



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES.”

AUTOR: Edison Fernando Lalaleo Galarza.

TUTOR: Ing. Juan Paredes, Mg.

AMBATO-ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN.

En mi calidad de tutor del trabajo experimental “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES.” Trabajo elaborado por el egresado Edison Fernando Lalaleo Galarza. CERTIFICO que el trabajo de investigación fue elaborado en su totalidad por el autor y ha sido concluida bajo el plan de tesis aprobada.

Ambato, Agosto del 2016.

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

TUTOR.

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TESIS.

Yo, Edison Fernando Lalaleo Galarza con C.I. # 180444727-2 declaro que los resultados obtenidos y expuestos en el presente trabajo de investigación con el tema, "CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES", son absolutamente de mi autoría; a excepción de las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente trabajo de investigación.

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación así como también los contenidos, ensayos realizados, análisis, conclusiones, recomendaciones y propuestas son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor del presente trabajo de investigación.

Ambato, Agosto del 2016.

.....

Edison Fernando Lalaleo Galarza.

C.I. 180444727-2.

AUTOR.

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga este Proyecto Experimental parte de él, un documento para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi Proyecto Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento 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 del 2016.

.....

Edisson Fernando Lalaleo Galarza.

C.I. 180444727-2.

AUTOR.

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Experimental realizado por el estudiante Edison Fernando Lalaleo Galarza de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el Tema: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”

Ambato, Noviembre de 2016.

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg. César Arroba

Ing. Mg. Diego Nuñez

DEDICATORIA.

Este trabajo de investigación se lo dedico a mi Madre Carmita que siempre cuida y guía mis pasos. A mi padre Marcelino por estar pendiente de los sucesos de mi existencia. Mis queridos padres, personas que me dieron la vida y me sembraron la semilla del Amor, Aprendizaje y de la Superación.

Esta tesis es dedicada para el amor de mi vida, mi Esposa Jeanette, gracias a usted por su paciencia, por su comprensión, por su fuerza, por su amor. En realidad ella me provee de muchas fuerzas para conseguir el equilibrio que me permita dar el máximo de mí. Mis palabras sé que no bastan para decirte cuanto te amo.

A mis primos: Fabián, Paul Sailema Lalaleo, Vinicio Galarza Villares quienes han formado parte de la realización del presente Trabajo.

A mis amigos: Robinson Avilés, Alex Yanzapanta, Cristian Velastegui, Carlos Chávez, Paul Quispe, con quienes hemos compartido momentos alegres y ante cualquier adversidad hemos salido adelante.

Edisson Fernando Lalaleo Galarza.

AGRADECIMIENTO.

A Dios nuestro padre celestial por haberme dado el ser, el entendimiento, la salud, alegría e inspiración, para lograr terminar con éxito este trabajo investigativo.

De una manera especial también a todas las autoridades y cuerpo docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, quienes hicieron posible la realización de mi tesis, y a su vez marcaron el camino para lograr terminarlo con éxito.

Al Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua por facilitar sus instalaciones y equipos para llevar a cabo mi proyecto con éxito.

A mi director de tesis Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas. Mg, quien de una manera desinteresada guio con su experiencia y conocimiento el desarrollo del presente trabajo investigativo.

Al Ing. Diego Nuñez. Mg y al Ing. César Arroba. Mg, por los conocimientos impartidos que fueron de gran aporte para la realización de mi tesis.

Gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TESIS.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN.....	XXIV
SUMMARY.....	XXV
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. GENERAL.....	4
1.4.2. ESPECÍFICOS.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. FUNDAMENTACIÓN.....	6
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1.1. INGENIERÍA DE MATERIALES.....	6

2.1.2. MATERIALES COMPUESTOS.....	7
2.1.2.1. Definición.....	7
2.1.2.2. Clasificación de los materiales compuestos.....	7
2.1.2.3. Componentes de los materiales compuestos.....	8
2.1.3. MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ.....	9
2.1.3.1. Matriz y refuerzo.....	9
2.1.3.2. Interfaz.....	9
2.1.3.3. Matrices poliméricas.....	10
2.1.3.4. Resina poliéster.....	12
2.1.3.5. Refuerzo con fibra.....	16
2.1.3.6 Fibras.....	20
2.1.3.7. Cascarilla de arroz.....	22
2.1.4. MANUFACTURA DE LOS MATERIALES COMPUESTO.....	23
2.1.4.1. Estratificación manual.....	23
2.1.4.2. Moldeo por compresión.....	24
2.1.5. RESISTENCIA DE MATERIALES.....	25
2.1.5.1. Ensayo de tracción.....	25
2.1.5.2. Ensayo de flexión.....	29
2.1.5.3. Ensayo de Impacto.....	32
2.1.5.4. Microscopia electrónica.....	33

2.1.5.5. Método Gravimétrico.....	35
2.2 HIPÓTESIS.....	36
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	36
2.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	36
2.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	36
2.3.3 TÉRMINO DE RELACIÓN.....	36
CAPÍTULO III.....	37
3. METODOLOGÍA.....	37
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.1.1. DESCRIPTIVO.....	37
3.1.2. EXPLICATIVO.....	37
3.1.3. EXPLORATORIA.....	37
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	38
3.2.1. POBLACIÓN.....	38
3.2.2. MUESTRA.....	38
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	39
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	41
3.4.1. DOCUMENTAL.....	41
3.4.2. OBSERVACIÓN.....	41
3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	41
3.5.1. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA.....	41

3.5.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	41
CAPÍTULO IV.....	42
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.	42
4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	42
4.1.1. ENSAYOS PRELIMINARES DEL MATERIAL EMPLEADO PARA LA MANUFACTURA DE CIELO RASO.	42
4.1.1.1. Ensayo a tracción del cielo raso importado de yeso.	43
4.1.1.2. Ensayo a flexión del cielo raso importado de yeso.	46
4.1.1.3. Ensayo a Impacto del cielo raso importado de yeso.	48
4.2. RECOLECCIÓN DE DATOS.	50
4.2.1. OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA "CASCARILLA DE ARROZ" ..	50
4.2.1.1. Propiedades físicas de la cascarilla de Arroz.	51
4.2.1.2. Eliminación de Impurezas de la cascarilla de arroz.	51
4.2.1.3. Materiales y Herramientas para la manufactura del material compuesto (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).....	52
4.2.2. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE CONFORMADO DEL MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER + CASCARILLA DE ARROZ).....	53
4.2.2.1. Determinación de densidad de la resina poliéster.	53
4.2.2.2. Determinación de densidad de cascarilla de arroz.	54
4.2.2.3. Configuración del refuerzo del material compuesto en estudio.....	55
4.2.2.4. Determinación de la fracción volumétrica del refuerzo y matriz a utilizar para los ensayos mecánicos.....	56

4.2.2.5. Determinación del tipo de estratificación para la obtención del material compuesto.	66
4.2.3. ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LAS POSIBLES COMBINACIONES Y NÚMERO DE PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ.	68
4.2.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DEL MOLDE.	69
4.2.5. OBTENCIÓN DE PROBETAS MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN MANUAL Y COMPRESIÓN (RESINA POLIÉSTER+ CASCARILLA DE ARROZ).	70
4.2.5.1. Elaboración de probetas mediante estratificación manual (resina poliéster + cascarilla de arroz).	70
4.2.5.2. Elaboración de probetas mediante estratificación a compresión (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).	72
4.2.5.3. Corte de las probetas del material compuesto para los ensayos mecánicos..	72
4.2.6. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER + CASCARILLA DE ARROZ).	77
4.2.6.1. Ensayo a Tracción.	77
4.2.6.2. Ensayo a Flexión.	92
4.2.6.3. Ensayo a impacto.	106
4.2.6.4. Ensayo de adherencia entre matriz-refuerzo.	122
4.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	127
4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.	134
CAPÍTULO V	135
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	135

5.1 CONCLUSIONES.....	135
5.2 RECOMENDACIONES.....	136
BIBLIOGRAFÍA.....	138
ANEXOS.....	140

ÍNDICE DE FICHAS

Ficha Técnica 4.1. Recolección de datos: Ensayo a Tracción-Cielo Raso Importado de Yeso.....	45
Ficha Técnica 4.2. Recolección de datos: Ensayo a Flexión-Cielo Raso Importado de Yeso.....	47
Ficha Técnica 4.3. Recolección de datos: Ensayo a Impacto-Cielo Raso Importado de Yeso.....	49
Ficha Técnica 4.4. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-12%.	80
Ficha Técnica 4.5. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-14,5%.	81
Ficha Técnica 4.6. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-17%.	82
Ficha Técnica 4.7. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-12%.	83
Ficha Técnica 4.8. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-14,5%.	84
Ficha Técnica 4.9. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-17%.	85
Ficha Técnica 4.10. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-12%.....	86
Ficha Técnica 4.11. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-14,5%.	87

Ficha Técnica 4.12. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-17%.....	88
Ficha Técnica 4.13. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-12%.....	89
Ficha Técnica 4.14. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-14.5%.....	90
Ficha Técnica 4.15. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-17%.....	91
Ficha Técnica 4.16. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-12%.....	94
Ficha Técnica 4.17. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-14,5%.....	95
Ficha Técnica 4.18. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-17%.....	96
Ficha Técnica 4.19. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-12%.....	97
Ficha Técnica 4.20. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-14,5%.....	98
Ficha Técnica 4.21. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-17%.....	99
Ficha Técnica 4.22. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-12%.....	100
Ficha Técnica 4.23. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-14,5%.....	101

Ficha Técnica 4.24. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-17%.....	102
Ficha Técnica 4.25. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-12%.....	103
Ficha Técnica 4.26. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-14,5%.....	104
Ficha Técnica 4.27. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-17%.....	105
Ficha Técnica 4.28. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-12%.....	108
Ficha Técnica 4.29. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-14,5%.....	109
Ficha Técnica 4.30. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-17%.....	110
Ficha Técnica 4.31. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-12%.....	111
Ficha Técnica 4.32. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-14,5%.....	112
Ficha Técnica 4.33. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-17%.....	113
Ficha Técnica 4.34. Resumen de datos del material compuesto: CA-Tipo A.....	114
Ficha Técnica 4.35. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-12%.....	115
Ficha Técnica 4.36. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-14,5%.....	116

Ficha Técnica 4.37. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-17%	117
Ficha Técnica 4.38. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-12%	118
Ficha Técnica 4.39. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-14,5%	119
Ficha Técnica 4.40. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-17%	120
Ficha Técnica 4.41. Resumen de datos del material compuesto: TIPO B-CA.	121
Ficha Técnica 4.42. Ensayo de Fractografía del Material Compuesto.(Fuente: Realizado por el Autor)	123
Ficha Técnica 4.43. Evaluación de resultados a tracción del material compuesto (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).	124
Ficha Técnica 4.44. Evaluación de resultados a tracción del material compuesto (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).	125
Ficha Técnica 4.45. Evaluación de resultados a tracción del material compuesto (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).	126
Ficha Técnica 4.46. Análisis de resultados a tracción de tres tipos de materiales... 127	
Ficha Técnica 4.47. Análisis de resultados a tracción de tres tipos de materiales... 128	
Ficha Técnica 4.48. Análisis de resultados a tracción de tres tipos de materiales... 129	
Ficha Técnica 4.49. Interpretación de resultados de las distintas propiedades.	130
Ficha Técnica 4.50. Simulación del Ensayo a Tracción del Material Compuesto... 133	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Clasificación de materiales compuestos.	8
Figura 2.2. Configuración básica de un material compuesto.	8
Figura 2.3. Estructura molecular matriz termoplástico.	11
Figura 2.4. Estructura molecular matriz termoestable.	11
Figura 2.5 Estructura molecular matriz elastómera.	12
Figura 2.6. Composición química resina viniléster.	15
Figura 2.7. Composición química resina isoftálica.	15
Figura 2.8. Refuerzo con fibra: Alambres, Fibras y Whiskers.	16
Figura 2.9 Orientación de la fibra: a) continua y alineada, b) discontinua y alineada, c) discontinua aleatoria.	17
Figura 2.10 Efecto de la orientación de la fibra vs resistencia a la tensión de compuesto epóxicos reforzados con fibra de vidrio. a) Unidireccional, b) Isotrópico de capas cruzadas.	17
Figura 2.11 Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión.	18
Figura 2.12 Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra.	19
Figura 2.13 Estructura química de la celulosa.	21
Figura 2.14. Cascarilla de Arroz.	22

Figura 2.15. Fabricación de un domo por estratificación manual.....	24
Figura 2.16. Moldeo por compresión de fibra de carbono.....	25
Figura 2.17. Metrotec Serie MTE50: Máquina de Ensayos Universales de hasta 50 KN para materiales polímeros, cerámicos, compuestos,	26
Figura 2.18. La deformación localizada de un material dúctil durante una prueba de tensión.	27
Figura 2.19. a) Unión de átomos correspondiente a la energía interatómica, b) Curva fuerza-distancia para dos materiales, que muestra la relación entre el enlace atómico y el módulo de elasticidad.....	28
Figura 2.20. Configuración de carga a flexión en tres puntos. (ASTM D7264/D7264M-07).	30
Figura 2.21. Ensayo de Flexión basada en la norma (ASTM D7264/D7264M-07)..	30
Figura 2.22. Máquina de impacto por caída de dardo.....	32
Figura 2.23. Esquema de funcionamiento del microscopio electrónico de barrido..	34
Figura 2.24. Adherencia fibra-matriz.....	35
Figura 4.1. Probetas ensayadas a Tracción-ASTM D3039.....	44
Figura 4.2. Máquina de Impacto por caída de dardo para polímeros.....	48
Figura 4.3. Separación de impurezas.	52
Figura 4.4. Determinación de la densidad del cuerpo sólido de Resina Poliéster, Método Gravimétrico (densidad = 1.27 gr/cc).....	54
Figura 4.5. Determinación de la densidad de la cascarilla de arroz, Método Gravimétrico (densidad = 0.75 gr/cc).	55
Figura 4.6. Espacio para el moldeo.....	57

Figura 4.7. Tipos de estratificación: a) Estratificación manual, b) Estratificación a compresión.	67
Figura 4.8. Estratificación a Compresión del Material Compuesto.	72
Figura 4.9. Curado del material compuesto (RP+CA) con un lapso de tiempo de 10 días.	73
Figura 4.10. Corte de probetas para ensayo a tracción (Norma ASTM D3039-14). .	74
Figura 4.11. Corte de probetas para ensayo a flexión (Norma ASTM D7264-07)...	75
Figura 4.12. Corte de probetas para ensayo a impacto (Norma ASTM D5628-10). .	76
Figura 4.13. Probetas para ensayo a tracción con cinta de lija (56x25mm).....	77
Figura 4.14. Probetas para ensayo a flexión.	92
Figura 4.15. Probetas ensayadas a Flexión-ASTM D7264.	93
Figura 4.16. Máquina de Impacto por caída de dardo para polímeros.....	106
Figura 4.17. Probeta ensayada a Impacto-ASTM D5628.	107
Figura 4.18. Ensayo de adherencia fibra-matriz.	122
Figura 4.19. Geometría y mallado de la probeta a tracción.	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de resinas de poliéster más utilizados.	13
Tabla 2. Propiedades mecánicas de la Resina Poliéster.	14
Tabla 3: Fibras naturales.	20
Tabla 4: Composición química en porcentaje de fibras vegetales.	21
Tabla 5: Ventajas y limitaciones de la microscopia electrónica de barrido.	34
Tabla 6: Combinaciones del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz para ensayos mecánicos.	38
Tabla 7: Variable Independiente.	39
Tabla 8: Variable Dependiente.....	40
Tabla 9: Producción de Arroz	50
Tabla 10: Propiedades y Características Físicas.	51
Tabla 11: Propiedades y Características Químicas.	51
Tabla 12: Materiales y Herramientas para la Manufactura del Material Compuesto.	52
Tabla 13. Determinación de densidad de la cascarilla de arroz.	55
Tabla 14: Configuración del refuerzo del material compuesto.	56
Tabla 15: Fracciones volumétricas del refuerzo (cascarilla de arroz).....	56
Tabla 16: Resumen de los constituyentes del material compuesto: resina poliéster + cascarilla de Arroz.....	66
Tabla 17: Ventajas y Limitaciones de la estratificación manual.....	67
Tabla 18: Ventajas y Limitaciones de la estratificación a compresión.	67

Tabla 19: Combinaciones del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz para ensayos mecánicos.	68
Tabla 20: Construcción del molde.	69
Tabla 21: Manufactura de Probetas mediante Estratificación Manual.	70
Tabla 22: Dimensiones de Probetas de acuerdo a la normativa ASTM-D.	73
Tabla 23: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación manual.	73
Tabla 24: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación a compresión.	74
Tabla 25: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación manual.	75
Tabla 26: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación a compresión.	75
Tabla 27: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación manual.	76
Tabla 28: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación a compresión.	76
Tabla 29: Especificaciones Técnicas del Ensayo a Impacto.	107
Tabla 30. Parámetros de ingreso empleados en el Microscopio Electrónico de Barrido TESCAN.	122
Tabla 31. Propiedades mecánicas del material compuesto Tipo B a Compresión...	131

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Propiedades de la resina poliéster.	142
Anexo 2. Informe técnico de ensayos mecánicos (tracción-flexión) del cielo raso importado de yeso	143
Anexo 3. Informe técnico de ensayos mecánicos (tracción-flexión) del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz.....	145
Anexo 4. Planos.	146

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

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES.

Autor: Edison Fernando Lalaleo Galarza.

Tutor: Ing. Juan Paredes. Mg.

RESUMEN.

La presente investigación se basa en la caracterización del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz, se tomaron diferentes tipos de estratificación (manual-compresión) y fracción volumétrica con el fin de obtener el mejor material que contenga óptimas propiedades mecánicas.

Para el desarrollo del nuevo material se requirió realizar diferentes ensayos mecánicos, específicamente Tracción, Flexión, Impacto y Fractografía, que fueron indispensables para determinar los parámetros de evaluación de caracterización del material compuesto, tipo de estratificación (manual-compresión) y fracciones volumétricas.

Los resultados revelan que el material compuesto Tipo B de estratificación a compresión, presenta una resistencia a la Tracción superior a la de Cielo raso de yeso. Es decir de acuerdo con los ensayos de Tracción el Cielo raso de yeso puede ser reemplazado por el material compuesto Tipo B de. El módulo de elasticidad a tracción del compuesto Tipo B de estratificación a compresión fue de 7955 MPa, que corresponde a una mejoría del 65% respecto al del Cielo raso de yeso.

Palabras claves: Material Compuesto, Tracción, Flexión, Impacto, Fractografía, Estratificación manual-compresión, fracción volumétrica.

AMBATO TECHNICAL UNIVERSITY.
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS
MECHANICAL ENGINEERING CAREER

CHARACTERIZATION MECHANICS MATRIX COMPOSITE REINFORCED
RICE HUSKS TO DETERMINE THE MECHANICAL PROPERTIES IN
INDUSTRIAL APPLICATIONS.

Author: Edison Fernando Lalaleo Galarza.

Advisor: Ing. Juan Paredes. Mg.

SUMMARY

This research is based on the characterization of matrix composite material reinforced polyester rice hull, different types of stratification (manual-compression) and volume fraction in order to obtain the best material containing optimum mechanical properties were taken.

The development of the new material was required to perform different mechanical test, specifically Tensile, Bending, Impact and Fractography; which they were indispensable to determine the parameters for assessing characterization of composite material, type of stratification (manual-compression) and volume fractions.

The results show that Type B composite of compression lamination has a tensile strength superior to that of gypsum ceiling. In other words, according to the traction tests the gypsum ceiling can be replaced by the Type B composite. The tensile modulus of compressive stratification Type B composite was 7955 MPa, corresponding to a 65% improvement over that of gypsum ceiling.

Keywords: Composite materials, Tensile, Bending, Impact, Fractography, Stratification manual-compression, Volume fraction.

CAPÍTULO I.

1. ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.

“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES.”

1.2. ANTECEDENTES.

En las Actas del XI Congreso Nacional de Materiales Compuestos de Julio de 2015 perteneciente a la Asociación Española de Materiales Compuestos (AEMAC) se enuncian investigaciones de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica. Como por ejemplo la investigación desarrollada por A. de la Calle, S. García-Arrieta, C. Elizetxea, de Composites termoplásticos de fibra continua obtenidos mediante T-RTM, cuyo objetivo es la fabricación y posterior caracterización, de composites termoplásticos. Esto se ha conseguido mediante la incorporación de fibra continua (tejido 0/90) a la Poliamida 6 (PA 6) aniónica, lo que ha permitido obtener unos materiales con unas elevadas propiedades mecánicas. En lo que a propiedades mecánicas se refiere, la matriz de poliamida 6 libre de humedad posee un módulo a tracción de 3 GPa, mientras que, por ejemplo, el empleo de un 48% en volumen de fibra de carbono, este módulo puede alcanzar los 50 GPa.[1]

Un estudio similar desarrollado por M. Sánchez-Soto, T. Abt, J. L. Múgica, en la Universidad Politécnica de Cataluña, con el proyecto Fabricación y caracterización de paneles sándwich polipropileno/polipropileno autoreforzado, donde se ha estudiado

las propiedades de paneles tipo sándwich constituidos por un núcleo de polipropileno copolímero, eventualmente espumado, unido a dos laminas hechas con fibras de polipropileno. La caracterización mecánica muestra que la presencia del polipropileno auto reforzado incrementa notablemente las propiedades en flexión. Bajo condiciones de impacto a temperatura ambiente se observarán diferentes tipos de fallo básicamente por rotura del núcleo o delaminación, resultando estas últimas en los menores valores de energías de impacto.[1]

En el Departamento Construcciones Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Valencia, realizado por A. Navarro Muedra, F. Segovia López, O. Sahuquillo, en el presente trabajo, Análisis y caracterización mecánica de nueva resina vinilester-poliuretano en laminados de alto gramaje con vidrio E, para su utilización en estructuras de edificación, se enfoca en la caracterización de material composite elaborado con novedosa resina base vinilester-uretano (VU) y tejido bidireccional de alto gramaje con fibra de vidrio E, de potencial aplicación en ingeniería civil: refuerzo para hormigón a modo de armadura pasiva, o para estructura de madera en uso; y en ingeniería química y naval ya que estas resinas presentan buena resistencia mecánica y mayor tenacidad que otras resinas de poliéster. Se han evaluado las características mecánicas de laminados compuestos a flexión, cizalladura interlaminar y tenacidad a la fractura en modo II. Los resultados obtenidos permiten una aproximación desde el punto de vista mecánico de su idoneidad para las mencionadas aplicaciones, al tiempo que supone un punto de partida para estudiar la influencia de la durabilidad de dicho material en ambientes más agresivos (acuosos y alcalinos).[1]

En el ámbito de la investigación que realiza la universidad ecuatoriana, los estudios son diversos. Con la fibra de abacá se ha obtenido y caracterizado diferentes materiales compuestos y no tejidos. Dentro de la investigación de los no tejidos se han analizado y optimizado los procesos químicos, térmicos y mecánicos, de tal forma que la fibra no tejida adquiera buenas propiedades.[2]

En otros estudios realizados en instituciones de educación superior del Ecuador como la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), también se han utilizado refuerzos de fibras obtenidas del bagazo de caña y la cascarilla de arroz conjuntamente

con marices poliméricas de polietileno de alta densidad. En la investigación se detalla la obtención de estos materiales utilizando una extrusora de tornillo. Es así que la caracterización del material mostró una mejora en las propiedades de los materiales reforzados con bagazo de caña, mientras que los materiales reforzados con cascarilla de arroz no mejoraron las propiedades en comparación con la matriz utilizada.[3]

En la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato, se han realizado diversas investigaciones de materiales compuestos, en la cual destaca el trabajo realizado por el Ing, Mg. Juan Paredes Salinas, el cual se centra en el "Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses", consiguiendo un material híbrido de configuración de fibra larga de 30% y en un orden de capas (FV+FC+FV) es la que proporciona un mejor comportamiento en cuanto a propiedades mecánicas, siendo este el potencial material híbrido alternativo que presenta esta investigación para la fabricación de un guardachoques para bus.[4]

La investigación desarrollada por el Ing, Alex David Jácome León, "Estudio de la Configuración de Fibras del Material Compuesto de Matriz Epoxi Reforzada con Fibra de Piña y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas en la Fabricación de Butacas Deportivas", donde obtiene un material compuesto (resina epoxi + fibra de piña) de fibra larga longitudinal, con fracción volumétrica de 30% de material de refuerzo (fibra de piña) y 70% de matriz (resina epoxi), brindando de esta forma propiedades aceptables para ser utilizado como un material alternativo para la fabricación de butacas deportivas, este material tiene las siguientes propiedades mecánicas.[5]

1.3. JUSTIFICACIÓN.

El estudio del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz, tiene como fin elaborar un material compuesto que cuente con propiedades mecánicas óptimas para la manufactura en el sector industrial.

Finalizado el estudio se aportará con datos técnicos, características mecánicas (Tracción, Flexión, Impacto y Fractografía) con el propósito de tener óptimos resultados que conlleven al desarrollo industrial de dicho material compuesto.

La acumulación y no reutilización de desechos orgánicos provenientes del sector agroindustrial, contribuyen en forma directa el aumento de la contaminación del medio ambiente, provocando el ascenso de los niveles de CO₂, causante principal del calentamiento global. Por lo tanto surge la necesidad de una solución científica para el empleo y reutilización de los desechos orgánicos. En esta investigación se centra en la reutilización de la cascarilla de arroz como agregado granular con el fin de obtener un producto aplicable al sector industrial y el desarrollo económico sostenible.

El empleo de fibras naturales para la elaboración de materiales compuestos (matriz + reforzante), combina las propiedades a fin de obtener óptimas características mecánicas frente a una necesidad específica.

El estudio del material compuesto de matriz poliéster reforzado con cascarilla de arroz, se puede llevar a cabo, debido que se cuenta con todo lo indispensable para su ejecución, equipos con los cuales posee la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica así como el laboratorio de materiales y personal calificado de la carrera de Ingeniería Mecánica.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. GENERAL.

Caracterizar mecánicamente el material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz para determinar las propiedades mecánicas en aplicaciones industriales.

1.4.2. ESPECÍFICOS.

- Determinar la orientación del refuerzo, fracción volumétrica y tipo de estratificación del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz.
- Determinar las propiedades mecánicas a Tracción, Flexión, Impacto y Fractografía del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz.
- Determinar el material compuesto que presente la mejor combinación de propiedades mecánicas para determinar el mejor material.

CAPÍTULO II.

2. FUNDAMENTACIÓN.

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

En este estudio se recolecto información de: libros, reportes, artículos científicos, memorias de congresos, normas, tesis siguiendo una secuencia de los temas como se muestra a continuación:

2.1.1. INGENIERÍA DE MATERIALES.

La ingeniería de los materiales relaciona propiedades-estructura y proyecta la estructura de un material para obtener determinadas propiedades. De igual manera nos ayuda a estimar el comportamiento de los nuevos materiales, a escala macros, micro y nano métrica. Los fenómenos que se investigan no solo son físicos o mecánicos sino también de origen térmico, químico, eléctrico, magnético, óptico, o combinaciones de varios de ellos.

Para evaluar estas aplicaciones multifuncionales es común usar +difractómetros de rayos X, microscopios electrónicos de barrido y de transmisión, microscopios de fuerza atómica, espectrofotómetros de luz visible, infrarroja, ultra violeta. La ciencia e ingeniería de materiales nos permite caracterizar y evaluar nuevos materiales, procesos de fabricación, productos y servicios de una manera confiable y oportuna.

2.1.2. MATERIALES COMPUESTOS.

2.1.2.1. DEFINICIÓN.

Un material compuesto es un conjunto de materiales constituido por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro-constituyentes de distinta forma y composición química que son insolubles entre sí.[6]

Un material compuesto es un sistema en el que se combinan dos o más materiales, que se diferencian en función, forma o composición, con el fin de obtener un material con propiedades únicas. En los materiales compuestos sobresalen propiedades características aportadas por las fases que lo conforman, para obtener la mejor combinación de dichas propiedades.[2]

La importancia de un material compuesto para la ingeniería radica en que dos o más materiales distintos se combinen para formar un material compuesto cuyas propiedades sean superiores, o en algún modo más importantes que las de sus compuestos.[6]

2.1.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.

Se divide en tres grandes grupos:

- Compuestos reforzados con partículas.
- Compuestos reforzados con fibras.
- Compuestos estructurales.

Cada grupo contiene dos subdivisiones para cada una de ellas. Cabe mencionar que la fase dispersa de los materiales compuestos reforzados con fibras poseen una relación longitud-diámetro (factor de forma) muy alta.[7]

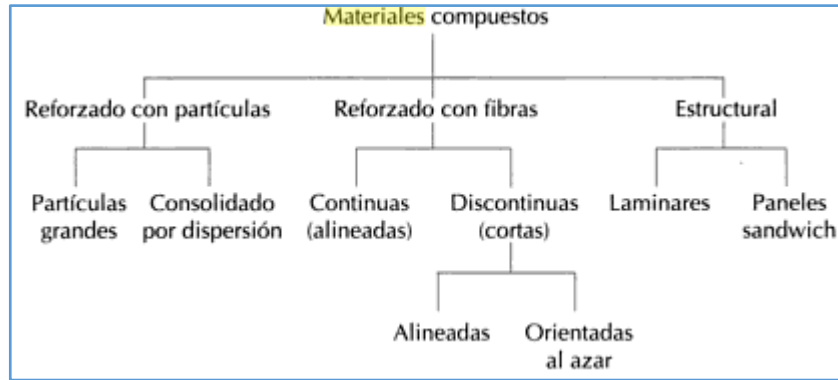


Figura 2.1. Clasificación de materiales compuestos.
(Fuente: W. D. Callister [8])

Los materiales Compuestos de matriz polimérica están constituidos por compuestos Termoplásticos, Termoestables y Elastómeros. El estudio se enfoca en los materiales compuestos de matriz termoestables.

2.1.2.3. COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.

Un material compuesto es básicamente un sistema de materiales formados por dos o más fases distintas, cuya combinación proporciona propiedades que son diferentes y mejores a las sus constituyentes.

Los materiales compuestos están constituidos por dos fases: **matriz** y **refuerzo**, la unión entre estos se denomina interfaz. Se adicionan agentes de acoplamiento, rellenos y revestimientos, con el propósito de mejorar la superficie de la interfaz del composite, para obtener óptimas propiedades del material.

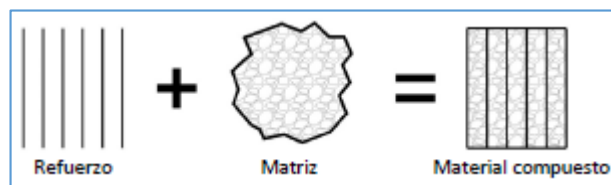


Figura 2.2. Configuración básica de un material compuesto.
(Fuente: M. Villanueva [9])

2.1.3. MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ.

2.1.3.1. MATRIZ Y REFUERZO.

a) Matriz.

La matriz cuenta con las siguientes funciones: aglutinar los refuerzos, transferir las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos, proteger la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica, proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente: a humedad y en caso de que el material esté reforzado con fibras, la matriz debe tener soporte lateral frente al pandeo de las mismas bajo cargas de compresión.[2]

b) Refuerzo.

El refuerzo es el componente del material compuesto que soporta la carga y aporta con propiedades al material compuesto: características de conductividad eléctrica, aislamiento, estabilidad térmica, propiedades estructurales. Los refuerzos son partículas, fibras o elementos estructurales.[2]

2.1.3.2. INTERFAZ.

El material compuesto debe tener una buena unión entre la matriz y el refuerzo, es decir una buena interfaz. Para un material que tiene una buena unión entre la matriz y el refuerzo, la carga aplicada se transmitirá desde la matriz hacia los refuerzos, por el contrario para una unión deficiente, las fibras no realizarán la función de refuerzo y tratarán de salir de la matriz.

Para tener una buena impregnación, la matriz debe encontrarse en estado fluido sobre el refuerzo, es decir la matriz debe estar en estado líquido para que pueda extenderse sobre una superficie sólida, en este caso el refuerzo.

La unión entre la matriz y el refuerzo de un material compuesto son de cuatro tipos:

- Unión mecánica.
- Unión electrostática.
- Unión química.
- Unión mediante inter-difusión.

a) Unión mecánica.

Depende de la rugosidad de los constituyentes del material, si se cuenta con mayor rugosidad, la superficie de la interfaz será más efectiva bajo esfuerzos cortantes, por el contrario frente esfuerzos axiales la unión es deficiente.

b) Unión electrostática.

Se genera cuando las superficies tienen carga positiva y la otra negativa.

c) Unión química.

La superficie de refuerzo contiene grupos químicos que son compatibles con los grupos químicos de la matriz.

d) Unión inter-difusión.

Se produce en elementos poliméricas, la resistencia de la unión dependerá de la cantidad de entrelazamiento de las cadenas poliméricas.

2.1.3.3. MATRICES POLIMÉRICAS.

La matriz polimérica es la más empleada por su baja densidad, adecuadas propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costo relativamente bajo. Las matrices poliméricas constan de tres grupos: termoplásticas, termoestables y elastoméricas.

a) Matrices termoplásticas.

Pasan a estado líquido cuando son calentadas, teniendo un ciclo reversible de ablandamiento y endurecimiento por lo que se puede reciclar. A este grupo de matrices termoplásticas pertenecen: polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC) y polietileno-tereftalato (PET).

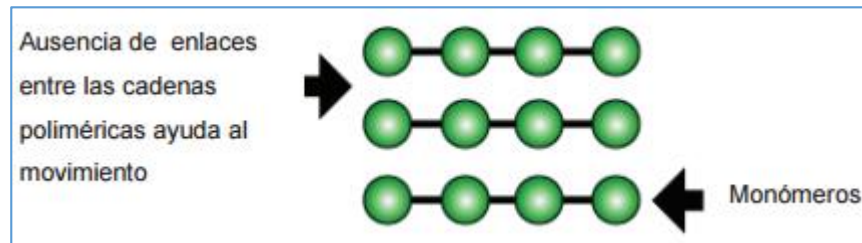


Figura 2.3. Estructura molecular matriz termoplástico.
(Fuente: P. Herrera [10])

b) Matrices termoestables.

Contienen enlaces entrecruzados en una red tridimensional, comienzan su polimerización por una reacción química que no es reversible, lo cual dificulta su reciclaje. A este grupo pertenecen: la resina poliéster, epoxy y fenólicos.

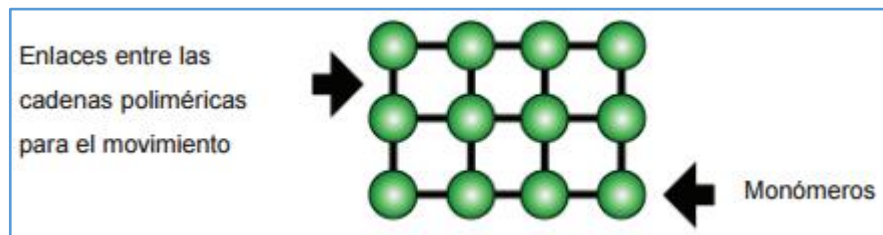


Figura 2.4. Estructura molecular matriz termoestable.
(Fuente: P. Herrera [10])

c) Matrices elastoméricas.

Poseen una zona elástica grande, pudiendo estirarse hasta cinco o seis veces su longitud original. En cambio sus módulos de elasticidad son bajos porque contienen menos enlaces de reticulación entre cadenas que los termoestables, por ejemplo el caucho natural.

