardness readings over 115 are not satisfactory and shall not be reported. Readings between zero and 100 are recommended, but read-

ings to 115 are permissible. For comparison purposes, it may be desirable to take readings higher than 115 or lower than zero on any single scale. In such cases, Rockwell hardness readings may be reported, but the corresponding correct readings shall follow in parentheses, if possible. Such alternate readings are not always feasible when the specimen is subjected to constantly changing conditions or irreversible reactions.

NOTE 2—Molded specimens containing coarse fiber fillers, such as woven glass fabric, will influence the penetration obtained. These variations in hardness may be reduced by testing with the largest ball indenter consistent with the overall hardness of the material.

5.2 If the bench or table on which a Rockwell hardness tester is mounted is subject to vibration, such as is experienced in the vicinity of other machines, the tester should be mounted on a metal plate with sponge rubber at least 25 mm [1 in.] thick, or on any other type of mounting that will effectually eliminate vibration from the machine. Otherwise the indenter will indent further into the material than when such vibrations are absent.

5.3 Dust, dirt, grease, and scale or rust should not be allowed to accumulate on the indenter, as this will affect the results. Steel ball indenters that have nicks, burrs, or are out of round shall not be used.

5.4 The condition of the test equipment is an important factor in the accuracy of the test results. Dust, dirt or heavy oil act as a cushion to the load supporting members of the test equipment and cause erroneous readings of the instrument dial. The shoulders of the instrument housing, indenter chuck, ball seat in the instrument housing, capstan, capstan screw, and anvil shoulder seat should be kept clean and true. The capstan and screw should be lightly oiled. Pitted anvil surfaces may be refinished with 600 grit paper.

5.5 Surface conditions of the specimen have a marked effect on the readings obtained in a test. Generally, a molded finish will give a higher Rockwell reading than a machined face due to the high resin content or filled materials or better orientation and lower plasticizer content of unfilled plastic materials. Tubular or unsupported curved specimens are not recommended for plastic hardness testing. Such curved surfaces have a tendency to yield with the load and produce an unsymmetrical indentation pattern.

5.6 Many plastic materials have anisotropic characteristics which cause indentation hardness to vary with the direction of testing. In such cases, the hardest face is generally that one perpendicular to the molding pressure. Specimens with flashing on the side supported by the anvil also may give erroneous results.

5.7 Ambient temperature variations can significantly affect hardness for many materials.

5.8 Rockwell hardness tests of the highest accuracy are made on pieces of sufficient thickness so that the Rockwell reading is not affected by the supporting anvil. A bulge, change in color, or other marking on the under surface of the test specimen closest to the anvil is an indication that the specimen is not sufficiently thick for precision testing. Stacking of thin specimen is permitted provided they are flat, parallel, and free from dust or burrs. The precision of the test is reduced for

TABLE 1 Rockwell Hardness Scales

Rockwell Hardness Scale (Red Dial Numbers)	Minor Load, kg	Major Load, kg ^A	Indenter Diameter	
			in.	mm
			R	10
L	10	60	0.2500 ± 0.0001	6.350 ± 0.0025
M	10	100	0.2500 ± 0.0001	6.350 ± 0.0025
E	10	100	0.1250 ± 0.0001	3.175 ± 0.0025
K	10	150	0.1250 ± 0.0001	3.175 ± 0.0025

^AThis major load is not the sum of the actual weights at the back of the frame but is a ratio of this load, depending on the leverage arm of machine. One make and model has a 25 to 1 leverage arm.

stacked specimens, and results should not be compared to a test specimen of standard thickness.

6. Apparatus

6.1 *Rockwell Hardness Tester*, in accordance with the requirements of Section 7. A flat anvil at least 50 mm [2 in.] in diameter shall be used as a base plate for flat specimens.

6.2 For Rockwell hardness testing, it is necessary that the major load, when fully applied, be completely supported by the specimen and not held by other limiting elements of the machine. To determine whether this condition is satisfied, the major load should be applied to the test specimen. If an additional load is then applied, by means of hand pressure on the weights, the needle should indicate an additional indentation. If this is not indicated, the major load is not being applied to the specimen, and a long-stroke (PL) machine or less severe scale should be used. For the harder materials with a modulus around 5500 MPa [8×10^5 psi] or over, a stroke equivalent to 150 scale divisions, under major load application, may be adequate; but for softer materials the long-stroke (250 scale divisions under major load) machine is required.

7. Test Specimen

7.1 The standard test specimen shall have a minimum thickness of 6 mm [$1/4$ in.]. The specimen may be a piece cut from a molding or sheet. Care should be taken that the test specimen has parallel flat surfaces to ensure good seating on the anvil and thus avoid the deflection that may be caused by poor contact. The specimen shall be at least 25 mm [1 in.] square if cut from sheet stock, or at least 6 cm² [1 in.²] in area if cut from other shapes. The minimum width shall be 13 mm [$1/2$ in.] plus the width of the indentation resulting from the conduct of a test using the chosen indenter.

NOTE 3—Specimen with a thickness other than 6 mm may be used if it has been verified that, for that thickness, the hardness values are not affected by the supporting surface and that no imprint shows under the surface of the specimen after testing. The specimen may be composed of a pile-up of several pieces of the same thickness, provided that precaution is taken that the surfaces of the pieces are in total contact and not held apart by sink marks, burrs from saw cuts, or other protrusions and provided the hardness values are not affected by the stacking of thin specimens.

8. Calibration

8.1 Check the Rockwell hardness tester periodically with a small machinist's level along both horizontal axes from a flat anvil for correct positioning. Minor errors in leveling are not critical, but correct positioning is desirable.

8.2 The adjustment of speed-of-load application is of great importance. Adjust the dashpot on the Rockwell tester so that the operating handle completes its travel in 4 to 5 s with no specimen on the machine or load applied by the indenter to the anvil. The major load shall be 100 kg for this calibration. When so adjusted, the period taken for the mechanism to come to a stop with the specimen in place will vary from 5 to 15 s, depending upon the particular specimen, the indenter, and the load used. The operator should check the instrument manual for this adjustment.

8.3 Select a standardized test block as near as possible to the hardness of the material being tested. If more than one

hardness scale is used in testing, choose a standardized test block for each scale used (Note 4). Make five impressions on the test surface of the block. Compare the average of these five tests against the hardness calibration of the blocks. If the error is more than ± 2 hardness numbers, bring the machine into adjustment as described in 8.4 or in 5.3 and 5.4. If adjustment can not be achieved, more extensive servicing of the instrument may be needed.

NOTE 4—Standard test blocks for the R, L, E, K, and M scales are available from Wilson Instruments, 100 Royal Street, Canton, Ma 02021 (A Division of Instron Corporation).

8.4 Check the index lever adjustment periodically and make adjustments if necessary. To adjust the index lever, place a specimen (plastic with low creep or soft metal) on the anvil and turn the knurled elevating ring to bring the specimen in contact with the indenter. Keep turning the ring to elevate the specimen until positive resistance to further turning is felt, which will be after the 10-kg load is encountered. When excessive power would have to be used to raise the specimen higher, set the dial so that the set position is at the top and take note of the position of the pointer on the dial. If the pointer is between B 50 and B 70 on the red scale, no adjustment is necessary; if the pointer is between B 45 and B 50, adjustment is advisable; and if the pointer is anywhere else, adjustment is imperative. As the pointer revolves several times when the specimen is elevated, the readings mentioned above apply to the revolution of the pointer which occurs either as the reference mark on the gage stem disappears into the sleeve or as the auxiliary hand on the dial passes beyond the zero setting on the dial. The object of this adjustment is to determine if the elevation of the specimen to the minor load does not cause even a partial application of the major load. Apply the major load only through the release mechanism.

9. Conditioning

9.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ [$73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$] and $50 \pm 5\%$ relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D 618, unless otherwise specified by contract or relevant material specification, or unless it has been shown that conditioning is not necessary. In cases of disagreement, the tolerances shall be 1°C [1.8°F] and $\pm 2\%$ relative humidity.

9.2 *Test Conditions*—Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ [$73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$] and $50 \pm 5\%$ relative humidity, unless otherwise specified by the contract or relevant material specification. In cases of disagreements, the tolerances shall be 1°C [1.8°F] and $\pm 2\%$ relative humidity.

NOTE 5—Operation of this test equipment above the below normal temperature is not recommended due to the change in viscosity of the dashpot oil and the close tolerance of the gage.

10. Number of Tests

10.1 At least five hardness tests shall be made on isotropic materials. For anisotropic materials, at least five hardness tests shall be made along each principal axis of anisotropy, provided the sample size permits.

11. Procedure A

11.1 Chose the correct scale for the specimen under test. Rockwell hardness values are reported by a letter to indicate the scale used and a number to indicate the reading. The choice of scales shall be governed by the considerations concerned with the total indentation readings and the final scale reading for a particular material and scale (see Table 1 and 5.1, 6.2, and 11.5) The Rockwell hardness scale used shall be selected from those listed in Table 1, unless otherwise noted in individual methods or specifications.

11.2 Discard the first reading after changing a ball indenter, as the indenter does not properly seat by hand adjustment in the housing chuck. The full pressure of the major load is required to seat the indenter shoulder into the chuck.

NOTE 6—The operation of the test instrument as described in this procedure may differ in detail from that of automated electronic instruments. Refer to the manufacturer's instructions for the instruments for the instrument in use for the specifics of operating that instrument.

11.3 With the specimen in place on the anvil, turn the capstan screw until the small pointer is at a zero position and the large pointer is within ± 5 divisions of B 30 or the "set" position on red scale. This adjustment applies without shock a minor load of 10 kg, which is built into the machine. Final adjustment of the gage to "set" is made by a knurled ring located on some machines just below the capstan hand wheel. If the operator should overshoot his "set" adjustment, another trial shall be made in a different test position of the specimen; under no circumstances should a reading be taken when the capstan is turned backward. Within 10 s after applying the minor load, and immediately after the "set" position is obtained, apply the major load by releasing the trip lever (Note 7). Remove the major load 15 (+1, -0) s after its application. Read the Rockwell hardness on the red scale to the nearest full-scale division 15 s removing the major load.

NOTE 7—The application of the minor load starts when the gage pointer starts to move; this is not the point of final zero adjustment.

11.4 Record the readings as follows: Count the number of times the needle passes through zero on the red scale on the application of the major load. Subtract from this the number of times the needle passes through zero upon the removal of this load. If this difference is zero, record the value as the reading plus 100. If the difference is 1, record the reading without change, and, if the difference is 2, record the reading as the scale reading minus 100 (Note 8). Softer plastic materials, requiring a less severe scale than the R scale, shall be tested by Test Method D 2240.

NOTE 8—Example—With a difference of two revolutions and a scale reading of 97, indentation hardness values should be reported as -3 = (97-100).

11.5 Determine the total indentation, with the major load applied, by the number of divisions the pointer travels from the zero set position during the 15 s from the time the lever is tripped.

11.6 If the total indentation, reading with the major load applied, for a particular scale exceeds the limits of the test machine used (150 divisions for regular machines and 250 divisions for PL machines), use the next less severe scale.

Thus, if the M scale indentation (with the major load) is 290 divisions use the L Rockwell scale.

11.7 Do not make the tests so near the edge of the specimen that the indenter will crush out the edge when the major load is applied. In no case shall the clearance be less than 6 mm [$\frac{1}{4}$ in.] to the edge of the specimen. Neither should tests be made too close to each other, as the plastic surface is damaged from the previous indentation. Never make duplicate tests on the opposite face of a specimen; if a specimen is turned over and retested on the opposite face, the ridges on the first face will contribute to a softer reading on the second face.

12. Procedure B

12.1 Use the R scale with a 12.7 mm [$\frac{1}{2}$ -in.] indenter and 60-kg major load in this test.

NOTE 9—This is the only scale approved for plastics testing by Procedure B.

12.2 Determine the "spring constant" or correlation factor of the machine as follows: Place a soft copper block, of sufficient thickness and with plane parallel surfaces, on the anvil in the normal testing position. Raise the sample and anvil by the capstan screw to the 12.7 mm [$\frac{1}{2}$ -in.] indenter until the small pointer is at the starting dot and the large pointer reads zero on the black scale. Apply the major load by tripping the load release lever. The dial gage will then indicate the vertical distance of indentation plus the spring of the machine frame and any other elastic compressive deformation of the indenter spindle and indenter. Repeat this operation several times without moving the block, but resetting the dial to zero after each test while under minor load, until the deflection of the dial gage becomes constant, that is, until no further indentation takes place and only the spring of the instrument remains. This value, in terms of dial divisions, is the correction factor to be used in 12.4.

12.3 Following the machine adjustment described in 8.2 and 8.4, place the test specimen in position on the anvil. With the specimen in place, apply the minor load of 10 kg and make the zero setting within 10 s; apply the major load immediately after the zero setting has been completed (Note 10). Observe and record the total number of divisions that the pointer of the dial gage passes through during 15 s of major load application. It is to be noted that the numbers shown on the standard dial gage are not be used, but the actual scale divisions representing indentation shall be counted. For this reason, the black scale is recommended. A full revolution of the needle represents 100 divisions (Note 11). The limitations of 6.2 still apply to this procedure.

NOTE 10—Materials subject to excessive creep are not suitable for this procedure.

NOTE 11—The total indentation equals the number of revolutions \times 100 + the reading on the black scale.

12.4 The total scale divisions that are indicated by the dial gage, as observed in 12.3, represent the indentation produced plus the spring constant correction of the test instrument. Subtract this correction factor (12.2) from the observed reading and record the difference as the total indentation under load.

12.5 The hardness determined by this procedure shall be known as the alpha, α , Rockwell hardness number and shall be calculated as follows:

$$\alpha \text{ Rockwell hardness number} = 150 - \text{total indentation under load} \quad (2)$$

NOTE 12—Examples—With a total indentation of 30 divisions, obtained as described in 12.3 and 12.4, the value is α 120; or if the total indentation is 210, the value is α 60.

13. Calculation

13.1 Calculate the arithmetic mean for each series of tests on the same material and at the same set of test conditions. Report the results as the “average value” rounded to the equivalent of one dial division.

13.2 Calculate the standard deviation (estimated) as follows, and report it to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n \bar{X}^2) / (n - 1)} \quad (3)$$

where:

- s = estimated standard deviation,
- X = value of a single observation,
- \bar{X} = arithmetic mean of a set of observations, and
- n = number of observations in a set.

14. Report

14.1 Report the following information:

- 14.1.1 Material identification,
- 14.1.2 Filler identification and particle size, if possible
- 14.1.3 Total thickness of specimen,
- 14.1.4 The number of pieces in the specimen and the average thickness of each piece,
- 14.1.5 Surface conditions, for example, molded or machined
- 14.1.6 The procedure used (Procedure A or Procedure B),
- 14.1.7 The direction of testing (perpendicular or parallel to molding or anisotropy),
- 14.1.8 A letter indicating the Rockwell hardness scale used,
- 14.1.9 An average Rockwell hardness number calculated by Procedure A or Procedure B,
- 14.1.10 The standard deviation, and
- 14.1.11 The testing conditions.

15. Precision and Bias

15.1 Table 2 is based on a round robin⁴ conducted in 1988 in accordance with Practice E 691, involving six materials tested by 12 laboratories. For each material, all the samples were prepared at one source, but the individual specimens were

TABLE 2 Precision^A

Materials	Rockwell Hardness Scale	Values in Rockwell Units					Number of Laboratories
		Average	S_r	S_R	r	R	
Polypropylene	R	76.8	1.30	3.03	3.64	8.48	12
Polypropylene	R	102.5	0.68	2.10	1.90	5.88	12
ABS	L	74.9	1.32	2.58	3.70	7.22	11
Modified Acrylic	L	78.3	0.91	2.96	2.55	8.29	11
ABS	M	31.8	2.47	7.68	6.92	21.50	11
Acrylic	M	93.4	0.76	2.97	2.13	8.32	12

^A S_r = the within-laboratory standard deviation of the average.

S_R = the between-laboratories standard deviation of the average.

r = 2.8 S_r .

R = 2.8 S_R .

prepared at the laboratories which tested them. Each test results was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained four test results for each material.

15.2 *Concept of r and R—Warning*—The following explanations of r and R (15.2 through 15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Table 2 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2 through 15.2.3 would then be valid for such data.

Used is S_r , and S_R have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from testing five specimens.

15.2.1 *Repeatability, r*—Comparing two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day. The two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the r value for the material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—Comparing two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment on different days. The two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the R value for that material.