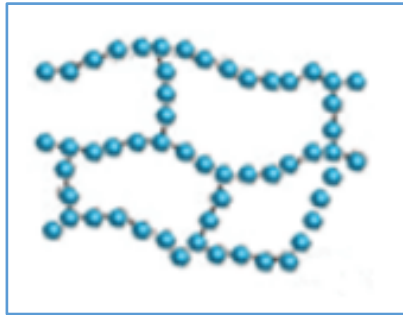


Figura 2.5 Estructura molecular matriz elastómera.
(Fuente: P. Herrera [10])

2.1.3.4. RESINA POLIÉSTER.

La resina poliéster por su costo relativamente bajo es la más utilizada ocupando el 90% del volumen de consumo de las matrices termoestables y, por sus características, son las más utilizadas en la construcción a nivel industrial.

La resina Poliéster es un plástico termo-estable, es decir obtiene su forma final mediante reacción química sin poder recuperar su forma inicial es decir no es reciclable. La resina poliéster insaturada, comercialmente se encuentra como líquido espeso, de color amarillo, rosa, azul o café, turbio o transparente; donde sus colores y características obedecen a su tipo, grado de preparación y uso recomendado.

a) Formulación.

La resina de poliéster se forma a partir de reacciones de policondensación entre dos monómeros: ácido dicarboxílico y diol: de estos dos uno debe contener una insaturación. El polímero resultante se disuelve en un medio reactivo con el fin de disminuir la viscosidad de la resina y facilitar su procesamiento (impregnación). El medio reactivo lo produce el estireno con un porcentaje que oscila entre 40-45%, el mismo que se convierte en el medio promotor de la estructura reticulada rígida una vez iniciada la reacción de endurecimiento.

b) Áreas de aplicación.

Las resinas poliéster conforma el grupo de resinas termoestables más empleadas en la fabricación de materiales compuestos: ocupan el 90% de los laminados comerciales.

La clasificación de resinas de tipo poliéster de acuerdo con sus constituyentes base (ácido o anhídridos insaturados, ácidos o anhídridos saturados, glicoles y monómeros), así como sus aplicaciones se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Tipos de resinas de poliéster más utilizados.

Tipos	Aplicaciones
Ortoftálicas	Barcos, placas onduladas y planas.
Isoftálicas	Depósitos, ingeniería química.
Tereftálicas	Ingeniería química.
Tetraftálicas	Depósitos para alimentos.
Bisfenólicas	Aplicaciones anticorrosión.
Resinas de Tetracloroftálico	Comportamiento a fuego moderado.
Resinas de ácido het	Resistencia al fuego, anticorrosión.
Resinas de metacrilato metilo	Piezas, cúpulas.

(Fuente: Miravete,[11])

c) Beneficios.

En relación a su reactividad y comportamiento de curado, Resina poliéster es particularmente apropiada para la producción de laminados prácticamente libres de tensiones internas. Resina poliéster no está pre acelerada, por lo que se debe adicionar acelerante de cobalto o amina para el endurecimiento a temperatura ambiente. Para el curado de Resina poliéster se pueden utilizar los peróxidos comúnmente usados para las resinas de poliéster insaturado tales como peróxido de metiletilcetona (MECKP), ciclohexanona (CHP) y acetilacetona (AAP). Al usar acelerante de cobalto, el tiempo de gel se puede extender adicionando un inhibidor en base a t-butilcatecol. Para curados a temperaturas inferiores a 18°C, se usa especialmente peróxido de benzoilo (BP) en conjunto con acelerantes amínicos como dimetilnilina o dietalanilina. El estado final del curado puede optimizarse de acuerdo a los requerimientos específicos para ciertas aplicaciones, pos curando a 80°C por algunas horas. El pos curado a temperaturas elevadas es particularmente importante para artículos destinados a estar

en contacto con alimentos y es muy recomendable para piezas de plástico reforzado expuestas a ambientes corrosivos.[12]

d) Propiedades de Resina Poliéster.

Por existir una gran variedad de las resinas poliéster, por lo general presentan baja temperatura de transición vítrea, y su resistencia y rigidez no son elevadas. En el proceso de endurecimiento se contraen 6-10%. La viscosidad a temperatura ambiente para resinas de laminados manuales, ronda los 300 cPs, para resinas especiales, por ejemplo las de infusión es de 100 cPs.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de la Resina Poliéster.

Propiedad	Valor
Densidad (20°C)	1.21 g/cm ³
Resistencia a la tracción:	70 MPa
Módulo de elasticidad en tracción:	4300 MPa
Elongación a la ruptura:	2 %
Resistencia a la flexión:	110 MPa
Módulo de elasticidad en flexión:	4300 MPa
Resistencia al impacto:	10 KJ/m ²
Temperatura de distorsión:	66 °C

(Fuente: CIMPA S.A.S [12])

e) **Tipos de resinas de poliéster.**

Existen una gran variedad de resinas, diseñadas para facilitar el trabajo con el de conseguir productos fabricados de óptima calidad y duración. Entre las cuales podemos citar las siguientes:

- **Resina Viniléster.**

También conocidas como antiácidas, por su alta resistencia al ataque químico y ala temperatura. Se utiliza en la fabricación de tanques, tuberías, chimeneas, torres lavadoras de gases y enfriadores.[13]

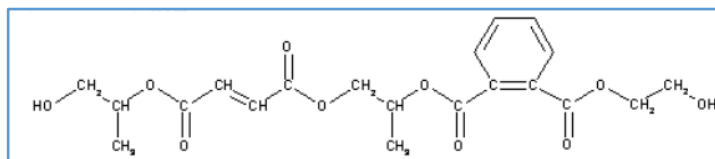


Figura 2.6. Composición química resina viniléster.
(Fuente: Europages-Resina poliéster [14])

- **Resina Isoftálica.**

Posee alta resistencia química, es empleada en la fabricación de productos sometidos a la intemperie, contacto con el agua y/o con ataque químico.[13]

- **Resina Ortoftálica.**

Resina empleada para fabricar productos sometidos a un bajo ataque químico o ambiental. Posee excelente resistencia mecánica y química lo cual permite ser combinada con otras resinas más resistentes. Se emplea en la fabricación de autopartes, sillas, tejas, botones, etc.[13]

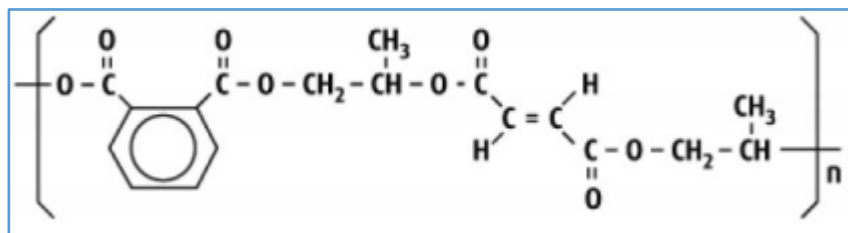


Figura 2.7. Composición química resina isoftálica.
(Fuente: Europages-Resina poliéster [14])

2.1.3.5. REFUERZO CON FIBRA.

La mayoría de estos materiales alcanza una mejor resistencia a la fatiga, rigidez y relación resistencia-peso al incorporar fibras resistentes y rígidas, en una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la carga a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. [2]

Las fibras son materiales policristalinos o amorfos, poseen diámetros pequeños y gran longitud. En este grupo se encuentran los polímeros o cerámicos (vidrio, carbono, boro, oxido de aluminio y carburo de silicio). Se adicionan fibras naturales como abacá, cabuya y coco, incorporados como refuerzos en una matriz polimérica. Teniendo como ventaja la reducción de costo de manufactura y menos impacto ambiental.[2]

Las propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras dependen básicamente de la longitud, orientación, diámetro, cantidad y propiedades mecánicas de las fibras, de las propiedades de la matriz y de la interfaz fibra-matriz.

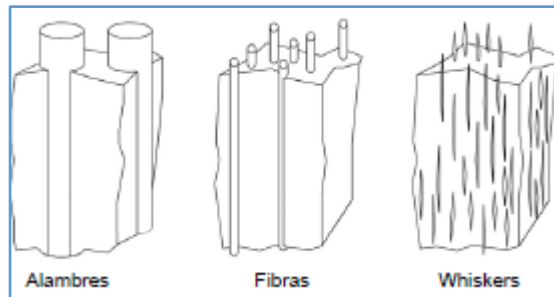


Figura 2.8. Refuerzo con fibra: Alambres, Fibras y Whiskers.
(Fuente: J. D. V.H Guerrero-Nuevos Materiales [2])

a) Influencia de la orientación y cantidad de la fibra.

La determinación de la orientación, cantidad y distribución es de vital importancia por su influencia en las propiedades del material compuesto y en especial en la resistencia mecánica. Existen dos tipos de alineación de la fibra: alineación en dirección paralela al eje longitudinal de las fibras (continuas y discontinuas) y alineación al azar (orden aleatorio).

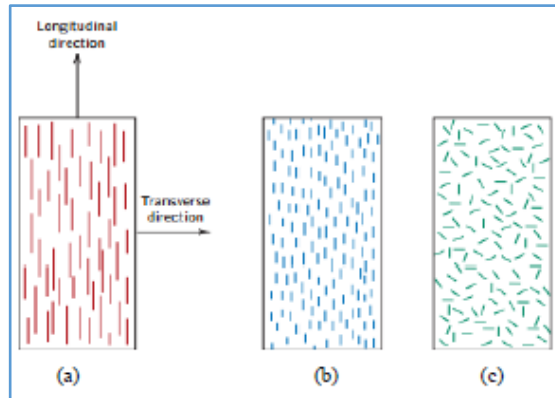


Figura 2.9 Orientación de la fibra: a) continua y alineada, b) discontinua y alineada, c) discontinua aleatoria.
(Fuente: W. D. Callister [8])

La alineación de la fibra depende fundamentalmente del ángulo formado (0° - 90°) entre la dirección que se aplica la carga y la dirección de la fibra.

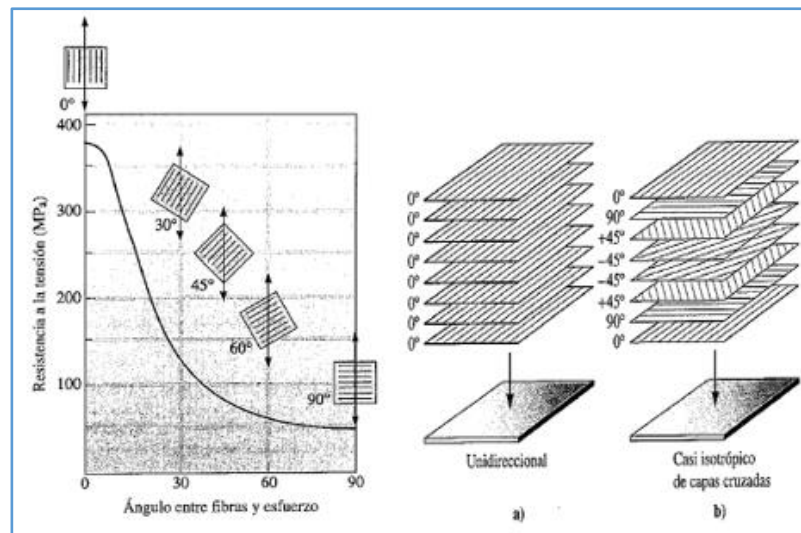


Figura 2.10 Efecto de la orientación de la fibra vs resistencia a la tensión de compuesto epóxicos reforzados con fibra de vidrio. a) Unidireccional, b) Isotrópico de capas cruzadas.
(Fuente: W. D. Callister [15])

b) Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas alineadas.

La unión entre la fibra y la matriz debe ser de buena calidad, debido que al aplicar una carga, esta debe ser transmitida de la matriz a la fibra mediante un mecanismo de corte. Al poseer una buena unión entre la matriz y la fibra, la deformación de la matriz es

mayor que la deformación de la fibra, originando un esfuerzo de corte en la sección transversal, como se puede observar a continuación.

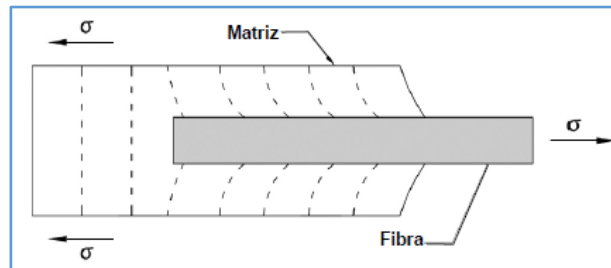


Figura 2.11 Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión.
(Fuente: W. D. Callister [8])

Al someter a un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y se produce en la matriz una deformación, es decir en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga en dirección de la matriz.

Contamos con una longitud de fibra mínima que aumenta la resistencia y la rigidez. Estimamos la longitud de fibra mínima o crítica (l_c) en función del diámetro de la fibra (d), resistencia a la tracción σ_f y la resistencia de cizalladura de la matriz τ_c (unión matriz-fibra).

$$l_c = \frac{\sigma_f d}{\tau_c} \quad \text{Ec (1)}$$

Una fibra con menor longitud a la crítica, se produce un esfuerzo inducido en la fibra es menor que el que es capaz de soportar. Como consecuencia la matriz puede fallar antes de que la fibra alcance su esfuerzo potencial. En cambio cuando la longitud de fibra es mayor que la crítica, la fibra obtiene un máximo valor de esfuerzo. Para obtener un refuerzo efectivo se debe incrementar la longitud del refuerzo, es decir superar la longitud crítica.

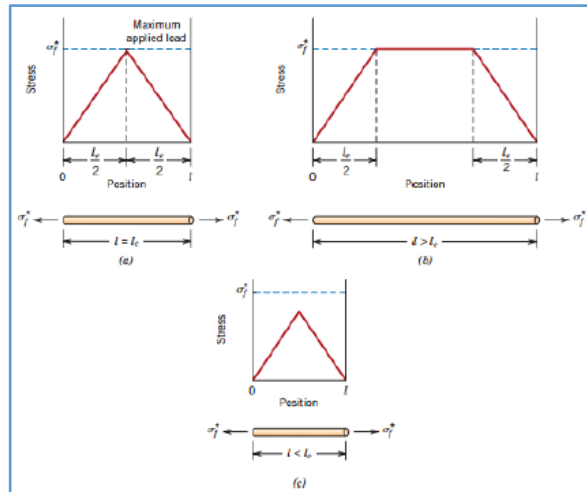


Figura 2.12 Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra.
(Fuente: W. D. Callister [8])

c) Regla de las mezclas en los compuestos por fibras.

La regla de las mezclas se expresa de la siguiente manera.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2)}$$

Dónde:

ρ_c = densidad del material compuesto.

ρ_m = densidad de la matriz.

ρ_f = densidad de la fibra.

f_f y f_m = fracciones volumétricas de cada constituyente y los subíndices m y f corresponde a la matriz y fibra del material compuesto respectivamente.

Debemos considerar:

$$f_m = 1 - f_f \quad \text{Ec (3)}$$

d) Módulo de elasticidad.

De igual manera se considera la regla de las mezclas para obtener el módulo de elasticidad, la misma que se expresa a continuación:

$$E_C = f_m E_m + f_f E_f \quad \text{Ec (4)}$$

Al aplicar un esfuerzo grande, la matriz comienza a deformarse produciendo la gráfica de esfuerzo vs deformación en una ecuación no lineal. Se puede estimar el módulo de elasticidad con la siguiente ecuación.

$$E_C = f_f E_f \quad \text{Ec (5)}$$

Considerando que el esfuerzo se aplique en forma perpendicular, el módulo de elasticidad se estima con la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{E_C} = \frac{f_m}{E_m} + \frac{f_f}{E_f} \quad \text{Ec (6)}$$

2.1.3.6 FIBRAS.

Las fibras vegetales están constituidas por filamentos lignocelulósicos en si células largas y delgadas de esclerénquima, su función es dar soporte, dureza y rigidez a los tejidos vegetales. Se dividen en tres grupos: fibras blandas, duras y de superficie.

Tabla 3: Fibras naturales.

F. Blandas	F. Duras	F. Superficie	Otras	
Tallo	Hojas	Semillas	Fruto	Caña
Cáñamo	Abacá	Algodón	Palma aceitera	Esparto
Ramio	Sisal	Kapok	Coco	Bejuco
Lino	Cuaruá	Algodoncillo		Bambú
Kenaf	Formio			Bagazo
Yute				

(Fuente: J. D. V.H Guerrero-Nuevos Materiales [2])

a) **Composición química de las fibras vegetales.**

Los componentes de las fibras naturales son celulosa, hemicelulosa, lignina, pectinas, ceras y sustancias solubles en el agua, pero las que predominan son la celulosa, lignina y la hemicelulosa, teniendo una relación entre ellas aproximadamente 4:3:3, esto depende de las condiciones climáticas, la edad de la fibra y su procesamiento.

Tabla 4: Composición química en porcentaje de fibras vegetales.

Fibra	Celulosa (% peso)	Hemicelulosa (% peso)	Lignina (% peso)
Lino	71,2	18 - 20	2,2
Cáñamo	70 - 75	17 - 22	3,7 - 5,7
Yute	61 - 71	13 - 20	8,1 - 13
Kenaf	45 - 57	21	8 - 13
Ramio	68 - 76	13 - 16	0,6 - 0,7
Abacá	63 - 70	20 - 21	5 - 6
Sisal	67 - 78	10 - 14	8 - 14
Algodón	82 - 93	3 - 6	---
Bambú	35 - 61	15	27 - 32
Coco	32 - 43	0,15 - 0,25	40 - 45
Banana	63 - 64	10	5
Formio	71,3	---	---

(Fuente: J. D. V.H Guerrero-Nuevos Materiales [2])

- **Celulosa.**

La celulosa es un polisacárido insoluble en agua, su fórmula empírica es $(C_6H_{10}O_5)_n$, teniendo un valor de $n=200$. Posee una estructura homopolímero lineal, formado por un β -glucosa. Como resultado a la unión se produce la celobiosa, la misma que se replica formando una cadena como se observa a continuación.

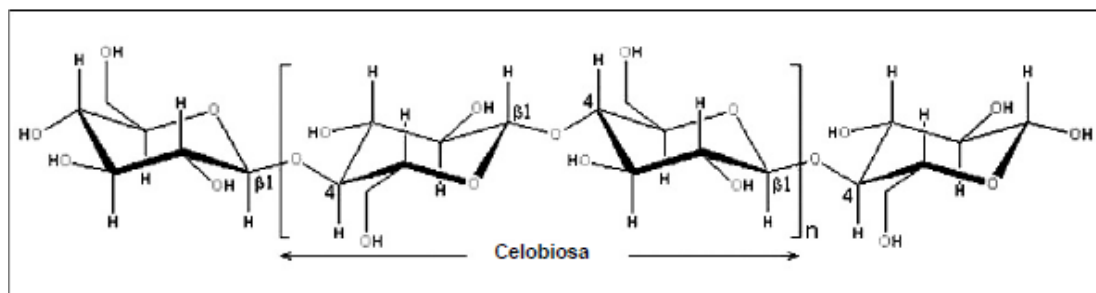


Figura 2.13 Estructura química de la celulosa.
(Fuente: J. D. V.H Guerrero-Nuevos Materiales [2])

- **Hemicelulosa.**

La hemicelulosa es un polisacárido constitución esencial en las paredes de celulares de las plantas. Por tener menor masa molecular, son solubles en agua facilitando su extracción y descomposición.

- **Lignina.**

La lignina es el polímero más abundante en la tierra. Contiene polímeros de moléculas grandes y ramificadas. La cual proporciona un soporte estructural a la planta, en particular al tallo le proporciona de resistencia al impacto, compresiones y flexiones.

2.1.3.7. CASCARILLA DE ARROZ.

La cascarilla de arroz es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para proteger del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular. Tiene propiedades altamente abrasivas, 6 en la escala Mohs en estado natural. Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión.[16]

Esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es decir que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio (90 al 97% SiO). [16]



Figura 2.14. Cascarrilla de Arroz.
(Fuente: Realizado por el Autor.)

2.1.4. MANUFACTURA DE LOS MATERIALES COMPUESTO.

Los procesos más empleados para la elaboración de materiales compuestos termoestables, tenemos los siguientes: estratificación manual, moldeo por aspersión, moldeo por compresión, estratificación de pre impregnado y moldeo por transferencia de resina. Nos centraremos fundamentalmente en la estratificación manual y moldeo por compresión.

2.1.4.1. ESTRATIFICACIÓN MANUAL.

La estratificación manual, conocida como hand lay-up, se convierte en la técnica más sencilla para la obtención de materiales compuestos de matriz termoestable. Las resinas termoestables es de fácil procesamiento por tener una buena impregnación de refuerzos en forma de fibra, gracias a su estado líquido a temperatura ambiente.[2] Para obtener una buena calidad de superficie en piezas de poliéster se emplea una resina llamada gelcoat, con el fin de proteger el material compuesto del ambiente y la humedad, obteniendo un acabado liso y brillante.

Procesos de estratificación manual:

- Agregar un agente desmoldante para facilitar el retiro de la pieza final.
- Adicionar el geal coat mediante el uso de una pistola de aspersión o de un rodillo.
- Colocar láminas del material de refuerzo y cubrir con la resina poliéster. Mediante un rodillo impregnar las capas del refuerzo y eliminar el aire atrapado en el laminado.
- Dejar curar la pieza a temperatura ambiente. El tiempo de secado está en función del sistema catalítico y cantidad del iniciador. Posteriormente desmoldamos la pieza.

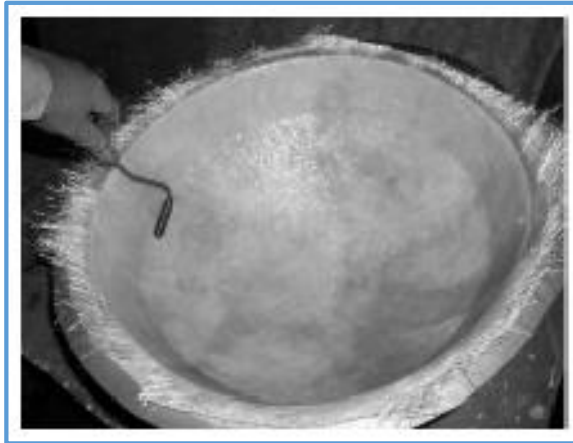


Figura 2.15. Fabricación de un domo por estratificación manual.
(Fuente: J. D. V.H Guerrero-Nuevos Materiales [2])

- **Ventajas.**

El proceso de estratificación manual es sencillo, es posible fabricar piezas grandes como piscinas, cascos de embarcaciones, yates, paredes laterales de buses y componentes aeroespaciales como fuselaje de los aviones. También se elaboran piezas para fines estructurales.[2]

- **Desventajas.**

Este método implica alta intensidad de la mano de obra, la dificultad de controlar el espesor de la pieza y el buen acabado en sólo una de sus caras. [2]

2.1.4.2. MOLDEO POR COMPRESIÓN.

Los moldes empleados son del tipo macho - hembra, con un diseño simple de tal forma que la presión requerida en el proceso de moldeo se puede aplicar fácilmente. Esta técnica de moldeo es utilizada en materiales termoplásticos como en termoestables y consiste en intercalar láminas de matriz y refuerzo en forma de pre impregnado en un molde que es posteriormente prensado.



Figura 2.16. Moldeo por compresión de fibra de carbono.
(Fuente: J. D. V.H Guerrero-Nuevos Materiales [2])

Los moldes están hechos de acero, acero inoxidable o aluminio. Estos ayudan para producir a gran escala componentes con superficies lisas.

2.1.5. RESISTENCIA DE MATERIALES.

La resistencia de materiales es una rama de la mecánica aplicada que trata del comportamiento de los cuerpos sólidos sometidos a varios tipos de carga. El objetivo principal de la resistencia de materiales consiste en determinar las tensiones, deformaciones y desplazamientos en estructuras y sus componentes debido a las cargas que actúan sobre ellas. Los análisis teóricos y los resultados experimentales desempeñan papeles igualmente importantes en la resistencia de materiales. A menudo usamos teorías para obtener fórmulas y ecuaciones que predicen el comportamiento mecánico.[17]

2.1.5.1. ENSAYO DE TRACCIÓN.

El ensayo de tracción tiene como propósito medir la resistencia de un material a una fuerza estática o gradualmente aplicada. El material compuesto se deforma hasta la rotura de la probeta, mediante la aplicación de una fuerza uniaxial, su punto de aplicación se dirige a lo largo del eje principal con un aumento gradual. El ensayo de Tracción se basa según la norma ASTM D3039/D3039M-08 y el empleo de una

Máquina de Ensayos Universales de hasta 50 KN para materiales polímeros, cerámicos, compuestos, que pertenece a la familia Metrotec Serie MTE50.

La probeta de prueba se coloca entre las dos mordazas de máquina con el propósito de tener una apropiada sujeción. Se emplea extensómetro garantizando la obtención de resultados con un mínimo margen de error. Los dispositivos de medición registran las deformaciones y los sistemas de control automático y de procesamiento de datos, tabulan y grafican los resultados.



Figura 2.17. Metrotec Serie MTE50: Máquina de Ensayos Universales de hasta 50 KN para materiales polímeros, cerámicos, compuestos, (Fuente: Metrotec)

La elaboración de probetas, tienen las siguientes consideraciones:

- Dimensiones específicas como indica la norma ASTM D3039/D3039M-08.
- Las probetas a ser ensayadas deben presentar superficies libres de defectos visibles: fisuras o imperfecciones.
- Las marcas producidas por el mecanizado de la probeta serán eliminadas con una lija fina.

Propiedades obtenidas en el ensayo de tracción.

Por medio de este ensayo mecánico podemos obtener información de la resistencia, rigidez y ductilidad de un material.

a) Resistencia a la tracción o tensión.

El esfuerzo obtenido en la fuerza aplicada es la resistencia a la tensión, la cual es el esfuerzo máximo en la curva de esfuerzo-deformación. Este valor es también conocido de manera común como la resistencia máxima a la tracción. En materiales dúctiles, la deformación no permanece uniforme. En algún punto, una región se deforma más que las otras y ocurre un gran decrecimiento local en el área de la sección transversal. A esta región deformada de manera local recibe el nombre de "cuello".[18]

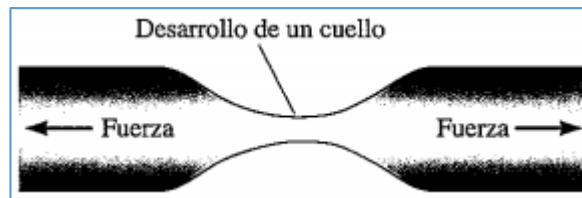


Figura 2.18. La deformación localizada de un material dúctil durante una prueba de tensión. (Fuente: D. R. Askeland [18])

La relación entre una carga y la superficie sobre la que actúa se genera el esfuerzo máximo. Se considera como tal a la reacción que opone el material de un cuerpo frente a una sollicitud externa que tiende un cambio en su tamaño o su forma, la misma que se cuantifica a través de la siguiente expresión:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec (7)}$$

Donde:

σ_{max} = esfuerzo máximo es el esfuerzo (MPa).

F= carga máxima o fuerza necesaria para producir la fractura (N).

A= área de la sección transversal de la probeta (mm^2).

b) Propiedades elásticas.

El módulo de elasticidad o módulo de Young (E), es la pendiente de la curva esfuerzo deformación unitaria en su región elástica. A esta relación entre esfuerzo y la deformación en la región elástica se le conoce como ley de Hooke.[18]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{Ec (8)}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad o módulo de Young.

σ = esfuerzo máximo (MPa)

ε = elongación del material.

El módulo está estrechamente relacionado con las energías de unión de los átomos. Una pendiente pronunciada en la gráfica fuerza-distancia en el espacio de equilibrio indica que se requieren fuerzas altas para separar los átomos y ocasionar que el material se deforme de manera elástica. Por lo tanto, el material tiene un módulo de elasticidad alto. [18]

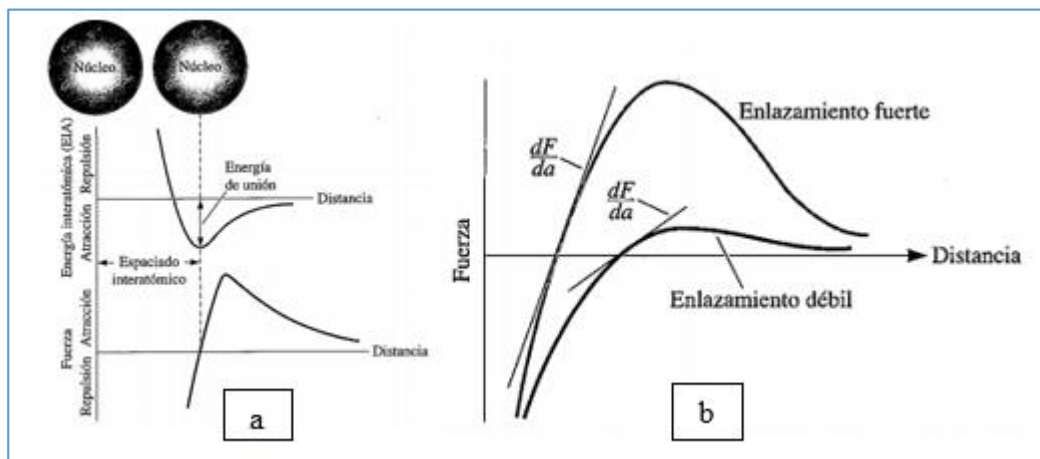


Figura 2.19. a) Unión de átomos correspondiente a la energía interatómica, b) Curva fuerza-distancia para dos materiales, que muestra la relación entre el enlace atómico y el módulo de elasticidad.

(Fuente: D. R. Askeland [18])

c) Ductilidad.

La ductilidad mide el grado de deformación que puede soportar un material sin romperse o fracturarse. Existen dos medidas comunes de la ductilidad. El porcentaje de elongación cuantifica la deformación plástica permanente en la falla midiendo la distancia entre las marcas calibradas en la probeta antes y después del ensayo de tracción. La deformación después de la falla es menor que la deformación en el punto de ruptura, debido a que el esfuerzo elástico se recupera cuando la carga se elimina. El porcentaje de elongación puede escribirse como:

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \quad \text{Ec (9)}$$

Donde:

l_f = distancia final (mm).

l_o = distancia inicial (mm).

Un segundo método es medir el cambio porcentual en el área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después de la prueba. La reducción porcentual en el área describe la cantidad de adelgazamiento experimentado por la probeta durante el ensayo:

$$\% \text{ de reducción en el área} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100 \quad \text{Ec (10)}$$

Donde:

A_f = área de la sección transversal final en la superficie de la fractura (mm²).

A_o = área de la sección transversal inicial antes de producirse la fractura (mm²).

La ductilidad es importante para los diseñadores de componente de soporte de carga y para los fabricantes de componentes (barras, varillas, placas, vigas en I, fibras, etc.) que utilizan algún procesamiento de materiales.[18]

2.1.5.2. ENSAYO DE FLEXIÓN.

El ensayo de flexión determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia, las propiedades a flexión pueden variar dependiendo de la superficie de la probeta, pues ningún laminado es perfectamente simétrico. Las propiedades a flexión también pueden variar de acuerdo al espesor de la probeta, condiciones ambientales o de ensayo en el que se ejecuten las pruebas, velocidad de la aplicación de esfuerzo. El ensayo de flexión de la fibra se lo realizará bajo las especificaciones de la norma D7264/D7264M-07.13 El procedimiento corresponde a un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples.

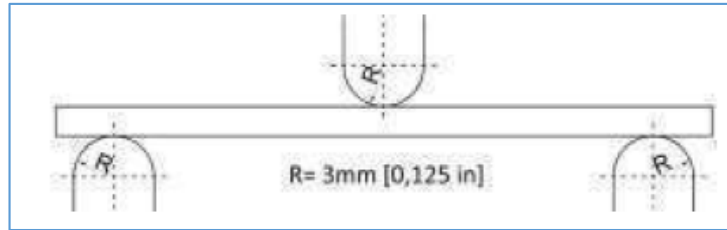


Figura 2.20. Configuración de carga a flexión en tres puntos. (ASTM D7264/D7264M-07).
(Fuente: J. D. V.H Guerrero-Nuevos Materiales [2])

Las dimensiones de las probetas para este ensayo mecánico se basan en la norma ASTM D7264/D7264M-07 y sus respectivas ecuaciones que permiten el cálculo de los valores para las propiedades a flexión.

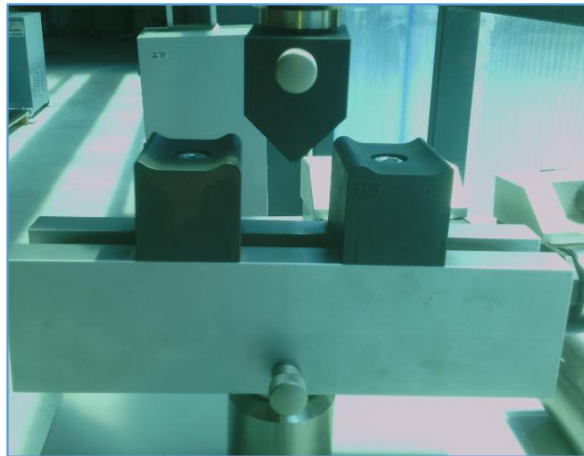


Figura 2.21. Ensayo de Flexión basada en la norma (ASTM D7264/D7264M-07).
(Fuente: Metrotec)

Propiedades obtenidas en el ensayo a flexión.

a) Resistencia a la flexión o módulo de ruptura.

Los materiales que poseen poca ductilidad, la falla se genera a la carga máxima, en donde la resistencia a la tensión y la resistencia a la ruptura son iguales. En materiales muy frágiles, como cerámicos, el esfuerzo de cedencia, la resistencia a la tensión y el punto de ruptura tienen un mismo valor.

$$\sigma_{flexión} = \frac{3FL}{2wh^2} \quad \text{Ec (11)}$$

Donde:

$\sigma_{flexión}$ = resistencia a la flexión.

F = carga máxima o fuerza necesaria para producir la fractura (N).

L = distancia entre los dos puntos externos (mm).

w = ancho de la probeta (mm).

h = altura de la probeta (mm).

Los resultados de los ensayos de flexión son similares a las curvas esfuerzo-deformación; sin embargo, el esfuerzo se traza en función de deflexiones, en vez de en función de deformaciones.

b) Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad en la flexión, o el módulo de flexión ($E_{flexión}$), se determina mediante la siguiente ecuación:

$$E_{flexión} = \frac{L^3 F}{4wh^3 \delta} \quad \text{Ec (12)}$$

Donde:

δ = deflexión de la probeta al aplicar una fuerza.

L = distancia entre los dos puntos externos (mm).

F = fuerza aplicada (N).

w = ancho de la probeta (mm).

h = altura de la probeta (mm).

Durante la compresión las fisuras y los defectos tienden a mantenerse cerrados, frecuentemente los materiales frágiles se diseñan de forma que sobre el componente solo actúen esfuerzos de compresión. Los materiales frágiles fallan a esfuerzos de compresión mucho más altos que los de tensión.[18]

2.1.5.3. ENSAYO DE IMPACTO.

El ensayo de impacto se realiza bajo las especificaciones de la norma ASTM D5628, la cual utiliza la máquina de impacto por caída de dardo. Mediante este método se determina la energía de falla del material, en el cual se presentan fisuras al dejar caer un dardo sobre la probeta en cuestión. Se coloca la probeta en la máquina y se deja caer el dardo.

Procedimiento para el ensayo de impacto.

- Colocar la probeta en la máquina.
- Desde una altura determinada dejar caer el dardo sobre la superficie de la probeta.
- Evitar que el dardo impacte dos veces sobre la superficie de la probeta.
- Retirar la probeta y examinar si se originó daño.
- Se debe considerar como falla al apareciendo de fisura en la probeta.

Se debe considerar que la energía de impacto será aquella necesaria para producir fallas en al menos 50% de las probetas. La falla se produce en el lado opuesto al golpe del impacto.



Figura 2.22. Máquina de impacto por caída de dardo.
(Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil y Mecánica. FICM-UTA)

Para cuantificar la energía de impacto se utiliza la siguiente ecuación.

$$MEF = hwf \quad \text{Ec (13)}$$

Donde:

- MEF= Resistencia Máxima al impacto o Energía Máxima de Ruptura (J).
- h= Altura Máxima de Ruptura (mm).
- w= Masa Máxima de Ruptura (kg).
- f= factor de conversión a Joules.

Usar $f = 9.80665 \times 10^{-3}$, si h = mm y w = kg.

2.1.5.4. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA.

La estructura de los materiales está ligada con sus propiedades físicas-químicas. El conocimiento de la microestructura nos ayuda a explicar, controlar e incluso predecir sus propiedades. En la actualidad la microscopía electrónica es la herramienta ideal para analizar la estructura de los sólidos a escala. El microscopio electrónico utiliza un haz de electrones con voltajes de aceleración que oscilan, entre 20 y 1000 kV.

Microscopio electrónico de Barrido (MEB).

Los electrones emitidos son acelerados por una rejilla cercana polarizada positivamente. Este haz de electrones, en su viaje a través del vacío, tiende a separarse debido a las fuerzas de repulsión electrostáticas que actúan entre ellos. Un campo electrónico, generado por unas placas, se encarga de focalizar el haz y condensarlo. Por último, en su camino hacia la muestra, el haz es deflectado hacia un punto mediante bobinas electrostáticas, de manera que estas permiten realizar un barrido en la zona que queremos estudiar.

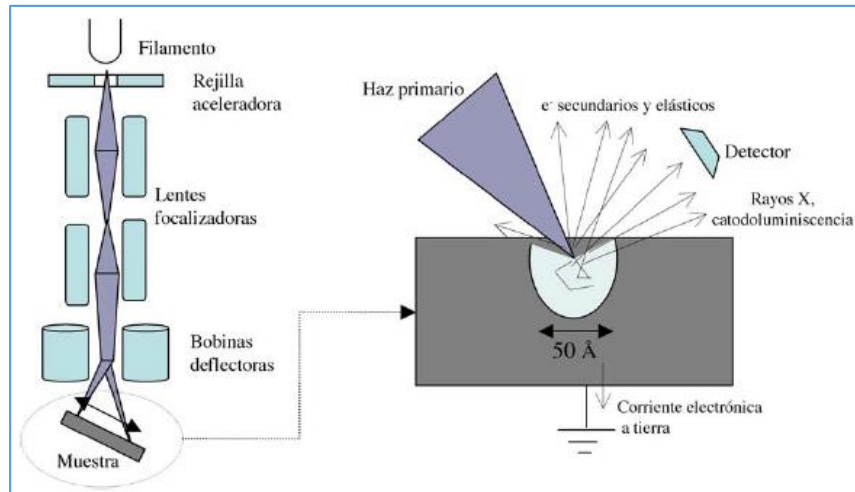


Figura 2.23. Esquema de funcionamiento del microscopio electrónico de barrido.
(Fuente: I. Goldstein, [19])

La principal ventaja de este microscopio es la facilidad en su manejo combinado con una buena resolución, en la presente tabla se presenta un resumen de las ventajas y limitaciones de la microscopia electrónica de barrido.

Tabla 5: Ventajas y limitaciones de la microscopia electrónica de barrido.

Ventajas	Limitaciones
Facilidad de manejo	Necesita vacío
Elevada Resolución	
Amplia profundidad de campo	Alto costo
Posibilidad de combinar microscopio con análisis	
	Posible daño en el material

(Fuente: I. Goldstein, [19])

En la siguiente figura se observa una imagen obtenida con un microscopio electrónico de barrido, donde se observa la adherencia de la matriz del material compuesto (Resina epoxi + Fibra de Piña). [5]

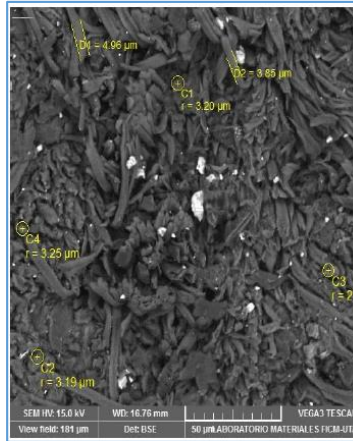


Figura 2.24. Adherencia fibra-matriz.
(Fuente: Ing. Alex Jácome [5])

El microscopio electrónico incrementa el poder de resolución usando la onda asociada al haz corpuscular homocinético generado por los electrones acelerados en un campo eléctrico.

La longitud de onda se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{h}{m v} \quad \text{Ec (14)}$$

Donde:

- h = constante de Planck.
- m = masa del electrón.
- v = velocidad

El valor de λ varía con la tensión de aceleración electrónica aplicada. Para una tensión de 50 KV, este valor de λ es de 0.055 Å; para una tensión de 100 KV el valor es de 0.0387Å, y cuando la tensión es de 106 voltios, caso excepcional, λ será igual a 0.0123Å.

2.1.5.5. MÉTODO GRAVIMÉTRICO.

Debido a que el estudio de la mecánica de fluidos, por lo general tiene que ver con fluidos que circulan en forma continua o con una cantidad pequeña de ellos que

permanece en reposo, es más conveniente relacionar la masa y el peso del fluido con un volumen. Por ello, las propiedades de la densidad se definen así:

- Densidad es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia, por lo tanto se denota la densidad con la letra griega ρ (rho), se tiene:

$$\rho = m/V \quad \text{Ec (15)}$$

Donde:

V= volumen de la sustancia que tiene la masa m.

Las unidades de la densidad son kilogramos por metro cubico, en el SI y slugs por pie cúbico en el Sistema Tradicional de Estados Unidos.

2.2 HIPÓTESIS

La caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz permitirá determinar propiedades mecánicas con aplicación industrial.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.

2.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.

Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz.

2.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE.

Propiedades Mecánicas.

2.3.3 TÉRMINO DE RELACIÓN.

Permitirá.

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGÍA.

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Se detallará el procedimiento para la ordenación y tabulación de los datos recolectados mediante el análisis de resultados de los ensayos mecánicos.

El presente estudio de investigación se empleó los siguientes tipos:

3.1.1. DESCRIPTIVO.

Permite describir las propiedades mecánicas (Tracción, Flexión, Impacto, Fractografía), características y formulación de los materiales empleados para la manufactura del material compuesto de matriz polimérica.

3.1.2. EXPLICATIVO.

A través de los resultados de los ensayos obtenidos de la investigación, se podrá dar una explicación de las características que contiene el material compuesto para su aplicación en el sector industrial así como las ventajas y desventajas del nuevo material compuesto.

3.1.3. EXPLORATORIA.

Esta investigación es de tipo exploratorio, porque nos permite considerar las variables de investigación como son orientación del refuerzo, fracción volumétrica y tipo de estratificación con el propósito de obtener un material compuesto con óptimas propiedades para su aplicación en el sector industrial.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.2.1. POBLACIÓN.

Todas las posibles combinaciones del material compuesto (resina poliéster + cascarilla de arroz) propuesto para el estudio, con el propósito de obtener a través de la estratificación manual y caracterización mecánica en función de la normativa cumpliendo los ensayos realizados.

3.2.2. MUESTRA.

Se analizará con un mínimo de seis probetas por tipo de ensayo y bajo la normativa correspondiente (Tracción ASTM D3039-00, Flexión ASTM D7264-07 e Impacto D5628-10), en función de la configuración y fracción volumétrica del material compuesto (resina poliéster + cascarilla de arroz), mediante estratificación manual y compresión para obtención de probetas, posteriormente realizar el análisis y determinar el mejor material compuesto que tenga propiedades mecánicas óptimas.

Tabla 6: Combinaciones del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz para ensayos mecánicos.

#	Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica	Tipo de estratificación	Probetas para ensayos mecánicos			
				Flexión	Tracción	Impacto	Análisis Micro estructural
1	Tipo (A)	12,0%	Manual (M)	6	6	20	3
2	Tipo (A)	14,5%	Manual (M)	6			
3	Tipo (A)	17%	Manual (M)	6			
4	Alargada (B)	12,0%	Compresión (C)	6	6	20	3
5	Alargada (B)	14,5%	Compresión (C)	6			
6	Alargada (B)	17%	Compresión (C)	6			
7	Tipo (A)	12%	Compresión (C)	6	6	20	3
8	Tipo (A)	14,5%	Compresión (C)	6			
9	Tipo (A)	17%	Compresión (C)	6			
10	Alargada (B)	12,0%	Manual (M)	6	6	20	3
11	Alargada (B)	14,5%	Manual (M)	6			
12	Alargada (B)	17%	Manual (M)	6			
			Número Total de Probetas	72	24	80	12

(Fuente: Realizado por el Autor)

Nota:

- **Tipo (A):** condiciones naturales de la cascarilla de arroz.
- **Alargada (B):** cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Tabla 7: Variable Independiente.
Material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz.

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e Instrumentación.
Un material compuesto es un sistema en el que se combinan dos o más materiales, que se diferencian en función, forma o composición, con el fin de obtener un material con propiedades únicas.	<ul style="list-style-type: none"> - Refuerzo con fibra. - Material Compuesto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Orientación del refuerzo. - Fracción volumétrica. - Tipo de estratificación 	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo (A) y Alargada (B). - 12%, 14.5%, 17% - Manual, Compresión 	<ul style="list-style-type: none"> - Observación directa. - Fichas de datos. - Bibliografía. - Norma ASTM D

(Fuente: Realizado por el Autor)

- **Tipo (A):** condiciones naturales de la cascarilla de arroz.
- **Alargada (B):** cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.

Tabla 8: Variable Dependiente.
Propiedades Mecánicas.

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e Instrumentación.
Las propiedades mecánicas sirven en la mayoría de los casos como base para describir el comportamiento en que un material compuesto soporta fuerzas aplicadas, como son fuerzas de Tracción, Flexión e Impacto.	Tracción.	Resistencia ala tracción.	(50-90) Kg/mm ² (490-882) MPa.	- Observación directa.
		Módulo de elasticidad.	¿Cuál será el módulo de elasticidad que tendrá las combinaciones?	- Fichas de datos.
	Flexión	Esfuerzo de flexión	(110-180) Kg/mm ² (1078-1764) MPa.	- Bibliografía.
		Módulo a la flexión.	¿Cuál será el módulo de flexión que tendrá las combinaciones?	- Norma ASTM D
	Impacto	Resistencia al impacto	Energía de impacto. (1,5-3,0) (E=hwf) [J]	
	Fractografía	Microscopia electrónica	Adherencia entre la matriz y el refuerzo.	

(Fuente: Realizado por el Autor)

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

3.4.1. DOCUMENTAL.

Se realizó mediante la revisión de libros, artículos científicos, reportes, memorias de congresos, patentes, normas, tesis, para posteriormente obtener el procedimiento adecuado y resultados relevantes en los ensayos del material compuesto.

3.4.2. OBSERVACIÓN.

Todo lo observado durante los ensayos mecánicos se registra para el análisis a través de tablas y gráficos.

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

3.5.1. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA.

El registro y procesamiento de los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de las probetas se registran a través de tablas, fotos, informes técnicos de ingeniería y planos facilitando el análisis de la hipótesis planteada. La representación de resultados con fichas de recolección de información, diagramas, curvas y graficas estadísticas que permitieron obtener las propiedades mecánicas del material.

3.5.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Con la obtención de los resultados de los ensayos mecánicos se procede con un análisis general del material compuesto que presente las propiedades mecánicas óptimas (tracción, flexión e impacto) mediante el análisis estadístico comparativo entre la configuración y fracción volumétrica del material compuesto (resina poliéster + cascarilla de arroz) con el propósito de validar la hipótesis de la investigación.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

El material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz representa una alternativa ecológica para sustituir a las fibras sintéticas. De esta forma se pueden aprovechar los recursos naturales, los mismos que en ciertos casos son considerados como desechos agrícolas. Así mismo, dentro de las principales aplicaciones del material compuesto reforzado con cascarilla de arroz, se enfoca en el mercado de la construcción, donde varían desde piezas para baños hasta paneles decorativos, paneles para muros cortina y materiales de fachada. Para elementos exteriores de edificios, el material compuesto puede estar presente en columnas, cornisas, así como en revestimientos y coberturas para paneles de protección y aislamiento, láminas traslúcidas planas u onduladas. Por tal motivo se eligió al cielo raso importado de yeso por la abundancia y presencia en las construcciones que se utilizan en el tumbado de los techos de las viviendas.

4.1.1. ENSAYOS PRELIMINARES DEL MATERIAL EMPLEADO PARA LA MANUFACTURA DE CIELO RASO.

Se obtuvieron probetas del material utilizado en la fabricación de cielo raso (yeso importado) para obtener sus propiedades mecánicas sometidas a los ensayos de Tracción, Flexión e Impacto.

4.1.1.1. ENSAYO A TRACCIÓN DEL CIELO RASO IMPORTADO DE YESO.

Esfuerzo máximo a tracción.

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec (7)}$$

Donde:

- σ_{max} = Esfuerzo máximo (MPa).
- F= Fuerza aplicada para producir la fractura (N).
- A= Área de la sección transversal de la probeta (mm^2).

Porcentaje de deformación.

$$\varepsilon(\text{elongación}) = \frac{l_f - l_i}{l_i} \quad \text{Ec (9)}$$

$$\%(deformación) = \frac{l_f - l_i}{l_i} \times 100$$

Donde:

- l_f = Longitud final (mm).
- l_i = Longitud inicial (mm).

Módulo de elasticidad.

$$E = \frac{\sigma_{máx}}{\varepsilon} \quad \text{Ec (8)}$$

Donde:

- $\sigma_{máx}$ = Esfuerzo máximo (MPa).
- ε = Elongación.

Tabulación de resultados.

Los resultados obtenidos están de acuerdo a la Norma ASTM D3039-14.

Ficha de datos del material compuesto.

Se detalla el número de probetas ensayadas obteniendo la curva característica de esfuerzo vs deformación con sus respectivos valores promedios: espesor, esfuerzo máximo y módulo de elasticidad, como se presenta a continuación en la Ficha 4.1.



Figura 4.1. Probetas ensayadas a Tracción-ASTM D3039.
(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.1. Recolección de datos: Ensayo a Tracción-Cielo Raso Importado de Yeso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)		REG:ET-CR-001																					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS																													
Fecha:	10 de Agosto de 2016			Ciudad:	Ambato.																								
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																												
Máquina:	Máquina Universal.			Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50																								
Material:	Cielo Raso Importado-Yeso																												
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm		Ancho:	25 mm		Espesor nominal (mm):	7,89																					
Número de Probetas	5			Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.																								
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).																													
Muestra o Probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)																									
2	2,09	195,58	0,91	417,64																									
3	2,51	220,22	1,13	551,52																									
5	2,26	210,32	0,72	521,17																									
Promedio:	2,29	208,71	0,92	496,78																									
Desviación Estándar:	0,21	12,40	0,21	70,19																									
Gráficas de resultados																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>CRot MPa</th> <th>MYoung MPa</th> <th>FMax N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>0,96</td> <td>0,91</td> <td>8,06</td> <td>195,38</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1,14</td> <td>1,13</td> <td>7,79</td> <td>220,22</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1,08</td> <td>0,72</td> <td>13,72</td> <td>210,32</td> </tr> </tbody> </table>			Probeta	CMax MPa	CRot MPa	MYoung MPa	FMax N	2	0,96	0,91	8,06	195,38	3	1,14	1,13	7,79	220,22	5	1,08	0,72	13,72	210,32	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>						
Probeta	CMax MPa	CRot MPa	MYoung MPa	FMax N																									
2	0,96	0,91	8,06	195,38																									
3	1,14	1,13	7,79	220,22																									
5	1,08	0,72	13,72	210,32																									
Observaciones					Evaluación																								
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 1 y 4.																								
					Espesor nominal: 7,89 mm.																								
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.					Esfuerzo máximo promedio: 0,92 MPa																								
					Módulo de Elasticidad promedio: 9,86 MPa																								
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo				Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																							
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																							

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.1.1.2. ENSAYO A FLEXIÓN DEL CIELO RASO IMPORTADO DE YESO.

Esfuerzo máximo a flexión.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3FL}{2wh^2} \quad \text{Ec (11)}$$

Donde:

- $\sigma_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo máximo producido en la superficie exterior (MPa).
- F = Fuerza aplicada para producir la fractura (N).
- L = Distancia entre los puntos de apoyo (mm).
- w = ancho de la probeta ensayada (mm).
- h = espesor de la probeta (mm).

Módulo de flexión.

$$E_f = \frac{L^3 F}{4wh^3 \delta} \quad \text{Ec (12)}$$



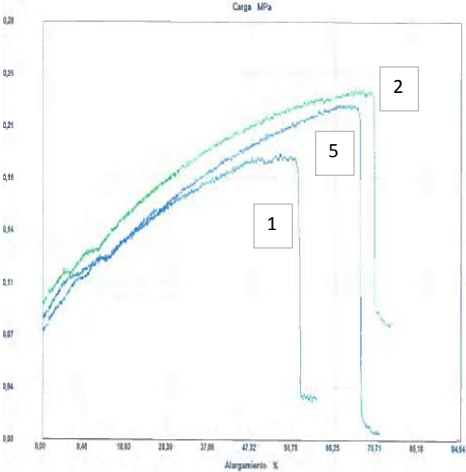
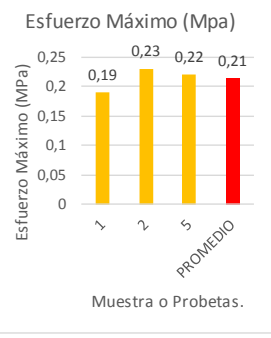
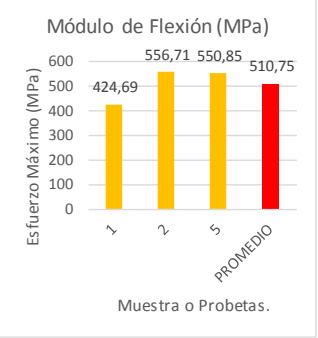

Donde:

- E_f = Módulo de flexión (MPa).
- L = Longitud entre apoyos (mm).
- F = Fuerza aplicada (N).
- w = Ancho de la probeta ensayada (mm).
- h = Espesor de la probeta (mm).

Ficha de datos del material compuesto.

Se detalla el número de probetas ensayadas, obteniendo la curva característica de esfuerzo vs deformación con sus respectivos valores promedios: espesor, esfuerzo máximo y módulo de flexión, como se presenta a continuación en la Ficha 4.2.

Ficha Técnica 4.2. Recolección de datos: Ensayo a Flexión-Cielo Raso Importado de Yeso.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO																							
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																							
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																							
	(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)																							
REG:ET-YESO-001																								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS																								
Fecha:	28 de Junio de 2016		Ciudad:	Ambato.																				
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																							
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50																					
Material:	Cielo Raso Importado-Yeso																							
Dimensión de probetas:	Longitud:	160 mm	Ancho:	13 mm																				
			Espesor nominal (mm):	7,86																				
Número de Probetas	5	Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.																					
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).																								
Muestra o Probeta:	Deflexión Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (MPa)																				
1	2,413	21,32	0,19	424,69																				
2	3,102	24,84	0,23	556,71																				
5	2,993	24,67	0,22	550,85																				
Promedio:	2,84	23,61	0,21	510,75																				
Desviación Estándar:	0,37	1,99	0,02	74,59																				
Gráficas de resultados																								
																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>CRot MPa</th> <th>ModFlex MPa</th> <th>FMax N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,19</td> <td>0,19</td> <td>424,69</td> <td>21,32</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,24</td> <td>0,23</td> <td>556,71</td> <td>24,84</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0,23</td> <td>0,22</td> <td>550,85</td> <td>24,67</td> </tr> </tbody> </table>		Probeta	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa	FMax N	1	0,19	0,19	424,69	21,32	2	0,24	0,23	556,71	24,84	5	0,23	0,22	550,85	24,67	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p> 		
Probeta	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa	FMax N																				
1	0,19	0,19	424,69	21,32																				
2	0,24	0,23	556,71	24,84																				
5	0,23	0,22	550,85	24,67																				
Observaciones		Evaluación																						
La probeta presenta un comportamiento frágil.		Se descartan las probetas 3 y 4.																						
		Espesor nominal: 7,98 mm																						
Las probetas presentaron ruptura en el centro de la probeta.		Esfuerzo máximo promedio: 0,21 MPa																						
		Módulo de Flexión promedio: 510,75 MPa																						
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo	Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																					
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.	Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																					

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.1.1.3. ENSAYO A IMPACTO DEL CIELO RASO IMPORTADO DE YESO.

Para este ensayo se utilizó cuatro probetas de acuerdo a las dimensiones establecidas en la Norma ASTM D5628, se sometió cada probeta a impacto de dardo a diferentes alturas a partir de una altura inicial de 300 mm, se empleó la máquina de impacto para polímeros con el fin de determinar la máxima altura de ruptura o fractura de impacto conociendo la masa del dardo y el factor de conversión f a Joule (J), mediante la siguiente expresión matemática:

$$MEF = hwf \quad \text{Ec (13)}$$

Donde:



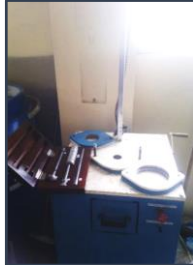

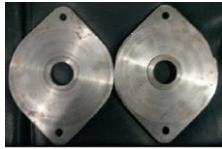

- MEF= Resistencia Máxima al impacto o Energía Máxima de Ruptura (J).
- h = Altura Máxima de Ruptura (mm).
- w = Masa Máxima de Ruptura (kg).
- f = factor de conversión a Joules.

Usar $f = 9.80665 \times 10^{-3}$, si $h = \text{mm}$ y $w = \text{kg}$.



Figura 4.2. Máquina de Impacto por caída de dardo para polímeros.
(Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil y Mecánica. (Ing. Juan Paredes. Mg.))

Ficha Técnica 4.3. Recolección de datos: Ensayo a Impacto-Cielo Raso Importado de Yeso.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:CR-YESO-1						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.	FE	40 mm	0,2855 kg	
Material de matriz:	Cielo Raso de Yeso.					
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	7,86
Número de Probetas	4		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
1	400			1,12		
2	450			1,26		
3	450			1,26		
4	450			1,26		
Promedio	437,5			1,22		
Desv. Estd.	25			0,07		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto Yeso + Fibra de Cabuya		Mordazas para geometría FE		Dardo para geometría FE
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2. RECOLECCIÓN DE DATOS.

4.2.1. OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA "CASCARILLA DE ARROZ".

La mayor área sembrada de arroz en el país está en la Costa, pero también se siembra en las estribaciones andinas y en la amazonía pero en cantidades poco significantes. Las provincias de Guayas y Los Ríos, representan el 83% de la superficie sembrada de arroz en el Ecuador.[20] La cascarilla de arroz se obtuvo de la provincia del Guayas por tener una producción de 1.029.783 Tm con un rendimiento del 4,34 Tm/Ha de acuerdo a la estadística del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP).

Tabla 9: Producción de Arroz

Producción de Arroz en cascara				
PROVINCIA	2012 3/			
	Superficie sembrada (Ha.)	Superficie cosechada (Ha.)	Producción de arroz en cascara, seco y limpio (Tm.)	Rendimiento (Tm./Ha.)
Total Nacional	411.459	371.170	1.565.535	4,22
Bolívar	32	32	32	1,02
Cañar	711	711	2.972	4,18
Cotopaxi	369	369	314	0,85
El Oro	3.723	3.604	19.776	5,49
Esmeraldas	193	193	409	2,12
Guayas	257.294	237.316	1.029.783	4,34
Loja	6.414	6.327	24.892	3,93
Los Ríos	126.296	109.957	444.330	4,04
Manabí	15.855	12.090	42.128	3,48

(Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP),[21])

4.2.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ.

La cascarilla de arroz está compuesto por Celulosa y Sílice, tiene la forma de grano cariósido con una longitud que varía de 5 a 11 mm, con un ancho de 2 a 4 mm, con una dureza de 6 en la escala de Mohs, sus propiedades físicas y químicas se detallan en las siguientes tablas.

Tabla 10: Propiedades y Características Físicas.

Estado físico	Sólido granulado
Color	Beige
Longitud	5-11 mm
Ancho	2-4 mm
Espesor promedio μm	50
Peso	2,5-4,8 mg
Densidad	0,75 gr/cm ³
Conductividad térmica (k)	0,03605
Contenido de humedad	40%-60%
Poder calorífico	13,9-16,9 MJ/Kg

(Fuente: M. Echeverría [22])

Tabla 11: Propiedades y Características Químicas.

Humedad	7,41%
Cenizas	19,39%
Material Volátil	57,09%
PH a 25°C	7,10%
Fibra (Celulosa)	45,38%
Proteínas	3,59%
Carbono C	16,11%
Oxígeno (O)	32-34%
Hidrogeno (H)	5%
Nitrógeno (N)	0,3-2%

(Fuente: M. Echeverría [22])

4.2.1.2. ELIMINACIÓN DE IMPUREZAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ.

Para la eliminación de impurezas se utilizó el método de tamizado manual, donde se empleó el tamiz número 5 de 4 mm de orificio (Norma ASTM E-11/95) para separar las impurezas, por lo general se utilizan dos cernidores, uno sobre el otro. Los orificios del primer cernidor deben ser de un tamaño que permita el paso de la cascarilla y no

deje pasar impurezas mayores. Los orificios del segundo cernidor deben retener los granos y deben dejar pasar las impurezas menores, como se observa a continuación: [23]

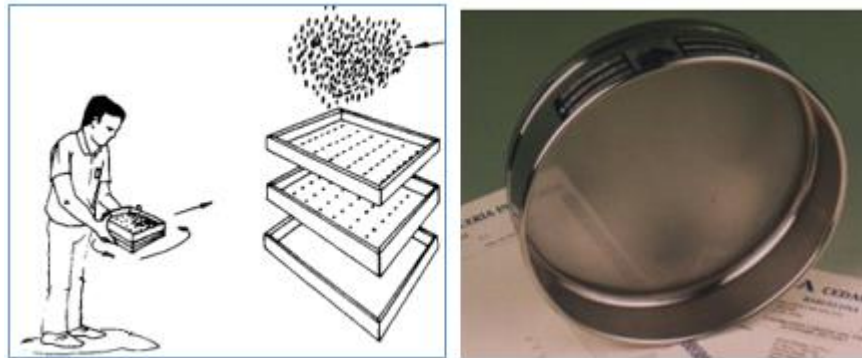










Figura 4.3. Separación de impurezas.
(Fuente: <http://www.fao.org/home/es/> [23])

4.2.1.3. MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA LA MANUFACTURA DEL MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER + CASCARILLA DE ARROZ).

En la manufactura del material compuesta (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz), se emplea los siguientes materiales y herramientas:

Tabla 12: Materiales y Herramientas para la Manufactura del Material Compuesto.

Materiales y Herramientas para la Obtención de Probetas del Material Compuesto (RP + CA).			
#	Material- Herramienta	Detalle	Grafico
1	Cascarilla de Arroz	La cascarilla de arroz es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para proteger del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular.	
2	Resina Poliéster SINTAPOL 999	Resina poliéster insaturado tipo orto-Tereftálica y tixotrópica es recomendada para productos reforzados con fibra de vidrio para uso industrial o artesanal, con laminado manual o con spray.	
3	MEK-Peróxido (Peróxido de Metil Etil Cetona)	Catalizador para resinas de poliéster insaturado y es generalmente usado para aplicaciones que emplean curado a temperatura ambiente.	

4	Cera desmoldante	Cera desmoldante fabricada a base de ceras vegetales y minerales, ideal para fabricación de piezas de fibra de vidrio debido a su bajo costo.	
5	Huaipe	Se emplea para la limpieza del molde y aplicación de la cera desmoldante.	
6	Vaso de Precipitación de 250 mL	Permite la medición volumétrica de la resina poliéster en base las fracciones volumétricas de la matriz.	
7	Jeringa	Utilizada para la medición volumétrica del catalizador MEK-P.	
8	Balanza electrónica	Nos permite pesar la cantidad de masa del refuerzo (cascarilla de arroz) de acuerdo a las fracciones volumétricas del refuerzo.	
9	Mascarilla Desechable.	Protege del olor de la mezcla de la resina poliéster + MEK-P.	
10	Guantes	Tiene la función de proteger y prevenir el contacto directo de la resina y MEK-P con la piel.	

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.2. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE CONFORMADO DEL MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER + CASCARILLA DE ARROZ).

4.2.2.1. DETERMINACIÓN DE DENSIDAD DE LA RESINA POLIÉSTER.

La densidad se determinó por el proceso gravimétrico, previamente se obtuvo un cuerpo sólido de resina poliéster catalizado, a temperatura ambiente 20 °C y humedad relativa de 45% y presión atmosférica, obteniendo una densidad de 1.27 gr/cc.

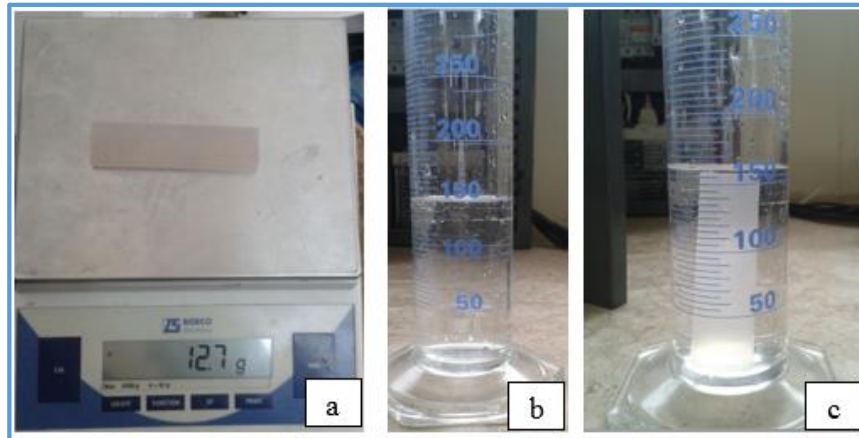


Figura 4.4. Determinación de la densidad del cuerpo sólido de Resina Poliéster, Método Gravimétrico (densidad = 1.27 gr/cc).
(Fuente: Realizado por el Autor)

$$\rho_{RP} = \frac{m_{RP}}{\Delta V_{RP}} \left[\frac{gr}{cm^3} \right] \quad \text{Ec (15)}$$

Datos:

- m_{RP} = masa de resina poliéster: 12.7 gr.
- V_0 = volumen inicial de agua: 150 cm^3
- V_f = volumen final de agua: 160 cm^3
- ΔV = variación de volumen: 10 cm^3

Por lo tanto:

$$\rho_{RP} = \frac{12.7}{10} = 1.27 \left[\frac{gr}{cm^3} \right]$$

4.2.2.2. DETERMINACIÓN DE DENSIDAD DE CASCARILLA DE ARROZ.

Se pesó una cierta cantidad de cascarilla de arroz, para luego ser introducido en un volumen específico de resina poliéster (sin MECK o catalizador) contenido en un vaso de precipitación de 250 ml o cc, a temperatura ambiente 20 °C y humedad relativa de 45% y presión atmosférica, obteniendo una densidad de 0,75 gr/cc.

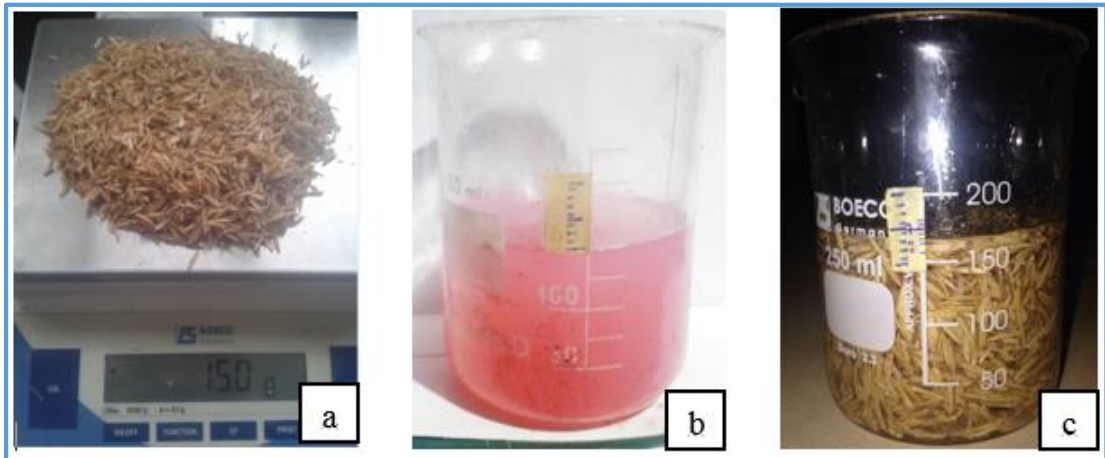


Figura 4.5. Determinación de la densidad de la cascarilla de arroz, Método Gravimétrico (densidad = 0.75 gr/cc).
(Fuente: Realizado por el Autor)

Se realizó tres mediciones en las mismas condiciones, obteniendo una densidad promedio de 0.75 gr/cc. Como se presenta a continuación.

Tabla 13. Determinación de densidad de la cascarilla de arroz.

Densidades de la Cascarilla de Arroz en Resina Poliéster a Temperatura Ambiente			
#	Peso (gr)	Variación de Volumen (cm³)	Densidades (gr/cm³)
1	15	20	0,75
2	15	20	0,75
3	15	20	0,75
Densidad promedio			0,75

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.2.3. CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO DEL MATERIAL COMPUESTO EN ESTUDIO.

Se determinan dos tipos de variables con las que se ira probando para obtener el mejor material compuesto: siendo estas la configuración y las fracciones volumétricas, que se muestra en la tabla N° 14, donde se detalla la propuesta de configuración del material:

Tabla 14: Configuración del refuerzo del material compuesto.

Configuración del refuerzo del material compuesto.		
Material compuesto	Resina Poliéster	Orto-tereftalica tixotrópica.
[Resina poliéster Cascarilla de arroz]	Cascarilla de Arroz	Tipo A (condiciones naturales)
		Alargada B (cortes longitudinales)

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.2.4. DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DEL REFUERZO Y MATRIZ A UTILIZAR PARA LOS ENSAYOS MECÁNICOS.

Para la determinación de las fracciones volumétricas del refuerzo (cascarilla de arroz), se determina experimentalmente para cada tipo de refuerzo (Tipo A y Tipo B), como se muestra en tabla N°15:

Tabla 15: Fracciones volumétricas del refuerzo (cascarilla de arroz).