15.2.3 Any judgement in accordance with 15.2.1 or 15.2.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are not recognized standards by which to estimate the bias of this test method.

16. Keywords

16.1 electrical insulating materials; indentation hardness; plastic molding; plastic sheets; Rockwell alpha hardness; Rockwell hardness; Rockwell hardness number

⁴ Supporting data available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1152.

SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of selected changes to this test method. For the convenience of the user, Committee D20 has highlighted those changes that may impact the use of this test method. This section may also include descriptions of the changes or reasons for the changes, or both.

D 785–03:

- (1) Revised Note 1 to improve clarity.
- (2) Removed reference to Test Method D 617 in subsection 2.1 since it has been withdrawn.
- (3) Deleted paragraph 4.6.
- (4) Added a statement to the end of paragraph 4.1 to improve clarity.

D 785–98:

- (1) Added ISO equivalency statement.

- (2) Removed reference to solid rod specimen and fixtures for same.

- (3) Added note to follow manufacturer’s instructions for operation of electronic instruments.

- (4) Added terminology section.

- (5) Revised statements in significance and use and conditioning sections to indicate precedence of contracts and material specifications.

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

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

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

ANEXO 7: NORMA ASTM D2240-05



Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness¹

This standard is issued under the fixed designation D 2240; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 This test method covers twelve types of rubber hardness measurement devices known as durometers: Types A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S, and R. The procedure for determining indentation hardness of substances classified as thermoplastic elastomers, vulcanized (thermoset) rubber, elastomeric materials, cellular materials, gel-like materials, and some plastics is also described.

1.2 This test method is not equivalent to other indentation hardness methods and instrument types, specifically those described in Test Method D 1415.

1.3 This test method is not applicable to the testing of coated fabrics.

1.4 All materials, instruments, or equipment used for the determination of mass, force, or dimension shall have traceability to the National Institute for Standards and Technology, or other internationally recognized organizations parallel in nature.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only. Many of the stated dimensions in SI are direct conversions from the U. S. Customary System to accommodate the instrumentation, practices, and procedures that existed prior to the Metric Conversion Act of 1975.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation

D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D 785 Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials

D 1349 Practice for Rubber—Standard Temperatures for Testing

D 1415 Test Method for Rubber Property—International Hardness

D 4483 Practice for Determining Precision for Test Method Standards in the Rubber and Carbon Black Industries

F 1957 Test Method for Composite Foam Hardness—Durometer Hardness

2.2 ISO Standard:³

ISO/IEC 17025: 1999 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories

3. Summary of Test Method

3.1 This test method permits hardness measurements based on either initial indentation or indentation after a specified period of time, or both. Durometers with maximum reading indicators used to determine maximum hardness values of a material may yield lower hardness when the maximum indicator is used.

3.2 The procedures for Type M, or micro hardness durometers, accommodate specimens that are, by their dimensions or configuration, ordinarily unable to have their durometer hardness determined by the other durometer types described. Type M durometers are intended for the testing of specimens having a thickness or cross-sectional diameter of 1.25 mm (0.050 in.) or greater, although specimens of lesser dimensions may be successfully accommodated under the conditions specified in Section 6, and have a Type M durometer hardness range between 20 and 90. Those specimens which have a durometer hardness range other than specified shall use another suitable procedure for determining durometer hardness.

4. Significance and Use

4.1 This test method is based on the penetration of a specific type of indenter when forced into the material under specified conditions. The indentation hardness is inversely related to the penetration and is dependent on the elastic modulus and viscoelastic behavior of the material. *The geometry of the*

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D11 on Rubber and is the direct responsibility of Subcommittee D11.10 on Physical Testing.

Current edition approved Aug. 15, 2005. Published September 2005. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2004 as D 2240–04^{ε1}.

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

³ Available from International Organization for Standardization (ISO), 1 rue de Varembe, Case postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland.

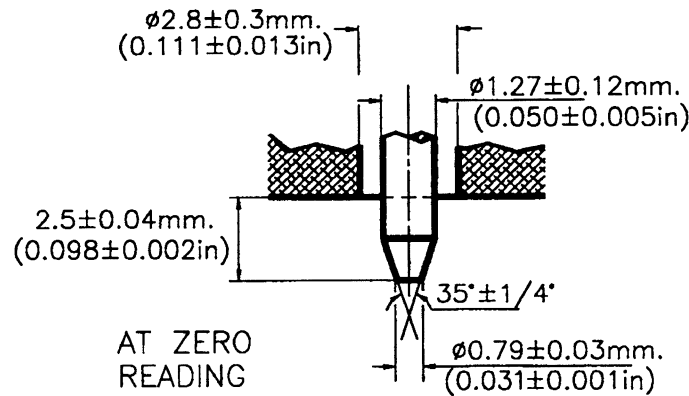


FIG. 1 (a) Type A and C Indentor

indentor and the applied force influence the measurements such that no simple relationship exists between the measurements obtained with one type of durometer and those obtained with another type of durometer or other instruments used for measuring hardness. This test method is an empirical test intended primarily for control purposes. No simple relationship exists between indentation hardness determined by this test method and any fundamental property of the material tested. For specification purposes, it is recommended that Test Method D 785 be used for materials other than those described in 1.1.

5. Apparatus

5.1 Hardness Measuring Apparatus, or Durometer, and an Operating Stand, Type 1, Type 2, or Type 3 (see 5.1.2) consisting of the following components:

5.1.1 Durometer:

5.1.1.1 *Presser Foot*, the configuration and the total area of a durometer presser foot may produce varying results when there are significant differences between them. It is recommended that when comparing durometer hardness determinations of the same type (see 4.1), that the comparisons be between durometers of similar presser foot configurations and total area, and that the presser foot configuration and size be noted in the Hardness Measurement Report (see 10.2.4 and 5.1.1.3).

5.1.1.2 *Presser Foot*, Types A, B, C, D, DO, E, O, OO, OOO, and OOO-S, with an orifice (to allow for the protrusion of the indenter) having a diameter as specified in Fig. 1 (a, b, c, d, e, f, and g), with the center a minimum of 6.0 mm (0.24 in.) from any edge of the foot. When the presser foot is not of a flat circular design, the area shall not be less than 500 mm² (19.7 in.²).

NOTE 1—The Type OOO and the Type OOO-S, designated herein, differ in their indenter configuration, spring force, and the results obtained. See Table 1 and Fig. 1 (e and g).

5.1.1.3 *Presser Foot*—flat circular designs designated as Type *xR*, where *x* is the standard durometer designation and *R* indicates the flat circular press foot described herein, for example, Type *aR*, *dR*, and the like. The presser foot, having a

centrally located orifice (to allow for the protrusion of the indenter) of a diameter as specified in Fig. 1 (a through g). The flat circular presser foot shall be 18 ± 0.5 mm (0.71 ± 0.02 in.) in diameter. These durometer types shall be used in an operating stand (see 5.1.2).

(a) Durometers having a presser foot configuration other than that indicated in 5.1.1.3 shall not use the Type *xR* designation, and it is recommended that their presser foot configuration and size be stated in the Hardness Measurement Report (see 10.2.4).

5.1.1.4 *Presser Foot, Type M*, with a centrally located orifice (to allow for the protrusion of the indenter), having a diameter as specified in Fig. 1 (d), with the center a minimum of 1.60 mm (0.063 in.) from any edge of the flat circular presser foot. The Type M durometer shall be used in a Type 3 operating stand (see 5.1.2.4).

5.1.1.5 *Indenter*, formed from steel rod and hardened to 500 HV10 and shaped in accordance with Fig. 1 (a, b, c, d, e, or g), polished over the contact area so that no flaws are visible under 20× magnification, with an indenter extension of 2.50 ± 0.04 mm (0.098 ± 0.002 in.).

5.1.1.6 *Indenter, Type OOO-S*, formed from steel rod and hardened to 500 HV10, shaped in accordance with Fig. 1 (f), polished over the contact area so that no flaws are visible under 20× magnification, with an indenter extension of 5.00 ± 0.04 mm (0.198 ± 0.002 in.).

5.1.1.7 *Indenter, Type M*, formed from steel rod and hardened to 500 HV10 and shaped in accordance with Fig. 1 (d), polished over the contact area so that no flaws are visible under 50× magnification, with an indenter extension of 1.25 ± 0.02 mm (0.049 ± 0.001 in.).

5.1.1.8 *Indenter Extension Indicator*, analog or digital electronic, having a display that is an inverse function of the indenter extension so that:

(1) The display shall indicate from 0 to 100 with no less than 100 equal divisions throughout the range at a rate of one hardness point for each 0.025 mm (0.001 in.) of indenter movement,

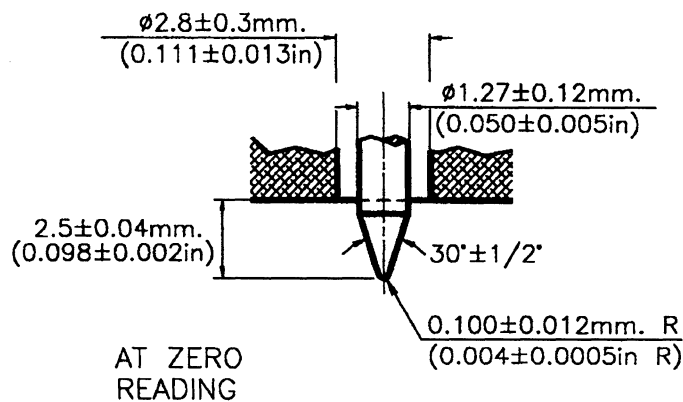


FIG. 1 (b) Type B and D Indentor (continued)

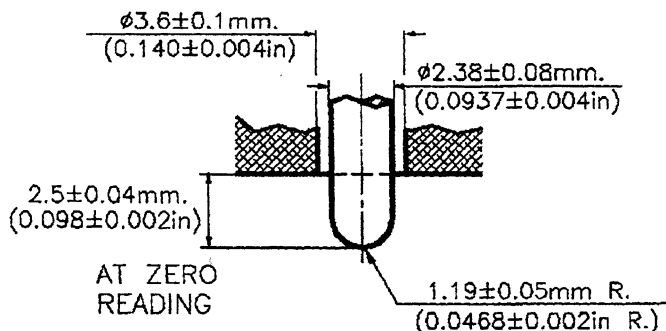


FIG. 1 (c) Type O, DO, and OO Indentor (continued)

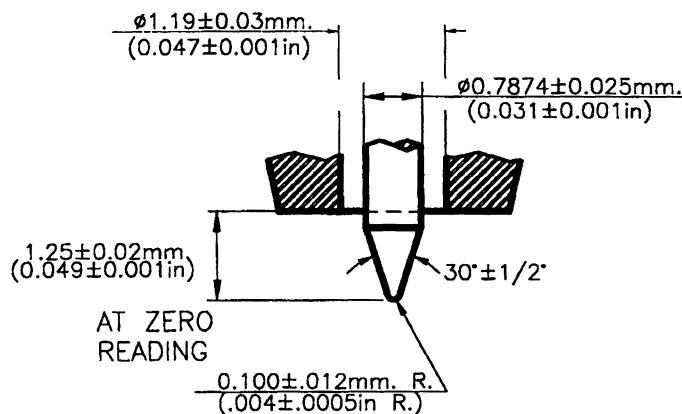


FIG. 1 (d) Type M Indentor (continued)

(2) The display for Type OOO-S durometers shall indicate from 0 to 100 with no less than 100 equal divisions throughout the range at a rate of one hardness point for each 0.050 mm (0.002 in.) of indenter movement,

(3) The display for Type M durometers shall indicate from 0 to 100 with no less than 100 equal divisions at a rate of one hardness point for each 0.0125 mm (0.0005 in.) of indenter movement, and

(4) In the case of analog dial indicators having a display of 360°, the points indicating 0 and 100 may be at the same point on the dial and indicate 0, 100, or both.

5.1.1.9 *Timing Device (optional)*, capable of being set to a desired elapsed time, signaling the operator or holding the

hardness reading when the desired elapsed time has been reached. The timer shall be automatically activated when the presser foot is in contact with the specimen being tested, for example, the initial indenter travel has ceased. Digital electronic durometers may be equipped with electronic timing devices that shall not affect the indicated reading or determinations attained by more than one-half of the calibration tolerance stated in Table 1.

5.1.1.10 *Maximum Indicators (optional)*, maximum indicating pointers are auxiliary analog indicating hands designed to remain at the maximum hardness value attained until reset by

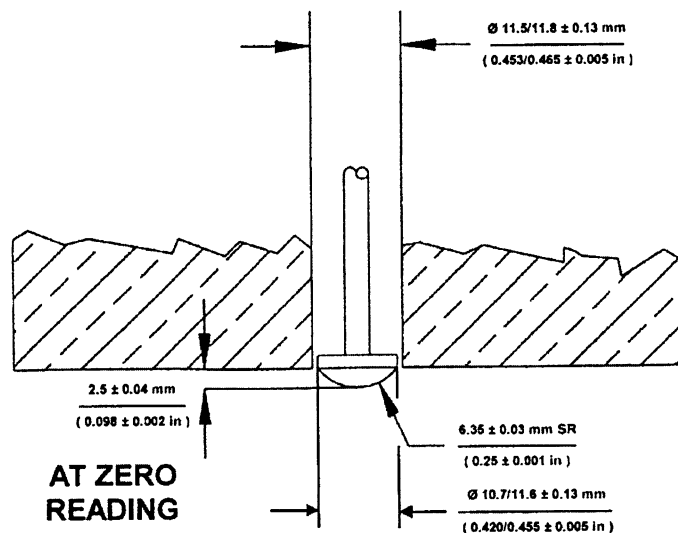


FIG. 1 (e) Type OOO Indentor (continued)

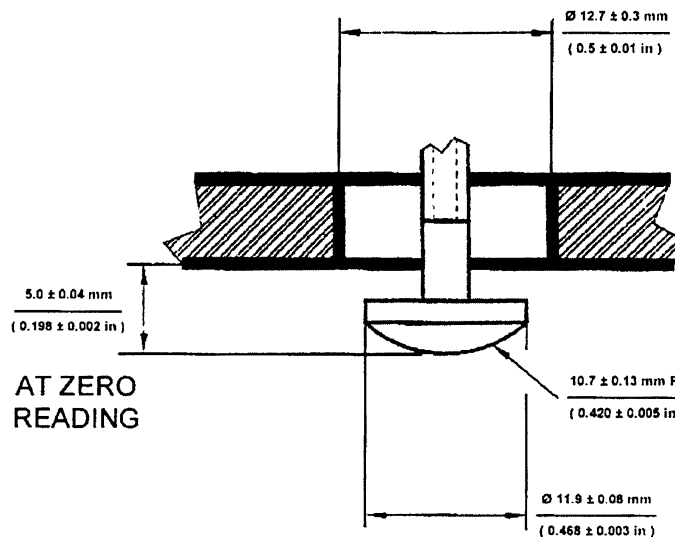


FIG. 1 (f) Type OOO-S Indentor (continued)

the operator. Electronic maximum indicators are digital displays electronically indicating and maintaining the maximum value hardness valued achieved until reset by the operator.

5.1.1.11 Analog maximum indicating pointers have been shown to have a nominal effect on the values attained, however, this effect is greater on durometers of lesser total mainspring loads; for example, the effect of a maximum indicating pointer on Type D durometer determinations will be less than those determinations achieved using a Type A durometer. Analog style durometers may be equipped with maximum indicating pointers. The effect of a maximum indicating pointer shall be noted at the time of calibration in the calibration report (see 10.1.5), and when reporting hardness determinations (see 10.2.4). Analog Type M, OO, OOO, and Type OOO-S durometers shall not be equipped with maximum indicating pointers.

5.1.1.12 Digital electronic durometers may be equipped with electronic maximum indicators that shall not affect the indicated reading or determinations attained by more than one half of the spring calibration tolerance stated in Table 1.

5.1.1.13 *Calibrated Spring*, for applying force to the indenter, in accordance with Fig. 1 (a through g) and capable of applying the forces as specified in Table 1.

5.1.2 *Operating Stand* (Fig. 2):

5.1.2.1 Type 1, Type 2, and Type 3 shall be capable of supporting the durometer presser foot surface parallel to the specimen support table (Fig. 3) throughout the travel of each. The durometer presser foot to specimen support table parallelism shall be verified each time the test specimen support table is adjusted to accommodate specimens of varying dimensions. This may be accomplished by applying the durometer presser foot to the point of contact with the specimen support table and making adjustments by way of the durometer mounting assembly or as specified by the manufacturer.