#	Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica del Refuerzo CA
1	Tipo (A)	12,0%
2	Tipo (A)	14,5%
3	Tipo (A)	17%
4	Alargada (B)	12,0%
5	Alargada (B)	14,5%
6	Alargada (B)	17%

(Fuente: Realizado por el Autor)

- **Cálculo para la fracción volumétrica del 12% de refuerzo (cascarilla de arroz).**

Para establecer el volumen requerido, existen parámetros que se deben considerar:

- Dimensión de probetas en base a la normativa: ASTM D 3039 (Tracción), ASTM D 7264 (Flexión) y ASTM D 5628 (Impacto).

- Pérdidas de resina poliéster durante el proceso de preparación y aplicación en el molde.
- Espacio disponible del molde para la obtención de los diferentes tipos de probetas.

Tiendo claro estos parámetros, establecemos el espacio necesario para la obtención del material compuesto, con las dimensiones del espacio de moldeo como se muestra en la figura 4.6:

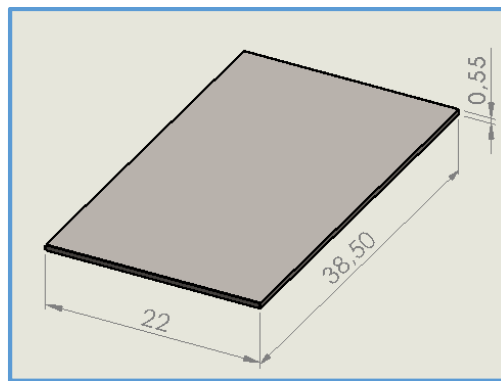


Figura 4.6. Espacio para el moldeo.
(Fuente: Realizado por el Autor)

Datos:

- Lado 1: 38,5 cm.
- Lado 2: 22 cm.
- Espesor: 0,55 cm.

$$V_{Requerido} = 38,5 \times 22 \times 0,55$$

$$V_{Requerido} = 465,85 \text{ cm}^3 \approx 470 \text{ cm}^3.$$

Determinado el volumen requerido para el molde, se estima la masa de la cascarilla de arroz y la cantidad de matriz (resina poliéster) indispensable para la manufactura del material compuesto.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2)}$$

$$f_f = 1 - f_m \quad \text{Ec (3)}$$

Los subíndices m y f corresponden a la matriz y a la fibra del material compuesto.

Datos conocidos del material compuesto:

- Densidad de la matriz (m): $1,27 \text{ gr/cm}^3$
- Densidad de la fibra (f): $0,75 \text{ gr/cm}^3$
- Fracción volumétrica de la fibra (fm): 0.12
- Fracción volumétrica la matriz (f): 0.88

$$f_f = 1 - f_m \quad \text{Ec (3)}$$

$$f_f = 1 - 0.12 = 0.88$$

Determinación de la densidad del material compuesto (cascarilla de arroz + resina poliéster).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2)}$$

$$\rho_c = \left(0.88 \times 1.27 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) + \left(0.12 \times 0.75 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\rho_c = 1,21 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Cálculo de la fracción volumétrica del refuerzo del material compuesto (casca de arroz).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2)}$$

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

$$\rho_c = \rho_m - f_f \rho_m + f_f \rho_f$$

$$1,21 = 1,27 - 1,27 f_f + 0,75 f_f$$

$$f_f = 0,115$$

$$f_f = 11,5\% \approx 12\%$$

- Cálculo de la fracción volumétrica de la matriz del material compuesto (resina poliéster).

$$fm = 1 - f_f \quad \text{Ec (3)}$$

$$fm = 1 - 0,12$$

$$fm = 0,88$$

$$fm = 88\%$$

La fracción volumétrica requerida del material de refuerzo es del 12% (cascarilla de arroz) y la fracción volumétrica de la matriz es del 88% (resina poliéster).

Con las fracciones volumétricas obtenidas del refuerzo y de la matriz se procede a la determinación del volumen de la matriz y de la masa del refuerzo.

- Cálculo del volumen de la matriz (resina poliéster).

Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida, se determina el volumen de resina poliéster necesario para el moldeo.

$$V_{Requerido} = 470 \text{ cm}^3.$$

$$fm = 88\% = 0,88$$

$$V_{Resina\ poliéster} = 470 \times 0,88 = 413,6 \text{ cm}^3.$$

Este es el volumen de resina poliéster necesaria para el moldeo, además la resina se le agrega el catalizador (MEK-P), porcentaje que varía del 1% al 2% del volumen requerido de resina, se utiliza el 1.5% de volumen de endurecedor (MEK-P) obteniendo 6,20 cm³.

- Cálculo de la masa del material de refuerzo (cascarilla de arroz).

Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida del refuerzo, se determina la masa de fibra necesaria:

$$V_{Requerido} = 470 \text{ cm}^3.$$

$$f_f = 12\%$$

$$V_{refuerzo} = 470 \times 0,12 = 56,4 \text{ cm}^3.$$

Con el volumen necesario de fibra, se determina la masa de la cascarilla de arroz:

$$V_{refuerzo} = 56,4 \text{ cm}^3.$$

$$\rho_f = 0,75 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec (15)}$$

$$m_{refuerzo} = \rho_f \times V_{refuerzo}$$

$$m_{refuerzo} = 0,75 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right] \times 56,4 \text{ cm}^3 = 42,3 \text{ gr}$$

Para un volumen requerido de 470 cm^3 , se requiere para una fracción volumétrica del 88% un volumen de $413,6 \text{ cm}^3$ de matriz (resina poliéster), un volumen de endurecedor $6,20 \text{ cm}^3$ y la cantidad de masa $42,3 \text{ gr}$ de refuerzo (cascarilla de arroz).

- Cálculo para la fracción volumétrica del 14,5% de refuerzo (cascarilla de arroz).

Como dato de partida, se determinó el volumen requerido de 470 cm^3 , del cual se estima la masa de la cascarilla de arroz y el volumen de matriz (resina poliéster) requeridos para el material con el 14.5% de refuerzo.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2)}$$

$$f_f = 1 - f_m \quad \text{Ec (3)}$$

Los subíndices m y f corresponden a la matriz y a la fibra del material compuesto.

Datos conocidos del material compuesto:

- Densidad de la matriz (m): $1,27 \text{ gr/cm}^3$

- Densidad de la fibra (f): $0,75 \text{ gr/cm}^3$
- Fracción volumétrica de la fibra (fm): 0.145
- Fracción volumétrica la matriz (f): 0.855

$$f_f = 1 - f_m \quad \text{Ec (3)}$$

$$f_f = 1 - 0.145 = 0.855$$

- Determinación de la densidad del material compuesto (cascarilla de arroz + resina poliéster).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2)}$$

$$\rho_c = \left(0,855 \times 1,27 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) + \left(0,145 \times 0,75 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\rho_c = 1,1946 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Cálculo de la fracción volumétrica del material de refuerzo del material compuesto (cascarilla de arroz).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2)}$$

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

$$\rho_c = \rho_m - f_f \rho_m + f_f \rho_f$$

$$1,1946 = 1,27 - 1,27 f_f + 0,75 f_f$$

$$f_f = 0,145$$

$$f_f = 14,5\%$$

- Cálculo de la fracción volumétrica de la matriz del material compuesto (resina poliéster).

$$f_m = 1 - f_f \quad \text{Ec (3)}$$

$$f_m = 1 - 0,145$$

$$fm = 0,855$$

$$fm = 85,5\%$$

La fracción volumétrica requerida del material de refuerzo es del 14,5% (cascarilla de arroz) mientras que fracción volumétrica de la matriz es del 85,5% (resina poliéster).

Con las fracciones volumétricas obtenidas del refuerzo y de la matriz se procede a la determinación del volumen de la matriz y de la masa del refuerzo.

- Cálculo del volumen de la matriz (resina poliéster).

Con el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida de resina poliéster, se determina el volumen de resina necesario para el moldeo.

$$V_{Requerido} = 470 \text{ cm}^3.$$

$$fm = 85,5\% = 0,855$$

$$V_{Resina\ poliéster} = 470 \times 0,855 = 401,85 \text{ cm}^3.$$

Este es el volumen de resina poliéster necesaria para el moldeo, además la resina se le agrega un catalizador (MEK-P), porcentaje que varía del 1% al 2% del volumen requerido de resina, se utiliza el 1.5% de volumen de endurecedor (MEK-P) obteniendo 6,03 cm³.

- Cálculo de la masa del material de refuerzo (cascarilla de arroz).

Con el volumen requerido en el molde y la fracción volumétrica requerida del refuerzo, se determina la masa de la fibra necesaria:

$$V_{Requerido} = 470 \text{ cm}^3.$$

$$f_f = 14,5\%$$

$$V_{refuerzo} = 470 \times 0,145 = 68,15 \text{ cm}^3.$$

Con el volumen necesario de fibra, se determina la masa de la cascarilla de arroz:

$$V_{refuerzo} = 68,15 \text{ cm}^3.$$

$$\rho_f = 0,75 \left[\frac{gr}{cm^3} \right]$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec (15)}$$

$$m_{refuerzo} = \rho_f \times V_{refuerzo}$$

$$m_{refuerzo} = 0,75 \left[\frac{gr}{cm^3} \right] \times 68,15 \text{ cm}^3 = 51,11 \text{ gr}$$

Para un volumen requerido de 470 cm^3 , se requiere para una fracción volumétrica del 85,5% un volumen de $401,85 \text{ cm}^3$ de matriz (resina poliéster), un volumen de endurecedor $6,03 \text{ cm}^3$ y la cantidad de masa $51,11 \text{ gr}$ de refuerzo (cascarilla de arroz).

- Cálculo para la fracción volumétrica del 17% de refuerzo (cascarilla de arroz).

Como dato de partida, se determinó el volumen requerido de 470 cm^3 , del cual se estima la masa de la cascarilla de arroz y el volumen de matriz (resina poliéster) requeridos para el material con el 17% de refuerzo.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2)}$$

$$f_f = 1 - f_m \quad \text{Ec (3)}$$

Los subíndices m y f corresponden a la matriz y a la fibra del material compuesto.

Datos conocidos del material compuesto:

- Densidad de la matriz (m): $1,27 \text{ gr/cm}^3$
- Densidad de la fibra (f): $0,75 \text{ gr/cm}^3$
- Fracción volumétricas de la fibra (fm): 0.17
- Fracción volumétrica la matriz (f): 0.83

$$f_f = 1 - f_m \quad \text{Ec (3)}$$

$$f_f = 1 - 0.17 = 0.83$$

- Determinación de la densidad del material compuesto (cascarilla de arroz + resina poliéster).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2)}$$

$$\rho_c = \left(0,83 \times 1,27 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) + \left(0,17 \times 0,75 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\rho_c = 1,1816 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Cálculo de la fracción volumétrica del material de refuerzo del material compuesto (cascarilla de arroz).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2)}$$

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

$$\rho_c = \rho_m - f_f \rho_m + f_f \rho_f$$

$$1,1816 = 1,27 - 1,27 f_f + 0,75 f_f$$

$$f_f = 0,17$$

$$f_f = 17 \%$$

- Cálculo de la fracción volumétrica de la matriz del material compuesto (resina poliéster).

$$f_m = 1 - f_f \quad \text{Ec (3)}$$

$$f_m = 1 - 0,17$$

$$f_m = 0,83$$

$$f_m = 83 \%$$

La fracción volumétrica requerida del material de refuerzo es del 17% (casca de arroz) y la fracción volumétrica de la matriz es del 83% (resina poliéster).

- Cálculo del volumen de la matriz (resina poliéster).

Obtenido el volumen del molde y la fracción volumétrica requerida de resina poliéster, se determina el volumen de resina necesario para el moldeo.

$$V_{Requerido} = 470 \text{ cm}^3.$$

$$f_m = 83\% = 0,83$$

$$V_{Resina\ poliéster} = 470 \times 0,83 = 390,1 \text{ cm}^3.$$

Este es el volumen de resina poliéster necesaria para el moldeo, además la resina se le agrega un catalizador (MEK-P), porcentaje que varía del 1% al 2% del volumen requerido de resina, se utiliza el 1.5% de volumen de endurecedor (MEK-P) obteniendo 5,85 cm³.

- Cálculo de la masa del material de refuerzo (cascarilla de arroz).

A partir del volumen del molde y la fracción volumétrica requerida del refuerzo, se determina la masa de fibra necesaria:

$$V_{Requerido} = 470 \text{ cm}^3.$$

$$f_f = 17 \%$$

$$V_{refuerzo} = 470 \times 0,17 = 79,9 \text{ cm}^3.$$

Obtenido el volumen necesario de fibra, se determina la masa de la cascarilla de arroz:

$$V_{refuerzo} = 79,9 \text{ cm}^3.$$

$$\rho_f = 0,75 \left[\frac{gr}{cm^3} \right]$$

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{Ec (15)}$$

$$m_{refuerzo} = \rho_f \times V_{refuerzo}$$

$$m_{\text{refuerzo}} = 0,75 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right] \times 79,9 \text{ cm}^3 = 59,92 \text{ gr}$$

Para un volumen requerido de 470 cm^3 , se requiere para una fracción volumétrica del 83 % un volumen de $390,1 \text{ cm}^3$ de matriz (resina poliéster), un volumen de endurecedor $5,85 \text{ cm}^3$ y la cantidad de masa $59,92 \text{ gr}$ de refuerzo (cascarilla de arroz).

La determinación del volumen de la matriz y la cantidad de masa del refuerzo, se presenta un resumen de las cantidades a utilizar para la elaboración de las probetas del material compuesto: resina poliéster + cascarilla de arroz.

Tabla 16: Resumen de los constituyentes del material compuesto: resina poliéster + cascarilla de Arroz.

#	Tipo del Refuerzo	Fracción Volumétrica		Masa del refuerzo: Cascarilla de Arroz	Volumen de la matriz: Resina Poliéster (cm3)	Volumen del MEK-P (cm3)
		Refuerzo (%)	Matriz (%)			
		CA	RP			
1	Tipo (A): Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.	12	88	42,3	413,6	6,2
		14,5	85,5	51,11	401,85	6,03
		17	83	59,92	390,1	5,85
2	Alargada (B): Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.	12	88	42,3	413,6	6,2
		14,5	85,5	51,11	401,85	6,03
		17	83	59,92	390,1	5,85

(Fuente: Realizado por el Autor)

Definiciones:

- CA: Cascarilla de Arroz.
- RP: Resina Poliéster.

4.2.2.5. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE ESTRATIFICACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.

Para los ensayos mecánicos propuestos (Tracción, Flexión, Impacto), se utilizó el proceso de la estratificación manual y compresión para la obtención de las probetas requeridas.

Estratificación manual.

Tabla 17: Ventajas y Limitaciones de la estratificación manual.

Ventajas	Limitaciones
Operación simple	Alta intensidad de mano de obra.
Bajo costo de manufactura	Dificultad de controlar el espesor de la pieza
Permite fabricar piezas de diversos tamaños.	Buen acabado en sólo una de sus caras. Toxicidad de las emisiones de solventes al ambiente.

(Fuente: J. D. V.H Guerrero-Nuevos Materiales [2])

Estratificación a compresión.

Tabla 18: Ventajas y Limitaciones de la estratificación a compresión.

Ventajas	Limitaciones
Elevadas fracciones volumétricas de fibras con muy baja porosidad.	Costo elevado de los moldes y precisión de ensamble.
Método seguro (resina no expuesta al ambiente)	Generalmente limitado el tamaño de las piezas fabricadas
Alta calidad estética (moldes)	Pueden aparecer zonas con impregnación defectuosa

(Fuente: J. D. V.H Guerrero-Nuevos Materiales [2])

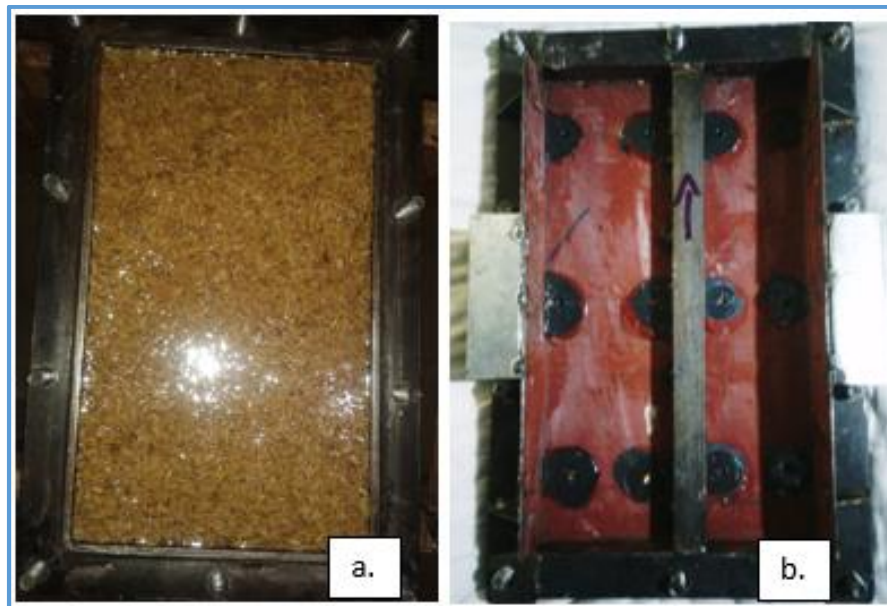


Figura 4.7. Tipos de estratificación: a) Estratificación manual, b) Estratificación a compresión.

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.3. ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LAS POSIBLES COMBINACIONES Y NÚMERO DE PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ.

Se analizará con un mínimo de seis probetas por tipo de ensayo y bajo la normativa correspondiente (Tracción ASTM D3039-00, Flexión ASTM D7264-07 e Impacto D5628-10), en función de la configuración y fracción volumétrica del material compuesto (resina poliéster + cascarilla de arroz), mediante estratificación manual y compresión para obtención de probetas, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 19: Combinaciones del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz para ensayos mecánicos.

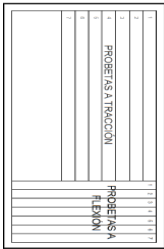
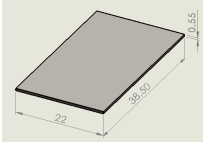



#	Tipo de refuerzo	Tipo de estratificación	Fracción Volumétrica (%)		Masa del refuerzo:	Volumen de la matriz:	Volumen del
			Cascarilla de Arroz	Resina Poliéster (RP)	Cascarilla de Arroz	Resina Poliéster (cm ³)	MEK-P (cm ³)
1	Tipo (A)	Manual (M)	12	88	42,3	413,6	6,2
2	Tipo (A)	Manual (M)	14,5	85,5	51,11	401,85	6,03
3	Tipo (A)	Manual (M)	17	83	59,92	390,1	5,85
4	Alargada (B)	Compresión (C)	12	88	42,3	413,6	6,2
5	Alargada (B)	Compresión (C)	14,5	85,5	51,11	401,85	6,03
6	Alargada (B)	Compresión (C)	17	83	59,92	390,1	5,85
7	Tipo (A)	Compresión (C)	12	88	42,3	413,6	6,2
8	Tipo (A)	Compresión (C)	14,5	85,5	51,11	401,85	6,03
9	Tipo (A)	Compresión (C)	17	83	59,92	390,1	5,85
10	Alargada (B)	Manual (M)	12	88	42,3	413,6	6,2
11	Alargada (B)	Manual (M)	14,5	85,5	51,11	401,85	6,03
12	Alargada (B)	Manual (M)	17	83	59,92	390,1	5,85

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DEL MOLDE.

Para la construcción del molde se realizó el siguiente proceso como se describe a continuación:

Tabla 20: Construcción del molde.

Construcción del molde.					
#	Etapa.	Detalle.	Observaciones.		
1	Diseño Geométrico.	Se realiza en base al número de probetas y de acuerdo a la norma de cada ensayo. Se determina un área de trabajo de: 38,5 cm x 22 cm x 0,55 cm.			
		Ensayo		Norma	Dimensión
		Tracción		ASTM D3039	250x25x5mm
		Flexión		ASTM D7264-07	130x160x5 mm
		Impacto		ASTM D5628-10	58x58x5 mm
2	Volumen requerido del molde.	El volumen requerido: 38,5 cm x 22 cm x 0,55 cm.			
		Volumen requerido= 470 cm ³			
3	Selección del material para la construcción del molde.	Para la fabricación del molde se utilizó el acero ASTM A-36, plancha laminada al caliente de 2 mm de espesor, perfil L 30x30x2 mm.			
4	Planimetría del molde	Se utilizó un software CAD para la planimetría del molde en base del número de probetas, volumen requerido y normas ASTM D citadas anteriormente.			
5	Fabricación de la base.	Se corta una plancha de acero negro ASTM A-36, de las dimensiones: 440x260x5 mm. Se perfora 10 agujeros para pernos de acero de 1x1/2 pulgada de rosca gruesa.			
6	Fabricación del marco.	Para la elaboración del marco, se utilizó un perfil L de acero negro ASTM A-36 de espesor de 5 mm, se perforó 10 agujeros de 9/16 de pulgada, lo que permite una sujeción entre la base y el marco.			
7	Fabricación de la tapa.	Se utilizó una plancha laminada al caliente de espesor de 2 mm. Se colocaron refuerzos triangulares en los laterales y un perfil L de 30x30x2 mm en la parte central, con el propósito de dar rigidez al molde.			

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.5. OBTENCIÓN DE PROBETAS MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN MANUAL Y COMPRESIÓN (RESINA POLIÉSTER+ CASCARILLA DE ARROZ).




Determinado el volumen de matriz (resina poliéster) y la cantidad de masa del refuerzo (cascarilla de arroz) se procede a la obtención de las probetas mediante los siguientes procesos:







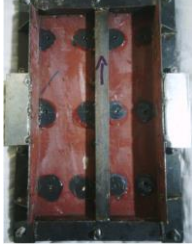




- Estratificación manual
- Estratificación a compresión.

4.2.5.1. ELABORACIÓN DE PROBETAS MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN MANUAL (RESINA POLIÉSTER + CASCARILLA DE ARROZ).

La obtención de probetas mediante la estratificación manual, se siguió un orden lógico y consecutivo como se detalla a continuación:

Tabla 21: Manufactura de Probetas mediante Estratificación Manual.

Obtención de probetas del Material Compuesto de Matriz Poliéster reforzada con cascarilla de arroz (12%,14,5%,17%)			
Proceso:		Estratificación Manual	
		Estratificación a Compresión.	
#	Pasos	Detalles	Observaciones
1	Limpieza y aplicación de la cera desmoldante en la base del molde	Base-Molde	
		Se limpia toda la superficie de la base del molde con huaípe, asegurando que este libre de impurezas o partículas. Se procede a la aplicación de 3 capas de cera desmoldante, cada aplicación con un tiempo de espera de 2 a 3 minutos, luego se procede a pulir la superficie.	
2	Limpieza y aplicación de la cera desmoldante en el marco del molde	Marco- Molde	
		Al igual que el paso anterior, se realiza la limpieza de todo el contorno del marco, verificando que este libre de impurezas. Aplicamos 3 capas de cera desmoldante en todo el contorno, con un tiempo de espera de 2 a 3 minutos, posteriormente se pule toda la superficie.	
3	Limpieza y aplicación de la cera desmoldante en la tapa del molde	Tapa-Molde.	
		La tapa debe estar sin impurezas o partículas, utilizamos un huaípe para la limpieza de toda la superficie. Aplicamos 3 capas de cera desmoldante sobre la superficie de la tapa, con un tiempo de espera de 2 a 3 minutos, posteriormente se pule toda la superficie.	

4	Ensamble de la Base-Marco.	Base-Marco			
		Unimos la base con el marco, con el propósito de formar el área de trabajo. Verificamos que tenga una buena unión para evitar imperfecciones en la manufactura del material compuesto.			
5	Pesado del refuerzo (cascarilla de arroz) de acuerdo a las fracciones volumétricas del material compuesto.	Mediante una balanza electrónica, pesamos la cantidad de masa del refuerzo en función de las fracciones volumétricas del refuerzo.			
6	Preparación de la mezcla Resina Poliéster+MEK-P	Con un vaso de precipitación de 250 mL cuantificamos el volumen de Resina Poliéster en función de las fracciones volumétricas de la matriz.			 
		Se utiliza una jeringuilla para determinar el volumen de MEK-P, el cual debe ser el 1,5% del volumen de la Resina Poliéster.			
7	Preparación de la Matriz (Resina Poliéster + MEK-P)	Agregamos en un recipiente plástico la Resina Poliéster y el MEK-P. Con una paleta de madera se agita durante 5 minutos con el propósito de obtener una mezcla homogénea.			
8	Manufactura del Material Compuesto: Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz	Mezclamos la matriz (Resina Poliéster) + Refuerzo (Cascarilla de Arroz) durante 4 minutos para obtener una composición homogénea. Vertimos y extendemos la mezcla dentro del molde.			Estratificación Manual
		Estratificación Manual Igualamos toda la superficie y lo dejamos descubierto durante un 24 horas para que se seque.			
		Estratificación a Compresión. Para este proceso se agrega la tapa y se sella el molde. Colocamos 40 kilogramos sobre la tapa con el propósito que el material se comprima. Dejamos que se seque durante 24 horas.			
9	Desmolde del material compuesto.	Trascurrido las 24 horas, se procede a retirar el marco y desmoldar el material compuesto. Se da unos ligeros golpes en los 4 lados del molde.			
					
10	Corte de Probetas para Ensayos Mecánicos: Tracción, Flexión e Impacto	El corte se realizo con una amoladora angular de 11000 rpm, de acuerdo a normativa ASTM D:			 
		Ensayo	Norma	Dimensión	
		Tracción	ASTM D3039	250x25x5mm	
		Flexión	ASTM D7264-07	130x160x5 mm	
Impacto	ASTM D5628-10	58x58x5 mm			

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.5.2. ELABORACIÓN DE PROBETAS MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN A COMPRESIÓN (RESINA POLIÉSTER + CASCARILLA DE ARROZ).

La obtención de las probetas mediante la estratificación a compresión, se realizó el mismo procedimiento detallado en la Tabla 20, con la diferencia que se acopla la tapa a la base, posteriormente se coloca un peso de 40 kilogramos sobre la parte superior de la tapa con el fin de obtener un prensado óptimo entre la matriz (Resina Poliéster) y el refuerzo (Cascarilla de Arroz). Se deja curar durante 24 horas para proceder a desmoldar el material compuesto y realizar el corte de probetas según la normativa ASTM D.



Figura 4.8. Estratificación a Compresión del Material Compuesto.
(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.5.3. CORTE DE LAS PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO PARA LOS ENSAYOS MECÁNICOS.

Se esperó 10 días para que el material seque por completo, es decir para que el material tenga un curado completo. El corte del material compuesto se realizó con una amoladora angular de 11000 rpm y con un disco de corte de filo de diamante y de acuerdo a las dimensiones correspondientes para cada ensayo citado en la norma ASTM D.

Tabla 22: Dimensiones de Probetas de acuerdo a la normativa ASTM-D.

Ensayo	Norma	Dimensión
Tracción	ASTM D3039	250x25x5mm
Flexión	ASTM D7264-07	160x13x5 mm
Impacto	ASTM D5628-10	58x58x5 mm

(Fuente: Norma ASTM-D)

Corte de probetas a tracción.

El corte de cada probeta es de acuerdo la norma ASTM D3039-14 para el ensayo a tracción. Se expone por medio de las siguientes tablas la cantidad de probetas cortadas en función del tipo de refuerzo, fracción volumétrica y tipo de estratificación.



Figura 4.9. Curado del material compuesto (RP+CA) con un lapso de tiempo de 10 días.
(Fuente: Realizado por el Autor)

Tabla 23: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación manual.

#	Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica del Refuerzo CA	Tipo de estratificación	# Probetas	Dimenciones (mm)
1	Tipo (A)	12,0%	Manual (M)	5	250x25x5mm
2	Tipo (A)	14,5%	Manual (M)	5	250x25x5mm
3	Tipo (A)	17%	Manual (M)	5	250x25x5mm
4	Alargada (B)	12,0%	Manual (M)	5	250x25x5mm
5	Alargada (B)	14,5%	Manual (M)	5	250x25x5mm
6	Alargada (B)	17%	Manual (M)	5	250x25x5mm
TOTAL				30	

(Fuente: Realizado por el Autor)

Tabla 24: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación a compresión.

#	Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica del Refuerzo CA	Tipo de estratificación	# Probetas	Dimensiones (mm)
1	Tipo (A)	12,0%	Compresión (C)	5	250x25x5mm
2	Tipo (A)	14,5%	Compresión (C)	5	250x25x5mm
3	Tipo (A)	17%	Compresión (C)	5	250x25x5mm
4	Alargada (B)	12,0%	Compresión (C)	5	250x25x5mm
5	Alargada (B)	14,5%	Compresión (C)	5	250x25x5mm
6	Alargada (B)	17%	Compresión (C)	5	250x25x5mm
TOTAL				30	

(Fuente: Realizado por el Autor)

- **Tipo (A):** condiciones naturales de la cascarilla de arroz.
- **Alargada (B):** cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.



Figura 4.10. Corte de probetas para ensayo a tracción (Norma ASTM D3039-14).
(Fuente: Realizado por el Autor)

Corte de probetas a flexión.

El corte de las probetas está basado en la norma ASTM D7264-07 para ensayos a flexión.

Tabla 25: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación manual.

#	Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica del Refuerzo CA	Tipo de estratificación	# Probetas	Dimensiones (mm)
1	Tipo (A)	12,0%	Manual (M)	6	160x13x5mm
2	Tipo (A)	14,5%	Manual (M)	6	160x13x5mm
3	Tipo (A)	17%	Manual (M)	6	160x13x5mm
4	Alargada (B)	12,0%	Manual (M)	6	160x13x5mm
5	Alargada (B)	14,5%	Manual (M)	6	160x13x5mm
6	Alargada (B)	17%	Manual (M)	6	160x13x5mm
TOTAL				36	

(Fuente: Realizado por el Autor)

Tabla 26: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación a compresión.

#	Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica del Refuerzo CA	Tipo de estratificación	# Probetas	Dimensiones (mm)
1	Tipo (A)	12,0%	Compresión (C)	6	160x13x5mm
2	Tipo (A)	14,5%	Compresión (C)	6	160x13x5mm
3	Tipo (A)	17%	Compresión (C)	6	160x13x5mm
4	Alargada (B)	12,0%	Compresión (C)	6	160x13x5mm
5	Alargada (B)	14,5%	Compresión (C)	6	160x13x5mm
6	Alargada (B)	17%	Compresión (C)	6	160x13x5mm
TOTAL				36	

(Fuente: Realizado por el Autor)

- **Tipo (A):** condiciones naturales de la cascarilla de arroz.
- **Alargada (B):** cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.

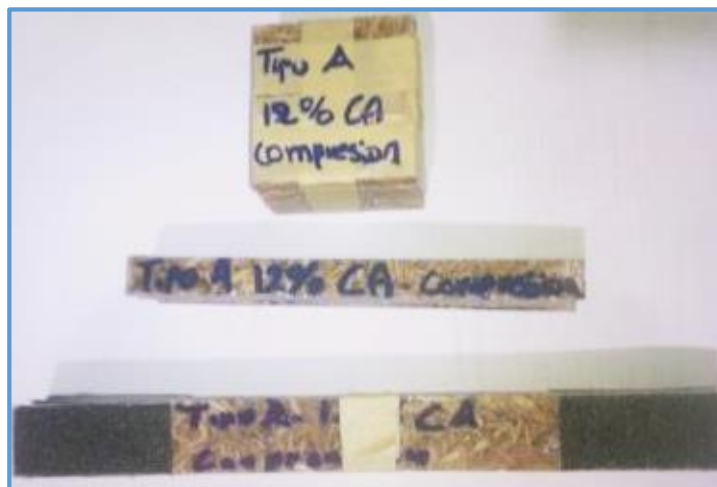


Figura 4.11. Corte de probetas para ensayo a flexión (Norma ASTM D7264-07).

(Fuente: Realizado por el Autor)

Corte de probetas para impacto.

El corte de las probetas está basado en la norma ASTM D5628-10 para ensayos a impacto.

Tabla 27: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación manual.

#	Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica del Refuerzo CA	Tipo de estratificación	# Probetas	Dimensiones (mm)
1	Tipo (A)	12,0%	Manual (M)	5	58x58x5mm
2	Tipo (A)	14,5%	Manual (M)	5	58x58x5mm
3	Tipo (A)	17%	Manual (M)	5	58x58x5mm
4	Alargada (B)	12,0%	Manual (M)	5	58x58x5mm
5	Alargada (B)	14,5%	Manual (M)	5	58x58x5mm
6	Alargada (B)	17%	Manual (M)	5	58x58x5mm
TOTAL				30	

(Fuente: Realizado por el Autor)

Tabla 28: Corte del material compuesto (RP+CA) de acuerdo a la estratificación a compresión.

#	Tipo de refuerzo	Fracción volumétrica del Refuerzo CA	Tipo de estratificación	# Probetas	Dimensiones (mm)
1	Tipo (A)	12,0%	Compresión (C)	5	58x58x5mm
2	Tipo (A)	14,5%	Compresión (C)	5	58x58x5mm
3	Tipo (A)	17%	Compresión (C)	5	58x58x5mm
4	Alargada (B)	12,0%	Compresión (C)	5	58x58x5mm
5	Alargada (B)	14,5%	Compresión (C)	5	58x58x5mm
6	Alargada (B)	17%	Compresión (C)	5	58x58x5mm
TOTAL				30	

(Fuente: Realizado por el Autor)

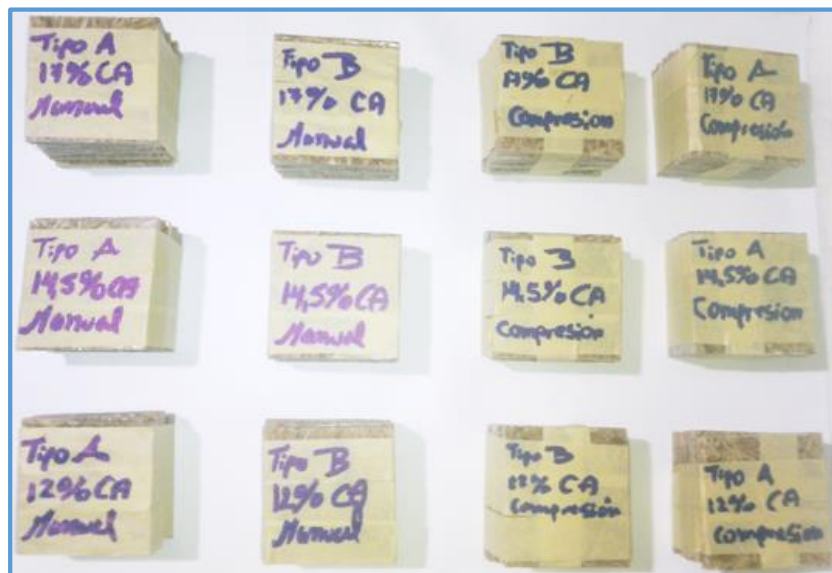


Figura 4.12. Corte de probetas para ensayo a impacto (Norma ASTM D5628-10).

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.6. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER + CASCARILLA DE ARROZ).

Los ensayos a tracción y flexión fueron realizados en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero (CFPMC), en el Laboratorio de Resistencia de Materiales, ubicada en el sector de Catiglata de la ciudad de Ambato-Ecuador. Estos ensayos se realizaron con una Máquina de Ensayos Universales de hasta 50 KN para materiales polímeros, cerámicos, compuestos, que pertenece a la familia Metrotec Serie MTE50.

Los ensayos de impacto y fractografía se realizaron en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (FICM-UTA), en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

4.2.6.1. ENSAYO A TRACCIÓN.

En este ensayo, las probetas deben estar correctamente normalizadas de acuerdo a la norma ASTM D3039-14 (dimensiones en cada probeta). Para garantizar una correcta sujeción en las mordazas de la maquina universal, se colocó cintas de lija (56x25 mm) en los extremos de las probetas a los dos lados.



Figura 4.13. Probetas para ensayo a tracción con cinta de lija (56x25mm).
(Fuente: Realizado por el Autor)

Esfuerzo máximo a tracción.

Se utilizó 5 probetas en base del tipo de estratificación, fracciones volumétricas y la norma ASTM D3039-14.

A cada probeta se aplica una carga a una velocidad constante de 5 mm/min, lo cual produce la ruptura de la probeta ensayada, donde se reduce la sección transversal (menor a la original) permitiendo determinar el área y la carga máxima.

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec (7)}$$

Donde:

- σ_{max} = Esfuerzo máximo (MPa).
- F= Carga máxima o fuerza necesaria para producir la fractura (N).
- A= Área de la sección transversal de la probeta (mm^2).

Ductilidad.

Se refiere al porcentaje de elongación, es decir se mide la longitud inicial y final de la probeta sometida al ensayo antes y después que se produzca la ruptura.

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \quad \text{Ec (9)}$$

Donde:

- l_f = Longitud final (mm)
- l_o = Longitud inicial (mm).

Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad o módulo de Young (E), se calculó mediante la norma ASTM D3039-14 y la relación de Hooke.

$$E = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\varepsilon} \quad \text{Ec (8)}$$

Donde:

- σ = Esfuerzo máximo (MPa)
- ε = Porcentaje de elongación.



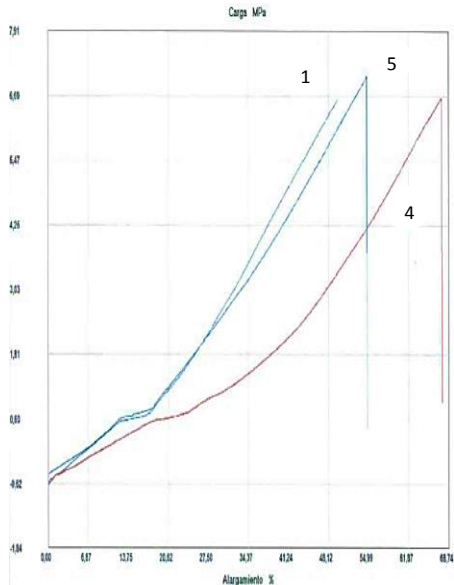
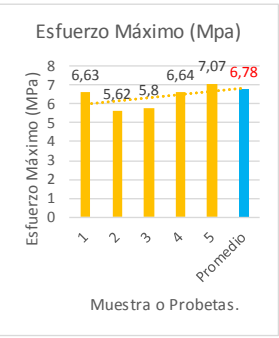
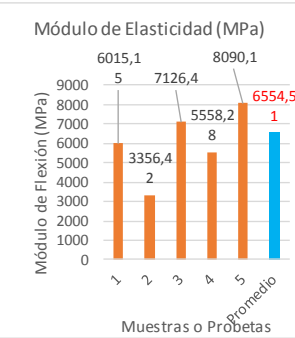

Tabulación de resultados.

Los resultados obtenidos de las probetas ensayadas están basadas de acuerdo al tipo de estratificación, fracciones volumétricas y la norma ASTM D3039-14.

Ficha de datos del material compuesto.

Se detalla el número de probetas ensayadas de las diferentes fracciones volumétricas con su respectiva estratificación (manual-compresión), de las cuales se realizó la discriminación, toman el valor máximo, mínimo e intermedio, obteniendo los valores promedios de espesor, esfuerzo máximo y módulo de Elasticidad.

Ficha Técnica 4.4. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-12%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
	(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)				
REG:ET-MC-001					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)					
Fecha:	28 de Junio de 2016		Ciudad:	Ambato.	
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua				
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50		
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada		Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.	
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Manual
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		88%	F. Volumétrica del refuerzo.	
				12%	
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm	Ancho:	25 mm	Espesor nominal (mm): 5,40
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).					
Muestra o Probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	
ETC-Manual CA Tipo (A)	1	0,9	1470,38	6,63	6015,15
ETC-Manual CA Tipo (A)	2	2,9	1439,83	5,62	3356,42
ETC-Manual CA Tipo (A)	3	1,62	1344,16	5,8	7126,4
ETC-Manual CA Tipo (A)	4	1,21	1048,23	6,64	5558,28
ETC-Manual CA Tipo (A)	5	0,99	1203,5	7,07	8090,1
Promedio:	1,52	1301,22	6,35	6029,27	
Desviación Estándar:	0,82	175,52	0,62	1790,03	
Gráficas de resultados					
					
x=promedio de las probetas 1,4 y 5					
Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.					
Observaciones			Evaluación		
La probeta presenta un comportamiento frágil.			Se descartan las probetas 2 y 3.		
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.			Espesor nominal: 5,37 mm.		
Las probetas presentarán ruptura en la zona inferior, media y superior.			Esfuerzo máximo promedio: 6,78 MPa		
			Módulo de Elasticidad promedio: 6554,51 MPa		
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.	
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.		Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.	

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.5. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-14,5%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)		REG:ET-MC-002	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)									
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.				
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua								
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:		Metrotec Serie MTE50					
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada			Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.					Estratificación:		Manual	
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		85,5%		F. Volumétrica del refuerzo.			14,5%	
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm		Ancho:	25 mm		Espesor nominal (mm):	5,54	
Número de Probetas	5			Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.				
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).									
Muestra o Probeta:	Deformación Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Elasticidad (MPa)		
ETC-Manual CA Tipo (A)	1	1,41		1473,07		6,74		5500,7	
ETC-Manual CA Tipo (A)	2	1,24		1156,5		8,3		9339,5	
ETC-Manual CA Tipo (A)	3	1,92		1499,59		7,86		8109,2	
ETC-Manual CA Tipo (A)	4	1,65		1483,81		8,6		6747,0	
ETC-Manual CA Tipo (A)	5	1,33		1252,51		7,65		6117,0	
Promedio:		1,51		1373,096		7,83		7162,68	
Desviación Estándar:		0,28		157,88		0,713		1554,24	
Gráficas de resultados									
x=promedio de las probetas 2,4 y 5									
<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>									
Observaciones					Evaluación				
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 1 y 3.				
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 5,54 mm.				
Las probetas presentarán ruptura en la zona inferior, media y superior.					Esfuerzo máximo promedio: 8,18 Mpa				
					Módulo de Elasticidad promedio: 7401,16 MPa				
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo				Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.6. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-17%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)		REG:ET-MC-003																													
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																																					
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.																																
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																																				
Máquina:	Máquina Universal.		Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50																																	
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada			Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.																																
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.				Estratificación:	Manual																															
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		83%		F. Volumétrica del refuerzo.		17%																														
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm		Ancho:	25 mm		Espesor nominal (mm):	6,51																													
Número de Probetas	5			Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.																																
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).																																					
Muestra o Probeta:		Deformación Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Elasticidad (MPa)																													
ETC-Manual CA Tipo (A)	1	1,75		1620,61		7,91		5946,27																													
ETC-Manual CA Tipo (A)	2	1,77		1076,43		7,62		6346,04																													
ETC-Manual CA Tipo (A)	3	1,25		1169,42		4,07		4330,24																													
ETC-Manual CA Tipo (A)	4	1,59		1427,58		5,4		4786,96																													
ETC-Manual CA Tipo (A)	5	1,72		1624,47		5,6		3693,86																													
Promedio:		1,62		1383,70		6,12		5020,67																													
Desviación Estándar:		0,22		253,16		1,62		1107,37																													
Gráficas de resultados																																					
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra o Probetas.</th> <th>Esfuerzo Máximo (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>7,91</td></tr> <tr><td>2</td><td>7,62</td></tr> <tr><td>3</td><td>4,07</td></tr> <tr><td>4</td><td>5,4</td></tr> <tr><td>5</td><td>5,6</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>6,21</td></tr> </tbody> </table>			Muestra o Probetas.	Esfuerzo Máximo (MPa)	1	7,91	2	7,62	3	4,07	4	5,4	5	5,6	Promedio	6,21	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestras o Probetas</th> <th>Módulo de Flexión (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5946,2</td></tr> <tr><td>2</td><td>6346,0</td></tr> <tr><td>3</td><td>4330,2</td></tr> <tr><td>4</td><td>4786,9</td></tr> <tr><td>5</td><td>3693,8</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>4942,2</td></tr> </tbody> </table>			Muestras o Probetas	Módulo de Flexión (MPa)	1	5946,2	2	6346,0	3	4330,2	4	4786,9	5	3693,8	Promedio	4942,2
Muestra o Probetas.	Esfuerzo Máximo (MPa)																																				
1	7,91																																				
2	7,62																																				
3	4,07																																				
4	5,4																																				
5	5,6																																				
Promedio	6,21																																				
Muestras o Probetas	Módulo de Flexión (MPa)																																				
1	5946,2																																				
2	6346,0																																				
3	4330,2																																				
4	4786,9																																				
5	3693,8																																				
Promedio	4942,2																																				
x=promedio de las probetas 2,4 y 5																																					
<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>																																					
Observaciones					Evaluación																																
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 1 y 3.																																
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 6,33 mm.																																
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.					Esfuerzo máximo promedio: 6,21 MPa																																
					Módulo de Elasticidad promedio: 4942,29 MPa																																
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo				Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																															
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																															



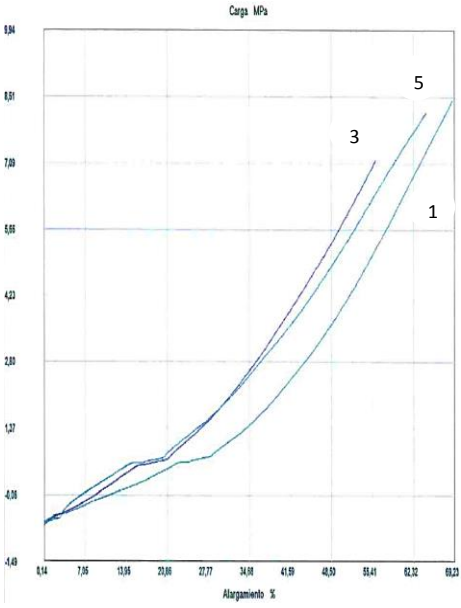
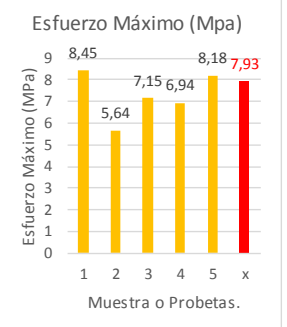
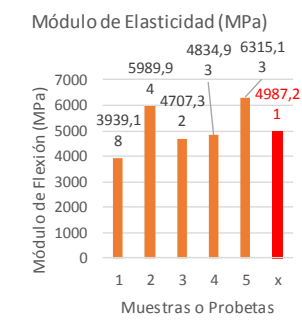

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.7. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-12%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)		REG:ET-MC-004	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)									
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.				
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua								
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50						
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada			Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.				
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Manual				
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		88%	F. Volumétrica del refuerzo.		12%			
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm	Ancho:	25 mm	Espesor nominal (mm):	5,14			
Número de Probetas	5	Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.						
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).									
Muestra o Probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)					
ETC-Manual CA Tipo (B)	1	1,12	1791,48	9,63	7057,77				
ETC-Manual CA Tipo (B)	2	1,51	1680,36	7,25	4190,86				
ETC-Manual CA Tipo (B)	3	1,26	1558,34	7,44	4977,67				
ETC-Manual CA Tipo (B)	4	0,89	1492,71	7,06	3736,32				
ETC-Manual CA Tipo (B)	5	0,88	1747,17	9,75	12217,22				
Promedio:	1,13	1654,01	8,23	6435,97					
Desviación Estándar:	0,27	125,94	1,34	3473,64					
Gráficas de resultados									
x=promedio de las probetas 1,3 y 5									
Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.									
Observaciones					Evaluación				
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 2 y 4 por discriminación.				
Optmima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 5,09 mm.				
Las probetas presentarán ruptura en la zona inferior, media y superior.					Esfuerzo máximo promedio: 8,94 MPa				
					Módulo de Elasticidad promedio: 8084,22 MPa				
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.8. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-14,5%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
	(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)			
REG:ET-MC-005				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)				
Fecha:	28 de Junio de 2016		Ciudad:	Ambato.
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua			
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50	
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.	
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.		Estratificación:	Manual
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		F. Volumétrica del refuerzo.	
		85,5%		14,5%
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm	Ancho:	25 mm
			Espesor nominal (mm):	5,17
Número de Probetas	5	Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.	
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).				
Muestra o Probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)
ETC-Manual CA Tipo (B)	1	1,24	1090,03	8,45
ETC-Manual CA Tipo (B)	2	0,83	734,69	5,64
ETC-Manual CA Tipo (B)	3	1,01	926,21	7,15
ETC-Manual CA Tipo (B)	4	1,082	908,08	6,94
ETC-Manual CA Tipo (B)	5	1,16	1037,49	8,18
Promedio:	1,06	939,30	7,27	5157,30
Desviación Estándar:	0,16	137,27	1,12	977,76
Gráficas de resultados				
				
		x=promedio de las probetas 1,3 y 5		
Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.				
Observaciones		Evaluación		
La probeta presenta un comportamiento frágil.		Se descartan las probetas 2 y 4.		
Optimna adherencia entre refuerzo + matriz.		Espesor nominal: 5,17 mm.		
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.		Esfuerzo máximo promedio:7,93 MPa		
		Módulo de Elasticidad: 4987,21 MPa		
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo	Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.	
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.	Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.	



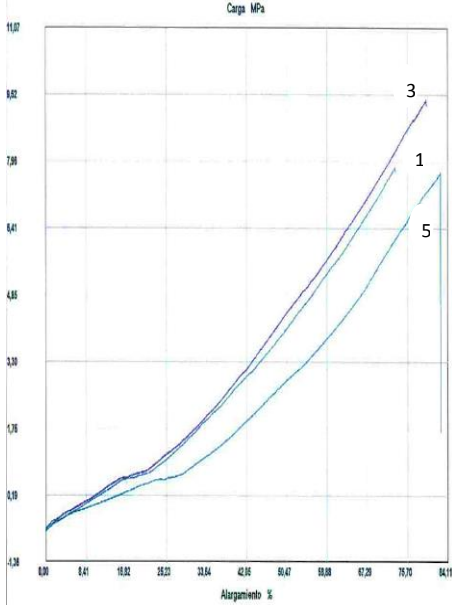
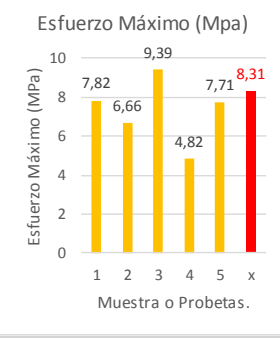
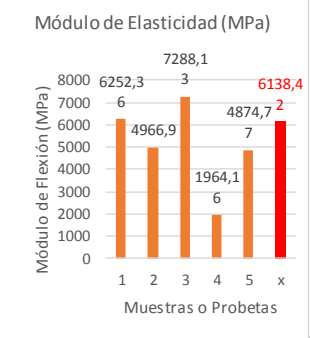

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.9. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-17%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)		REG:ET-MC-006	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)									
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.				
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua								
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:		Metrotec Serie MTE50					
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada			Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.					Estratificación:		Manual	
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		83%		F. Volumétrica del refuerzo.		17%		
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm		Ancho:	25 mm		Espesor nominal (mm):		5,28
Número de Probetas	5		Responsable:		Sr. Fernando Lalaleo.				
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).									
Muestra o Probeta:		Deformación Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Elasticidad (MPa)	
ETC-Manual CA Tipo (B)	1	1,29		1165,9		9,19		7370,97	
ETC-Manual CA Tipo (B)	2	1,32		1253,85		9,59		5699,25	
ETC-Manual CA Tipo (B)	3	1,2		1060,15		8,15		6997,3	
ETC-Manual CA Tipo (B)	4	1,2		1233,21		9,04		6237,99	
ETC-Manual CA Tipo (B)	5	1,14		1039,34		7,83		6152,14	
Promedio:		1,23		1150,49		8,76		6491,53	
Desviación Estándar:		0,07		97,83		0,74		677,57	
Gráficas de resultados									
				x=promedio de las probetas 1,2 y 4					
<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>				<p>Evaluación</p>					
La probeta presenta un comportamiento frágil.				Se descartan las probetas 3 y 5.					
Optimna adherencia entre refuerzo + matriz.				Espesor nominal: 5,30 mm.					
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.				Esfuerzo máximo promedio: 9,27 MPa					
				Módulo de Elasticidad promedio : 6436,07 MPa					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.10. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-12%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)	
				REG:ET-MC-007			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)							
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.		
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua						
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50				
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada		Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Compresión		
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		88%	F. Volumétrica del refuerzo.		12%	
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm	Ancho:	25 mm	Espesor nominal (mm):	5,71	
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).							
Muestra o Probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)			
ETC-Compresión CA	1	1,32	1167,74	7,82	6252,36		
ETC-Compresión CA	2	1,25	980,04	6,66	4966,9		
ETC-Compresión CA	3	1,43	1419,02	9,39	7288,13		
ETC-Compresión CA	4	0,97	662,68	4,82	1964,16		
ETC-Compresión CA	5	1,49	1161,55	7,71	4874,77		
Promedio:	1,29	1078,21	7,28	5069,26			
Desviación Estándar:	0,20	279,92	1,69	2000,82			
Gráficas de resultados							
							
x=promedio de las probetas 1,3 y 5							
Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.							
Observaciones				Evaluación			
La probeta presenta un comportamiento frágil.				Se descartan las probetas 2 y 4.			
Optima adherencia entre refuerzo + matriz.				Espesor nominal: 5,80 mm.			
Las probetas presentarán ruptura en la zona inferior, media y superior.				Esfuerzo máximo promedio: 8,31 MPa			
				Módulo de Elasticidad promedio: 6138,42 MPa			
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.		
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.		



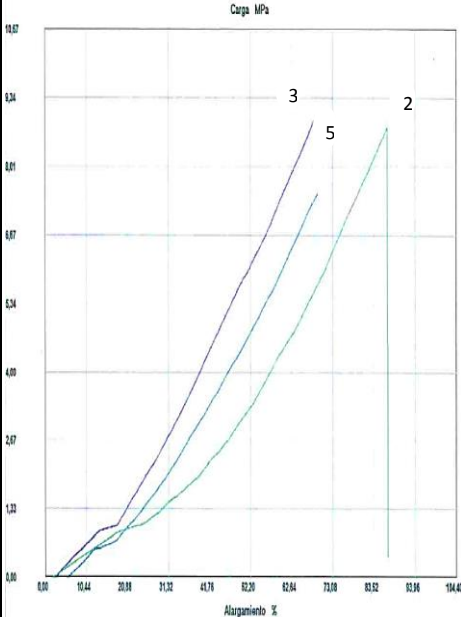
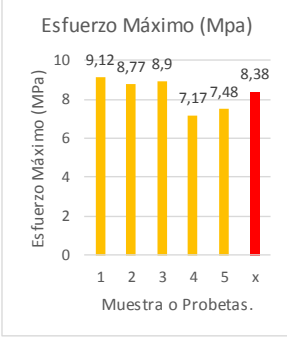
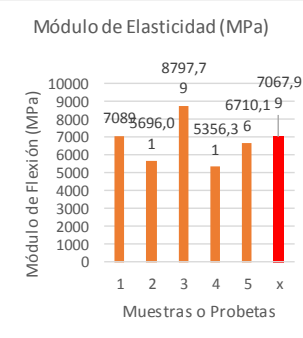
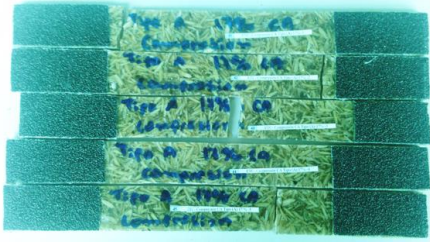
(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.11. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-14,5%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)		REG:ET-MC-008	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)									
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.				
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua								
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50						
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada		Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.					
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Compresión				
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		85,5%	F. Volumétrica del refuerzo.		14,5%			
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm	Ancho:	25 mm	Espesor nominal (mm):	5,90			
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.					
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).									
Muestra o Probeta:	Deformación Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Elasticidad (MPa)		
ETC-Compresión CA	1	1,74	1287,76		8,64		6599,99		
ETC-Compresión CA	2	1,42	1003,75		7,43		6639,04		
ETC-Compresión CA	3	1,66	1467,02		9,82		7923,78		
ETC-Compresión CA	4	1,8	1157,84		7,62		5437,87		
ETC-Compresión CA	5	1,33	864,77		5,32		423,63		
Promedio:	1,59		1156,23		7,77		5404,86		
Desviación Estándar:	0,20		235,63		1,67		2920,20		
Gráficas de resultados									
x=promedio de las probetas 1,3 y 4									
Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.									
Observaciones					Evaluación				
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 2 y 5.				
Optimima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 5,82 mm.				
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.					Esfuerzo máximo promedio: 8,69 MPa				
					Módulo de Elasticidad promedio: 6653,88 MPa				
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo				Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.12. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-17%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)	
				REG:ET-MC-009			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)							
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.		
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua						
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50				
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada		Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Compresión		
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		83%	F. Volumétrica del refuerzo.		17%	
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm	Ancho:	25 mm	Espesor nominal (mm):	6,17	
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).							
Muestra o Probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Elasticidad (MPa)			
ETC-Compresión CA	1	1,79	1470,38	9,12			
ETC-Compresión CA	2	1,56	1439,83	8,77			
ETC-Compresión CA	3	1,23	1344,16	8,9			
ETC-Compresión CA	4	2,86	1048,23	7,17			
ETC-Compresión CA	5	1,25	1203,5	7,48			
Promedio:	1,74	1301,22	8,29	6729,85			
Desviación Estándar:	0,67	175,52	0,89	1356,58			
Gráficas de resultados							
							
x=promedio de las probetas 2,3 y 5							
Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.							
Observaciones				Evaluación			
La probeta presenta un comportamiento frágil.				Se descartan las probetas 1 y 4.			
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.				Espesor nominal: 6,20 mm.			
Las probetas presentarán ruptura en la zona inferior, media y superior.				Esfuerzo máximo promedio: 8,38 MPa			
				Módulo de Elasticidad promedio: 7067,99 MPa			
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.		
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.		

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.13. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-12%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)		REG:ET-MC-0010																					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																													
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.																								
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																												
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50																										
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada			Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.																								
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.				Estratificación:	Compresión																							
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		88%		F. Volumétrica del refuerzo.		12%																						
Dimensión de probetas:	Longitud:	250 mm		Ancho:	25 mm		Espesor nominal (mm):	5,68																					
Número de Probetas	5			Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.																								
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).																													
Muestra o Probeta:		Deformación Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Elasticidad (MPa)																					
ETC-Compresión CA	1	1,74		1473,07		10,19		1115,49																					
ETC-Compresión CA	2	1,21		1156,5		7,79		6410,67																					
ETC-Compresión CA	3	1,63		1499,59		9,9		6656,65																					
ETC-Compresión CA	4	1,47		1483,81		10,22		5885,73																					
ETC-Compresión CA	5	1,3		1252,51		8,85		7556,16																					
Promedio:		1,47		1373,10		9,39		5524,94																					
Desviación Estándar:		0,22		157,88		1,05		2537,94																					
Gráficas de resultados																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>FMax N</th> <th>CMax MPa</th> <th>CRot MPa</th> <th>MYoung MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1473,07</td> <td>10,21</td> <td>10,19</td> <td>12,54</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1499,59</td> <td>9,90</td> <td>9,90</td> <td>11,54</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1483,81</td> <td>10,22</td> <td>10,22</td> <td>14,46</td> </tr> </tbody> </table>				Probeta	FMax N	CMax MPa	CRot MPa	MYoung MPa	1	1473,07	10,21	10,19	12,54	3	1499,59	9,90	9,90	11,54	4	1483,81	10,22	10,22	14,46	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>					
Probeta	FMax N	CMax MPa	CRot MPa	MYoung MPa																									
1	1473,07	10,21	10,19	12,54																									
3	1499,59	9,90	9,90	11,54																									
4	1483,81	10,22	10,22	14,46																									
Observaciones					Evaluación																								
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 2 y 5.																								
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 5,67 mm.																								
Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.					Esfuerzo máximo promedio: 10,10 MPa																								
					Módulo de Elasticidad promedio: 4552,62 Mpa																								
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo				Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																							
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																							

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.14. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-14.5%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)		REG:ET-MC-0011	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)									
Fecha:		28 de Junio de 2016			Ciudad:		Ambato.		
Laboratorio:		Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua							
Máquina:		Máquina Universal.		Tipo o Modelo:		Metrotec Serie MTE50			
Material de matriz:		Resina Poliester Cobaltada			Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.		
Configuración del refuerzo:		Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.				Estratificación:		Compresión	
Fracción volumétrica del compuesto		F. Volumétrica de matriz.		85,5%		F. Volumétrica del refuerzo.		14,5%	
Dimensión de probetas:		Longitud:		250 mm		Ancho:		25 mm	
						Espesor nominal (mm):		5,73	
Número de Probetas		5		Responsable:		Sr. Fernando Lalaleo.			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).									
Muestra o Probeta:		Deformación Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Elasticidad (MPa)	
ETC-Compresión CA		1		1620,61		11,31		7556,16	
ETC-Compresión CA		2		1076,43		7,03		4556,66	
ETC-Compresión CA		3		1169,42		7,73		5745,67	
ETC-Compresión CA		4		1427,58		9,8		9578,3	
ETC-Compresión CA		5		1624,47		11,23		7825,82	
Promedio:		1,41		1383,70		9,42		7052,52	
Desviación Estándar:		0,16		253,16		1,97		1947,33	
Gráficas de resultados									
x=promedio de las probetas 1,4 y 5									
<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>									
Observaciones					Evaluación				
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 2 y 3.				
Optmima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 5,66 mm.				
Las probetas presentarán ruptura en la zona inferior, media y superior.					Esfuerzo máximo promedio: 10,78 MPa				
					Módulo de Elasticidad promedio: 8320,09 MPa				
Elaborado:		Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:		Ing. Juan Paredes. Mg.		
Revisado:		Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:		Ing. Juan Paredes. Mg.		

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.15. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-17%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)		REG:ET-MC-0012	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)									
Fecha:		28 de Junio de 2016			Ciudad:		Ambato.		
Laboratorio:		Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua							
Máquina:		Máquina Universal.		Tipo o Modelo:		Metrotec Serie MTE50			
Material de matriz:		Resina Poliester Cobaltada		Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:		Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.				Estratificación:		Compresión	
Fracción volumétrica del compuesto		F. Volumétrica de matriz.		83%		F. Volumétrica del refuerzo.		17%	
Dimensión de probetas:		Longitud:		250 mm		Ancho:		25 mm	
		Espeor nominal (mm):		6,29					
Número de Probetas		5		Responsable:		Sr. Fernando Lalaleo.			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a TRACCIÓN).									
Muestra o Probeta:		Deformación Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Elasticidad (MPa)	
ETC-Compresión CA		1		1791,48		11,23		8814,53	
ETC-Compresión CA		2		1680,36		9,55		7376,39	
ETC-Compresión CA		3		1558,34		10,33		6796,43	
ETC-Compresión CA		4		1492,71		9,68		6391,56	
ETC-Compresión CA		5		1747,17		10,58		7674,1	
Promedio:		1,47		1654,01		10,27		7410,60	
Desviación Estándar:		0,13		125,94		0,69		929,69	
Gráficas de resultados									
x=promedio de las probetas 1,2 y 5									
Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.									
Observaciones					Evaluación				
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 3 y 4.				
Optimima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 6,54 mm.				
Las probetas presentarán ruptura en la zona inferior, media y superior.					Esfuerzo máximo promedio: 10,45 MPa				
					Módulo de Elasticidad promedio: 7955,01 MPa				
Elaborado:		Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:		Ing. Juan Paredes. Mg.		
Revisado:		Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:		Ing. Juan Paredes. Mg.		

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.6.2. ENSAYO A FLEXIÓN.

Este ensayo se basa en la norma ASTM D 7264-07, con un número de 6 probetas de acuerdo al tipo de estratificación y fracciones volumétricas con un total de 72 probetas ensayadas.



Figura 4.14. Probetas para ensayo a flexión.
(Fuente: Realizado por el Autor)

Esfuerzo máximo a flexión.

$$\sigma_{flexión} = \frac{3FL}{2wh^2} \quad \text{Ec (11)}$$

Dónde

- $\sigma_{flexión}$ = Esfuerzo producido en la superficie exterior (MPa).
- F = carga a la fractura (N)
- L = distancia entre los dos puntos externos (mm),
- w = ancho de la probeta (mm)
- h = altura de la probeta (mm).

Módulo de flexión.

$$E_{flexión} = \frac{L^3 F}{4wh^3 \delta} \quad \text{Ec (12)}$$

Donde:

- $E_{flexión}$ = Módulo de flexión.
- δ = deflexión de la probeta al aplicar una fuerza F (mm).
- L = distancia entre los dos puntos externos (mm).
- F = fuerza aplicada (N).
- w = ancho de la probeta (mm).
- h = altura de la probeta (mm).

Tabulación de Resultados.

Los resultados obtenidos del ensayo a Flexión están basados en la Norma ASTM D 7264-07, de acuerdo al tipo de estratificación y fracción volumétrica.

Ficha de datos de un material compuesto.

Se detalla el número de probetas ensayadas de las diferentes fracciones volumétricas con su respectiva estratificación (manual-compresión), de las cuales se realizó la discriminación, toman el valor máximo, mínimo e intermedio, obteniendo los valores promedios de: espesor, esfuerzo máximo y módulo de flexión.





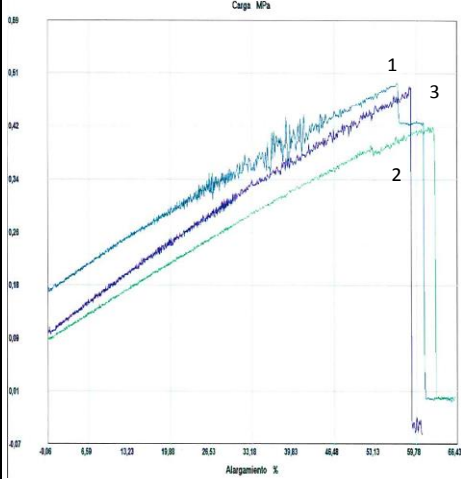
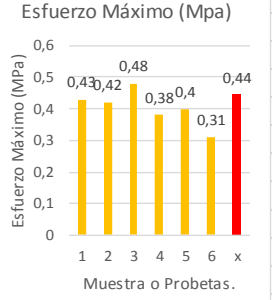
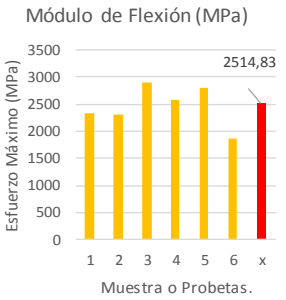

Figura 4.15. Probetas ensayadas a Flexión-ASTM D7264.
(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.16. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-12%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)		REG:ET-MC-001	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)									
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.				
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua								
Máquina:	Máquina Universal.			Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50				
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada			Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.				
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.				Estratificación:	Manual			
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		88%		F. Volumétrica del refuerzo.		12%		
Dimensión de probetas:	Longitud:	160 mm		Ancho:	13 mm		Espesor nominal (mm):	4,60	
Número de Probetas	6		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.					
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).									
Muestra o Probeta:	Deflexión Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (MPa)					
EFC-Manual CA Tipo (A) 1	2,185	17,79	0,29	2937,93					
EFC-Manual CA Tipo (A) 2	1,496	16,28	0,26	3000,85					
EFC-Manual CA Tipo (A) 3	2,774	33,23	0,44	2482,04					
EFC-Manual CA Tipo (A) 4	3,541	19,81	0,33	1789,28					
EFC-Manual CA Tipo (A) 5	1,978	14,44	0,26	3124,12					
EFC-Manual CA Tipo (A) 6	1,276	2,52	0,06	2450,34					
Promedio:	2,21	17,35	0,27	2630,76					
Desviación Estándar:	0,84	9,88	0,12	497,49					
Gráficas de resultados									
<p>Gráfico de Carga vs Alargamiento %: Muestra la carga máxima y el alargamiento para las probetas 1, 3 y 5. La probeta 3 muestra la mayor carga máxima.</p>				<p>Gráfico de Esfuerzo Máximo (Mpa) vs Muestra o Probetas: Muestra el esfuerzo máximo para cada probeta. El promedio (x) es de 0,33 MPa.</p>		<p>Gráfico de Módulo de Flexión (MPa) vs Muestra o Probetas: Muestra el módulo de flexión para cada probeta. El promedio (x) es de 2848,03 MPa.</p>			
<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>									
Observaciones					Evaluación				
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 2, 4 y 6.				
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 5,37 mm				
Las probetas presentarán ruptura en el centro de la probeta.					Esfuerzo máximo promedio: 0,33 MPa				
					Módulo de Flexión promedio: 2848,03 MPa				
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.17. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-14,5%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)																							
	REG:ET-MC-002																							
	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																							
	Fecha:	28 de Junio de 2016		Ciudad:		Ambato.																		
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																							
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50																					
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.																					
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.		Estratificación:	Manual																				
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		F. Volumétrica del refuerzo.																					
	85,5%		14,5%																					
Dimensión de probetas:	Longitud:	160 mm	Ancho:	13 mm																				
			Espesor nominal (mm):	5,31																				
Número de Probetas	6		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.																				
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).																								
Muestra o Probeta:	Deflexión Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (MPa)																				
EFC-Manual CA Tipo (A)	1	2,55	35,08	0,43																				
EFC-Manual CA Tipo (A)	2	2,818	30,38	0,42																				
EFC-Manual CA Tipo (A)	3	2,652	34,91	0,48																				
EFC-Manual CA Tipo (A)	4	2,41	27,86	0,38																				
EFC-Manual CA Tipo (A)	5	1,845	27,53	0,4																				
EFC-Manual CA Tipo (A)	6	1,453	22,49	0,31																				
Promedio:	2,29	29,71	0,40	2466,00																				
Desviación Estándar:	0,53	4,83	0,06	377,24																				
Gráficas de resultados																								
																								
<p>x= promedio de las probetas 1, 2 y 3</p>																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>FMax N</th> <th>ModEla MPa</th> <th>ModFlex MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,49</td> <td>35,08</td> <td>13054,72</td> <td>2326,53</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,42</td> <td>30,38</td> <td>3802,81</td> <td>2319,52</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,49</td> <td>34,91</td> <td>4872,48</td> <td>2898,43</td> </tr> </tbody> </table>		Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa	1	0,49	35,08	13054,72	2326,53	2	0,42	30,38	3802,81	2319,52	3	0,49	34,91	4872,48	2898,43	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p> 		
Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa																				
1	0,49	35,08	13054,72	2326,53																				
2	0,42	30,38	3802,81	2319,52																				
3	0,49	34,91	4872,48	2898,43																				
Observaciones		Evaluación																						
La probeta presenta un comportamiento frágil.		Se descartan las probetas 4 , 5 y 6.																						
Optimma adherencia entre refuerzo + matriz.		Espesor nominal: 5,21 mm																						
Las probetas presentarán ruptura en el centro de la probeta.		Esfuerzo máximo promedio: 0,44 MPa																						
		Módulo de Flexión promedio: 2514,82 MPa																						
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo	Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																					
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.	Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																					



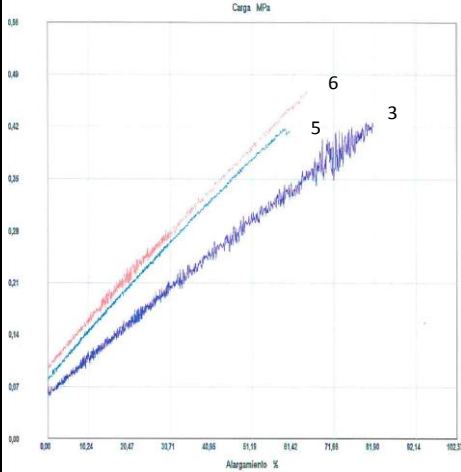
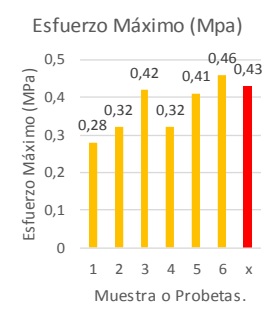
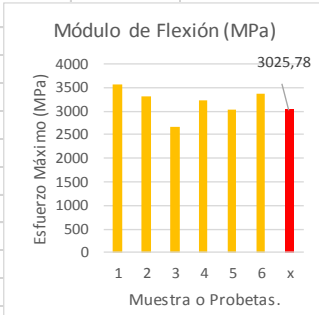

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.18. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-17%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)		REG:ET-MC-003																									
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																																	
Fecha:		28 de Junio de 2016			Ciudad:		Ambato.																										
Laboratorio:		Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																															
Máquina:		Máquina Universal.		Tipo o Modelo:		Metrotec Serie MTE50																											
Material de matriz:		Resina Poliester Cobaltada		Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.																											
Configuración del refuerzo:		Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.				Estratificación:		Manual																									
Fracción volumétrica del compuesto		F. Volumétrica de matriz.		83%		F. Volumétrica del refuerzo.		17%																									
Dimensión de probetas:		Longitud:		160 mm		Ancho:		13 mm																									
		Esesor nominal (mm):		4,70																													
Número de Probetas:		6		Responsable:		Sr. Fernando Lalaleo.																											
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).																																	
Muestra o Probeta:		Deflexión Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Flexión (MPa)																									
EFC-Manual CA Tipo (A)		1		1,023		11,41		0,19																									
EFC-Manual CA Tipo (A)		2		0,887		9,4		0,15																									
EFC-Manual CA Tipo (A)		3		1,901		24,17		0,33																									
EFC-Manual CA Tipo (A)		4		1,121		9,57		0,17																									
EFC-Manual CA Tipo (A)		5		1,515		12,42		0,22																									
EFC-Manual CA Tipo (A)		6		1,661		11,08		0,2																									
Promedio:		1,35		13,01		0,21		2515,43																									
Desviación Estándar:		0,40		5,59		0,06		901,04																									
Gráficas de resultados																																	
x= promedio de las probetas 1, 5 y 6																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>FMax N</th> <th>CRot MPa</th> <th>ModEla MPa</th> <th>ModFlex MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,19</td> <td>11,41</td> <td>-0,05</td> <td>642817,37</td> <td>-2139,85</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0,22</td> <td>12,42</td> <td>0,22</td> <td>9313,60</td> <td>-4274,62</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0,20</td> <td>11,08</td> <td>0,20</td> <td>7361,63</td> <td>2476,72</td> </tr> </tbody> </table>				Probeta	CMax MPa	FMax N	CRot MPa	ModEla MPa	ModFlex MPa	1	0,19	11,41	-0,05	642817,37	-2139,85	5	0,22	12,42	0,22	9313,60	-4274,62	6	0,20	11,08	0,20	7361,63	2476,72	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>					
Probeta	CMax MPa	FMax N	CRot MPa	ModEla MPa	ModFlex MPa																												
1	0,19	11,41	-0,05	642817,37	-2139,85																												
5	0,22	12,42	0,22	9313,60	-4274,62																												
6	0,20	11,08	0,20	7361,63	2476,72																												
Observaciones					Evaluación																												
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 2 , 3 y 4.																												
Optmima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 4,56 mm																												
Las probetas presentaron ruptura en el centro de la probeta.					Esfuerzo máximo promedio:0,20 MPa																												
					Módulo de Flexión promedio:2963,73 MPa																												
Elaborado:		Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:		Ing. Juan Paredes. Mg.																										
Revisado:		Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:		Ing. Juan Paredes. Mg.																										