5.1.2.2 *Operating Stand, Type 1* (specimen to indenter type), shall be capable of applying the specimen to the indenter in a manner that minimizes shock.

5.1.2.3 *Operating Stand, Type 2* (indenter to specimen type), shall be capable of controlling the rate of descent of the indenter to the specimen at a maximum of 3.20 mm/s (0.125

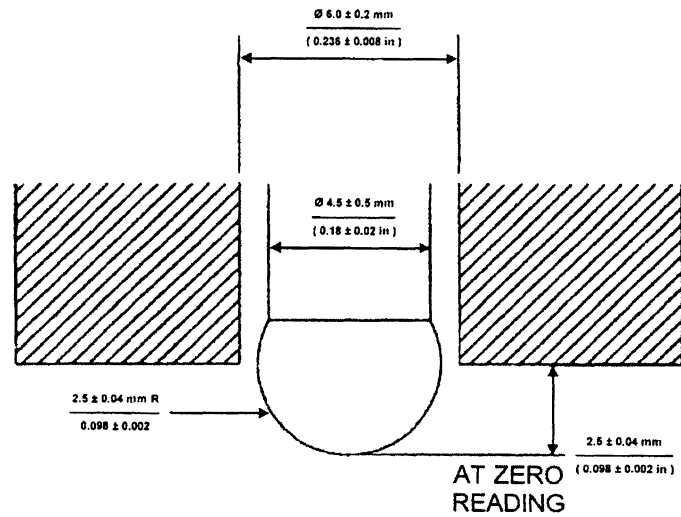


FIG. 1 (g) Type E Indenter (continued)

TABLE 1 Durometer Spring Force Calibration^A
All Values are in N

Indicated Value	Type A, B, E, O	Type C, D, DO	Type M	Type OO, OOO	Type OOO-S
0	0.55	0	0.324	0.203	0.167
10	1.3	4.445	0.368	0.294	0.343
20	2.05	8.89	0.412	0.385	0.520
30	2.8	13.335	0.456	0.476	0.696
40	3.55	17.78	0.5	0.566	0.873
50	4.3	22.225	0.544	0.657	1.049
60	5.05	26.67	0.589	0.748	1.226
70	5.8	31.115	0.633	0.839	1.402
80	6.55	35.56	0.677	0.93	1.579
90	7.3	40.005	0.721	1.02	1.755
100	8.05	44.45	0.765	1.111	1.932
N/durometer unit	0.075	0.4445	0.0044	0.00908	0.01765
Spring Calibration Tolerance	± 0.075 N	± 0.4445 N	± 0.0176 N	± 0.0182 N	± 0.0353 N

^A Refer to 5.1.1.3 for the Type xR designation.

in./s) and applying a force sufficient to overcome the calibrated spring force as shown in Table 1.

5.1.2.4 *Operating Stand, Type 3* (indenter to specimen type), hydraulic dampening, pneumatic dampening, or electro-mechanical (required for the operation of Type M durometers) shall be capable of controlling the rate of descent of the indenter to the specimen at a maximum of 3.2 mm/s (0.125 in./s) and applying a force sufficient to overcome the calibrated spring force as shown in Table 1. Manual application, Type 1 or Type 2 operating stands are not acceptable for Type M durometer operation.

5.1.2.5 The entire instrument should be plumb and level, and resting on a surface that will minimize vibration. Operating the instrument under adverse conditions will negatively affect the determinations attained.

5.1.2.6 *Specimen Support Table*, (Fig. 3) integral to the operating stand, and having a solid flat surface. The specimen support platform may have orifices designed to accept various inserts or support fixtures (Fig. 3) to provide for the support of irregularly configured specimens. When inserts are used to support test specimens, care must be taken to align the indenter to the center of the insert, or the point at which the indenter is to contact the specimen. Care should be exercised to assure that

the indenter does not abruptly contact the specimen support table as damage to the indenter may result.

6. Test Specimen

6.1 The test specimen, herein referred to as “specimen” or “test specimen” interchangeably, shall be at least 6.0 mm (0.24 in.) in thickness unless it is known that results equivalent to the 6.0-mm (0.24-in.) values are obtained with a thinner specimen.

6.1.1 A specimen may be composed of plied pieces to obtain the necessary thickness, but determinations made on such specimens may not agree with those made on solid specimens, as the surfaces of the plied specimens may not be in complete contact. The lateral dimensions of the specimen shall be sufficient to permit measurements at least 12.0 mm (0.48 in.) from any edge, unless it is known that identical results are obtained when measurements are made at a lesser distance from an edge.

6.1.2 The surfaces of the specimen shall be flat and parallel over an area to permit the presser foot to contact the specimen over an area having a radius of at least 6.0 mm (0.24 in.) from the indenter point. The specimen shall be suitably supported to provide for positioning and stability. A *suitable hardness*

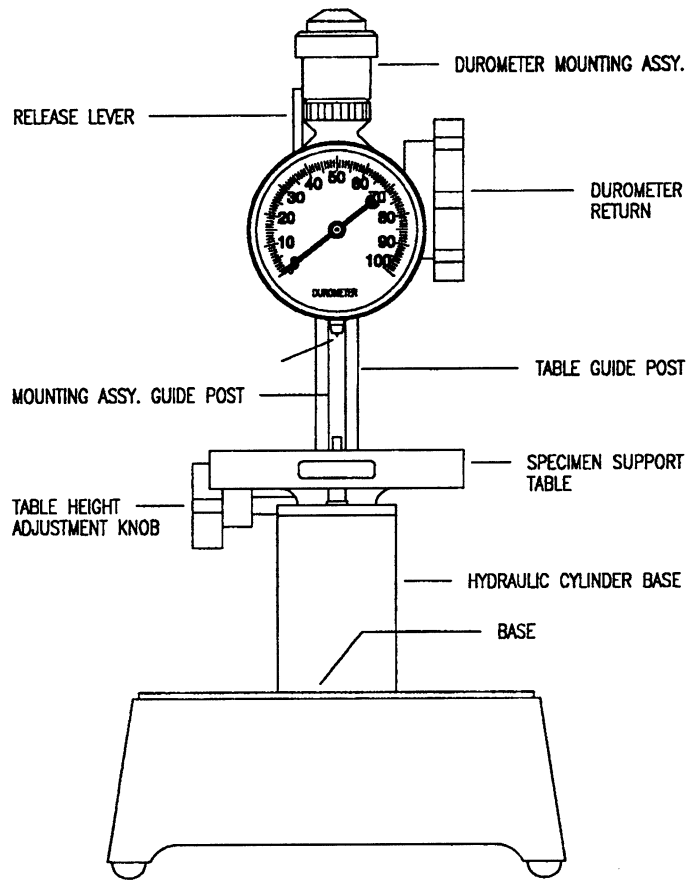
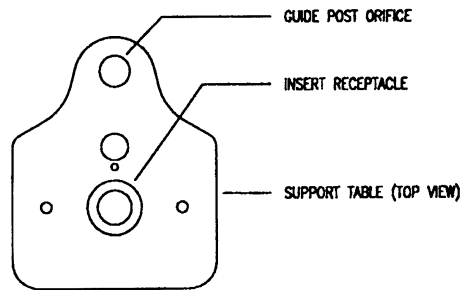


FIG. 2 Durometer Operating Stand



TYPICAL TABLE INSERTS USED FOR POSITIONING TUBING, O-RINGS AND SMALL SPECIMENS

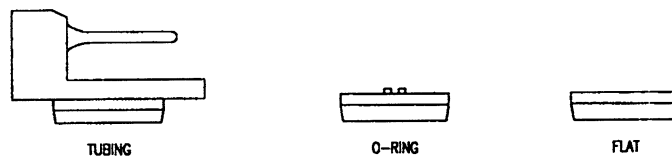


FIG. 3 Small Specimen Support Table

determination cannot be made on an uneven or rough point of contact with the indenter.

6.2 Type OOO, OOO-S, and M test specimens should be at least 1.25 mm (0.05 in.) in thickness, unless it is known that

results equivalent to the 1.25-mm (0.05-in.) values are obtained with a thinner specimen.

6.2.1 A Type M specimen that is not of a configuration described in 6.2.2 may be composed of plied pieces to obtain

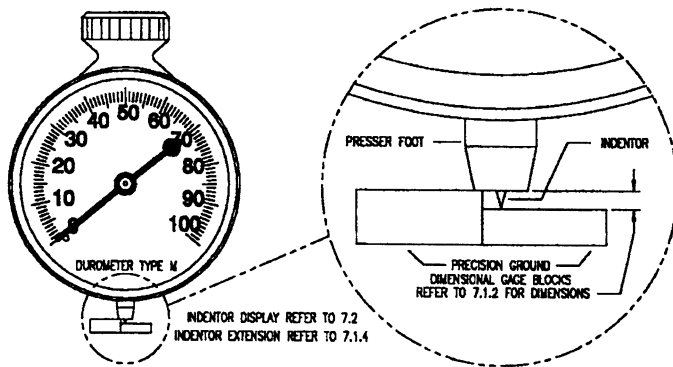


FIG. 4 Detail of Indentor Extension and Display Adjustment

the necessary thickness, but determinations made on such specimens may not agree with those made on solid specimens because the surfaces of the plied specimens may not be in complete contact. The lateral dimensions of the specimen should be sufficient to permit measurements at least 2.50 mm (0.10 in.) from any edge unless it is known that identical results are obtained when measurements are made at lesser distance from an edge. *A suitable hardness determination cannot be made on an uneven or rough point of contact with the indenter.*

6.2.2 The Type M specimen, when configured as an o-ring, circular band, or other irregular shape shall be at least 1.25 mm (0.05 in.) in cross-sectional diameter, unless it is known that results equivalent to the 1.25-mm (0.05-in.) values are obtained with a thinner specimen. The specimen shall be suitably supported in a fixture (Fig. 3) to provide for positioning and stability.

6.3 The minimum requirement for the thickness of the specimen is dependent on the extent of penetration of the indenter into the specimen; for example, thinner specimens may be used for materials having higher hardness values. The minimum distance from the edge at which measurements may be made likewise decreases as the hardness increases.

7. Calibration

7.1 Indentor Extension Adjustment Procedure:

7.1.1 Place precision ground dimensional blocks (Grade B or better) on the support table and beneath the durometer presser foot and indenter. Arrange the blocks so that the durometer presser foot contacts the larger block(s) and the indenter tip just contacts the smaller block (Fig. 4). It is necessary to observe the arrangement of the blocks and the presser foot/indenter under a minimum of 20× magnification to assure proper alignment.

7.1.2 Indentor extension and shape shall be in accordance with 5.1.1.5, 5.1.1.6, or 5.1.1.7, respective to durometer type. See Fig. 1 (a through g). Examination of the indenter under 20× magnification, 50× for Type M indentors, is required to examine the indenter condition. Misshapen or damaged indentors shall be replaced.

7.1.3 A combination of dimensional gage blocks shall be used to achieve a difference of $2.54 + 0.00/-0.0254$ mm ($0.100 + 0.00/-0.001$ in.) between them. For Type OOO-S durometers, the gage block dimensions are $5.08 + 0.00/-0.0508$ mm ($0.200 + 0.00/-0.002$ in.). For Type M durometers, the gage block

dimensions are $1.27 + 0.00/-0.0127$ mm ($0.050 + 0.00/-0.0005$ in.) between them (Fig. 4).

7.1.4 Carefully lower the durometer presser foot until it contacts the largest dimensional block(s), the indenter tip should just contact the smaller block, verifying full indenter extension.

7.1.5 Adjust the indenter extension to 2.50 ± 0.04 mm (0.098 ± 0.002 in.). For Type OOO-S durometers, adjust the indenter extension to 5.0 ± 0.04 mm (0.198 ± 0.002 in.). For Type M durometers, adjust the indenter extension to 1.25 ± 0.02 mm (0.049 ± 0.001 in.), following the manufacturer's recommended procedure.

7.1.5.1 When performing the procedures in 7.1, care should be used so as not to cause damage to the indenter tip. Fig. 4 depicts a suitable arrangement for gaging indenter extension.

7.1.6 Parallelism of the durometer presser foot to the support surface, and hence the dimensional gage blocks, at the time of instrument calibration, may be in accordance with Test Methods D 374, Machinist's Micrometers, or otherwise accomplished in accordance with the procedures specified by the manufacturer.

7.2 Indentor Display Adjustment:

7.2.1 After adjusting the indenter extension as indicated in 7.1, use a similar arrangement of dimensional gage blocks to verify the linear relationship between indenter travel and indicated display at two points: 0 and 100. Following the manufacturer's recommendations, make adjustments so that:

7.2.2 The indicator displays a value equal to the indenter travel measured to within:

–0.0 +1.0 durometer units measured at 0;

± 0.50 durometer units measured at 100;

± 1 durometer units at all other points delineated in 7.4.

7.2.3 Each durometer point indicated is equal to 0.025 mm (0.001 in.) of indenter travel, except for:

7.2.3.1 Type M Durometers, each indicated point is equal to 0.0125 mm (0.0005 in.) of indenter travel;

7.2.3.2 Type OOO-S Durometers, each indicated point is equal to 0.050 mm (0.002 in.) of indenter travel.

7.2.4 The indicator shall not display a value greater than 100 or less than 0 at the time of calibration.

7.2.5 Other means of determining indenter extension or indenter travel, such as optical or laser measurement methods, are acceptable. The instrumentation used shall have traceability as described in 1.4.

7.2.6 The durometer shall be supported in a suitable fashion when performing the procedures described in 7.1 and 7.2.

7.3 Calibration Device:

7.3.1 The durometer spring shall be calibrated by supporting the durometer in a calibrating device, see Fig. 5, in a vertical position and applying a measurable force to the indenter tip. The force may be measured by means of a balance as depicted in Fig. 5, or an electronic force cell. The calibrating device shall be capable of measuring applied force to within 0.5 % of the maximum spring force necessary to achieve 100 durometer units.

7.3.2 Care should be taken to ensure that the force is applied vertically to the indenter tip, as lateral force will cause errors in calibration. See 7.1.5.1 and 7.1.6.

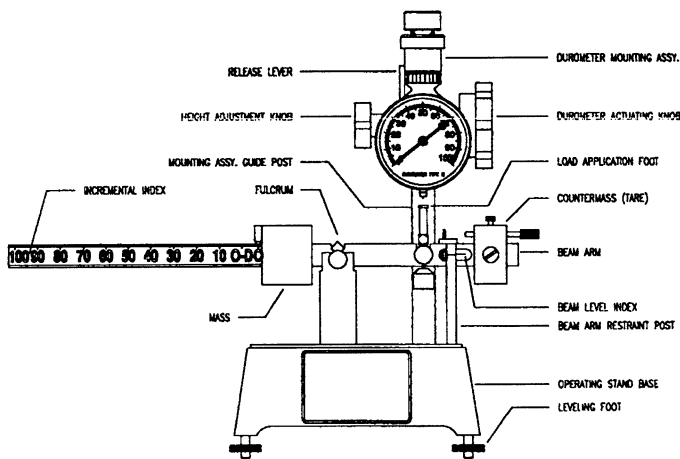


FIG. 5 Example of Durometer Calibration Apparatus

7.4 Spring Calibration—The durometer spring shall be calibrated at displayed readings of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, and 90. The measured force ($9.8 \times$ mass in kilograms) shall be within the spring calibration tolerance specified in Table 1. Table 1 identifies the measured force applied to the indenter for the entire range of the instrument, although it is necessary only to verify the spring calibration at points listed herein.

7.5 Spring Calibration Procedure:

7.5.1 Ensure that the indenter extension has been adjusted in accordance with 7.1, and the linear relationship between indenter travel and display is as specified in 7.2.

7.5.2 Place the durometer in the calibration device as depicted in Fig. 5. Apply the forces indicated in Table 1 so that forces applied are aligned with the centerline of the indenter in a fashion that eliminates shock or vibration and adjust the durometer according to manufacturers' recommendations so that:

7.5.3 At the points enumerated in 7.4, the display shall indicate a value equal to 0.025 mm (0.001 in.) of indenter travel. For Type OOO-S durometers, the display shall indicate a value equal to 0.05 mm (0.002 in.) of indenter travel. For Type M durometers, the display shall indicate a value equal to 0.0125 mm (0.0005 in.) of indenter travel within the spring calibration tolerances specified in 7.6.