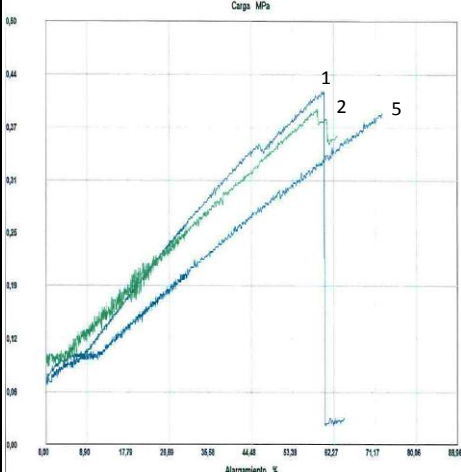
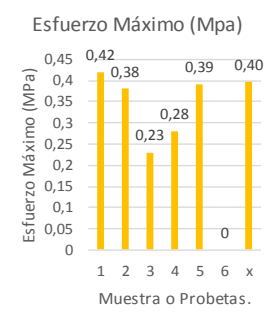
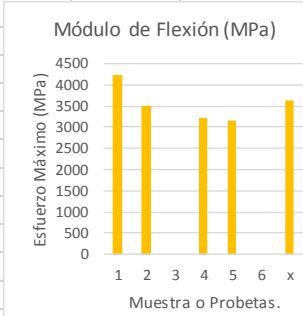

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.19. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-12%.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO																							
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																							
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																							
		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)																							
REG:ET-MC-004																									
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																									
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.																				
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																								
Máquina:	Máquina Universal.		Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50																					
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada		Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.																					
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Manual																				
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		88%	F. Volumétrica del refuerzo.																					
				12%																					
Dimensión de probetas:	Longitud:	160 mm	Ancho:	13 mm	Espesor nominal (mm):	4,54																			
Número de Probetas	6		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.																					
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).																									
Muestra o Probeta:	Deflexión Máxima (%)		Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (MPa)																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	1	1,846	15,27	0,28	3563,86																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	2	2,214	19,81	0,32	3322																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	3	3,591	25,68	0,42	2656,16																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	4	2,008	19,3	0,32	3226,03																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	5	2,654	25,85	0,41	3038,36																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	6	2,933	28,7	0,46	3382,81																				
Promedio:	2,54		22,44	0,37	3198,20																				
Desviación Estándar:	0,65		5,09	0,07	317,25																				
Gráficas de resultados																									
																									
<p>x= promedio de las probetas 3, 5 y 6</p>																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>FMax N</th> <th>ModEla MPa</th> <th>ModFlex MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0,42</td> <td>25,68</td> <td>3603,80</td> <td>2656,16</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0,41</td> <td>25,85</td> <td>4800,59</td> <td>3038,36</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0,46</td> <td>28,70</td> <td>5936,30</td> <td>3382,81</td> </tr> </tbody> </table>		Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa	3	0,42	25,68	3603,80	2656,16	5	0,41	25,85	4800,59	3038,36	6	0,46	28,70	5936,30	3382,81	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p> 			
Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa																					
3	0,42	25,68	3603,80	2656,16																					
5	0,41	25,85	4800,59	3038,36																					
6	0,46	28,70	5936,30	3382,81																					
Observaciones			Evaluación																						
La probeta presenta un comportamiento frágil.			Se descartan las probetas 1, 2 y 4.																						
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.			Espesor nominal: 4,59 mm																						
Las probetas presentaron ruptura en el centro de la probeta.			Esfuerzo máximo promedio: 0,43 MPa																						
			Módulo de Flexión promedio: 3025,77 MPa																						
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																					
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.		Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																					



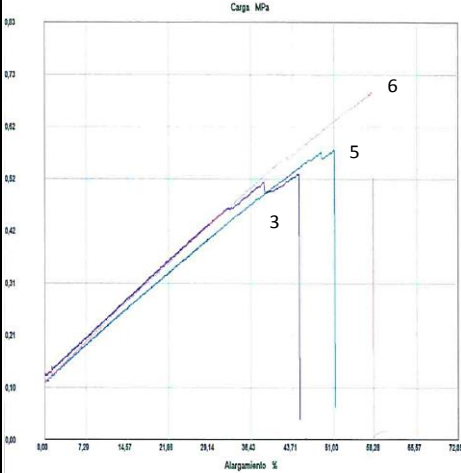
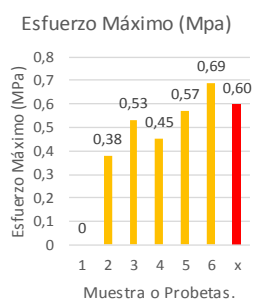
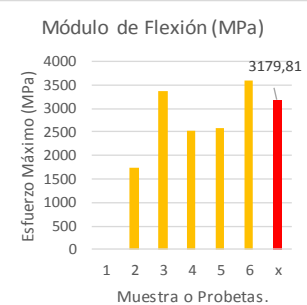

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.20. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-14,5%.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)				
REG:ET-MC-005						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.	
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua					
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50			
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Manual	
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.	85,5%	F. Volumétrica del refuerzo.	14,5%		
Dimensión de probetas:	Longitud:	160 mm	Ancho:	13 mm	Espesor nominal (mm):	4,57
Número de Probetas:	6	Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).						
Muestra o Probeta:	Deflexión Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (MPa)		
EFC-Manual CA Tipo (B)	1	2,71	24,17	0,42	4217,64	
EFC-Manual CA Tipo (B)	2	2,74	23	0,38	3502,46	
EFC-Manual CA Tipo (B)	3	1,442	14,44	0,23	NR	
EFC-Manual CA Tipo (B)	4	2,21	19,14	0,28	3226,65	
EFC-Manual CA Tipo (B)	5	3,274	22,32	0,39	3146,76	
EFC-Manual CA Tipo (B)	6	NR	NR	NR	NR	
Promedio:	2,48	20,61	0,34	3523,38		
Desviación Estándar:	0,69	3,92	0,08	487,28		
Gráficas de resultados						
						
<p>x= promedio de las probetas 1, 2 y 5</p>						
Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.						
Observaciones			Evaluación			
La probeta presenta un comportamiento frágil.			Se descartan las probetas 3 , 4 y 6.			
Optima adherencia entre refuerzo + matriz.			Espesor nominal: 4,63 mm			
Las probetas presentarán ruptura en el centro de la probeta.			Esfuerzo máximo promedio: 0,40 MPa			
			Módulo de Flexión promedio: 3622,29 MPa			
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.		
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.		Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.		

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.21. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-17%.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO																							
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																							
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																							
		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)																							
REG:ET-MC-0006																									
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																									
Fecha:	28 de Junio de 2016		Ciudad:	Ambato.																					
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																								
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50																						
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.																						
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.		Estratificación:	Manual																					
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.	83%	F. Volumétrica del refuerzo.	17%																					
Dimensión de probetas:	Longitud: 160 mm	Ancho: 13 mm	Espesor nominal (mm):	6,38																					
Número de Probetas	6	Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.																						
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).																									
Muestra o Probeta:		Deflexión Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (MPa)																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	1	NR	NR	NR	NR																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	2	0,868	32,4	0,38	1743,1																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	3	2,018	43,64	0,53	3371,31																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	4	1,606	36,42	0,45	2532,03																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	5	2,193	54,72	0,57	2581,17																				
EFC-Manual CA Tipo (B)	6	2,602	53,88	0,69	3586,94																				
Promedio:		1,86	44,21	0,52	2762,91																				
Desviación Estándar:		0,66	10,06	0,12	737,48																				
Gráficas de resultados																									
																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>FMax N</th> <th>ModEla MPa</th> <th>ModFlex MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0,53</td> <td>43,64</td> <td>6269,43</td> <td>3371,31</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0,58</td> <td>54,72</td> <td>4004,40</td> <td>2581,17</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0,69</td> <td>53,88</td> <td>4716,61</td> <td>3586,94</td> </tr> </tbody> </table>		Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa	3	0,53	43,64	6269,43	3371,31	5	0,58	54,72	4004,40	2581,17	6	0,69	53,88	4716,61	3586,94	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p> 			
Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa																					
3	0,53	43,64	6269,43	3371,31																					
5	0,58	54,72	4004,40	2581,17																					
6	0,69	53,88	4716,61	3586,94																					
Observaciones			Evaluación																						
La probeta presenta un comportamiento frágil.			Se descartan las probetas 1, 2 y 4.																						
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.			Espesor nominal: 6,36 mm																						
Las probetas presentaron ruptura en el centro de la probeta.			Esfuerzo máximo promedio: 0,60 MPa																						
			Módulo de Flexión promedio: 3179,81 MPa																						
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																					
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.		Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																					

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.22. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-12%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)		REG:ET-MC-007																					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																													
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.																								
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																												
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50																										
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada		Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.																									
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Compresión																								
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		88%		F. Volumétrica del refuerzo.			12%																					
Dimensión de probetas:	Longitud:	160 mm		Ancho:	13 mm		Espesor nominal (mm):	6,38																					
Número de Probetas	6		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.																									
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).																													
Muestra o Probeta:	Deflexión Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (MPa)																									
EFC-Compresión CA	1	1,887	41,63	0,48																									
EFC-Compresión CA	2	1,605	40,28	0,46																									
EFC-Compresión CA	3	2,491	52,87	0,63																									
EFC-Compresión CA	4	2,442	57,91	0,65																									
EFC-Compresión CA	5	NR	80,9	0,95																									
EFC-Compresión CA	6	2,231	46,66	0,53																									
Promedio:	2,13		53,38	0,62		2856,40																							
Desviación Estándar:	0,38		15,05	0,18		146,52																							
Gráficas de resultados																													
<p>x= promedio de las probetas 3, 4 y 6</p>																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>FMax N</th> <th>ModEla MPa</th> <th>ModFlex MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0,63</td> <td>52,87</td> <td>4904,06</td> <td>2836,94</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,65</td> <td>57,91</td> <td>5917,57</td> <td>3056,91</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0,53</td> <td>46,66</td> <td>5080,28</td> <td>2751,69</td> </tr> </tbody> </table>			Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa	3	0,63	52,87	4904,06	2836,94	4	0,65	57,91	5917,57	3056,91	6	0,53	46,66	5080,28	2751,69	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>						
Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa																									
3	0,63	52,87	4904,06	2836,94																									
4	0,65	57,91	5917,57	3056,91																									
6	0,53	46,66	5080,28	2751,69																									
Observaciones					Evaluación																								
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 1 , 2 y 5.																								
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 6,24 mm																								
Las probetas presentaron ruptura en el centro de la probeta.					Esfuerzo máximo promedio: 0,60 MPa																								
					Módulo de Flexión promedio: 2881,85 MPa																								
Elaborado:	Sr, Fernando Lalaleo			Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																								
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																								

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.23. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-14,5%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)		REG:ET-MC-008																					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																													
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.																								
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																												
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50																										
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada			Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.																								
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Compresión																								
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		85,5%		F. Volumétrica del refuerzo.		14,5%																						
Dimensión de probetas:	Longitud:	160 mm	Ancho:	13 mm	Espesor nominal (mm):	6,33																							
Número de Probetas	6		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.																									
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).																													
Muestra o Probeta:	Deflexión Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (MPa)																									
EFC-Compresión CA	1	1,92	37,77	0,47																									
EFC-Compresión CA	2	1,488	34,24	0,39																									
EFC-Compresión CA	3	2,789	55,89	0,66																									
EFC-Compresión CA	4	2,999	56,4	0,66																									
EFC-Compresión CA	5	2,113	35,92	0,26																									
EFC-Compresión CA	6	2,227	54,05	0,64																									
Promedio:	2,26	45,71	0,51	2736,47																									
Desviación Estándar:	0,56	10,75	0,17	321,04																									
Gráficas de resultados																													
x= promedio de las probetas 3, 4 y 6																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>FMax N</th> <th>ModEla MPa</th> <th>ModFlex MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0,66</td> <td>55,89</td> <td>4953,58</td> <td>2820,11</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,67</td> <td>56,40</td> <td>10868,56</td> <td>2411,37</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0,64</td> <td>54,05</td> <td>5753,25</td> <td>3335,24</td> </tr> </tbody> </table>				Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa	3	0,66	55,89	4953,58	2820,11	4	0,67	56,40	10868,56	2411,37	6	0,64	54,05	5753,25	3335,24	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>					
Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa																									
3	0,66	55,89	4953,58	2820,11																									
4	0,67	56,40	10868,56	2411,37																									
6	0,64	54,05	5753,25	3335,24																									
Observaciones					Evaluación																								
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 1, 2 y 5.																								
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 6,41 mm																								
Las probetas presentarán ruptura en el centro de la probeta.					Esfuerzo máximo promedio: 0,65 MPa																								
					Módulo de Flexión promedio: 2855,57 MPa																								
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																								
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																								

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.24. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-17%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)		REG:ET-MC-009																					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																													
Fecha:		28 de Junio de 2016			Ciudad:		Ambato.																						
Laboratorio:		Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																											
Máquina:		Máquina Universal.		Tipo o Modelo:		Metrotec Serie MTE50																							
Material de matriz:		Resina Poliester Cobaltada		Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.																							
Configuración del refuerzo:		Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:		Compresión																						
Fracción volumétrica del compuesto		F. Volumétrica de matriz.		83%		F. Volumétrica del refuerzo.		17%																					
Dimensión de probetas:		Longitud: 160 mm		Ancho: 13 mm		Espesor nominal (mm): 5,80																							
Número de Probetas		6		Responsable:		Sr. Fernando Lalaleo.																							
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).																													
Muestra o Probeta:		Deflexión Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Flexión (MPa)																					
EFC-Compresión CA		1		2,532		34,07		0,47																					
EFC-Compresión CA		2		2,079		54,55		0,61																					
EFC-Compresión CA		3		2,565		41,63		0,53																					
EFC-Compresión CA		4		3,229		35,08		0,5																					
EFC-Compresión CA		5		2,255		36,26		0,42																					
EFC-Compresión CA		6		1,52		40,62		0,44																					
Promedio:		2,36		40,37		0,50		3205,84																					
Desviación Estándar:		0,57		7,58		0,07		373,43																					
Gráficas de resultados																													
<p>x= promedio de las probetas 1, 3 y 4</p>																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>FMax N</th> <th>ModEla MPa</th> <th>ModFlex MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,47</td> <td>34,07</td> <td>4572,54</td> <td>3125,96</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,53</td> <td>41,63</td> <td>8569,75</td> <td>2964,48</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,51</td> <td>35,08</td> <td>4530,89</td> <td>3192,95</td> </tr> </tbody> </table>				Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa	1	0,47	34,07	4572,54	3125,96	3	0,53	41,63	8569,75	2964,48	4	0,51	35,08	4530,89	3192,95	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>					
Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa																									
1	0,47	34,07	4572,54	3125,96																									
3	0,53	41,63	8569,75	2964,48																									
4	0,51	35,08	4530,89	3192,95																									
Observaciones					Evaluación																								
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 2, 5 y 6.																								
Optimiza adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 5,27 mm																								
Las probetas presentaron ruptura en el centro de la probeta.					Esfuerzo máximo promedio: 0,50 MPa																								
					Módulo de Flexión promedio: 3020,87 MPa																								
Elaborado:		Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:		Ing. Juan Paredes. Mg.																						
Revisado:		Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:		Ing. Juan Paredes. Mg.																						

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.25. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-12%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)		REG:ET-MC-010																					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																													
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.																								
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																												
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:		Metrotec Serie MTE50																									
Material de matriz:	Resina Poliester Cobaltada			Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.																							
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.					Estratificación:		Compresión																					
Fracción volumétrica	F. Volumétrica de matriz.		88%		F. Volumétrica del refuerzo.		12%																						
Dimensión de probetas:	Longitud:	160 mm		Ancho:	13 mm		Espesor nominal (mm):		5,96																				
Número de Probetas	6			Responsable:		Sr. Fernando Lalaleo.																							
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).																													
Muestra o Probeta:		Deflexión Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Flexión (MPa)																					
EFC-Compresión CA	1	2,567		56,06		0,64		3209,36																					
EFC-Compresión CA	2	2,922		60,26		0,78		3826,27																					
EFC-Compresión CA	3	1,611		43,98		0,52		3119,29																					
EFC-Compresión CA	4	2,65		54,05		0,68		3594,51																					
EFC-Compresión CA	5	2,493		44,98		0,55		2982,1																					
EFC-Compresión CA	6	NR		NR		NR		NR																					
Promedio:		2,45		51,87		0,63		3346,31																					
Desviación Estándar:		0,50		7,11		0,10		351,75																					
Gráficas de resultados																													
x= promedio de las probetas 1, 2 y 4																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>FMax N</th> <th>ModEla MPa</th> <th>ModFlex MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,64</td> <td>56,06</td> <td>4552,64</td> <td>3209,36</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,78</td> <td>60,26</td> <td>4045,44</td> <td>3826,27</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,68</td> <td>54,05</td> <td>4512,01</td> <td>3594,51</td> </tr> </tbody> </table>				Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa	1	0,64	56,06	4552,64	3209,36	2	0,78	60,26	4045,44	3826,27	4	0,68	54,05	4512,01	3594,51	<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>					
Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa																									
1	0,64	56,06	4552,64	3209,36																									
2	0,78	60,26	4045,44	3826,27																									
4	0,68	54,05	4512,01	3594,51																									
Observaciones					Evaluación																								
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 3, 5 y 6.																								
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 6,08 mm																								
Las probetas presentaron ruptura en el centro de la probeta.					Esfuerzo máximo promedio: 0,70 MPa																								
					Módulo de Flexión promedio: 3543,38 MPa																								
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo				Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																							
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.																							

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.26. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-14,5%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)		REG:ET-MC-011																					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)																													
Fecha:		28 de Junio de 2016			Ciudad:		Ambato.																						
Laboratorio:		Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua																											
Máquina:		Máquina Universal.		Tipo o Modelo:		Metrotec Serie MTE50																							
Material de matriz:		Resina Poliester Cobaltada		Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.																							
Configuración del refuerzo:		Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.				Estratificación:		Compresión																					
Fracción volumétrica del compuesto		F. Volumétrica de matriz.		85,5%		F. Volumétrica del refuerzo.		14,5%																					
Dimensión de probetas:		Longitud:		160 mm		Ancho:		13 mm																					
Número de Probetas:		6		Responsable:		Sr. Fernando Lalaleo.																							
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).																													
Muestra o Probeta:		Deflexión Máxima (%)		Carga Máxima (N)		Esfuerzo Máximo (Mpa)		Módulo de Flexión (MPa)																					
EFC-Compresión CA		1		2,118		65,46		0,73																					
EFC-Compresión CA		2		2,352		57,57		0,66																					
EFC-Compresión CA		3		1,71		49,85		0,55																					
EFC-Compresión CA		4		2,532		65,29		0,76																					
EFC-Compresión CA		5		2,14		57,41		0,65																					
EFC-Compresión CA		6		3,03		77,21		0,84																					
Promedio:		2,31		62,13		0,70		3356,50																					
Desviación Estándar:		0,45		9,41		0,10		29,26																					
Gráficas de resultados																													
<p>x= promedio de las probetas 1, 2 y 4</p>																													
<p>Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.</p>				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>CMax MPa</th> <th>FMax N</th> <th>ModEla MPa</th> <th>ModFlex MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,75</td> <td>65,46</td> <td>14471,35</td> <td>3373,58</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,66</td> <td>57,57</td> <td>4378,03</td> <td>3390,49</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,78</td> <td>65,29</td> <td>5909,55</td> <td>3320,50</td> </tr> </tbody> </table>						Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa	1	0,75	65,46	14471,35	3373,58	2	0,66	57,57	4378,03	3390,49	4	0,78	65,29	5909,55	3320,50
Probeta	CMax MPa	FMax N	ModEla MPa	ModFlex MPa																									
1	0,75	65,46	14471,35	3373,58																									
2	0,66	57,57	4378,03	3390,49																									
4	0,78	65,29	5909,55	3320,50																									
Observaciones					Evaluación																								
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 3, 5 y 6.																								
Optima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 6,42 mm																								
Las probetas presentarán ruptura en el centro de la probeta.					Esfuerzo máximo promedio: 0,72 MPa																								
					Módulo de Flexión promedio: 3361,50 MPa																								
Elaborado:		Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:		Ing. Juan Paredes. Mg.																						
Revisado:		Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:		Ing. Juan Paredes. Mg.																						

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.27. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-17%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)		REG:ET-MC-012	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)									
Fecha:	28 de Junio de 2016			Ciudad:	Ambato.				
Laboratorio:	Resistencia de Materiales- Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P. Tungurahua								
Máquina:	Máquina Universal.	Tipo o Modelo:	Metrotec Serie MTE50						
Material de matriz:	Resina Polyester Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.						
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Compresión				
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		83%	F. Volumétrica del refuerzo.		17%			
Dimensión de probetas:	Longitud:	160 mm	Ancho:	13 mm	Espesor nominal (mm):	5,70			
Número de Probetas	6		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.					
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).									
Muestra o Probeta:	Deflexión Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (MPa)					
EFC-Compresión CA	1	3,873	58,58	0,77	4835,42				
EFC-Compresión CA	2	2,67	41,46	0,55	3373,06				
EFC-Compresión CA	3	1,927	45,15	0,52	3272,38				
EFC-Compresión CA	4	2,631	51,36	0,59	3376,9				
EFC-Compresión CA	5	0,971	73,02	0,65	2863,58				
EFC-Compresión CA	6	3,597	48,01	0,65	3104,25				
Promedio:	2,61	52,93	0,62	3470,93					
Desviación Estándar:	1,07	11,44	0,09	696,13					
Gráficas de resultados									
x= promedio de las probetas 1, 4 y 6									
			Fotos de las Probetas sometidas al ensayo.						
Observaciones					Evaluación				
La probeta presenta un comportamiento frágil.					Se descartan las probetas 2, 3 y 5.				
Óptima adherencia entre refuerzo + matriz.					Espesor nominal: 5,35 mm				
Las probetas presentarán ruptura en el centro de la probeta.					Esfuerzo máximo promedio: 0,67 MPa				
					Módulo de Flexión promedio: 3772,19 MPa				
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo			Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.			Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.				

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.6.3. ENSAYO A IMPACTO.

Se caracterizaron seis probetas de cada uno de los materiales compuestos que reflejaron óptimos resultados de los ensayos mecánicos realizados (Tracción, Flexión), en función de las características establecidas en la Norma ASTM D5628, se sometió cada probeta a impacto de dardo a diferentes alturas a partir de una altura inicial de 300 mm se empleó la máquina de impacto para polímeros con el fin de determinar la máxima altura de ruptura o fractura de impacto conociendo la masa del dardo y el factor de conversión f a Joule (J), mediante la siguiente expresión matemática:

$$MEF = hwf \quad \text{Ec (13)}$$

Donde:

- MEF= Resistencia Máxima al impacto o Energía Máxima de Ruptura (J).
- h = Altura Máxima de Ruptura (mm).
- w = Masa Máxima de Ruptura (kg).
- f = factor de conversión a Joules.

Usar $f = 9.80665 \times 10^{-3}$, si $h = \text{mm}$ y $w = \text{kg}$.



Figura 4.16. Máquina de Impacto por caída de dardo para polímeros.
(Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil y Mecánica. (Ing. Juan Paredes. Mg.))

Tabulación de resultados.

Se detalla las especificaciones técnicas del ensayo de impacto y los resultados obtenidos de las probetas ensayadas de acuerdo al tipo de estratificación, fracciones volumétricas y la norma ASTM D5628.

Tabla 29: Especificaciones Técnicas del Ensayo a Impacto.

#	Características	Detalle	Observaciones.
1	Dimensiones de probeta (mm).	58x58xespesor.	
2	Componente de matriz.	Resina poliéster	
3	Componente de refuerzo.	Tipo A: condición natural de la cascarilla de arroz.	
		Tipo B: cortes longitudinales de cascarilla de arroz.	
4	Tipo de estratificación	Manual	
		Compresión	
5	Tiempo de curado antes del ensayo	10 días	
6	Norma ASTM	ASTM D-5628	
7	Equipo de Ensayo	Máquina de Impacto por caída de dardo para polímeros.	
8	Variación de altura.	100 mm.	
9	Geometría y diámetro de dardo	FE-20 mm.	Revisar norma ASTM D-5628
10	Masa de impactador o dardo.	0,2289 kg.	

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha técnica del Ensayo a Impacto.

Se detalla el número de probetas ensayadas de los dos tipos de componentes de refuerzo con su respectiva estratificación (manual-compresión) y fracciones volumétricas. Para llevar a cabo este ensayo se utilizó la máquina de impacto de caída de dardo para polímeros, donde se va variando la altura de caída del dardo.

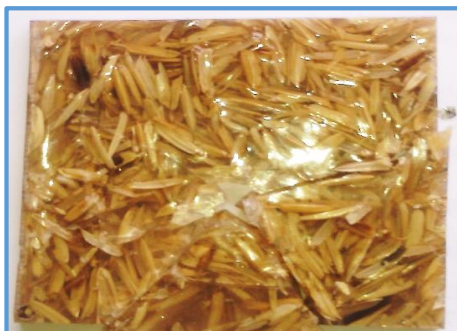


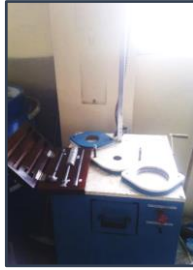





Figura 4.17. Probeta ensayada a Impacto-ASTM D5628.



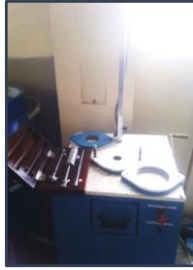



(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.28. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-12%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-001						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.	FE	40 mm	0,2855 kg	
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Manual	
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.	88%	F. Volumétrica del refuerzo.		12%	
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,4
Número de Probetas	5	Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	400			1,12		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE		
						
		Dardo para geometría FE				
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.29. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-14,5%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-002						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.		FE	40 mm	0,2855 kg
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada	Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.		
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Manual	
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		85,5%	F. Volumétrica del refuerzo.		14,5%
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,4
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	400			1,12		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE		Dardo para geometría FE
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.30. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo A-17%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-003						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.		FE	40 mm	0,2855 kg
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada	Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.		
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:		Manual
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		83%	F. Volumétrica del refuerzo.		17%
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,71
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	450			1,26		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE		Dardo para geometría FE
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.31. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-12%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-004						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.	FE	40 mm	0,2855 kg	
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Compresión.	
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.	88%	F. Volumétrica del refuerzo.		12%	
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,71
Número de Probetas	5	Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	400			1,12		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE Dardo para geometría FE		
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo	Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg			
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg	Validado	Ing. Juan Paredes. Mg			

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.32. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-14,5%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-005						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.		FE	40 mm	0,2855 kg
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada	Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.		
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Compresión.	
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		85,5%	F. Volumétrica del refuerzo.		14,5%
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,9
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	450			1,26		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE		Dardo para geometría FE
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		



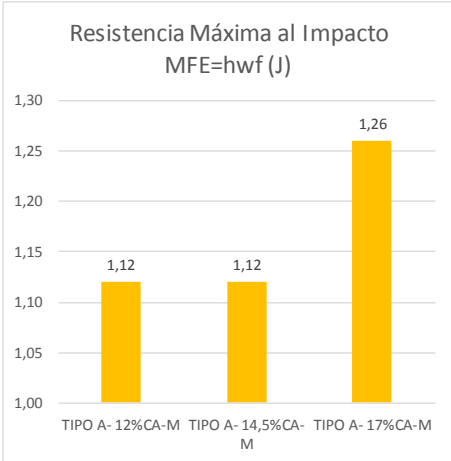
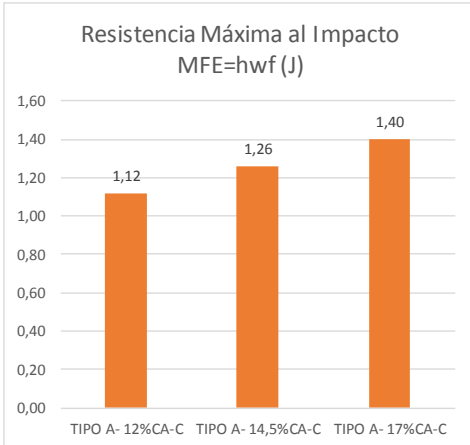
(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.33. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo A-17%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-006						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.	FE	40 mm	0,2855 kg	
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada		Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.		
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Compresión.	
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.	83%	F. Volumétrica del refuerzo.	17%		
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,97
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	500			1,40		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE		Dardo para geometría FE
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.34. Resumen de datos del material compuesto: CA-Tipo A

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EF-MC-003						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20/06/2016			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA.					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.	FE	40 mm	0,2855 kg	
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada		Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.		
Configuración del refuerzo:	Tipo A: Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.					
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
TIPO A-CA-MANUAL.						
Resultados del Ensayo realizado bajo la Norma ASTM 5628						
Denominación	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)		Resistencia Máxima al Impacto MFE=hwf (J)			
TIPO A- 12%CA-M	400		1,12			
TIPO A- 14,5%CA-M	400		1,12			
TIPO A- 17%CA-M	450		1,26			
TIPO A-CA-COMPRESIÓN.						
Resultados del Ensayo realizado bajo la Norma ASTM 5628						
Denominación	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)		Resistencia Máxima al Impacto MFE=hwf (J)			
TIPO A- 12%CA-C	400		1,12			
TIPO A- 14,5%CA-C	450		1,26			
TIPO A- 17%CA-C	500		1,40			
TIPO A-CA-MANUAL.			TIPO A-CA-COMPRESIÓN.			
						