7.6 Spring calibration tolerances are ± 1.0 durometer units for Types A, B, C, D, E, O, and DO, ± 2.0 durometer units for Types OO, OOO, and OOO-S, and ± 4.0 durometer units for Type M, while not indicating below 0 or above 100 at the time of calibration (see Table 1).

7.7 Spring Force Combinations:

7.7.1 For Type A, B, E, and O durometers:

$$\text{Force, } N = 0.55 + 0.075 \text{ HA}$$

Where HA = hardness reading on Type A, B, E, and O durometers.

7.7.2 For Type C, D, and DO durometers:

$$\text{Force, } N = 0.4445 \text{ HD}$$

Where HD = hardness reading on Type C, D, and DO durometers.

7.7.3 For Type M durometers:

$$\text{Force, } N = 0.324 + 0.0044 \text{ HM}$$

Where HM = hardness reading on Type M durometers.

7.7.4 For Type OO and OOO durometers:

$$\text{Force, } N = 0.203 + 0.00908 \text{ HOO}$$

Where HOO = hardness reading on Type OO durometers.

7.7.5 For Type OOO-S durometers:

$$\text{Force, } N = 0.167 + 0.01765 \text{ HOOO-S}$$

Where HOOO-S = hardness reading on Type OOO-S durometers.

7.8 The rubber reference block(s) provided for verifying durometer operation and state of calibration are not to be relied upon as calibration standards. The calibration procedures outlined in Section 7 are the only valid calibration procedures.

7.8.1 The use of metal reference blocks is no longer recommended (see Note 2).

7.9 Verifying the state of durometer calibration, *during routine use*, may be accomplished by:

7.9.1 Verifying that the zero reading is no more than 1 indicated point above zero, and not below zero (on durometers so equipped), when the durometer is positioned so that no external force is placed upon the indenter.

7.9.2 Verifying that the 100 reading is no more than 100 and no less than 99 when the durometer is positioned on a flat surface of a non-metallic material so that the presser foot is in complete contact, causing the indenter to be fully retracted.

7.9.2.1 It is important that when performing the verification of 100, as described in 7.9.2, that extreme care be taken so as to not cause damage to the indenter. Verification of the 100 value is not recommended for durometers having a spring force greater than 10 N (Types C, D, and DO).

7.9.2.2 When performing the verification of 100, as described in 7.9.2, the non-metallic material shall be of a hardness value greater than 100 of the type (scale) of the durometer being employed. Tempered glass of a thickness greater than 6.35 mm (0.25 in.) has been found satisfactory for this application.

7.9.3 Verifying the displayed reading at any other point using commercially available rubber reference blocks which are certified to a stated value of the type (scale) of the durometer being employed. The displayed value of the durometer should be within ± 2 durometer points of the reference block's stated value.

7.9.4 Verification of the zero and 100 readings of a durometer provide reasonable assurance that the linear relationship between the indicated display and the durometer mechanism remain valid.

7.9.5 Verification of points between zero and 100 provide reasonable assurance that the curvilinear relationship between the indicated display and the durometer mechanism remain valid.

7.9.6 *This is not a calibration procedure, it is a means by which a user may routinely verify that the durometer may be functioning correctly.* (See Note 2.)

8. Laboratory Atmosphere and Test Specimen Conditioning

8.1 Tests shall be conducted in the standard laboratory atmosphere, as defined in Practice D 618, Section 4.2.

8.2 The instrument shall be maintained in the standard laboratory atmosphere, as defined in Practice D 618, Section 4.1, for 12 h prior to performing a test.

8.3 The specimen shall be conditioned in accordance with condition 40/23 exclusive of humidity control, as described in Practice D 618, Section 8.1, Procedure A and tested under the same conditions, exclusive of humidity control.

8.4 These procedures may be modified if agreed upon between laboratories or between supplier and user and are in accordance with alternative procedures identified in Practice D 618.

8.5 No conclusive evaluation has been made on durometers at temperatures other than $23.0 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^{\circ}\text{F}$). Conditioning at temperatures other than the above may show changes in calibration. Durometer use at temperatures other than the above should be decided locally (see Practice D 1349).

9. Procedure

9.1 Operating Stand Operation (Type 3 Operating Stand Required for Type M):

9.1.1 Care shall be exercised to minimize the exposure of the instrument to environmental conditions that are adverse to the performance of the instrument, or adversely affect test results.

9.1.2 Adjust the presser foot to support table parallelism as described in 5.1.2.1. It is necessary to make this adjustment each time the support table is moved to accommodate specimens of varying dimensions.

9.1.3 Prior to conducting a test, adjust the vertical distance from the presser foot to the contact surface of the test specimen to 25.4 ± 2.5 mm (1.00 ± 0.100 in.), unless it is known that identical results are obtained with presser foot at a greater or lesser vertical distance from the test specimen contact surface, or if otherwise stipulated by the manufacturer.

9.1.4 Place the specimen on the specimen support table, in a manner that the contact point of the indenter is in accordance with Section 6, unless it is known that identical results are obtained when measurements are made with the indenter at a lesser distance from the edge of the test specimen.

9.1.5 Actuate the release lever (Fig. 2) of the operating stand or activate the electromechanical device, allowing the durometer to descend at a controlled rate and apply the presser foot to the specimen in accordance with 5.1.2. In the case of “specimen to indenter” type operating stands, operate the lever or other mechanism to apply the specimen to the indenter in a manner that assures parallel contact of the specimen to the durometer presser foot without shock and with just sufficient force to overcome the calibrated spring force as shown in Table 1.

9.1.6 An operating stand that applies the mass at a controlled rate of descent, without shock is mandatory for Type M durometers. Hand-held application or the use of a Type 1 or Type 2 operating stand for the Type M durometer is not an acceptable practice, see 5.1.2.4.

9.1.7 For any material covered in 1.1, once the presser foot is in contact with the specimen, for example, when the initial indenter travel has ceased, the maximum indicated reading shall be recorded. The time interval of 1 s, between initial indenter travel cessation and the recording of the indicated reading, shall be considered standard. Other time intervals, when agreed upon among laboratories or between supplier and

user, may be used and reported accordingly. The indicated hardness reading may change with time.

9.1.7.1 If the durometer is equipped with an electronic maximum indicator or timing device (refer to 5.1.1.9) the indicated reading shall be recorded within 1 ± 0.3 s of the cessation of indenter travel and reported (refer to 10.2.9 for reporting protocols), unless otherwise noted.

9.1.7.2 If the durometer is equipped with an analog type maximum indicator (refer to 5.1.1.10), the maximum indicated reading may be recorded and shall be reported (refer to 10.2.9), unless otherwise noted.

9.1.7.3 If the durometer is not equipped with the devices described in 5.1.1.9 or 5.1.1.10, the indicated reading shall be recorded within 1 s as is possible and reported (refer to 10.2.9), unless otherwise noted.

9.1.8 Make five determinations of hardness at different positions on the specimen at least 6.0 mm (0.24 in.) apart, 0.80 mm (0.030 in.) apart for Type M; and calculate the arithmetic mean, or alternatively calculate the median. The means of calculating the determinations shall be reported according to 10.2.8

9.2 Manual (Hand Held) Operation of Durometer:

9.2.1 Care shall be exercised to minimize the exposure of the instrument to environmental conditions that are adverse to the performance of the instrument, or adversely affect test results.

9.2.2 Place the specimen on a flat, hard, horizontal surface. Hold the durometer in a vertical position with the indenter tip at a distance from any edge of the specimen as described in Section 6, unless it is known that identical results are obtained when measurements are made with the indenter at a lesser distance.

9.2.3 Apply the presser foot to the specimen, maintaining it in a vertical position keeping the presser foot parallel to the specimen, with a firm smooth downward action that will avoid shock, rolling of the presser foot over the specimen, or the application of lateral force. Apply sufficient pressure to assure firm contact between the presser foot and the specimen.

9.2.4 For any material covered in 1.1, after the presser foot is in contact with the specimen, the indicated reading shall be recorded within 1 ± 0.1 s, or after any period of time agreed upon among laboratories or between supplier and user. If the durometer is equipped with a maximum indicator, the maximum indicated reading shall be recorded within 1 ± 0.1 s of the cessation of initial indenter travel. The indicated hardness reading may change with time.

9.2.5 Make five determinations of hardness at different positions on the specimen at least 6.0 mm (0.24 in.) apart and calculate the arithmetic mean, or alternatively calculate the median. The means of calculating the determinations shall be reported according to 10.2.8.

9.3 It is acknowledged that durometer readings below 20 or above 90 are not considered reliable. It is suggested that readings in these ranges not be recorded.

9.4 Manual operation (handheld) of a durometer will cause variations in the results attained. Improved repeatability may be obtained by using a mass, securely affixed to the durometer and centered on the axis of the indenter. Recommended masses

TABLE 2 Type 1 Precision—Type M Durometer Method

Material	Within Laboratories				Between Laboratories		
	MEAN	Sr^A	r^B	$(r)^C$	SR^D	R^E	$(R)^F$
1	31.8	1.26	3.58	11.24	3.76	10.63	33.41
2	40.8	1.14	3.23	7.90	2.47	7.00	17.13
3	54.0	0.975	2.76	5.11	2.38	6.73	12.46
4	62.8	0.782	2.21	3.52	2.24	6.34	10.10
5	70.9	0.709	2.01	2.83	0.974	2.76	3.89
6	80.6	1.686	4.77	5.92	1.61	4.56	5.65
7	87.7	1.15	3.25	3.71	2.63	7.45	8.50
8	32.4	0.947	2.68	8.26	3.64	10.29	31.73
9	41.8	0.797	2.26	5.40	2.23	6.31	15.11
10	53.3	0.669	1.89	3.55	2.29	6.49	12.17
11	63.2	0.485	1.37	2.17	2.19	6.20	9.80
12	69.6	0.737	2.09	3.00	0.99	2.80	4.02
13	78.3	0.784	2.22	2.84	1.04	2.94	3.75
14	87.6	1.121	3.17	3.62	2.65	7.49	8.55
15	34.1	0.85	2.40	7.05	1.84	5.20	15.25
16	42.3	0.635	1.80	4.25	1.20	3.39	8.01
17	54.6	0.56	1.59	2.90	2.15	6.09	11.15
18	62.9	1.12	3.17	5.04	1.47	4.16	6.61
19	70.3	0.689	1.95	2.77	0.944	2.67	3.80
20	81.7	0.483	1.37	1.67	1.10	3.10	3.80
21	87.9	0.879	2.49	2.83	2.07	5.86	6.67
AVERAGE	61.4						
POOLED VALUES		0.924	2.62	4.26	2.146	6.07	9.89

^A Sr = repeatability standard deviation, measurement units.

^B r = repeatability = $2.83 \times Sr$, measurement units.

^C (r) = repeatability, relative, (that is, in percent).

^D SR = reproducibility standard deviation, measurement units.

^E R = reproducibility = $2.83 \times SR$, measurement units.

^F (R) = reproducibility, relative, (that is, in percent).

are 1 kg for Type A, B, E, and O durometers, 5 kg for Type C, D, and DO durometers, and 400 g for Type OO, OOO, and OOO-S durometers. The introduction of an additional mass on Type M durometers is not permitted. Further improvement may be achieved by the use of a durometer operating stand that controls the rate of descent of the durometer presser foot to the test specimen and incorporates the masses described above.

10. Report

10.1 *Instrument Calibration Report (Durometer or Operating Stand):*

10.1.1 Date of calibration.

10.1.2 Date of last calibration.

10.1.3 Calibration due date (see Note 2).

10.1.4 Manufacturer, type, model, and serial number of the instrument, and a notation when a maximum indicator or timing device is present.

10.1.5 Values obtained (pre- and post-calibration results), including a notation of the effect of a maximum indicator, if present. The method of reporting the calibrated value shall be by attaining the arithmetic mean of the determinations.

10.1.6 Ambient temperature.

10.1.7 Relative humidity.

10.1.8 Technician identification.

10.1.9 Applicable standards to which the instrument is calibrated.

10.1.10 Calibrating instrument information to include type, serial number, manufacturer, date of last calibration, calibration due date (see Note 2), and a statement of traceability of standards used to NIST or other acceptable organization. See 1.4.

TABLE 3 Type 1 Precision—Type A Durometer Method

Material	Average Level	Within Laboratories			Between Laboratories		
		Sr^A	r^B	$(r)^C$	SR^D	R^E	$(R)^F$
1	51.4	0.646	1.83	3.56	1.56	4.41	8.59
2	65.3	0.878	2.48	3.81	2.21	6.06	9.27
3	68.0	0.433	1.23	1.80	2.28	6.45	9.49
Pooled	61.6	0.677	1.92	3.11	2.018	5.72	9.28

^A Sr = repeatability standard deviation, measurement units.

^B r = repeatability = $2.83 \times Sr$, measurement units.

^C (r) = repeatability, relative, (that is, in percent).

^D SR = reproducibility standard deviation, measurement units.

^E R = reproducibility = $2.83 \times SR$, measurement units.

^F (R) = reproducibility, relative, (that is, in percent).

TABLE 4 Type 1 Precision—Type D Durometer Method

Material	Average Level	Within Laboratories			Between Laboratories		
		Sr^A	r^B	$(r)^C$	SR^D	R^E	$(R)^F$
1	42.6	0.316	0.894	2.10	2.82	7.98	18.7
2	54.5	0.791	2.24	4.11	3.54	10.0	18.4
3	82.3	1.01	2.86	3.47	3.54	10.0	12.2
Pooled	59.8	0.762	2.16	3.61	3.32	9.40	15.7

^A Sr = repeatability standard deviation, measurement units.

^B r = repeatability = $2.83 \times Sr$, measurement units.

^C (r) = repeatability, relative, (that is, in percent).

^D SR = reproducibility standard deviation, measurement units.

^E R = reproducibility = $2.83 \times SR$, measurement units.

^F (R) = reproducibility, relative, (that is, in percent).

10.2 Hardness Measurement Report:

10.2.1 Date of test.

10.2.2 Relative humidity.

10.2.3 Ambient temperature.

10.2.4 Manufacturer, type, and serial number of the durometer or operating stand, or both, including a notation when a maximum indicator or timing device is present, date of last calibration, and calibration due date (see Note 2).

NOTE 2—The calibration interval (calibration due date) for a durometer is to be determined by the user, based upon frequency of use, severity of conditions, environmental factors, and other variables.

Periodic checking of the operation and state of durometer calibration using commercially available rubber test blocks (refer to 7.8), specifically designed for this purpose, is recommended.

An instrument that has been exposed to severe shock, is visibly damaged, produces test determinations more than 2 points different from calibrated rubber test blocks or other reference standard, or is otherwise suspected of unreliability, should be removed from service and returned to a qualified calibration facility.

A calibration interval of one year is recommended for durometer test blocks and durometer instruments that are infrequently used, more often for others.

The calibration interval for instruments and peripheral devices employed in the calibration of durometers is to be determined by the calibration service provider. It is recommended that the protocols outlined in ISO/IEC 17025, as required by the manufacturer, and those to which the service is provided, be followed.

10.2.5 Means of testing, whether manual (hand held), Type 1 operating stand (specimen to indenter), Type 2 operating stand (indenter to specimen type), or Type 3 operating stand (electromechanical or hydraulically dampened).

10.2.6 Description of test specimen, including thickness, number of pieces plied if less than the thickness indicated in Section 6, including the vulcanization date.

10.2.7 Complete identification of material tested.

10.2.8 Hardness value obtained and method of calculation, either arithmetic mean or alternatively, the median.

10.2.9 Indentation hardness time interval at which determination was made. Readings may be reported in the form: M/60/1 where M is the type of durometer, 60 the reading, and 1 the time in seconds that the presser foot is in contact with the specimen or from an electronic timing device.

11. Precision and Bias

11.1 These precision and bias statements have been prepared in accordance with Practice D 4483. Refer to this Practice for terminology and other testing and statistical concepts.

11.2 The Type 1 precision for the Type M method was determined from an interlaboratory program with 21 materials of varying hardness, with six participating laboratories. Tests were conducted on two separate days in each laboratory for the Type M testing program. All materials were supplied from a single source, being those commonly supplied as reference materials with the instruments from the manufacturer.

11.3 The precision results in this precision and bias section give an estimate of the precision of this test method with the materials (rubbers) used in the particular interlaboratory program as described above. The precision parameters should not be used for acceptance or rejection testing, or both, of any group of materials without documentation that they are applicable to those particular materials and the specific testing protocols that include this test method.

11.4 The Type 1 precision for both Type A and D methods was determined from an interlaboratory program with 3 materials of varying hardness, with six participating laboratories. Tests were conducted on two separate days in each laboratory for both A and D testing programs. All materials were supplied from a single source.

11.5 A test result for hardness, for Types A, D, and M, was the median of five individual hardness readings on each day in each laboratory.

11.6 Table 2 shows the precision results for Type M method,⁴ Table 3 shows the precision results for Type A method,⁵ and Table 4 gives the precision results for Type D method.⁵

⁴ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR: D11-1091.

⁵ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR: D11-1029.

11.7 *Precision*—The precision of this test method may be expressed in the format of the following statements which use as appropriate value r , R , (r), or (R), that is, that value to be used in decisions about test results (obtained with the test method). The appropriate value is that value of r or R associated with a mean level in Table 1 closest to the mean level under consideration (at any given time, for any given material) in routine testing operations.

NOTE 3—A Type 1 precision statement for Types E, OOO, OOO-S, and R have not yet been made available.

11.7.1 *Repeatability*—The repeatability, r , of these test methods has been established as the appropriate value tabulated in Tables 2-4. Two single test results, obtained under normal test method procedures, that differ by more than this tabulated r (for any given level) must be considered as derived from different or non-identical sample populations.

11.7.2 *Reproducibility*—The reproducibility, R , of these test methods has been established as the appropriate value tabulated in Tables 2-4. Two single test results obtained in two different laboratories, under normal test method procedures, that differ by more than the tabulated R (for any given level) must be considered to have come from different or non-identical sample populations.

11.7.3 Repeatability and reproducibility are expressed as a percentage of the mean level, (r) and (R), and have equivalent application statements as above for r and R . For the (r) and (R) statements, the difference in the two single test results is expressed as a percentage of the arithmetic mean of the two test results.

11.8 *Bias*—In test method terminology, bias is the difference between an average test value and the reference (or true) test property value. Reference values do not exist for this test method since the value (of the test property) is exclusively defined by this test method. Bias, therefore cannot be determined.

12. Keywords

12.1 durometer; durometer hardness; hardness; indentation hardness; micro durometer hardness

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. DUROMETER SELECTION GUIDE

X1.1 The durometer selection guide is designed to assist in the selection of the proper durometer type for various applications.

X1.2 It is generally recognized that durometer hardness determination below 20 and above 90 are unreliable. It is recommended that the next lower or higher type (scale) be used in these situations.

X1.3 It is also recommended that, whenever possible, an operating stand be employed in performing durometer hardness tests.

TABLE X1.1 Durometer Selection: Typical Uses

Type (Scale)	Typical Examples of Materials Tested	Durometer Hardness (Typical Uses)
A	Soft vulcanized rubber, natural rubber, nitriles, thermoplastic elastomers, flexible polyacrylics and thermosets, wax, felt, and leathers	20–90 A
B	Moderately hard rubber, thermoplastic elastomers, paper products, and fibrous materials	Above 90 A Below 20 D
C	Medium-hard rubber, thermoplastic elastomers, medium-hard plastics, and thermoplastics	Above 90 B Below 20 D
D	Hard rubber, thermoplastic elastomers, harder plastics, and rigid thermoplastics	Above 90 A
DO	Moderately hard rubber, thermoplastic elastomers, and very dense textile windings	Above 90 C Below 20 D
M	Thin, irregularly shaped rubber, thermoplastic elastomer, and plastic specimens	20–85 A
O	Soft rubber, thermoplastic elastomers, very soft plastics and thermoplastics, medium-density textile windings	Below 20 DO
OO	Extremely soft rubber, thermoplastic elastomers, sponge, extremely soft plastics and thermoplastics, foams, low-density textile windings, human and animal tissue	Below 20 O
CF	Composite foam materials, such as amusement ride safety cushions, vehicle seats, dashboards, headrests, armrests, and door panels	See Test Method F 1957

X2. RELATED TEST METHODS²

C 367 Test Methods for Strength Properties of Prefabricated Architectural Acoustical Tile or Lay-In Ceiling Panels

C 473 Test Methods for Physical Testing of Gypsum Panel Products

C 581 Practice for Determining Chemical Resistance of Thermosetting Resins Used in Glass-Fiber-Reinforced Structures Intended for Liquid Service

C 661 Test Method for Indentation Hardness of Elastomeric-Type Sealants by Means of a Durometer

C 836 Specification for High Solids Content, Cold Liquid-Applied Elastomeric Waterproofing Membrane for Use with Separate Wearing Course

D 461 Test Methods for Felt

D 531 Test Method for Rubber Property—Pusey and Jones Indentation

D 619 Test Methods for Vulcanized Fibre Used for Electrical Insulation

D 1037 Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials

D 1054 Test Method for Rubber Property—Resilience Using a Goodyear-Healey Rebound Pendulum

D 1414 Test Methods for Rubber O-Rings

D 1474 Test Methods for Indentation Hardness of Organic Coatings

D 2134 Test Method for Determining the Hardness of Organic Coatings with a Sward-Type Hardness Rocker

D 2287 Specification for Nonrigid Vinyl Chloride Polymer and Copolymer Molding and Extrusion Compounds

D 2583 Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor

D 2632 Test Method for Rubber Property—Resilience by Vertical Rebound

D 4289 Test Method for Elastomer Compatibility of Lubricating Greases and Fluids

D 5672 Test Method for Flexible Cellular Materials Measurement of Indentation Force Deflection Using a 25-mm (1-in.) Deflection Technique

D 6546 Test Methods for and Suggested Limits for Determining Compatibility of Elastomer Seals for Industrial Hydraulic Fluid Applications

F 1151 Test Method for Determining Variations in Hardness of Film Ribbon Pancakes

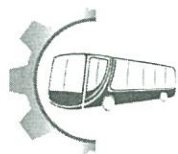
NOTE X2.1—The hardness testing of other nonmetallic materials may be under the jurisdiction of one or more ASTM committees; the respective committee should be contacted for specific information.

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

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

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

ANEXO 8: INFORME TÉCNICO DE ENSAYO A FLEXIÓN



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

INFORME DE RESULTADOS N°: 186502752020180104-EFC

DATOS GENERALES

Datos informativos: N° de proforma: RM_2018_003
Empresa / Cliente: Dirección de Investigación y Desarrollo - DIDE.
RUC/C.I.: 1865027520001 **Ciudad:** Ambato.
Dirección: Av. Los Chasquis y Río Guayllabamba, Edif. Académico - UTA.
Teléfono: 0983210017 **Correo:** sespin@uta.edu.ec
Datos del ensayo:
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Río de Janeiro.
Método de ensayo:
 ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.
Tipo de ensayo: Cuantitativo. **Procedimiento:** A
Equipo utilizado:
 Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest **Modelo:** 50 KN. **Serial Number** 8210M002
Velocidad de ensayo: 10 mm/min **Precarga:** 0 N **Distancia entre apoyos:** 130 mm
Fecha de Inicio de Ensayo: 24/01/2018 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 09/02/2018
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales compuestos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

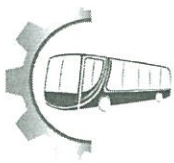
N°	Identificación del grupo	Fracción Volumétrica	Orientación de partículas	Granulometría	Probetas a Ensayar
1	186502752020180104-EFC 01	Tipo 0: 100%, Resina Poliéster.	0	0	5
2	186502752020180104- EFC 02	Tipo A: 90% de resina poliéster, 10% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
3	186502752020180104- EFC 03	Tipo B: 80% de resina poliéster, 20% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
4	186502752020180104- EFC 04	Tipo C: 70% de resina poliéster, 30% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
5	186502752020180104- EFC 05	Tipo D: 65% de resina poliéster, 35% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5

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

Fecha de entrega de Informe: 13 de abril de 2018.

N° Factura: 001-002-000004673





6	186502752020180104- EFC 06	Tipo E: 60% de resina poliéster, 40% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
7	186502752020180104- EFC 07	Tipo A: 90% de resina poliéster, 10% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
8	186502752020180104- EFC 08	Tipo B: 80% de resina poliéster, 20% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
9	186502752020180104- EFC 09	Tipo C: 70% de resina poliéster, 30% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
10	186502752020180104- EFC 10	Tipo D: 65% de resina poliéster, 35% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
11	186502752020180104- EFC 11	Tipo E: 60% de resina poliéster, 40% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
12	186502752020180104- EFC 12	Tipo A: 90% de resina poliéster, 10% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
13	186502752020180104- EFC 13	Tipo B: 80% de resina poliéster, 20% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
14	186502752020180104- EFC 14	Tipo C: 70% de resina poliéster, 30% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
15	186502752020180104- EFC 15	Tipo D: 65% de resina poliéster, 35% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
16	186502752020180104- EFC 16	Tipo E: 60% de resina poliéster, 40% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
Total					80

Observaciones: Ninguna.





Resultados:

Próbata	Identificación de próbata	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
1	186502752020180104-EFC 01-1	25,5	48,2	12,8	3,87	58,38	13,876	59,38	3114,78	1,91	OLR
2	186502752020180104-EFC 01-2	25,5	48,2	12,6	3,89	41,02	7,434	41,95	4086,24	1,03	OLR
3	186502752020180104-EFC 01-3	25,5	48,2	12,75	3,95	67,84	17,764	66,50	2669,40	2,49	OUV
4	186502752020180104-EFC 01-4	25,5	48,2	12,82	3,86	96,25	16,413	98,26	4368,51	2,25	OUV
5	186502752020180104-EFC 01-5	25,5	48,2	12,8	4,45	53,64	13,699	41,27	1906,69	2,16	OUV
				Promedio \bar{X}		63,43	13,84	61,47	3229,12	1,97	
				Desviación estándar S_{n-1}		20,74	3,97	23,30	1013,41	0,57	
				Coeficiente de variación CV		32,70	28,70	37,91	31,38	28,76	

Próbata	Identificación de próbata	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
6	186502752020180104-EFC 02-1	25,6	47,3	12,6	4,17	20,51	6,228	18,25	1979,74	0,92	OAM
7	186502752020180104-EFC 02-2	25,6	47,3	13,04	4,15	22,09	7,159	19,18	1818,41	1,05	OUV
8	186502752020180104-EFC 02-3	25,6	47,3	13,04	4,18	20,51	5,821	17,55	2032,04	0,86	OUV
9	186502752020180104-EFC 02-4	25,6	47,3	12,91	4,17	18,93	5,621	16,44	1975,94	0,83	OAM
10	186502752020180104-EFC 02-5	25,6	47,3	12,67	4,33	23,67	8,299	19,43	1523,01	1,28	OUV
				Promedio \bar{X}		21,14	6,63	18,17	1865,83	0,99	
				Desviación estándar S_{n-1}		1,80	1,11	1,22	207,67	0,18	
				Coeficiente de variación CV		8,52	16,70	6,73	11,13	18,31	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
11	186502752020180104-EFC 03-1	25,7	48,2	13,16	4,45	22,09	11,221	16,53	932,39	1,77	OAM
12	186502752020180104-EFC 03-2	25,7	48,2	13,19	4,63	25,24	13,883	17,41	762,76	2,28	OAM
13	186502752020180104-EFC 03-3	25,7	48,2	13,05	4,41	20,51	10,567	15,76	952,48	1,65	OLR
14	186502752020180104-EFC 03-4	25,7	48,2	12,96	4,41	18,93	8,348	14,65	1120,51	1,31	OAM
15	186502752020180104-EFC 03-5	25,7	48,2	13,53	4,69	23,67	12,343	15,51	754,63	2,06	OLR
				Promedio \bar{X}		22,09	11,27	15,97	904,56	1,81	
				Desviación estándar S_{n-1}		2,50	2,06	1,05	151,90	0,37	
				Coeficiente de variación CV		11,30	18,30	6,56	16,79	20,65	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
16	186502752020180104-EFC 04-1	25,6	49,1	13,02	4,49	20,51	20,152	15,24	474,32	3,21	OLR
17	186502752020180104-EFC 04-2	25,6	49,1	13,09	4,83	17,35	21,837	11,08	295,87	3,74	OOU
18	186502752020180104-EFC 04-3	25,6	49,1	12,99	4,45	17,35	18,004	13,15	462,39	2,84	OAM
19	186502752020180104-EFC 04-4	25,6	49,1	13,09	4,8	17,35	21,842	11,22	301,38	3,72	OLR
20	186502752020180104-EFC 04-5	25,6	49,1	13,17	4,65	22,09	15,443	15,13	593,32	2,55	OLR
				Promedio \bar{X}		18,93	19,46	13,16	425,46	3,21	
				Desviación estándar S_{n-1}		2,23	2,74	2,02	126,61	0,53	
				Coeficiente de variación CV		11,80	14,09	15,33	29,76	16,45	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
21	186502752020180104-EFC 05-1	25,7	44,4	13,08	5,17	11,04	14	6,16	239,62	2,57	OUU	
22	186502752020180104-EFC 05-2	25,7	44,4	12,69	6,14	12,62	14,154	5,14	166,72	3,09	OUU	
23	186502752020180104-EFC 05-3	25,7	44,4	13,1	4,96	12,62	22,144	7,64	195,82	3,90	OUU	
24	186502752020180104-EFC 05-4	25,7	44,4	13,06	4,83	14,2	22,294	9,09	237,73	3,82	OUU	
25	186502752020180104-EFC 05-5	25,7	44,4	12,97	4,77	12,62	29,466	8,34	167,11	4,99	OUU	
				Promedio \bar{X}		12,62	20,41	7,27	201,40	3,67		
				Desviación estándar S_{n-1}		1,12	6,50	1,61	36,02	0,92		
				Coeficiente de variación CV		8,85	31,83	22,11	17,89	24,99		

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
26	186502752020180104-EFC 06-1	26,3	37,9	12,65	5,79	9,47	12,5	4,35	169,47	2,57	OUU	
27	186502752020180104-EFC 06-2	26,3	37,9	12,79	4,41	6,31	8,486	4,95	372,31	1,33	OUU	
28	186502752020180104-EFC 06-3	26,3	37,9	12,71	5,45	6,31	9,136	3,26	184,38	1,77	OUU	
29	186502752020180104-EFC 06-4	26,3	37,9	12,48	6,82	11,04	18,647	3,71	82,14	4,52	OUU	
30	186502752020180104-EFC 06-5	26,3	37,9	12,97	6,48	9,47	21,249	3,39	69,36	4,89	OUU	
				Promedio \bar{X}		8,52	14,00	3,93	175,53	3,01		
				Desviación estándar S_{n-1}		2,12	5,71	0,71	121,28	1,61		
				Coeficiente de variación CV		24,85	40,78	18,00	69,09	53,39		