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		






(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.35. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-12%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-001						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.		FE	40 mm	0,2855 kg
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada		Material de refuerzo: Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:		Manual
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		88%	F. Volumétrica del refuerzo.		12%
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,14
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	350			0,98		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE		Dardo para geometría FE
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.36. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-14,5%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-002						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.		FE	40 mm	0,2855 kg
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada	Material de refuerzo:		Cascarilla de Arroz.		
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Manual	
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		85,5%	F. Volumétrica del refuerzo.		14,5%
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,17
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	400			1,12		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE		Dardo para geometría FE
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.37. Recolección de datos del material compuesto: Manual CA-Tipo B-17%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-003						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.		FE	40 mm	0,2855 kg
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada		Material de refuerzo: Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:		Manual
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		83%	F. Volumétrica del refuerzo.		17%
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,28
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	500			1,40		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE		Dardo para geometría FE
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.38. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-12%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-004						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.		FE	40 mm	0,2855 kg
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada		Material de refuerzo: Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.			Estratificación: Compresión.		
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		88%	F. Volumétrica del refuerzo.		12%
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,68
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	350			0,98		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE		Dardo para geometría FE
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		


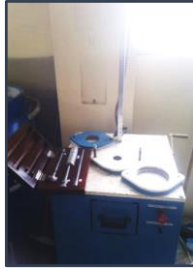

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.39. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-14,5%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-005						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.		FE	40 mm	0,2855 kg
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada		Material de refuerzo: Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:		Compresión.
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.		85,5%	F. Volumétrica del refuerzo.		14,5%
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,73
Número de Probetas	5		Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	400			1,12		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE		Dardo para geometría FE
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg		
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg		



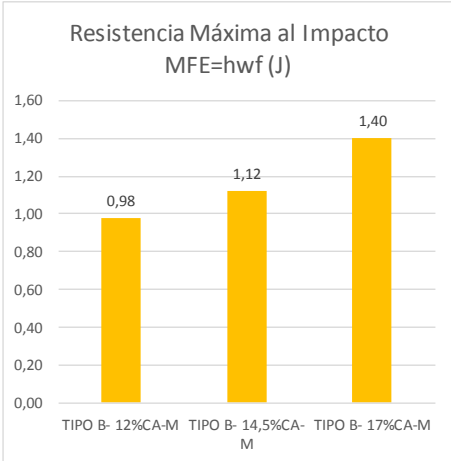
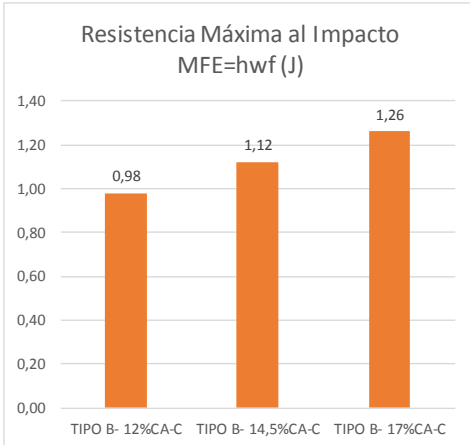
(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.40. Recolección de datos del material compuesto: Compresión CA-Tipo B-17%.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)					
REG:EI-MC-006						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)						
Fecha:	20-jun-16			Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA					
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.	FE	40 mm	0,2855 kg	
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.			
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.			Estratificación:	Compresión.	
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.	83%	F. Volumétrica del refuerzo.	17%		
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):	5,49
Número de Probetas	5	Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.			
Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D5628 (Ensayo a IMPACTO).						
#	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)			Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)		
El Mejor	450			1,26		
Fotografía del Ensayo						
						
Máquina de Impacto de Dardo		Probeta de Impacto RP+CA		Mordazas para geometría FE Dardo para geometría FE		
Zona de Fractura.	Parte Central de la Probeta.					
Tipo de Falla	Comportamiento Frágil.					
Inicio de Falla	Inicio de falla en la matriz					
Observación:	Característica de fractura frágil tipo estrella.					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo	Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg			
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg	Validado	Ing. Juan Paredes. Mg			

(Fuente: Realizado por el Autor)

Ficha Técnica 4.41. Resumen de datos del material compuesto: TIPO B-CA.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)				
REG:EF-MC-003					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIÉSTER+CASCARILLA DE ARROZ)					
Fecha:	20/06/2016		Ciudad	Ambato.	
Lugar	Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica. FICM-UTA.				
Máquina:	Máquina de Impacto de Dardo	Geometría/ Diámetro/ Masa de dardo.	FE	40 mm	0,2855 kg
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.		
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.				
Dimensión de probetas:	Longitud:	58 mm	Ancho:	58 mm	Espesor promedio (mm):
Número de Probetas	5	Responsable:	Sr. Fernando Lalaleo.		
TIPO B-CA-MANUAL.					
Resultados del Ensayo realizado bajo la Norma ASTM 5628					
Denominación	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)		Resistencia Máxima al Impacto MFE=hwf (J)		
TIPO B- 12% CA-M	350		0,98		
TIPO B- 14,5% CA-M	400		1,12		
TIPO B- 17% CA-M	500		1,40		
TIPO B-CA-COMPRESIÓN.					
Resultados del Ensayo realizado bajo la Norma ASTM 5628					
Denominación	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)		Resistencia Máxima al Impacto MFE=hwf (J)		
TIPO B- 12% CA-C	350		0,98		
TIPO B- 14,5% CA-C	400		1,12		
TIPO B- 17% CA-C	450		1,26		
TIPO B-CA-MANUAL.			TIPO B-CA-COMPRESIÓN.		
					
Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo		Aprobado	Ing. Juan Paredes. Mg	
Revisado	Ing. Juan Paredes. Mg		Validado	Ing. Juan Paredes. Mg	

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.2.6.4. ENSAYO DE ADHERENCIA ENTRE MATRIZ-REFUERZO.

Se realizó el análisis de la topografía del material compuesto con la utilización del Microscopio Electrónico de Barrido TESCAN modelo VEGA 3 SBU que se encuentra en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica FICM.

El ensayo fue realizado a la mejor configuración de acuerdo a sus propiedades mecánicas en este caso al material compuesto de 17% de refuerzo de cascarilla de arroz con 83% de matriz poliéster, las muestras se analizaron una probeta de cada lote.



Figura 4.18. Ensayo de adherencia fibra-matriz.
(Fuente: Realizado por el Autor)



Se utilizó el método bajo vacío, debido a que la muestra no es conductora en su estado no revestido natural. Este método permite la obtención de excelentes imágenes ópticas con una claridad sofisticada mediante los siguientes parámetros:

Tabla 30. Parámetros de ingreso empleados en el Microscopio Electrónico de Barrido TESCAN.

Denominación	Nomenclatura	Parámetro
Modo Bajo Vacío	BSE	3,5 nm a 30 Kv
Voltaje de Aceleración (200 V - 30 kV)	HV	3,00 kV
Aumento (3x - 1 000 000x)		250 x
Campo de Visión	WD	20 mm
Presión de Vacío (3-500 Pa)		15 Pa

(Fuente: Realizado por el Autor)

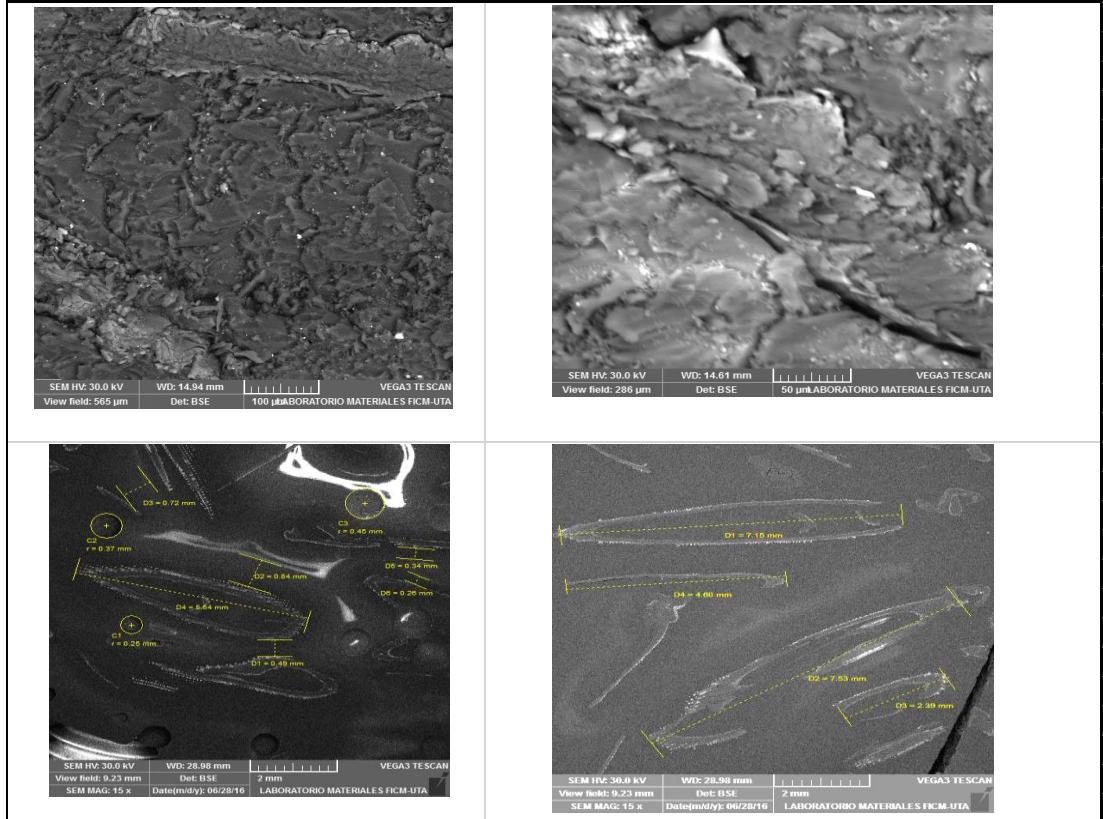
Ficha Técnica 4.42. Ensayo de Fractografía del Material Compuesto.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	(ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA)		
			REG:EF-MC-001

Datos Informativos:

Fecha:	28 de Junio de 2016	Ciudad:	Ambato.
Laboratorio:	Laboratorio de Materiales FICM-UTA.		
Equipo:	Microscopio de Barrido	Tipo o Modelo:	TESCAN VEGA 3 SBU
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.
Dimensión de probetas:	Longitud: 10 mm	Ancho: 10 mm	Espesor nominal (mm): 5,4
Número de Probetas	5	Responsable	Sr. Fernando Lalaleo.

Resultados: Imágenes del Material Compuesto Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz.



Observaciones:

Se puede observar la distribución la matriz (Resina Poliéster) sobre el refuerzo (Cascarilla de Arroz), existen agujeros de un tamaño de 0,37 mm aproximadamente, los cuales se producen en el proceso de manufactura del material. Estos defectos disminuyen las propiedades mecánicas.

La cascarilla de arroz tiene una longitud de 7 mm y un ancho de 2 mm aproximadamente.

Elaborado:	Sr. Fernando Lalaleo	Aprobado:	Ing. Juan Paredes. Mg.
Revisado:	Ing. Juan Paredes. Mg.	Validado:	Ing. Juan Paredes. Mg.

(Fuente: Realizado por el Autor)

Evaluación de la mejor configuración y fracción volumétrica ensayo a tracción.



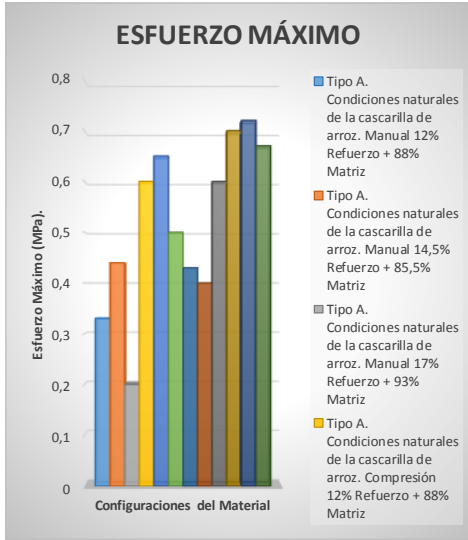
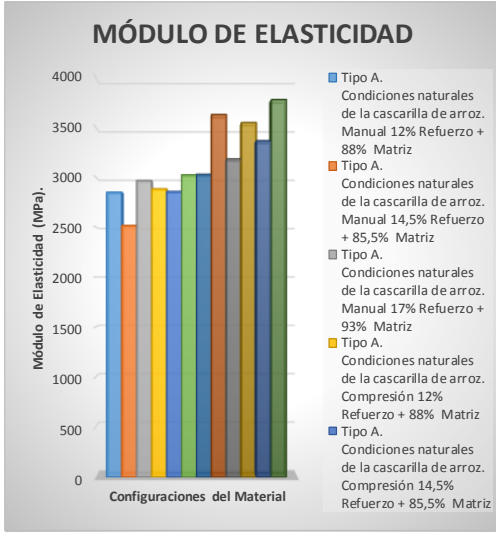
Ficha Técnica 4.43. Evaluación de resultados a tracción del material compuesto (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)		REG: Evaluación 01	
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIOS DEL MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).									
Tipo de Refuerzo.	Tipo de Estratificación.	Fracción Volumétrica.	Espesor Promedio (mm).	Esf. Máx. (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa).				
Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.	Manual	12% Refuerzo + 88% Matriz	5,37	6,78	6554,51				
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	5,54	8,18	7401,16				
		17% Refuerzo + 93% Matriz	6,33	6,21	4942,29				
	Compresión	12% Refuerzo + 88% Matriz	5,8	8,31	8084,22				
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	5,82	8,69	4987,21				
		17% Refuerzo + 93% Matriz	6,2	8,38	6436,07				
Tipo B. Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.	Manual	12% Refuerzo + 88% Matriz	5,09	8,94	6138,42				
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	5,17	7,93	6653,88				
		17% Refuerzo + 93% Matriz	5,3	9,27	7067,99				
	Compresión	12% Refuerzo + 88% Matriz	5,67	10,1	4552,62				
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	5,66	10,78	8320,09				
		17% Refuerzo + 93% Matriz	6,54	10,45	7955,01				
Gráficas de Resultados.									
<p>ESFUERZO MÁXIMO</p> <p>Y-axis: Esfuerzo Máximo (MPa). X-axis: Configuraciones del Material.</p> <p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz. Manual 12% Refuerzo + 88% Matriz Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz. Manual 14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz. Manual 17% Refuerzo + 93% Matriz Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz. Compresión 12% Refuerzo + 88% Matriz 					<p>MÓDULO DE ELASTICIDAD</p> <p>Y-axis: Módulo de Elasticidad (MPa). X-axis: Configuraciones del Material.</p> <p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz. Manual 12% Refuerzo + 88% Matriz Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz. Manual 14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz. Manual 17% Refuerzo + 93% Matriz Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz. Compresión 12% Refuerzo + 88% Matriz Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz. Compresión 14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz 				
Evaluación.									
Se observa que las mejores configuraciones del material compuesto son las de Tipo B de Estratificación manual y compresión con sus respectivas fracciones volumétricas									
Tipo B	Manual	17% Refuerzo + 83% Matriz							
	Compresión	17% Refuerzo + 83% Matriz							
Poseen optimas características respecto al Esfuerzo y Deformación al ser ensayadas a Tracción.									

(Fuente: Realizado por el Autor)

Evaluación de la mejor configuración y fracción volumétrica ensayo a flexión.



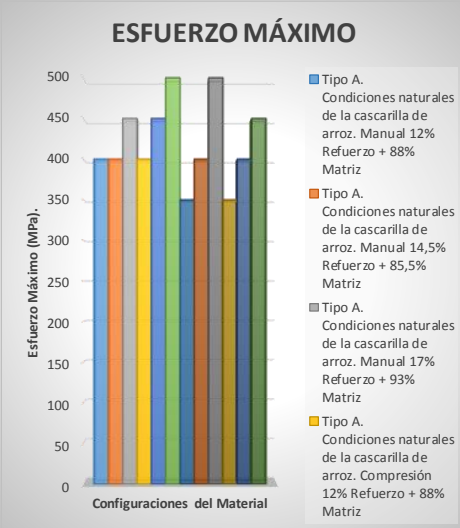
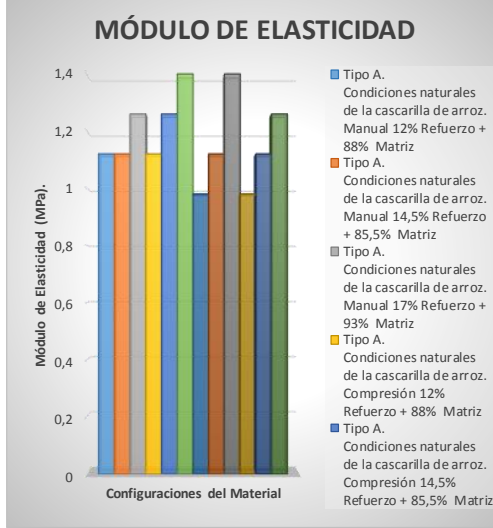
Ficha Técnica 4.44. Evaluación de resultados a tracción del material compuesto (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)			
					
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIOS DEL MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).					
Tipo de Refuerzo.	Tipo de Estratificación.	Fracción Volumétrica.	Espesor Promedio (mm).	Esf. Máx. (MPa)	Módulo de Flexión (MPa).
Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.	Manual	12% Refuerzo + 88% Matriz	5,37	0,33	2848,03
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	5,21	0,44	2514,82
		17% Refuerzo + 93% Matriz	4,56	0,2	2963,73
	Compresión	12% Refuerzo + 88% Matriz	6,24	0,6	2881,85
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	6,41	0,65	2855,57
		17% Refuerzo + 93% Matriz	5,27	0,5	3020,87
Tipo B. Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.	Manual	12% Refuerzo + 88% Matriz	4,59	0,43	3025,77
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	4,63	0,4	3622,29
		17% Refuerzo + 93% Matriz	6,36	0,6	3179,81
	Compresión	12% Refuerzo + 88% Matriz	6,08	0,7	3543,38
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	6,42	0,72	3361,5
		17% Refuerzo + 93% Matriz	5,35	0,67	3772,19
Gráficas de Resultados.					
					
Evaluación.					
Se observa que las mejores configuraciones del material compuesto son las de Tipo B de Estratificación manual y compresión con sus respectivas fracciones volumétricas					
Tipo B	Manual	17% Refuerzo + 83% Matriz			
	Compresión	17% Refuerzo + 83% Matriz			
Poseen optimas características respecto al Esfuerzo y Deformación al ser ensayadas a Flexión.					

(Fuente: Realizado por el Autor)

Evaluación de la mejor configuración y fracción volumétrica ensayo a impacto.

Ficha Técnica 4.45. Evaluación de resultados a tracción del material compuesto (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).



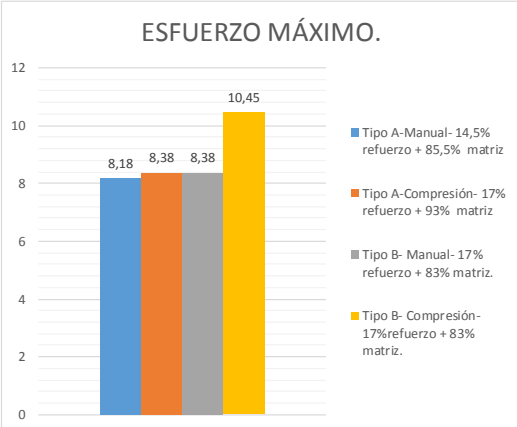
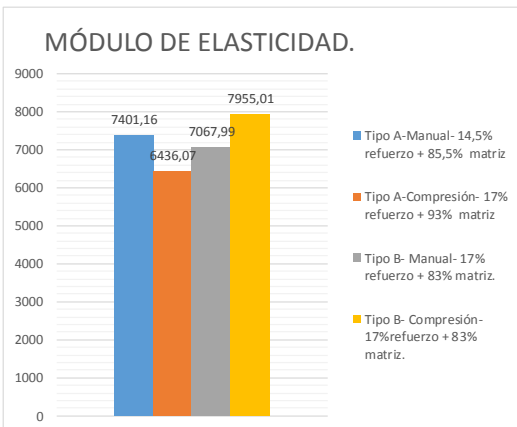
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)				
REG: Evaluación 03						
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIOS DEL MATERIAL COMPUESTO (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).						
Tipo de Refuerzo.	Tipo de Estratificación.	Fracción Volumétrica.	Espesor Promedio (mm).	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)	
Tipo A. Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.	Manual	12% Refuerzo + 88% Matriz	5,4	400	1,12	
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	5,4	400	1,12	
		17% Refuerzo + 93% Matriz	5,71	450	1,26	
	Compresión	12% Refuerzo + 88% Matriz	5,71	400	1,12	
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	5,9	450	1,26	
		17% Refuerzo + 93% Matriz	5,97	500	1,4	
Tipo B. Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.	Manual	12% Refuerzo + 88% Matriz	5,14	350	0,98	
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	5,17	400	1,12	
		17% Refuerzo + 93% Matriz	5,28	500	1,4	
	Compresión	12% Refuerzo + 88% Matriz	5,68	350	0,98	
		14,5% Refuerzo + 85,5% Matriz	5,73	400	1,12	
		17% Refuerzo + 93% Matriz	5,49	450	1,26	
Gráficas de Resultados.						
						
Evaluación.						
Se observa que las mejores configuraciones del material compuesto son las de Tipo B de Estratificación manual y compresión con sus respectivas fracciones volumétricas.						
Tipo B	Manual	17% Refuerzo + 83% Matriz				
	Compresión	17% Refuerzo + 83% Matriz				
Poseen optimas características respecto a la Resistencia Máxima al Impacto al ser ensayadas a Impacto.						

(Fuente: Realizado por el Autor)

4.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

a) Interpretación de resultados del ensayo a tracción del material compuesto: (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).



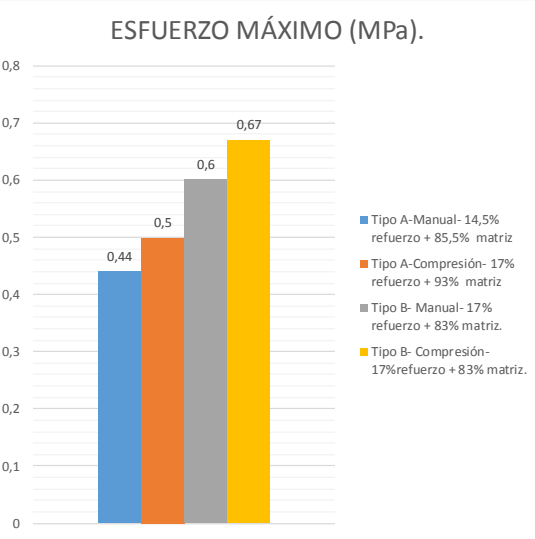
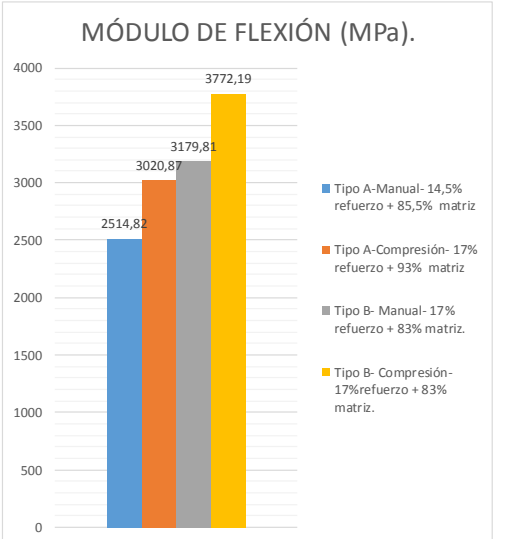
Ficha Técnica 4.46. Análisis de resultados a tracción de tres tipos de materiales.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A TRACCIÓN-NORMA ASTM D3039-14)					
REG: Interpretación I						
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE LOS 3 TIPOS DE MATERIALES.						
MATERIAL	Espesor (mm)	Carga Máx. (N)	Esf. Máx. (Mpa)	Deformación (%)	Módulo de Elasticidad (Mpa).	
Tipo A-Manual- 14,5% refuerzo + 85,5% matriz	5,54	1297,61	8,18	1,41	7401,16	
Tipo A-Compresión- 17% refuerzo + 93% matriz	6,20	1329,16	8,38	1,35	6436,07	
Tipo B- Manual- 17% refuerzo + 83% matriz.	5,3	1217,65	8,38	1,27	7067,99	
Tipo B- Compresión- 17% refuerzo + 83% matriz.	6,54	1739,67	10,45	1,42	7955,01	
Gráficas de Resultados.						
<p style="text-align: center;">ESFUERZO MÁXIMO.</p> 			<p style="text-align: center;">MÓDULO DE ELASTICIDAD.</p> 			
<p>Tipo A= Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.</p> <p>Tipo B= Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.</p>						

(Fuente: Realizado por el Autor)

b) Interpretación de resultados del ensayo a flexión del material compuesto: (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).



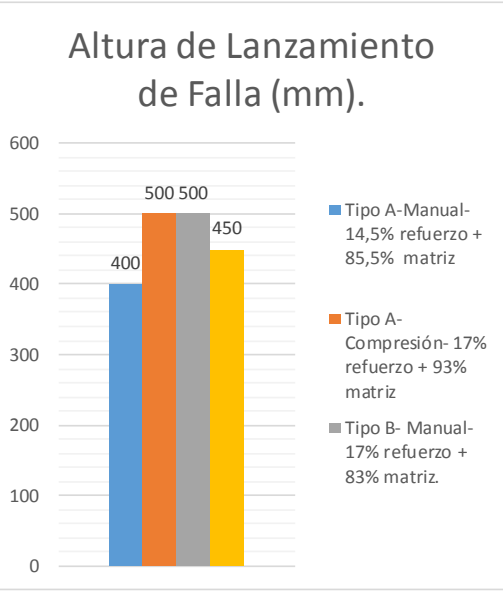
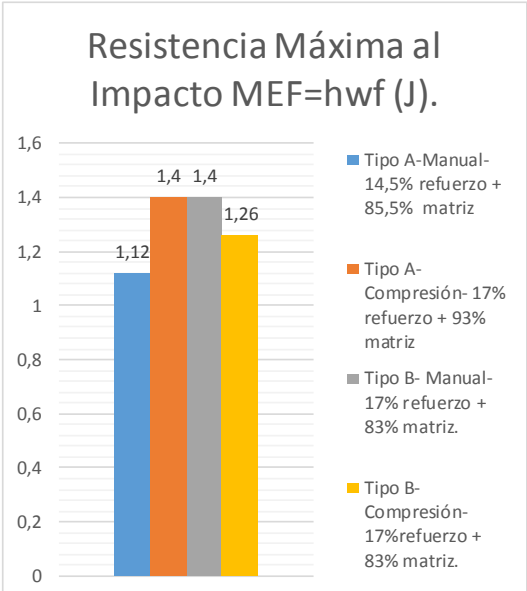
Ficha Técnica 4.47. Análisis de resultados a tracción de tres tipos de materiales.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	(ENSAYO A FLEXIÓN-NORMA ASTM D7264-07)					
REG: Interpretación 2						
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE LOS 3 TIPOS DE MATERIALES.						
MATERIAL	Espesor (mm)	Carga Máx. (N)	Esf. Máx. (Mpa)	Deflexión (%)	Módulo de Flexión (Mpa).	
Tipo A-Manual- 14,5% refuerzo + 85,5% matriz	5,21	33,46	0,44	2,67	2514,82	
Tipo A-Compresión- 17% refuerzo + 93% matriz	5,27	36,93	0,5	2,78	3020,87	
Tipo B- Manual- 17% refuerzo + 83% matriz.	6,36	50,75	0,6	2,27	3179,81	
Tipo B- Compresión- 17%refuerzo + 83% matriz.	5,35	52,65	0,67	3,37	3772,19	
Gráficas de Resultados.						
<p>ESFUERZO MÁXIMO (MPa).</p> 			<p>MÓDULO DE FLEXIÓN (MPa).</p> 			
<p>Tipo A= Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.</p>						
<p>Tipo B= Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.</p>						

(Fuente: Realizado por el Autor)

c) Interpretación de resultados del ensayo a impacto del material compuesto: (Resina Poliéster + Cascarilla de Arroz).

Ficha Técnica 4.48. Análisis de resultados a tracción de tres tipos de materiales.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO																						
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																						
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																						
	(ENSAYO A IMPACTO-NORMA ASTM D5628)																						
REG: Interpretación 3																							
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE LOS 3 TIPOS DE MATERIALES.																							
MATERIAL	Espesor Promedio (mm).	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)	Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)																				
Tipo A-Manual- 14,5% refuerzo + 85,5% matriz	5,4	400	1,12																				
Tipo A-Compresión- 17% refuerzo + 93% matriz	5,97	500	1,4																				
Tipo B- Manual- 17% refuerzo + 83% matriz.	5,28	500	1,4																				
Tipo B- Compresión- 17% refuerzo + 83% matriz.	5,49	450	1,26																				
Gráficas de Resultados.																							
<p style="text-align: center;">Altura de Lanzamiento de Falla (mm).</p>  <table border="1"> <caption>Altura de Lanzamiento de Falla (mm)</caption> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>Altura (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo A-Manual- 14,5% refuerzo + 85,5% matriz</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>Tipo A-Compresión- 17% refuerzo + 93% matriz</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Tipo B- Manual- 17% refuerzo + 83% matriz.</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Tipo B- Compresión- 17% refuerzo + 83% matriz.</td> <td>450</td> </tr> </tbody> </table>		Tipo	Altura (mm)	Tipo A-Manual- 14,5% refuerzo + 85,5% matriz	400	Tipo A-Compresión- 17% refuerzo + 93% matriz	500	Tipo B- Manual- 17% refuerzo + 83% matriz.	500	Tipo B- Compresión- 17% refuerzo + 83% matriz.	450	<p style="text-align: center;">Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf (J).</p>  <table border="1"> <caption>Resistencia Máxima al Impacto MEF=hwf (J)</caption> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>Resistencia (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo A-Manual- 14,5% refuerzo + 85,5% matriz</td> <td>1,12</td> </tr> <tr> <td>Tipo A-Compresión- 17% refuerzo + 93% matriz</td> <td>1,4</td> </tr> <tr> <td>Tipo B- Manual- 17% refuerzo + 83% matriz.</td> <td>1,4</td> </tr> <tr> <td>Tipo B- Compresión- 17% refuerzo + 83% matriz.</td> <td>1,26</td> </tr> </tbody> </table>		Tipo	Resistencia (J)	Tipo A-Manual- 14,5% refuerzo + 85,5% matriz	1,12	Tipo A-Compresión- 17% refuerzo + 93% matriz	1,4	Tipo B- Manual- 17% refuerzo + 83% matriz.	1,4	Tipo B- Compresión- 17% refuerzo + 83% matriz.	1,26
Tipo	Altura (mm)																						
Tipo A-Manual- 14,5% refuerzo + 85,5% matriz	400																						
Tipo A-Compresión- 17% refuerzo + 93% matriz	500																						
Tipo B- Manual- 17% refuerzo + 83% matriz.	500																						
Tipo B- Compresión- 17% refuerzo + 83% matriz.	450																						
Tipo	Resistencia (J)																						
Tipo A-Manual- 14,5% refuerzo + 85,5% matriz	1,12																						
Tipo A-Compresión- 17% refuerzo + 93% matriz	1,4																						
Tipo B- Manual- 17% refuerzo + 83% matriz.	1,4																						
Tipo B- Compresión- 17% refuerzo + 83% matriz.	1,26																						
Tipo A= Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.																							
Tipo B= Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.																							

(Fuente: Realizado por el Autor)

c) Interpretación de resultados.

Del análisis realizado en las fichas técnicas correspondientes a la caracterización mecánica a tracción, flexión e impacto, se presenta la siguiente Tabla de resumen de resultados de las mismas, luego de lo cual haremos el análisis o la evaluación del comportamiento del material compuesto respecto a la combinación de propiedades mecánicas.

Ficha Técnica 4.49. Interpretación de resultados de las distintas propiedades.

Material	TRACCIÓN.										FLEXIÓN.						IMPACTO							
	Espesor promedio (mm)	Δ	Def (%)	Δ	Carga Máx (N)	Δ	Esfuerzo Máx. (MPa)	Δ	Módulo de Elasticidad (MPa).	Δ	Def (%)	Δ	Carga Máx (N)	Δ	Esfuerzo Máx. (MPa)	Δ	Módulo de Flexión (MPa).	Δ	Altura de Lanzamiento de Falla (mm)	Δ	Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)	Δ	Aceptación sobre 10	% de Aceptación
Tipo A-Manual-14,5% CA + 85,5% RP	5,54	-2,35	1,41	-0,88	1297,61	1088,90	8,18	7,26	7401,16	6904	2,67	-0,17	33,46	9,85	0,44	0,23	2514,82	2004	400	-37,5	1,12	0,1	5,45	54,55
Tipo A-Compresión-17% CA + 93% RP	6,20	-1,69	1,35	-0,94	1329,16	1120,45	8,38	7,46	6436,07	5939	2,78	-0,06	36,93	13,32	0,5	0,29	3020,87	2510	500	62,5	1,4	-0,18	8,55	85,45
Tipo B- Manual- 17% CA + 83% RP.	5,3	-2,59	1,27	-1,02	1217,65	1008,94	8,38	7,46	7067,99	6571	2,27	-0,57	50,75	27,14	0,6	0,39	3179,81	2669	500	62,5	1,4	-0,18	8,55	85,45
Tipo B- Compresión-17% CA + 83% RP.	6,54	-1,35	1,42	-0,87	1739,67	1530,96	10,45	9,53	7955,01	7458	3,37	0,53	52,65	29,04	0,67	0,46	3772,19	3261	450	12,5	1,26	-0,04	9,09	90,91
Parámetros	7,89		2,29		208,71		0,92		496,78		2,84		23,61		0,21		510,75		437,5		1,22			
D. Estándar.	0,27		0,21		12,4		0,21		3,35		0,37		1,99		0,02		74,59		25		0,07			

PONDERACIÓN		
10	Aceptable	Resultado ACEPTABLE igual o por encima de la Desviación Estándar.
8	Bueno	Resultado BUENO bajo la Desviación Estándar
4	No aceptable	Resultado NO ACEPTABLE bajo la Desviación Estándar (95% de Confianza).

(Fuente: Realizado por el Autor)

De acuerdo a los materiales evaluados se obtiene como resultado que el material que posee óptimas propiedades mecánicas tanto a tracción, flexión e impacto es el material compuesto por fibra Tipo B (Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz), estratificación a Compresión, con fracción de 17% de material de refuerzo (Cascarilla de Arroz) y 83% de matriz (Resina Poliéster), con un porcentaje de aceptación del 90.91%.

Tabla 31. Propiedades mecánicas del material compuesto Tipo B a Compresión.

Propiedades ensayo tracción	
Módulo de elasticidad (MPa)	7955
Esfuerzo máximo (MPa)	15,45
Deformación máxima (%)	1,42
Coefficiente de Poisson	0,35
Propiedades ensayo flexión	
Módulo de flexión (MPa)	3772
Esfuerzo máximo (MPa)	0,67
Deflexión máxima (%)	3,37
Propiedades ensayo de impacto	
Resistencia máxima impacto (J)	1,26

(Fuente: Realizado por el Autor)

d) Simulación del ensayo de tracción.

Se presenta el análisis por el método de elementos finitos (MEF) de la probeta Tipo B de estratificación a compresión, con fracción de 17% de refuerzo (Cascarilla de arroz) y 83% de matriz (Resina Poliéster).

Se realizó la geometría de la probeta (250x25x5 mm) a partir de sus dimensiones en el software ANSYS. El análisis es Estático utilizando el elemento SHELL 181 por ser adecuado para análisis de estructuras laminares delgadas. Es un elemento de 4 nodos

con seis grados de libertad en cada nodo, en las direcciones x, y, z, y las rotaciones alrededor de los ejes x, y, z. El tamaño de malla es de 5 mm y las condiciones de carga para el análisis se muestran en la Figura 4.19.

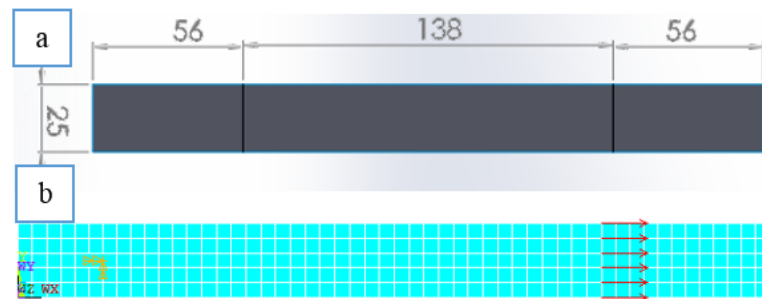


Figura 4.19. Probeta sometida a carga de Tensión: a) Dimensiones correspondientes para el ensayo de Tracción ASTM D3039, b) Mallado de la probeta de material compuesto.