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
31	186502752020180104-EFC 07-1	25	45	13,35	5,03	42,6	7,383	24,59	1865,36	1,32	OUV	
32	186502752020180104-EFC 07-2	25	45	12,73	4,49	34,71	8,919	26,37	1854,99	1,42	OUV	
33	186502752020180104-EFC 07-3	25	45	13,09	4,52	31,56	5,972	23,01	2401,22	0,96	OUV	
34	186502752020180104-EFC 07-4	25	45	13,08	4,96	41,02	7,095	24,86	1989,58	1,25	OUV	
35	186502752020180104-EFC 07-5	25	45	13,1	5,01	29,98	6,346	17,78	1575,13	1,13	OUV	
				Promedio \bar{X}		35,97	7,14	23,32	1937,25		1,22	
				Desviación estándar S_{n-1}		5,62	1,14	3,32	300,45		0,18	
				Coeficiente de variación CV		15,62	15,99	14,24	15,51		14,72	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
36	186502752020180104-EFC 08-1	26,3	38,1	13,08	4,44	17,35	5,477	13,12	1519,74	0,86	OLL	
37	186502752020180104-EFC 08-2	26,3	38,1	12,84	4,43	15,78	5,469	12,21	1419,69	0,86	OAM	
38	186502752020180104-EFC 08-3	26,3	38,1	13,05	4,41	20,51	8,592	15,76	1171,43	1,35	OAM	
39	186502752020180104-EFC 08-4	26,3	38,1	13,17	4,35	17,35	7,665	13,58	1146,84	1,18	OAM	
40	186502752020180104-EFC 08-5	26,3	38,1	12,91	4,37	22,09	9,383	17,47	1200,20	1,46	OAM	
				Promedio \bar{X}		18,62	7,32	14,43	1291,58		1,14	
				Desviación estándar S_{n-1}		2,59	1,79	2,14	167,49		0,27	
				Coeficiente de variación CV		13,93	24,46	14,86	12,97		23,93	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
41	186502752020180104-EFC 09-1	20,2	59,8	12,8	4,18	11,04	3,833	9,63	1692,24	0,57	OAM
42	186502752020180104-EFC 09-2	20,2	59,8	12,73	4,14	7,89	4,029	7,05	1190,75	0,59	OAM
43	186502752020180104-EFC 09-3	20,2	59,8	13,97	5,16	15,78	3,875	8,27	1165,36	0,71	OAM
44	186502752020180104-EFC 09-4	20,2	59,8	12,81	4,19	6,31	3,094	5,47	1188,74	0,46	OAB
45	186502752020180104-EFC 09-5	20,2	59,8	12,59	4,16	9,47	2,772	8,48	2070,24	0,41	OAB
				Promedio \bar{X}		10,10	3,52	7,78	1461,47	0,55	
				Desviación estándar S_{n-1}		3,63	0,55	1,58	405,96	0,12	
				Coeficiente de variación CV		35,98	15,71	20,32	27,78	21,49	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
46	186502752020180104-EFC 10-1	20,2	59,8	12,83	4,31	6,31	5,058	5,16	667,06	0,77	OAM
47	186502752020180104-EFC 10-2	20,2	59,8	12,86	4,27	11,04	4,743	9,18	1276,91	0,72	OAM
48	186502752020180104-EFC 10-3	20,2	59,8	12,81	4,3	6,31	5,062	5,19	672,24	0,77	OAM
49	186502752020180104-EFC 10-4	20,2	59,8	12,69	4,28	4,73	8,787	3,97	297,16	1,34	OLR
50	186502752020180104-EFC 10-5	20,2	59,8	12,81	4,22	4,73	3,769	4,04	716,01	0,56	OLR
				Promedio \bar{X}		6,62	5,48	5,51	725,88	0,83	
				Desviación estándar S_{n-1}		2,59	1,92	2,13	351,38	0,29	
				Coeficiente de variación CV		39,13	35,03	38,74	48,41	35,22	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
51	186502752020180104-EFC 11-1	20,5	57,5	12,36	4,39	4,73	8,225	3,87	302,05	1,28	OUU
52	186502752020180104-EFC 11-2	20,5	57,5	12,31	4,63	6,31	9,349	4,66	303,41	1,54	OUU
53	186502752020180104-EFC 11-3	20,5	57,5	12,43	4,61	6,31	8,177	4,66	348,04	1,34	OUU
54	186502752020180104-EFC 11-4	20,5	57,5	12,55	5,63	9,47	17,208	4,64	134,96	3,44	OUU
55	186502752020180104-EFC 11-5	20,5	57,5	12,22	5,29	6,31	8,874	3,60	215,89	1,67	OUU
				Promedio \bar{X}		6,63	10,37	4,29	260,87	1,85	
				Desviación estándar S_{n-1}		1,73	3,86	0,51	85,12	0,90	
				Coeficiente de variación CV		26,12	37,19	11,96	32,63	48,60	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
56	186502752020180104-EFC 12-1	23,6	49,6	12,98	4,82	45,76	6,543	29,59	2642,79	1,12	OUV
57	186502752020180104-EFC 12-2	23,6	49,6	12,97	5,48	47,33	5,164	23,70	2358,52	1,00	OUV
58	186502752020180104-EFC 12-3	23,6	49,6	12,8	5,18	50,49	4,694	28,67	3320,73	0,86	OUV
59	186502752020180104-EFC 12-4	23,6	49,6	13,14	5,89	56,8	4,26	24,30	2727,52	0,89	OUU
60	186502752020180104-EFC 12-5	23,6	49,6	13,33	6,31	42,6	3,642	15,65	1918,32	0,82	OUV
				Promedio \bar{X}		48,60	4,86	24,38	2593,58	0,94	
				Desviación estándar S_{n-1}		5,40	1,09	5,53	514,86	0,12	
				Coeficiente de variación CV		11,10	22,53	22,67	19,85	13,06	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
61	186502752020180104-EFC 13-1	23,9	48,4	13,01	4,67	17,35	4,98	11,92	1444,15	0,83	OLR
62	186502752020180104-EFC 13-2	23,9	48,4	12,95	4,85	26,82	3,243	17,17	3074,59	0,56	OAM
63	186502752020180104-EFC 13-3	23,9	48,4	13,09	5,01	17,35	2,392	10,30	2420,22	0,43	OAB
64	186502752020180104-EFC 13-4	23,9	48,4	13,16	4,74	14,2	4,977	9,37	1118,15	0,84	OLR
65	186502752020180104-EFC 13-5	23,9	48,4	12,98	4,7	29,98	3,527	20,39	3464,40	0,59	OAM
				Promedio \bar{X}		21,14	3,82	13,83	2304,30	0,65	
				Desviación estándar S_{n-1}		6,84	1,13	4,75	1012,35	0,18	
				Coeficiente de variación CV		32,37	29,65	34,34	43,93	27,71	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
66	186502752020180104-EFC 14-1	23,8	49,5	13,15	4,95	14,2	6,358	8,59	769,12	1,12	OAB
67	186502752020180104-EFC 14-2	23,8	49,5	12,89	4,47	11,04	7,064	8,36	745,61	1,12	OAB
68	186502752020180104-EFC 14-3	23,8	49,5	12,76	4,48	9,47	8,46	7,21	535,88	1,35	OAB
69	186502752020180104-EFC 14-4	23,8	49,5	12,73	4,68	12,62	7,454	8,83	712,65	1,24	OAM
70	186502752020180104-EFC 14-5	23,8	49,5	12,86	4,36	14,2	7,014	11,33	1043,26	1,09	OLB
				Promedio \bar{X}		12,31	7,27	8,86	761,30	1,18	
				Desviación estándar S_{n-1}		2,06	0,77	1,51	182,34	0,11	
				Coeficiente de variación CV		16,71	10,63	17,04	23,95	9,19	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
71	186502752020180104-EFC 15-1	25	46,3	12,77	5,11	6,31	4,838	3,69	420,42	0,88	OLR
72	186502752020180104-EFC 15-2	25	46,3	12,54	4,72	7,89	5,377	5,51	611,20	0,90	OAM
73	186502752020180104-EFC 15-3	25	46,3	12,85	5,66	6,31	4,375	2,99	339,99	0,88	OLR
74	186502752020180104-EFC 15-4	25	46,3	12,81	5,23	9,47	9,287	5,27	305,63	1,72	OAM
75	186502752020180104-EFC 15-5	25	46,3	12,84	5,47	9,47	5,419	4,81	456,75	1,05	OLL
				Promedio \bar{X}		7,89	5,86	4,45	426,80	1,09	
				Desviación estándar S_{n-1}		1,58	1,96	1,08	119,54	0,36	
				Coeficiente de variación CV		20,03	33,51	24,16	28,01	33,46	

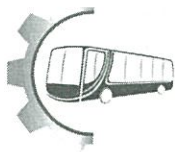
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor						
76	186502752020180104-EFC 16-1	24,7	47,8	12,83	4,71	7,89	4,28	5,41	755,29	0,72	OAM
77	186502752020180104-EFC 16-2	24,7	47,8	12,67	5,49	4,73	5,077	2,42	244,08	0,99	OLR
78	186502752020180104-EFC 16-3	24,7	47,8	12,82	4,52	6,31	5,085	4,70	575,71	0,82	OLR
79	186502752020180104-EFC 16-4	24,7	47,8	12,88	4,87	6,31	3,476	4,03	670,22	0,60	OAB
80	186502752020180104-EFC 16-5	24,7	47,8	13,23	5,71	12,62	4,754	5,71	591,97	0,96	OAM
				Promedio \bar{X}		7,57	4,53	4,45	567,45	0,82	
				Desviación estándar S_{n-1}		3,04	0,68	1,31	194,35	0,16	
				Coeficiente de variación CV		40,08	14,92	29,44	34,25	20,13	

Nomenclatura:

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

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

ANEXO 9: INFORME TÉCNICO DE ENSAYO A COMPRESIÓN



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 186502752020180104-ECP

DATOS GENERALES

Datos informativos: N° de proforma: RM_2018_003
Empresa / Cliente: Dirección de Investigación y Desarrollo - DIDE.
RUC/C.I.: 1865027520001 **Ciudad:** Ambato.
Dirección: Av. Los Chasquis y Río Guayllabamba, Edif. Académico - UTA.
Teléfono: 0983210017 **Correo:** sespín@uta.edu.ec

Datos del ensayo:
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Río de Janeiro.
Método de ensayo:
 ASTM D695-2015: Método de prueba estándar para Propiedades de Compresión de Plásticos Rígidos.
Tipo de ensayo: Cuantitativo. **Tipo de probeta:** Plana.
Equipo utilizado:
 Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest **Modelo:** 50 KN. **Serial Number** 8210M002
Velocidad de ensayo: 1,3 mm/min **Precarga:** 0 N
Fecha de Inicio de Ensayo: 29/01/2018. **Fecha de Finalización de Ensayo:** 31/01/2018.
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales compuestos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

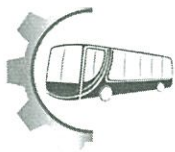
Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fracción Volumétrica	Orientación partículas	Granulometría	Probetas a Ensayar
1	186502752020180104-ECP 01	Tipo 0: 100%, Resina Poliéster.	0	0	5
2	186502752020180104- ECP 02	Tipo A: 90% de resina poliéster, 10% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
3	186502752020180104- ECP 03	Tipo B: 80% de resina poliéster, 20% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5

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

Fecha de entrega de Informe: 13 de abril de 2018.

N°. Factura: 001-002-000004673



4	186502752020180104- ECP 04	Tipo C: 70% de resina poliéster, 30% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
5	186502752020180104- ECP 05	Tipo D: 65% de resina poliéster, 35% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
6	186502752020180104- ECP 06	Tipo E: 60% de resina poliéster, 40% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
7	186502752020180104- ECP 07	Tipo A: 90% de resina poliéster, 10% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
8	186502752020180104- ECP 08	Tipo B: 80% de resina poliéster, 20% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
9	186502752020180104- ECP 09	Tipo C: 70% de resina poliéster, 30% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
10	186502752020180104- ECP 10	Tipo D: 65% de resina poliéster, 35% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
11	186502752020180104- ECP 11	Tipo E: 60% de resina poliéster, 40% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
12	186502752020180104- ECP 12	Tipo A: 90% de resina poliéster, 10% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
13	186502752020180104- ECP 13	Tipo B: 80% de resina poliéster, 20% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
14	186502752020180104- ECP 14	Tipo C: 70% de resina poliéster, 30% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
15	186502752020180104- ECP 15	Tipo D: 65% de resina poliéster, 35% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
16	186502752020180104- ECP 16	Tipo E: 60% de resina poliéster, 40% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
				Total	80
Observaciones: Ninguna.					





Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
1	186502752020180104-ECP 01-1	22,3	49,4	12,82	25,33	14354,89	102,56	111,21	0,79	11,39	976,05
2	186502752020180104-ECP 01-2	22,3	49,4	12,8	25,38	13338,78	910,39	103,66	7,07	7,12	1455,92
3	186502752020180104-ECP 01-4	22,3	49,4	12,95	25,44	13182,58	814,15	100,09	6,18	7,08	1413,75
4	186502752020180104-ECP 01-6	22,3	49,4	13,5	25,35	16622,2	1350,6	116,13	9,44	9,07	1281,03
5	186502752020180104-ECP 01-7	22,3	49,4	13,4	25,76	16140,96	1814,48	114,45	12,87	8,70	1316,21
					Promedio \bar{X}	14727,88	998,44	109,11	7,27	8,67	1288,59
					Desviación estándar S_{n-1}	1584,45	639,19	6,95	4,45	1,77	188,53
					Coefficiente de variación CV	10,76	64,02	6,37	61,19	20,39	14,63

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
6	186502752020180104-ECP 02-1	22,4	48,9	13,4	25,35	2458,22	421,27	17,43	2,99	3,48	501,56
7	186502752020180104-ECP 02-2	22,4	48,9	13,13	25,48	4192,23	897,77	30,96	6,63	4,94	626,61
8	186502752020180104-ECP 02-3	22,4	48,9	12,95	25,52	6043	370,78	45,88	2,82	6,95	660,01
9	186502752020180104-ECP 02-4	22,4	48,9	12,98	25,36	4462,04	661,1	33,72	5,00	5,72	589,35
10	186502752020180104-ECP 02-5	22,4	48,9	13,02	25,48	6218,14	452,83	46,70	3,40	6,92	674,99
					Promedio \bar{X}	4674,73	560,75	34,94	4,17	5,60	610,50
					Desviación estándar S_{n-1}	1536,66	218,43	12,06	1,62	1,46	69,25
					Coefficiente de variación CV	32,87	38,95	34,52	39,01	26,07	11,34



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
11	186502752020180104-ECP 03-1	22,5	48,3	13,12	25,44	4253,77	342,38	31,46	2,53	6,11	514,76
12	186502752020180104-ECP 03-2	22,5	48,3	13,22	25,67	3816,71	397,61	27,81	2,90	6,60	421,11
13	186502752020180104-ECP 03-4	22,5	48,3	13,3	25,74	2563,94	213	18,45	1,53	4,55	405,66
14	186502752020180104-ECP 03-5	22,5	48,3	13,1	26,35	3305,5	302,94	24,52	2,25	6,78	361,83
15	186502752020180104-ECP 03-7	22,5	48,3	13,3	25,7	3823,03	82,04	27,52	0,59	6,41	429,13
					Promedio \bar{X}	3552,59	267,59	25,95	1,96	6,09	426,50
					Desviación estándar S_{n-1}	646,73	123,65	4,86	0,91	0,90	55,77
					Coefficiente de variación CV	18,20	46,21	18,73	46,66	14,72	13,08

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
16	186502752020180104-ECP 04-1	23	47,1	13,07	25,12	1124,98	351,85	8,38	2,62	22,81	36,77
17	186502752020180104-ECP 04-3	23	47,1	13,06	25,71	818,88	206,69	6,11	1,54	20,39	29,98
18	186502752020180104-ECP 04-4	23	47,1	12,94	24,95	894,62	186,18	6,80	1,42	21,67	31,39
19	186502752020180104-ECP 04-6	23	47,1	13,13	26,11	1287,49	293,47	9,51	2,17	17,78	53,47
20	186502752020180104-ECP 04-7	23	47,1	12,98	25,48	880,42	257,18	6,65	1,94	18,80	35,39
					Promedio \bar{X}	1001,28	259,07	7,49	1,94	20,29	37,40
					Desviación estándar S_{n-1}	197,78	66,81	1,41	0,49	2,05	9,41
					Coefficiente de variación CV	19,75	25,79	18,81	25,14	10,09	25,15



Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
21	186502752020180104-ECP 05-1	25	42,6	12,96	25.65	1857,08	738,41	14,08	5,60	21.81	64.56
22	186502752020180104-ECP 05-2	25	42,6	13,09	25.82	1274,87	313,98	9,47	2,33	35.27	26.86
23	186502752020180104-ECP 05-3	25	42,6	12,9	25.78	2005,39	806,26	15,34	6,17	15.55	98.67
24	186502752020180104-ECP 05-6	25	42,6	12,92	25.75	1981,72	1435,8	15,12	10,95	16.42	92.04
25	186502752020180104-ECP 05-7	25	42,6	13,18	25.73	2399,84	1524,16	17,59	11,17	14.54	121.01
					Promedio \bar{X}	1903,78	963,72	14,32	7,24	20.72	80.63
					Desviación estándar S_{n-1}	406,26	508,59	3,00	3,78	8.61	36.18
					Coefficiente de variación CV	21,34	52,77	20,93	52,18	41.55	44.87

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
26	186502752020180104-ECP 06-1	24,5	42,7	12,14	25.50	1337,98	186,18	11,56	1,61	42.78	27.02
27	186502752020180104-ECP 06-2	24,5	42,7	12,79	25.03	1091,84	113,6	8,50	0,88	42.68	19.91
28	186502752020180104-ECP 06-3	24,5	42,7	12,77	25.56	1237	113,6	9,66	0,89	46.78	20.64
29	186502752020180104-ECP 06-5	24,5	42,7	12,88	25.58	1213,33	102,56	9,31	0,80	46.65	19.96
30	186502752020180104-ECP 06-7	24,5	42,7	12,8	25.45	1143,91	165,67	8,89	1,29	41.07	21.65
					Promedio \bar{X}	1204,81	136,32	9,61	1,09	43.99	21.84
					Desviación estándar S_{n-1}	93,96	37,15	1,18	0,35	2.58	2.98
					Coefficiente de variación CV	7,80	27,25	12,30	31,60	5.86	13.64



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
31	186502752020180104-ECP 07-1	21	48	12,97	25.85	4525,15	566,43	34,25	4,29	3.02	1133.63
32	186502752020180104-ECP 07-4	21	48	13,06	25.65	5312,47	310,83	39,66	2,32	4.69	846.26
33	186502752020180104-ECP 07-5	21	48	13,03	25.69	7018,08	422,85	52,63	3,17	4.76	1105.54
34	186502752020180104-ECP 07-6	21	48	13,23	25.85	5850,51	482,81	42,56	3,51	4.41	965.03
35	186502752020180104-ECP 07-7	21	48	13,18	26.04	6240,23	42,6	45,74	0,31	6.47	706.42
				Promedio \bar{X}		5789,29	365,10	42,97	2,72	4.67	951.38
				Desviación estándar S_{n-1}		941,07	202,90	6,86	1,52	1.23	179.04
				Coeficiente de variación CV		16,26	55,57	15,96	55,88	26.33	18.82

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
36	186502752020180104-ECP 08-1	21,3	49,9	13,24	25.59	2496,09	129,38	18,13	0,94	3.79	478.78
37	186502752020180104-ECP 08-2	21,3	49,9	13,06	25.89	3073,57	42,6	22,94	0,32	5.80	395.75
38	186502752020180104-ECP 08-3	21,3	49,9	13,26	25.69	2862,14	372,36	20,73	2,70	3.70	559.88
39	186502752020180104-ECP 08-4	21,3	49,9	13,23	25.72	2196,31	323,45	15,98	2,35	2.30	695.29
40	186502752020180104-ECP 08-5	21,3	49,9	12,91	25.9	3310,24	276,12	25,29	2,11	5.01	504.59
				Promedio \bar{X}		2787,67	228,78	20,61	1,68	4.12	526.86
				Desviación estándar S_{n-1}		445,84	138,17	3,71	1,01	1.34	111.19
				Coeficiente de variación CV		15,99	60,39	17,98	59,95	32.61	21.11



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
41	186502752020180104-ECP 09-1	21,2	49,7	13,17	25,68	1309,58	654,79	9,61	4,81	5,25	183,27
42	186502752020180104-ECP 09-3	21,2	49,7	13,21	25,45	1473,67	607,45	10,75	4,43	9,71	110,79
43	186502752020180104-ECP 09-4	21,2	49,7	13,31	25,65	1344,29	487,54	9,66	3,50	3,86	250,57
44	186502752020180104-ECP 09-5	21,2	49,7	13,2	25,73	1604,63	321,87	11,73	2,35	5,67	206,64
45	186502752020180104-ECP 09-6	21,2	49,7	13,35	25,46	1734,01	53,64	12,39	0,38	7,35	168,57
					Promedio \bar{X}	1493,24	425,06	10,83	3,10	6,37	183,97
					Desviación estándar S_{n-1}	177,96	244,21	1,23	1,79	2,24	51,34
					Coefficiente de variación CV	11,92	57,45	11,39	57,77	35,26	27,91

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
46	186502752020180104-ECP 10-3	21,5	50,6	13,2	25,81	910,39	407,07	6,65	2,97	19,07	34,88
47	186502752020180104-ECP 10-4	21,5	50,6	13,27	25,48	1042,93	449,67	7,54	3,25	29,84	25,27
48	186502752020180104-ECP 10-5	21,5	50,6	13,07	25,44	1025,57	369,21	7,64	2,75	20,94	36,50
49	186502752020180104-ECP 10-6	21,5	50,6	13,3	25,66	858,33	433,9	6,18	3,12	16,71	36,97
50	186502752020180104-ECP 10-7	21,5	50,6	13,13	25,4	1090,26	391,3	8,05	2,89	21,74	37,04
					Promedio \bar{X}	985,50	410,23	7,21	3,00	21,66	34,13
					Desviación estándar S_{n-1}	97,07	32,28	0,77	0,20	4,97	5,03
					Coefficiente de variación CV	9,85	7,87	10,70	6,52	22,93	14,74



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad	
				Diámetro	Longitud							
51	186502752020180104-ECP 11-1	21,9	50,1	13,15	25,83	1142,33	326,61	8,41	2,40	36,23	23,22	
52	186502752020180104-ECP 11-3	21,9	50,1	13,33	25,78	1240,16	378,67	8,89	2,71	32,14	27,65	
53	186502752020180104-ECP 11-4	21,9	50,1	13,11	25,81	949,84	302,94	7,04	2,24	31,93	22,04	
54	186502752020180104-ECP 11-5	21,9	50,1	13,23	25,79	1345,87	402,34	9,79	2,93	34,38	28,48	
55	186502752020180104-ECP 11-7	21,9	50,1	13,24	25,92	1101,31	380,25	8,00	2,76	28,22	28,34	
				Promedio \bar{X}		1155,90	358,16	8,42	2,61		32,58	25,94
				Desviación estándar S_{n-1}		149,01	41,55	1,02	0,28		3,01	3,07
				Coeficiente de variación CV		12,89	11,60	12,14	10,66		9,23	11,85

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad	
				Diámetro	Longitud							
56	186502752020180104-ECP 12-1	22,7	48,5	12,87	25,65	4129,12	515,94	31,74	3,97	2,61	1216,94	
57	186502752020180104-ECP 12-2	22,7	48,5	12,9	25,94	3523,24	419,7	26,96	3,21	2,31	1165,44	
58	186502752020180104-ECP 12-3	22,7	48,5	12,91	26,15	4578,8	547,5	34,98	4,18	2,80	1247,89	
59	186502752020180104-ECP 12-4	22,7	48,5	12,92	26,19	3526,4	337,65	26,90	2,58	2,78	967,65	
60	186502752020180104-ECP 12-5	22,7	48,5	13,02	25,87	5082,12	313,98	38,17	2,36	3,86	988,47	
				Promedio \bar{X}		4167,94	426,95	31,75	3,26		2,87	1117,28
				Desviación estándar S_{n-1}		676,99	103,97	4,95	0,81		0,59	130,66
				Coeficiente de variación CV		16,24	24,35	15,60	24,90		20,40	11,69



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
61	186502752020180104-ECP 13-1	22,7	48,4	13,1	25,96	3346,53	323,45	24,83	2,40	3,48	713,80
62	186502752020180104-ECP 13-2	22,7	48,4	12,93	25,83	3976,07	6,31	30,28	0,05	4,66	650,17
63	186502752020180104-ECP 13-3	22,7	48,4	13,03	25,85	3236,08	137,27	24,27	1,03	3,41	711,27
64	186502752020180104-ECP 13-4	22,7	48,4	13,05	25,85	3330,75	9,47	24,90	0,07	4,08	610,15
65	186502752020180104-ECP 13-5	22,7	48,4	13,15	26,06	4389,46	113,6	32,32	0,84	4,01	806,76
				Promedio \bar{X}		3655,78	118,02	27,32	0,88	3,93	698,43
				Desviación estándar S_{n-1}		504,55	129,28	3,71	0,96	0,51	74,60
				Coeficiente de variación CV		13,80	109,54	13,59	109,39	12,92	10,68

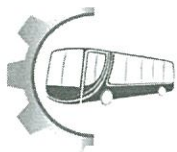
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
66	186502752020180104-ECP 14-1	22,3	48,7	13,13	25,76	1894,95	173,56	14,00	1,28	2,95	474,36
67	186502752020180104-ECP 14-2	22,3	48,7	13,12	26,02	975,08	97,82	7,21	0,72	3,43	210,15
68	186502752020180104-ECP 14-3	22,3	48,7	13,23	25,24	738,41	225,63	5,37	1,64	2,58	207,94
69	186502752020180104-ECP 14-5	22,3	48,7	13	25,70	1834,99	167,25	13,82	1,26	2,54	544,10
70	186502752020180104-ECP 14-6	22,3	48,7	12,98	25,78	1197,55	187,76	9,05	1,42	2,48	364,55
				Promedio \bar{X}		1328,20	170,40	9,89	1,27	2,80	360,22
				Desviación estándar S_{n-1}		516,64	46,47	3,89	0,34	0,40	152,13
				Coeficiente de variación CV		38,90	27,27	39,36	26,77	14,26	42,23



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
71	186502752020180104-ECP 15-1	22,4	49	13,3	25,57	1154,95	115,18	8,31	0,83	2,75	302,37
72	186502752020180104-ECP 15-3	22,4	49	13,18	25,87	1164,42	134,11	8,53	0,98	3,15	271,24
73	186502752020180104-ECP 15-4	22,4	49	13,32	25,8	1257,51	160,94	9,02	1,15	2,61	345,44
74	186502752020180104-ECP 15-5	22,4	49	13,29	25,62	1675,63	23,67	12,08	0,17	3,61	334,92
75	186502752020180104-ECP 15-7	22,4	49	13,19	25,62	872,53	108,87	6,39	0,80	3,14	203,48
					Promedio \bar{X}	1225,01	108,55	8,87	0,79	3,05	291,49
					Desviación estándar S_{n-1}	290,23	51,59	2,06	0,37	0,39	57,16
					Coefficiente de variación CV	23,69	47,53	23,19	47,36	12,79	19,61

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Esfuerzo máximo de compresión (MPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	% de deformación	Módulo de elasticidad
				Diámetro	Longitud						
76	186502752020180104-ECP 16-2	22,5	48,7	13,2	25,96	1047,66	29,98	7,66	0,22	3,74	204,47
77	186502752020180104-ECP 16-3	22,5	48,7	13,23	26,24	918,28	36,29	6,68	0,26	4,23	158,05
78	186502752020180104-ECP 16-4	22,5	48,7	13,05	25,92	1322,2	29,98	9,89	0,22	4,89	202,23
79	186502752020180104-ECP 16-5	22,5	48,7	13,24	25,78	1467,36	18,93	10,66	0,14	3,47	306,99
80	186502752020180104-ECP 16-6	22,5	48,7	13,21	26,16	937,22	17,35	6,84	0,13	4,05	168,76
					Promedio \bar{X}	1138,54	26,51	8,34	0,19	4,08	208,10
					Desviación estándar S_{n-1}	244,52	8,08	1,82	0,06	0,54	58,91
					Coefficiente de variación CV	21,48	30,48	21,81	30,64	13,20	23,31

**ANEXO 10: INFORME TÉCNICO DE
ENSAYO DE DUREZA**



LABORATORIO DE ANÁLISIS METALGRÁFICO
ENSAYO DE DUREZA DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 186502752020180104-EDRP

DATOS GENERALES

Datos informativos:

N° de proforma: AM_2018_001

Empresa / Cliente: Dirección de Investigación y Desarrollo - DIDE

RUC/C.I.: 1865027520001

Ciudad: Ambato.

Dirección: Av. Los Chasquis y Río Guayllabamba, Edif. Académico - UTA

Teléfono: 0983210017

Correo: sesp@uta.edu.ec

Datos del ensayo:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis Metalográfico.

Dirección: Ambato/Catiglatá. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo:

ASTM D785 Método de prueba estándar para Dureza Rockwell de plásticos y materiales de aislamiento eléctrico.

Tipo de ensayo: Cuantitativo.

Procedimiento: B.

Dirección de la prueba: Perpendicular.

Escala de dureza: Rockwell (R)

Carga: 60Kg.

Equipo utilizado:

Durómetro universal ERNST **Modelo:** NR3 DR. **Serie:** 4156 **Código Interno:** 20835

Fecha de Inicio de Ensayo: 21/03/2018 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 21/03/2018

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

OBJETOS DE ENSAYO

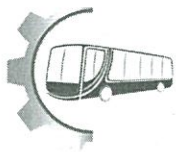
Número de Probetas cuantificadas

N	Identificación del grupo	Fracción Volumétrica	Orientación de partículas	Granulometría	Probetas a Ensayar
1	186502752020180104-EDRP 01	Tipo 0: 100%, Resina Poliéster.	0	0	5
2	186502752020180104- EDRP 02	Tipo A: 90% de resina poliéster, 10% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
3	186502752020180104- EDRP 03	Tipo B: 80% de resina poliéster, 20% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5

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

Fecha de entrega de Informe: 13 de abril de 2018

N°.Factura: 001-002-000004673



4	186502752020180104- EDRP 04	Tipo C: 70% de resina poliéster, 30% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
5	186502752020180104- EDRP 07	Tipo A: 90% de resina poliéster, 10% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
6	186502752020180104- EDRP 08	Tipo B: 80% de resina poliéster, 20% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
7	186502752020180104- EDRP 12	Tipo A: 90% de resina poliéster, 10% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
8	186502752020180104- EDRP 13	Tipo B: 80% de resina poliéster, 20% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
				Total	40

Nota: La fabricación de las probetas y su configuración, están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.

Observaciones: Se realizan 120 puntos de medición de dureza, en cada probeta 3 repeticiones.





Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm Espesor	Dureza Rockwell (R)			
					Medición 1	Medición 2	Medición 3	
1	186502752020180104-EDRP 01-1	22,8	49,8	5,60	122,6	121,7	122,0	122,10
2	186502752020180104-EDRP 01-2	22,8	49,8	5,66	122,4	123,8	121,8	122,67
3	186502752020180104-EDRP 01-3	22,8	49,8	5,66	119,3	119,9	118,8	119,33
4	186502752020180104-EDRP 01-4	22,8	49,8	5,64	121,0	122,0	121,2	121,40
5	186502752020180104-EDRP 01-5	22,8	49,8	5,59	121,0	117,8	118,6	119,13
					Promedio \bar{X}			120,93
					Desviación estándar S_{n-1}			1,61
					Coeficiente de variación CV			1,33

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm Espesor	Dureza Rockwell (R)			
					Medición 1	Medición 2	Medición 3	
6	186502752020180104-EDRP 02-1	23,7	49,4	6,37	104,1	103,7	105,4	104,40
7	186502752020180104-EDRP 02-2	23,7	49,4	6,72	103,0	106,5	104,0	104,50
8	186502752020180104-EDRP 02-3	23,7	49,4	6,35	108,9	105,4	105,3	106,53
9	186502752020180104-EDRP 02-4	23,7	49,4	6,25	105,5	105,7	106,8	106,00
10	186502752020180104-EDRP 02-5	23,7	49,4	6,22	102,7	105,6	105,6	104,63
					Promedio \bar{X}			105,21
					Desviación estándar S_{n-1}			0,98
					Coeficiente de variación CV			0,93



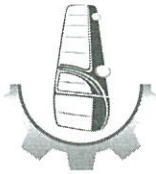
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm Espesor	Dureza Rockwell (R)			
					Medición 1	Medición 2	Medición 3	
11	186502752020180104-EDRP 03-1	23,9	49,2	6,29	51,3	47,4	49,8	49,50
12	186502752020180104-EDRP 03-2	23,9	49,2	6,38	47,1	51,6	47,3	48,67
13	186502752020180104-EDRP 03-3	23,9	49,2	6,71	52,9	45,3	55,2	51,13
14	186502752020180104-EDRP 03-4	23,9	49,2	6,68	61,6	63,7	52,5	59,27
15	186502752020180104-EDRP 03-5	23,9	49,2	6,58	52,9	45,7	45,5	48,03
					Promedio \bar{X}			51,32
					Desviación estándar S_{n-1}			4,59
					Coeficiente de variación CV			8,95

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm Espesor	Dureza Rockwell (R)			
					Medición 1	Medición 2	Medición 3	
16	186502752020180104-EDRP 04-1	24,0	49,1	5,65	22,4	18,5	20,5	20,47
17	186502752020180104-EDRP 04-2	24,0	49,1	5,61	16,9	17,5	13,3	15,90
18	186502752020180104-EDRP 04-3	24,0	49,1	5,64	15,4	22,5	17,5	18,47
19	186502752020180104-EDRP 04-4	24,0	49,1	5,57	17,9	16,2	14,3	16,13
20	186502752020180104-EDRP 04-5	24,0	49,1	5,64	15,7	13,9	12,6	14,07
					Promedio \bar{X}			17,01
					Desviación estándar S_{n-1}			2,49
					Coeficiente de variación CV			14,62