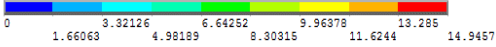
(Fuente: Realizado por el Autor)

El modelo del material fue establecido como orto-trópico, debido a su comportamiento que se observa en la curva esfuerzo-deformación de las pruebas experimentales, con lo cual se realiza el modelado de la probeta

Datos de ingreso para la simulación del material de compuesto.

- Módulo de elasticidad EX: 7955 MPa. (Material compuesto)
- Módulo de elasticidad EY: 7955 MPa. (Material compuesto)
- Módulo de elasticidad EZ: 2610 MPa. (Resina poliéster)
- Coeficiente de Poisson XY: 0.35 (Material compuesto)
- Coeficiente de Poisson YZ: 0.2 (Resina poliéster)
- Coeficiente de Poisson XZ: 0.2 (Resina poliéster)
- Módulo de corte GXY: 2920 MPa. (Material compuesto)
 $G = E / (2(1 + \nu)) = (7955 \text{ MPa}) / (2(1 + 0.35)) = 2920 \text{ MPa}.$
- Módulo de corte GYZ: 1090 MPa. (Resina poliéster)
 $G = E / (2(1 + \nu)) = (2610 \text{ MPa}) / (2(1 + 0.2)) = 1090 \text{ MPa}.$
- Módulo de corte GXZ: 1090 MPa. (Resina poliéster)
- Carga máxima: 1747 N.

Ficha Técnica 4.50. Simulación del Ensayo a Tracción del Material Compuesto.

	Universidad Técnica de Ambato		
	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.		
	Carrera de Ingeniería Mecánica.		
SIMULACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN.			
Material de matriz:	Resina Poliéster Cobaltada	Material de refuerzo:	Cascarilla de Arroz.
Configuración del refuerzo:	Tipo B: Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.		Estratificación: Compresión
Fracción volumétrica del compuesto	F. Volumétrica de matriz.	83%	F. Volumétrica del refuerzo. 17%
Dimensión de probetas:	Longitud: 250 mm	Ancho: 25 mm	Espesor nominal (mm): 5
Norma Aplicable	ASTM D3039	Cantidad de Elementos	
Cantidad de Nodos	318	Realizado por:	Sr. Fernando Lalaleo.
RESULTADOS DEL ENSAYO:			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="font-family: monospace; font-size: small;"> 1 NODAL SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SEQV (AVG) SMX =.248691 SMO =14.9457 </div> <div style="text-align: right;"> ANSYS R16.0 JAN 3 2017 02:37:22 </div> </div>  <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p>0 1.66063 3.32126 4.98189 6.64252 8.30315 9.96378 11.6244 13.285 14.9457</p> </div>			
Distribucion de Esfuerzos.			
RESULTADOS REGISTRADOS			
Esfuerzo minima	0 N	Esfuerzo Máxima	14,9457 MPa
Deformación Inicial	0 mm	Deformación Final	2,48 mm

(Fuente: Realizado por el Autor)

Se evidencia mediante el Ensayo de Tracción y la Simulación de Elementos Finitos, que el esfuerzo máximo del material compuesto: Tipo B (cortes longitudinales)-Compresión-17% CA (cascarilla de arroz) + 83% RP (resina poliéster) tiene un porcentaje de error del 3.25%.

4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

La hipótesis del presente estudio se comprueba estadísticamente y comparativamente: mediante la utilización de la media aritmética y la desviación estándar de cada una de las características mecánicas y la determinación de las propiedades físicas del material compuesto propuesto con sus diferentes estratificaciones (manual-compresión) y fracciones volumétricas. Se realizó una ponderación para determinar el mejor material, obteniendo como resultado que el material que posee óptimas propiedades mecánicas aceptables es el material compuesto, Tipo B (Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz), estratificación a Compresión, con fracción de 17% de material de refuerzo (cascarilla de arroz) y 83% de matriz (resina poliéster), con un porcentaje de aceptación del 90.91%. Por lo que se comprueba que el material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz posee óptimas propiedades mecánicas para la fabricación de cielo raso convirtiéndose en una alternativa para cubrir los tumbados de las casa.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio se han podido extraer las siguientes conclusiones:

Los resultados revelan que el material compuesto: Tipo B (cortes longitudinales)-Compresión-17% CA (cascarilla de arroz) + 83% RP (resina poliéster), presenta una resistencia a la Tracción superior a la de Cielo raso importado de yeso. Es decir de acuerdo con los ensayos de Tracción el Cielo raso importado de yeso puede ser reemplazado por el material compuesto.

El módulo de elasticidad del material compuesto: Tipo B (cortes longitudinales)-Compresión-17% CA (cascarilla de arroz) + 83% RP (resina poliéster) es de 7955 MPa, que corresponde a una mejoría del 65% respecto al del Cielo raso importado de yeso.

Los resultados de los ensayos a Flexión, realizados al material compuesto y al Cielo raso importado de yeso, se pudieron evidenciar que los dos materiales compuestos soportan una carga máxima similar. Sin embargo, el módulo a flexión del material compuesto: Tipo B (cortes longitudinales)-Compresión-17% CA (cascarilla de arroz) + 83% RP (resina poliéster) es 8 veces mayor que el Cielo raso importado de yeso. Lo que significa que el material compuesto soporta una máxima deflexión de 3.37% que el Cielo raso importado de yeso.

La etapa de ensayos a nivel probeta de material compuesto ha presentado resultados interesantes que lo hacen un buen candidato a sustituir el Cielo raso importado de yeso, y en general posee optimas propiedades mecánicas luego de ser sometidas a los ensayos de Tracción, Flexión e Impacto, generando mejores resultados en esfuerzos máximos, módulo de elasticidad y cargas soportadas.

Es importante recalcar que este material compuesto puede ser mejorado en todo aspecto, por lo que es trascendente que se continúe con su estudio y mejora y principalmente se pase a una siguiente etapa de aplicación para observar las dificultades para su aplicación o fallas que solo en servicio se podrán ir dando y poder aplicar una mejora continua.

5.2 RECOMENDACIONES.

Culminado los ensayos mecánicos realizados en el presente estudio se ha considerado establecer las siguientes recomendaciones:

Verificar que la cascarilla este completamente seca, libre de celulosa, impurezas, con el propósito de obtener una óptima interfaz entre el refuerzo y la matriz.

Para un molde nuevo se debe aplicar 5 capas de cera desmoldante en toda la superficie de trabajo para lograr un óptimo acabado en la superficie moldeada.

Utilizar los equipos de protección personal: mascarilla desechable, gafas, guantes y una adecuada ventilación durante la elaboración y manipulación de la mezcla resina poliéster + MEK-P.

Durante la preparación de la mezcla resina poliéster + MEK-P, agitar hasta obtener una mezcla homogénea y aplicar sobre la fibra evitando el contacto directo con la piel.

Al realizar el corte de las probetas se debe tener cuidado de no recalentar la superficie del material, ya que se podría generar cambios micro estructurales lo que afectaría las propiedades mecánicas, obteniéndose resultados erróneos.

El mecanizado de las probetas se debe realizar con la menor velocidad de corte posible, ya que una velocidad alta sube la temperatura del elemento pudiendo afectarlo en sus propiedades mecánicas.

Para el ensayo de Tracción, se debe añadir en los extremos de la probeta cintas de liga número 30, para tener una buena sujeción con las mordazas de la Máquina Universal.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Asociación Española de Materiales Compuestos, «Actas del XI Congreso Nacional de Materiales Compuestos.», vol. 15, jul-2015.
- [2] J. D. V.H Guerrero y S. Gales, P Pontón, N Rosas, *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales.*, Primera Edición. Quito, 2011.
- [3] J. Cevallos, «Estudio comparativo de las propiedades mecánicas y reológicas de compuestos de polietileno de alta densidad con cascarrilla de arroz y bagazo de caña.», Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador., 2008.
- [4] Paredes, J, «Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses.», Tesis de Maestría, Universidad Tecnica de Ambato, Ambato-Ecuador.
- [5] A. Jácome, «ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN DE FIBRAS DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA DE PIÑA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE BUTACAS DEPORTIVAS.», Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2015.
- [6] W. Smith, *FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES*, 3era Edición. Madrid-España: Mc Graw Hill.
- [7] Moral, A. y Nogueira, M., *Materiales de última generación y materiales eficientes: Materiales compuestos-composites.* 2007.
- [8] W. D. Callister, *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales.* Reverte, 1996.
- [9] M. Villanueva, *Materiales Nanocompuestos Basados en Polietileno y Filosilicatos Laminares Obtenidos por Mezclado en Fundido. Estructura y Prpiedades.* España, 2009.

- [10] Mónica Paulina Herrera Álvarez, «OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA FORMULADOS INCORPORANDO TEJIDOS Y NO TEJIDOS DE FIBRAS NATURALES.», Escuela Politécnica Nacional., Quito-Ecuador, 2015.
- [11] A. Miravete, *Materiales compuestos*. Reverte, 2003.
- [12] CIMPA S.A.S, «Ficha Técnica Resina Poliéster.», Técnico 1, sep. 2013.
- [13] «Plastiquímica Resinas». .
- [14] «resina poliester | empresas». [En línea]. Disponible en: <http://www.europages.es/empresas/resina%20poliester.html>. [Accedido: 18-dic-2015].
- [15] W. D. Callister, *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Reverte, 1996.
- [16] L. V. P. F. Calero Quezada, «Desarrollo Experimental de un Aislante Térmico Utilizando Cascarilla de Arroz y Aglutinantes Naturales, en Planchas Rígidas.», Escuela Politécnica del Ejercito., Sangolquí, 2012.
- [17] James M. Gere, *Timoshenko Resistencia de Materiales*. España: THOMSON.
- [18] D. R. Askeland y P. P. Phulé, *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Thomson, 2004.
- [19] I. Goldstein, *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*, 3 edición. New York, 1992.
- [20] «Bienvenidos al Sistema Nacional de Información del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador». [En línea]. Disponible en: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/>. [Accedido: 13-mar-2016].
- [21] «Arroz». [En línea]. Disponible en: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/arroz/file/113-serie-historica-2000-2013>. [Accedido: 03-abr-2016].

[22] M. Echeverría, «CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA SU APLICACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA TERMOELÉCTRICA», Escuela Politécnica Nacional., Quito-Ecuador, 2010.

[23] «Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural - Los granos y su calidad, Limpieza de los granos». [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S03.htm>. [Accedido: 13-mar-2016].

ANEXOS.

Anexo 1: Propiedades de la resina poliéster.



SINTAPOL 999

SINTAPOL 999 es una resina de poliéster insaturado tipo orto-tereftalica, preacelerada y tixotrópica para uso general donde la transparencia no es de primordial importancia.

Características:

Facilidad de uso por su carácter de preacelerada El agente tixotropico reduce la tendencia de escurrimiento.

Buena relación entre dureza y flexibilidad.

Exotérmico moderado que evita distorsiones por exceso de calor. Reducida contracción..

Aplicaciones:

SINTAPOL 999 es recomendada para productos reforzados con fibra de vidrio para uso industrial o artesanal, con laminado manual o con spray, de usos donde el color y la turbidez de la resina no tengan inconvenientes.

Propiedades de la resina líquida:

Apariencia:	Turbia, color beige opaco
% No volátiles:	61 +-3
Viscosidad Brookfield sp 3 a 60 rpm:	700 +- 300 cps
Índice de tixotropía	1,5 a 2.5
Numero acidez sobre solidos	Max 40

Propiedades de curado:

Tiempo de gel (100g a 25°C, con 1,5ml MEK peróxido)	12 +- 3 min
Temperatura de Exotérmia:	130 a 145 °C

Suministro: La resina se envasa en tambores metálicos de 225kg neto.

Almacenamiento: La resina de poliéster debe almacenarse en tambores cerrados, bajo techo y a una temperatura máxima de 25°C. Bajo estas condiciones la resina tiene una estabilidad de 3 meses desde la fecha de venta. En condiciones más calientes (alrededor de 30°C) se debe usar el producto preferiblemente hasta los 2 meses de la misma fecha.

Anexo 2. Informe técnico de ensayos mecánicos (tracción-flexión) del cielo raso importado de yeso



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES


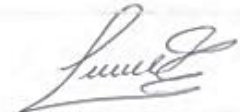
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

Designación del material: Material compuesto (yeso).
Método de ensayo: ASTM D3039-2015.
Empresa / Cliente: Sr. Edisson Fernando Lalaleo Galarza.
Fecha de Inicio de Ensayo: 09 de Agosto de 2016.
Fecha de Finalización de Ensayo: 10 de Agosto de 2016.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

Número de Probetas cuantificadas

Nº	Identificación de muestra	Cantidad
1	FTC - YESO	5

	
Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico de Pruebas e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban Lopez Espinet Director Técnico de Pruebas e Inspecciones CFPMC

Ambato, 09 de Agosto de 2016.

Nº. Factura. 001-002-000001300



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Caracuma



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

Designación del material: Material compuesto (yeso)
Método de ensayo: ASTM D7264-2015
Empresa / Cliente: Sr. Edison Fernando Lalaleo Galarza
Fecha de Inicio de Ensayo: 09 de Agosto de 2016
Fecha de Finalización de Ensayo: 10 de Agosto de 2016

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CTPMC del H.G.P. Tungurahua.

Numero de Probetas cuantificadas

Nº	Identificación de muestra	Cantidad
1	EFC - YESO	5

Elaborado por:

Ing. Fernando Galarza Chacon
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CTPMC

Aprobado por:

Ing. Esteban López Espinel
Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CTPMC

Ambato, 09 de Agosto de 2016.

Nº. Factura: 001-002-000004300

Anexo 3. Informe técnico de ensayos mecánicos (tracción-flexión) del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz.



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

Designación del material: Material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015.

Empresa / Cliente: Sr. Edison Fernando Lalaleo Galarza.

Fecha de Inicio de Ensayo: 23 de Junio de 2016.

Fecha de Finalización de Ensayo: 28 de Junio de 2016.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

Número de Probetas cuantificadas

Nº	Identificación de muestra	Tipo de Refuerzo	Fración volumétrica del Refuerzo CA	Tipo de Estratificación	Cantidad
1	ETC- Manual CA Tipo (A) 12%	Tipo(A)	12%	Manual(M)	5
2	ETC- Manual CA Tipo (A) 14,5 %	Tipo(A)	14,5%	Manual(M)	5
3	ETC- Manual CA Tipo (A) 17 %	Tipo(A)	17%	Manual(M)	5
4	ETC- Manual CA Alargada (B) 14,5%	Alargada(B)	12%	Manual(M)	5
5	ETC- Manual CA Alargada (B) 12 %	Alargada(B)	14,5%	Manual(M)	5
6	ETC- Manual CA Alargada (B) 17%	Alargada(B)	17%	Manual(M)	5
7	ETC- Compresión CA Tipo (A) 12%	Tipo(A)	12%	Compresión(C)	5
8	ETC- Compresión CA Tipo (A) 14,5%	Tipo(A)	14,5%	Compresión(C)	5
9	ETC- Compresión CA Tipo (A) 17%	Tipo(A)	17%	Compresión(C)	5
10	ETC- Compresión CA Alargada(B) 12%	Alargada(B)	12%	Compresión(C)	5
11	ETC- Compresión CA Alargada(B) 14,5%	Alargada(B)	14,5%	Compresión(C)	5
12	ETC- Compresión CA Alargada(B) 17%	Alargada(B)	17%	Compresión(C)	5
				Total	60

Tipo(A): Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.

Alargada (B): Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Chacón	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico de Pruebas e Inspecciones CFPMC	Director Técnico de Pruebas e Inspecciones CFPMC



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocer



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

Designación del material: Material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz.

Método de ensayo: ASTM D7264-2015.

Empresa / Cliente: Sr. Edisson Fernando Lalaleo Galarza.

Fecha de Inicio de Ensayo: 20 de Junio de 2016.

Fecha de Finalización de Ensayo: 22 de Junio de 2016.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

Número de Probetas cuantificadas

Nº	Identificación de muestra	Tipo de Refuerzo	Fracción volumétrica del Refuerzo CA	Tipo de Estratificación	Cantidad
1	ETC- Manual CA Tipo (A) 12%	Tipo(A)	12%	Manual(M)	6
2	ETC- Manual CA Tipo (A) 14,5 %	Tipo(A)	14,5%	Manual(M)	6
3	ETC- Manual CA Tipo (A) 17 %	Tipo(A)	17%	Manual(M)	6
4	ETC- Manual CA Alargada (B) 14,5%	Alargada(B)	12%	Manual(M)	6
5	ETC- Manual CA Alargada (B) 12 %	Alargada(B)	14,5%	Manual(M)	6
6	ETC- Manual CA Alargada (B) 17%	Alargada(B)	17%	Manual(M)	6
7	ETC- Compresión CA Tipo (A) 12%	Tipo(A)	12%	Compresión(C)	6
8	ETC- Compresión CA Tipo (A) 14,5%	Tipo(A)	14,5%	Compresión(C)	6
9	ETC- Compresión CA Tipo (A) 17%	Tipo(A)	17%	Compresión(C)	6
10	ETC- Compresión CA Alargada(B) 12%	Alargada(B)	12%	Compresión(C)	6
11	ETC- Compresión CA Alargada(B) 14,5%	Alargada(B)	14,5%	Compresión(C)	6
12	ETC- Compresión CA Alargada(B) 17%	Alargada(B)	17%	Compresión(C)	6
Total					72

Tipo(A): Condiciones naturales de la cascarilla de arroz.

Alargada (B): Cortes longitudinales de la cascarilla de arroz.

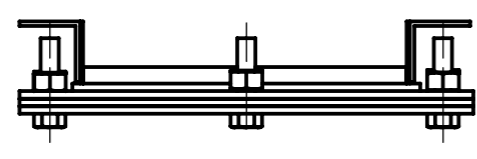
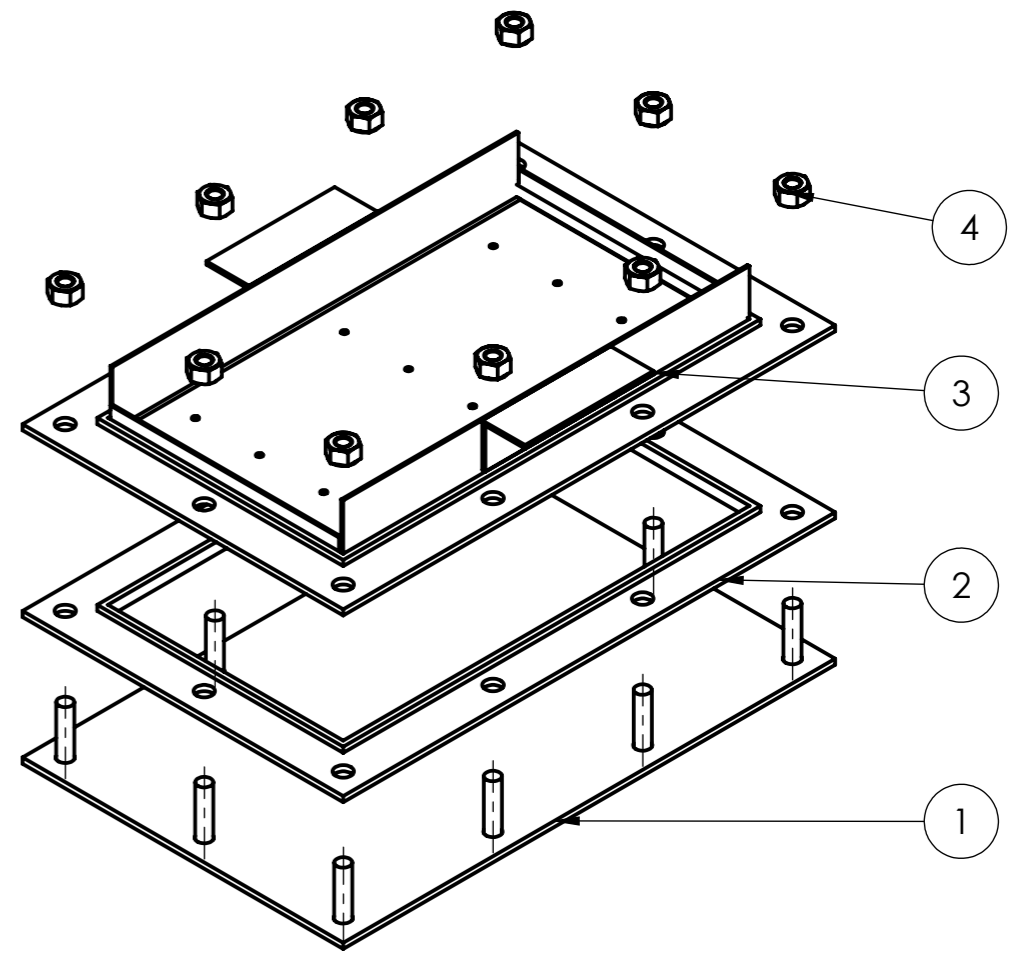
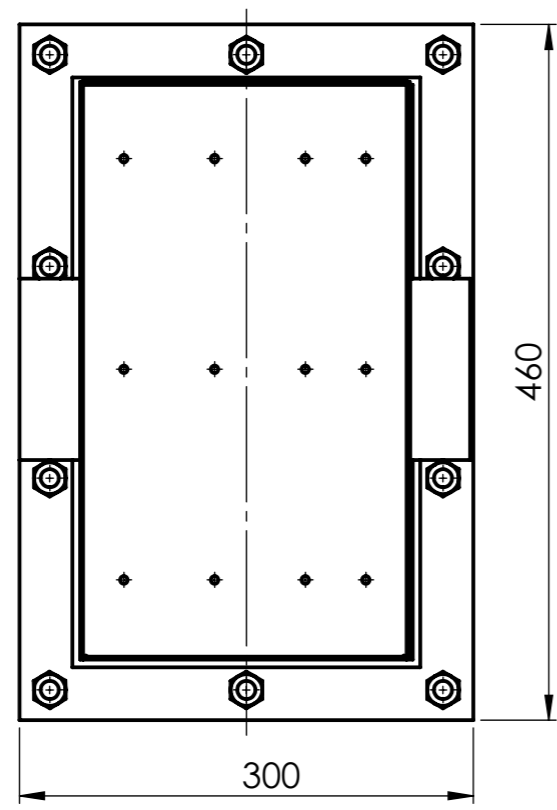
Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Chacón	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Código RG-RM-001
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 07-07-2016
Revisión: 2

INFORME DE ENSAYO DE
FLEXIÓN MATERIALES
COMPUESTOS

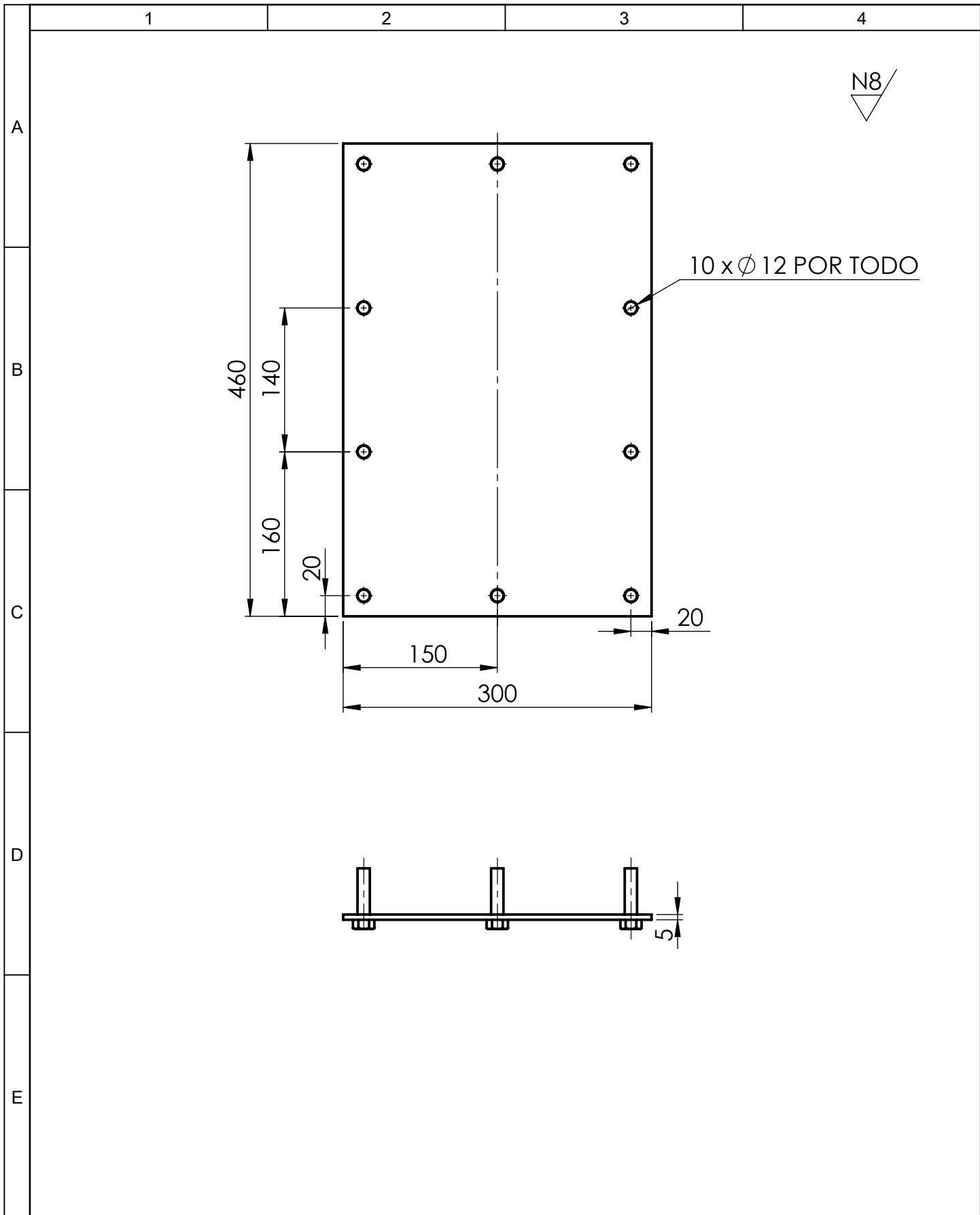
Página 1 de 5

Anexo 4. Planos.

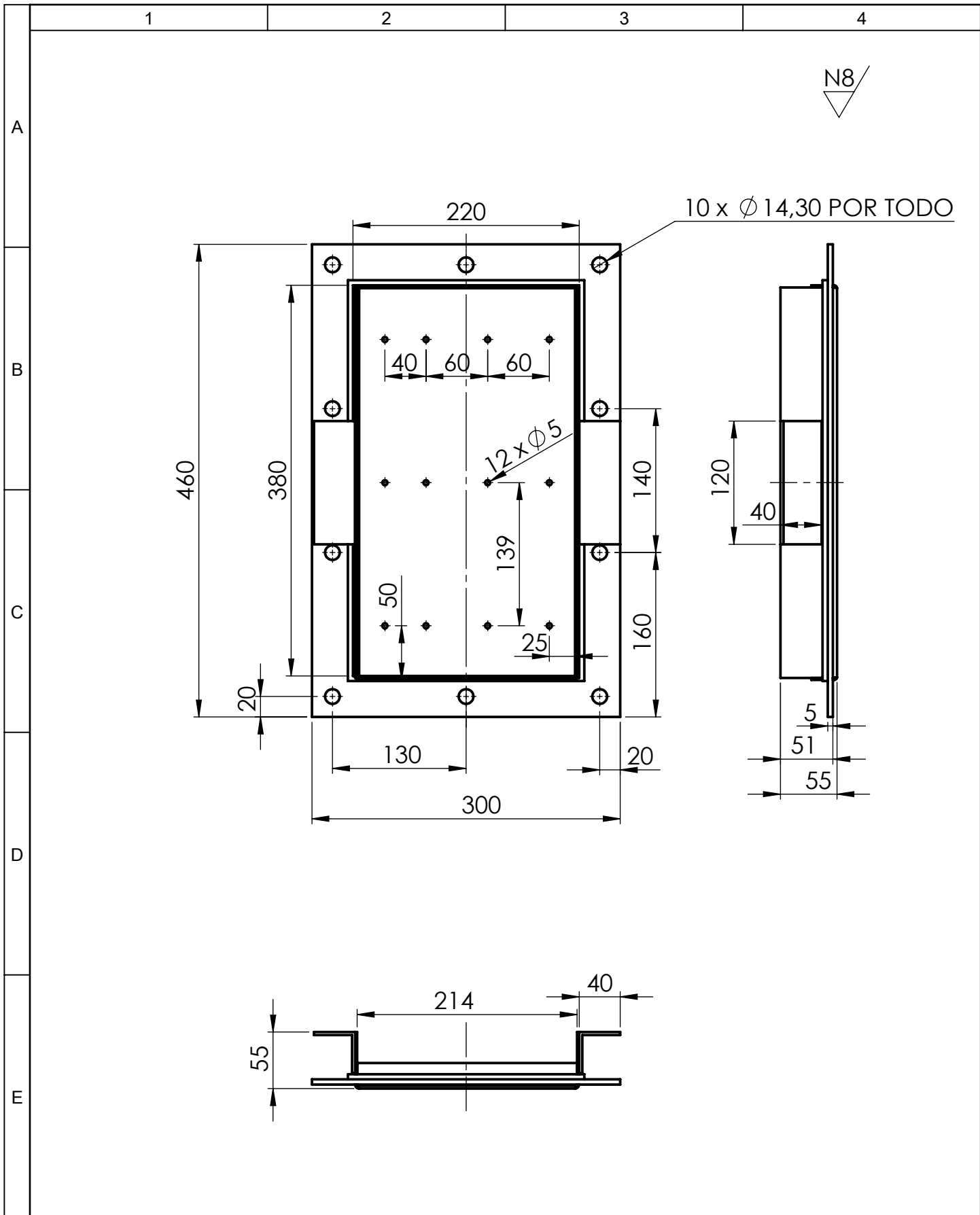


No. de pieza	Denominación	No. de Dibujo	Material	No. de orden	No. de Modelo/Semiproducto	Peso Kg/pieza	Observaciones
4	TUERCA HEXAGONAL ROSCA M12	4	ACERO		10		
3	TAPA SUPERIOR	3	ASTM A36 ACERO		1	4.83	
2	MARCO	2	ASTM A36 Acero		1	2.31	
1	BASE-MOLDE	1	ASTM A36 ACERO		1	5.45	

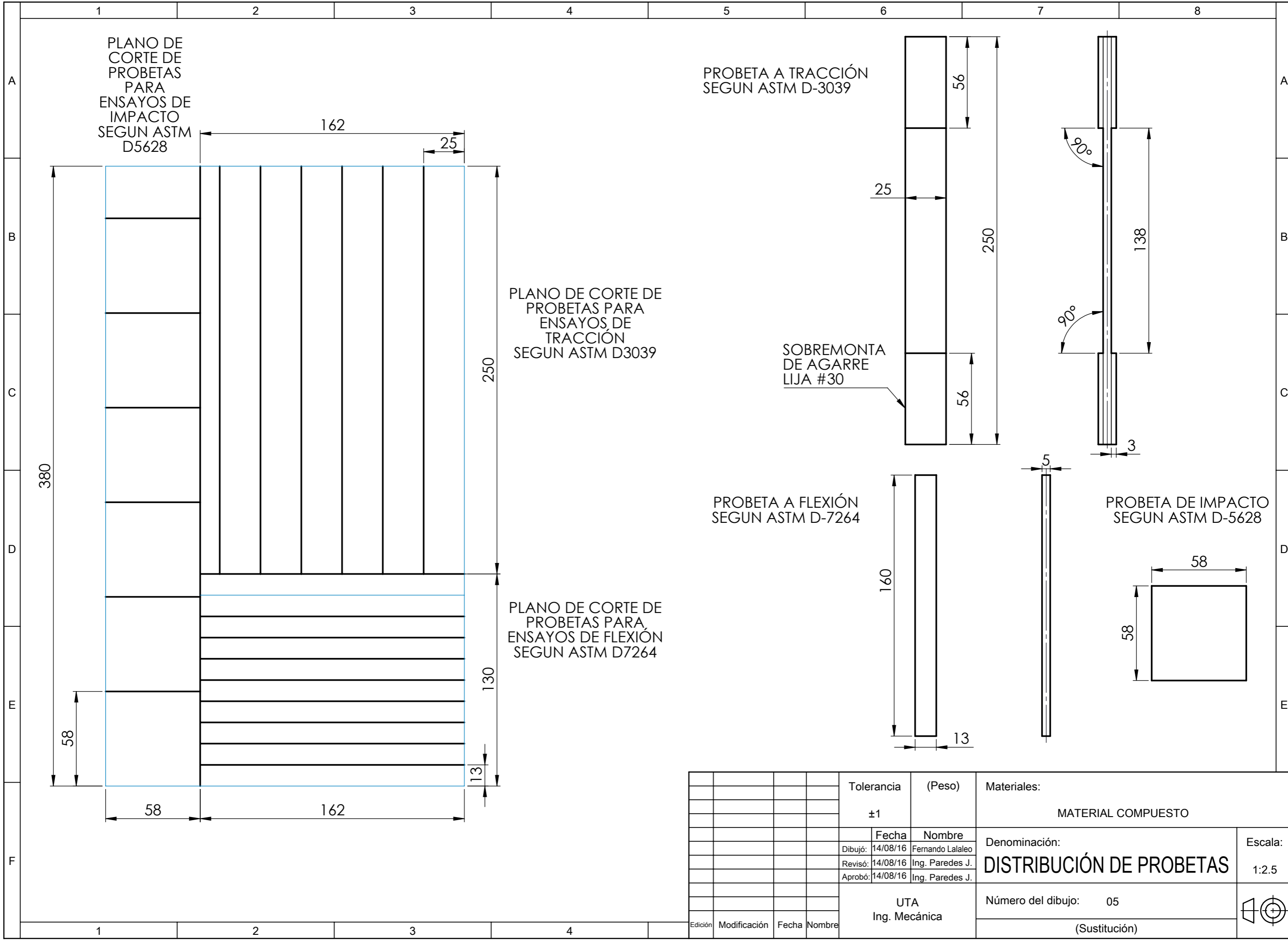
Tolerancia		(Peso)		Materiales:			
±1		12.62Kg		VARIOS			
Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
Dibujó: 14/08/16		Fernando Lalaleo		MOLDE PARA PROBETAS			1:5
Revisó: 14/08/16		Ing. Paredes J.		Número del dibujo: 01			
Aprobó: 14/08/16		Ing. Paredes J.					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	5.45 Kg	ASTM A36 ACERO	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	14/08/16	Fernando Lalaleo		
			Revisó:	14/08/16	Ing. Paredes J.		
				Aprobó:	14/08/16	Ing. Paredes J.	1:5
				UTA		Número del dibujo:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ing. Mecánica		02	
						(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	4.83 Kg	ASTM A36 ACERO	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	14/08/16	Fernando Lalaleo		
			Revisó:	14/08/16	Ing. Paredes J.		
				Aprobó:	14/08/16	Ing. Paredes J.	1:5
				UTA		Número del dibujo:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ing. Mecánica		04	
						(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1		MATERIAL COMPUESTO	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 14/08/16	Fernando Lalaleo	Escala:	
				Revisó: 14/08/16	Ing. Paredes J.	1:2.5	
				Aprobó: 14/08/16	Ing. Paredes J.	DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 05	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	