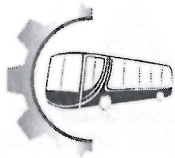
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm Espesor	Dureza Rockwell (R)			
					Medición 1	Medición 2	Medición 3	
31	186502752020180104-EDRP 07-1	24,6	49,1	6,18	101,4	101,0	100,0	100,80
32	186502752020180104-EDRP 07-2	24,6	49,1	6,16	99,3	94,6	100,2	98,03
33	186502752020180104-EDRP 07-3	24,6	49,1	6,22	107,6	101,6	95,9	101,70
34	186502752020180104-EDRP 07-4	24,6	49,1	6,24	96,5	96,4	104,2	99,03
35	186502752020180104-EDRP 07-5	24,6	49,1	6,20	99,1	111,0	101,4	103,83
					Promedio \bar{X}			100,68
					Desviación estándar S_{n-1}			2,28
					Coeficiente de variación CV			2,26

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm Espesor	Dureza Rockwell (R)			
					Medición 1	Medición 2	Medición 3	
36	186502752020180104-EDRP 08-1	24,9	47,9	5,71	42,9	48,1	48,8	46,60
37	186502752020180104-EDRP 08-2	24,9	47,9	5,66	43,7	46,5	46,5	45,57
38	186502752020180104-EDRP 08-3	24,9	47,9	5,72	23,4	26,3	26,3	25,33
39	186502752020180104-EDRP 08-4	24,9	47,9	5,71	28,6	26,9	26,9	27,47
40	186502752020180104-EDRP 08-5	24,9	47,9	5,75	34,9	39,5	39,5	37,97
					Promedio \bar{X}			36,59
					Desviación estándar S_{n-1}			9,91
					Coeficiente de variación CV			27,08



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm Espesor	Dureza Rockwell (R)		
					Medición 1	Medición 2	Medición 3
56	186502752020180104-EDRP 12-1	24,8	45,9	5,67	119,0	119,4	119,6
57	186502752020180104-EDRP 12-2	24,8	45,9	5,56	119,4	117,2	120,0
58	186502752020180104-EDRP 12-3	24,8	45,9	5,66	122,3	117,1	116,1
59	186502752020180104-EDRP 12-4	24,8	45,9	5,68	121,4	109,8	121,8
60	186502752020180104-EDRP 12-5	24,8	45,9	5,63	120,1	117,6	118,7
					Promedio \bar{X}		
					Desviación estándar S_{n-1}		
					Coeficiente de variación CV		

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm Espesor	Dureza Rockwell (R)		
					Medición 1	Medición 2	Medición 3
61	186502752020180104-EDRP 13-1	24,7	46,4	4,80	74,5	76,1	79,2
62	186502752020180104-EDRP 13-2	24,7	46,4	4,77	62,9	64,8	64,8
63	186502752020180104-EDRP 13-3	24,7	46,4	4,83	84,0	86,3	84,0
64	186502752020180104-EDRP 13-4	24,7	46,4	4,64	76,4	87,6	92,6
65	186502752020180104-EDRP 13-5	24,7	46,4	5,03	79,3	96,5	95,5
					Promedio \bar{X}		
					Desviación estándar S_{n-1}		
					Coeficiente de variación CV		



LABORATORIO DE ANÁLISIS METALGRÁFICO
ENSAYO DE DUREZA SHORE PARA ELASTÓMEROS
INFORME DE RESULTADOS N°: 186502752020180523

DATOS GENERALES

Datos informativos:

N° de proforma: AM_2018_007

Empresa / Cliente: Dirección de Investigación y Desarrollo - DIDE

RUC/C.I.: 1865027520001

Ciudad: Ambato

Dirección: Av. Los Chasquis y Río Guayllabamba, Edif. Académico - UTA

Teléfono: 0983210017

Correo: sespín@uta.edu.ec

Datos del ensayo:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.

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

Método de ensayo: ASTM D2240: Método de prueba estándar para propiedades de caucho - Dureza.

Tipo de ensayo: Cuantitativo.

Equipo utilizado: Durómetro Shore **Tipo:** A **Número de serie:** 15122017

Medio de prueba: Manual

Intervalo de tiempo de indentación: 1 segundo

Fecha de Inicio de Ensayo: 21/05/2018 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 21/05/2018

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

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas.

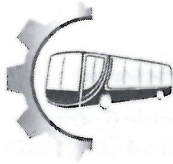
N°	Identificación del grupo	Fracción Volumétrica	Orientación de partículas	Granulometría	Probetas a Ensayar
1	186502752020180523-EDRP 05	Tipo D: 65% de resina poliéster, 35% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
2	186502752020180523-EDRP 06	Tipo E: 60% de resina poliéster, 40% particulado de caucho.	Aleatoria	G1	5
3	186502752020180523-EDRP 09	Tipo C: 70% de resina poliéster, 30% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
4	186502752020180523-EDRP 10	Tipo D: 65% de resina poliéster, 35% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg.	Ing. Esteban López Espinel MEng
Analista Técnico Área de Diseño y Desarrollo CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Fecha de emisión de Informe: Ambato, 23 de mayo de 2018

N° Factura: Asesoría técnica a Instituciones de Educación Superior (DIDE 2018-001)

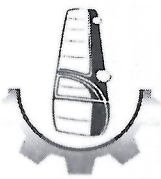




5	186502752020180523-EDRP 11	Tipo E: 60% de resina poliéster, 40% particulado de caucho.	Aleatoria	G2	5
6	186502752020180523-EDRP 14	Tipo C: 70% de resina poliéster, 30% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
7	186502752020180523-EDRP 15	Tipo D: 65% de resina poliéster, 35% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
8	186502752020180523-EDRP 16	Tipo E: 60% de resina poliéster, 40% particulado de caucho.	Aleatoria	G3	5
Total					40

Nota: La fabricación de las probetas y su configuración, están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.

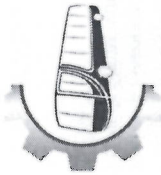
Observaciones: Se realizan 120 puntos de medición de dureza, en cada probeta 3 repeticiones.



Resultados:

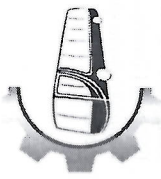
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Dureza SHORE (A)			
				Esesor	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición promedio	
21	186502752020180523-EDRP 05-1	22,6	56,6	5,58	96,5	94,0	92,5	94,33	
22	186502752020180523-EDRP 05-2	22,6	56,6	5,69	92,5	97,0	96,0	95,17	
23	186502752020180523-EDRP 05-3	22,6	56,6	5,73	89,0	84,5	90,0	87,83	
24	186502752020180523-EDRP 05-4	22,6	56,6	5,75	91,0	93,0	92,5	92,17	
25	186502752020180523-EDRP 05-5	22,6	56,6	5,78	89,0	92,5	92,5	91,33	
						Promedio \bar{X}			92,17
						Desviación estándar S_{n-1}			2,88
						Coeficiente de variación CV			3,12

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Dureza SHORE (A)			
				Esesor	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición promedio	
26	186502752020180523-EDRP 06-1	22,3	57,1	5,84	96,5	97,0	97,5	97,00	
27	186502752020180523-EDRP 06-2	22,3	57,1	5,72	97,0	97,5	97,5	97,33	
28	186502752020180523-EDRP 06-3	22,3	57,1	5,56	94,0	96,5	96,5	95,67	
29	186502752020180523-EDRP 06-4	22,3	57,1	5,59	97,0	96,0	95,5	96,17	
30	186502752020180523-EDRP 06-5	22,3	57,1	5,88	96,0	96,0	96,5	96,17	
						Promedio \bar{X}			96,47
						Desviación estándar S_{n-1}			0,68
						Coeficiente de variación CV			0,71



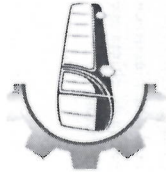
Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Dureza SHORE (A)		
				Esesor	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición promedio
41	186502752020180104-EDRP 09-1	22,2	57,2	5,91	98,5	99,0	98,5	98,67
42	186502752020180104-EDRP 09-2	22,2	57,2	5,81	96,5	98,0	97,5	97,33
43	186502752020180104-EDRP 09-3	22,2	57,2	5,82	98,0	96,5	98,5	97,67
44	186502752020180104-EDRP 09-4	22,2	57,2	5,87	97,5	97,0	97,0	97,17
45	186502752020180104-EDRP 09-5	22,2	57,2	5,85	98,0	94,5	98,5	97,00
					Promedio \bar{X}			
					Desviación estándar S_{n-1}			
					Coeficiente de variación CV			

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Dureza SHORE (A)		
				Esesor	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición promedio
46	186502752020180104-EDRP 10-1	22,2	56,2	6,11	96,5	92,5	91,5	93,50
47	186502752020180104-EDRP 10-2	22,2	56,2	6,22	97,0	97,0	97,0	97,00
48	186502752020180104-EDRP 10-3	22,2	56,2	6,02	91,5	93,0	91,0	91,83
49	186502752020180104-EDRP 10-4	22,2	56,2	6,04	95,0	95,0	97,0	95,67
50	186502752020180104-EDRP 10-5	22,2	56,2	6,23	96,0	94,5	96,0	95,50
					Promedio \bar{X}			
					Desviación estándar S_{n-1}			
					Coeficiente de variación CV			



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Dureza SHORE (A)				
				Esesor	Humedad Relativa (%)	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición promedio	
51	186502752020180104-EDRP 11-1	22,1	57,5	6,29	57,5	91,5	97,0	97,0	95,17	
52	186502752020180104-EDRP 11-2	22,1	57,5	6,16	57,5	95,0	96,5	96,5	96,00	
53	186502752020180104-EDRP 11-3	22,1	57,5	6,05	57,5	93,5	96,5	95,5	95,17	
54	186502752020180104-EDRP 11-4	22,1	57,5	6,04	57,5	97,5	96,0	95,0	96,17	
55	186502752020180104-EDRP 11-5	22,1	57,5	6,13	57,5	96,0	96,5	94,0	95,50	
						Promedio \bar{X}			95,60	
						Desviación estándar S_{n-1}			0,47	
						Coeficiente de variación CV			0,49	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Dureza SHORE (A)				
				Esesor	Humedad Relativa (%)	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición promedio	
66	186502752020180104-EDRP 14-1	22,1	55,9	5,69	55,9	98,5	97,0	97,5	97,67	
67	186502752020180104-EDRP 14-2	22,1	55,9	5,73	55,9	98,0	97,0	98,5	97,83	
68	186502752020180104-EDRP 14-3	22,1	55,9	5,83	55,9	95,5	94,5	96,0	95,33	
69	186502752020180104-EDRP 14-4	22,1	55,9	5,75	55,9	95,5	96,5	93,0	95,00	
70	186502752020180104-EDRP 14-5	22,1	55,9	5,66	55,9	97,0	98,0	95,5	96,83	
						Promedio \bar{X}			96,53	
						Desviación estándar S_{n-1}			1,31	
						Coeficiente de variación CV			1,36	

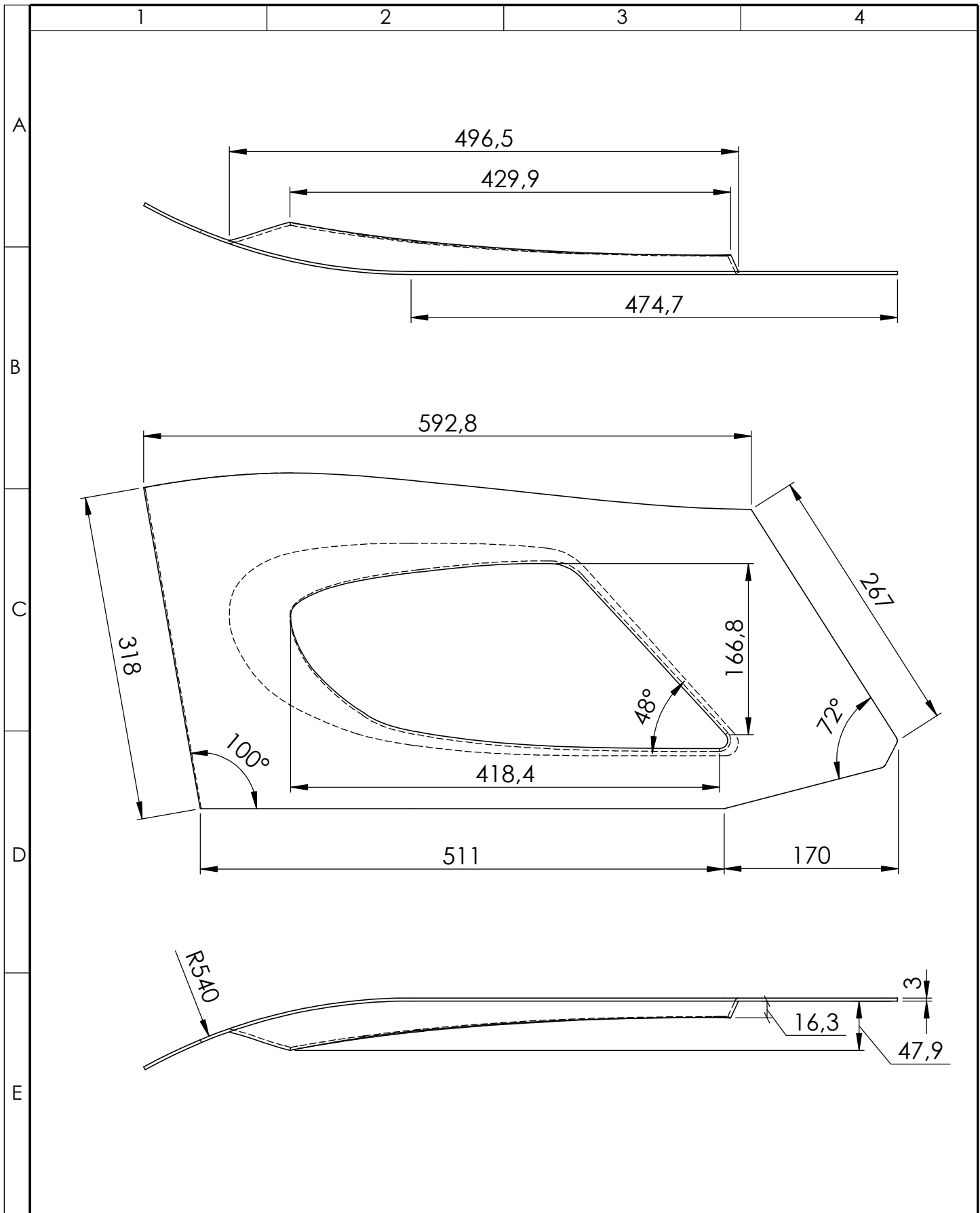


Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm Espesor	Dureza SHORE (A)			
					Medición 1	Medición 2	Medición 3	
71	186502752020180104-EDRP 15-1	22,6	55,5	5,97	92,0	94,5	91,5	92,67
72	186502752020180104-EDRP 15-2	22,6	55,5	5,98	92,5	93,5	90,5	92,17
73	186502752020180104-EDRP 15-3	22,6	55,5	6,03	95,5	91,0	95,5	94,00
74	186502752020180104-EDRP 15-4	22,6	55,5	5,94	96,0	96,5	95,0	95,83
75	186502752020180104-EDRP 15-5	22,6	55,5	6,03	96,5	95,0	94,5	95,33
					Promedio \bar{X}			94,00
					Desviación estándar S_{n-1}			1,60
					Coeficiente de variación CV			1,71

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm Espesor	Dureza SHORE (A)			
					Medición 1	Medición 2	Medición 3	
76	186502752020180104-EDRP 16-1	22,1	55,8	6,86	97,0	96,5	97,5	97,00
77	186502752020180104-EDRP 16-2	22,1	55,8	7,01	98,0	98,0	98,0	98,00
78	186502752020180104-EDRP 16-3	22,1	55,8	6,89	98,0	97,5	98,0	97,83
79	186502752020180104-EDRP 16-4	22,1	55,8	6,63	97,5	98,0	97,0	97,50
80	186502752020180104-EDRP 16-5	22,1	55,8	6,53	97,0	95,0	95,5	95,83
					Promedio \bar{X}			97,23
					Desviación estándar S_{n-1}			0,87
					Coeficiente de variación CV			0,90

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.

ANEXO 11: PLANO CERCO DE FARO



				TOLERANCIA: ±1	PESO: 485.19 g	MATERIAL: G1+30%+C	
						TÍTULO: CERCO DE FARO	ESCALA: 1:5
				FECHA	NOMBRE		
				DIBUJÓ: 05/08/2018	CAROLINA ACOSTA		
				REVISÓ: 21/08/2018	ING. SEGUNDO ESPÍN		
				APROBÓ: 21/08/2018	ING. SEGUNDO ESPÍN		
				U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA HOJA 1 DE 1	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	

