ANÁLISIS A TENSIÓN DEL MATERIAL HÍBRIDO COMPUESTO POR DOS CAPAS DE FIBRA DE ESTROPAJO, FIBRA DE FIQUE Y RESINA POLIÉSTER.

JIM KEVIN LOZANO MARIN

JEFERSSON STEVEN NAGLES GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2018

ANÁLISIS A TENSIÓN DEL MATERIAL HÍBRIDO COMPUESTO POR DOS CAPAS DE FIBRA DE ESTROPAJO, FIBRA DE FIQUE Y RESINA POLIÉSTER.

JEFERSSON STEVEN NAGLES GUTIÉRREZ

JIM KEVIN LOZANO MARIN

MODALIDAD DE GRADO

MONOGRAFÍA

DIRECTOR

ING.MSC. LUIS HERNANDO CORREA MURILLO



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

Nota de Aceptación

_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____
Firma del director

_____
Firma del jurado

_____
Firma del jurado

Bogotá 31/10/2018

CONTENIDO

pág.

ÍNDICE DE FIGURAS 7

ÍNDICE DE TABLAS 9

ÍNDICE DE ECUACIONES 10

INTRODUCCIÓN 12

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14

2.1 ESTADO DEL ARTE 14
2.2 JUSTIFICACIÓN 15
3. OBJETIVOS 17

3.1 OBJETIVO GENERAL 17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17
4. MARCO TEÓRICO 18

4.1 MATERIALES COMPUESTOS 18
4.2 FIQUE 24
4.3 ESTROPAJO 26
4.4 LONGITUD DE FIBRA 27
4.5 ORIENTACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LA FIBRA 30
4.6 POLÍMEROS 31
4.7 POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS 32
4.8 POLÍMEROS TERMOESTABLES 32
4.9 RESINA POLIÉSTER 32
4.10 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES COMPUESTO 35
4.11 MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS CONTINUAS Y ALINEADAS 38
4.12 NORMATIVIDAD 40

4.13 MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS 40
5. METODOLOGÍA 43

6. CRONOGRAMA 44

7. RECURSOS.....45

8. DESARROLLO Y EJECUCION DEL PROYECTO 46

8.1 MATERIAS PRIMAS.....46
8.2 DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL MOLDE 46
8.4 CORTE DE LA FIBRA DE FIQUE 48
8.5 CORTE DE LA FIBRA DE ESTROPAJO.....49
8.7 CANTIDAD DE CATALIZADOR (MEK) 54
8.8 FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DE LAS DOS CAPAS DE ESTROPAJO 55
8.9 FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL HIBRIDO 57
8.10 MASA DE LA FIBRA DE FIQUE.....59
8.11 FABRICACIÓN DE PROBETAS.....60
8.12 ENSAYO DE TENSIÓN.....62
9. RESULTADOS.....68

9.1 PROBETA 1 68
9.3 PROBETA 3 70
9.4 PROBETA 4 71
9.5 PROBETA 5 72
9.7 PROBETA 7 74
9.9 PROBETA 9 76
9.10 PROBETA 10.....78
9.11 PROBETA 11.....79
10. ANALISIS DE RESULTADOS.....80

11. CONCLUSIONES 85

12. RECOMENDACIONES.....87

BIBLIOGRAFÍA.....89

ANEXOS.....90

Plano de la probeta.....90
Plano del molde.....90
Ficha técnica de la resina poliéster 91
Ficha técnica del catalizador 92

ÍNDICE DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Esquema de las propiedades dispersas 21
Figura 2. Clasificación de materiales compuestos 22
Figura 3. Resistencia y rigidez especifica de distintos materiales y fibras. 23
Figura 4. Planta de fique 24
Figura 5. Planta de estropajo 26
Figura 6. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción 28
Figura 7. Perfil esfuerzo-posicion cuando la longitud de la fibra es igual a la longitud critica 29
Figura 8. Perfil esfuerzo-posicion cuando la longitud de la fibra es mayor a la longitud critica. 30
Figura 9. Perfil esfuerzo-posicion cuando la longuitud de la fibra es menor a la longitud critica. 30
Figura 10. Representación esquemática de compuestos reforzados con fibras (a) Continuas y alineadas (b) discontinuas y alineadas (c) discontinuas y orientadas al azar 31
Figura 11. Esquema de la molécula de resina poliéster 33
Figura 12. Diagrama Esfuerzo-Deformación 37
Figura 13. Máquina Universal De Ensayos (REF. UH 50-A Shimatzu) 40
Figura 14. Molde en Software CAD 47
Figura 15. Molde terminado 47
Figura 16. Corte fibra de fique 49
Figura 17. Corte fibra de Estropajo 50
Figura 18. Esquema de la probeta por zonas 51
Figura 19. Zona 1 y Zona 6 52
Figura 20. Zona 2, 3, 4,5 53
Figura 21. Zona 7 54
Figura 22. Peso de las dos capas de estropajo en la báscula de precisión 56
Figura 23. Toma de la masa de cada una de las muestras. 60
Figura 24. Proceso de curado a temperatura ambiente 62
Figura 25. Fractura de probeta 1 (A, B, C) 62
Figura 26. Fractura de probeta 2 (A, B, C) 63
Figura 27. Fractura de probeta 3 (A, B, C) 63
Figura 28. Fractura de probeta 4 (A, B, C) 64
Figura 29. Fractura de probeta 5 (A, B, C) 64
Figura 30. Fractura de probeta 6 (A, B, C) 65
Figura 31. Fractura de probeta 7 (A, B, C) 65
Figura 32. Fractura de probeta 8 (A, B, C) 66
Figura 33. Fractura de probeta 9 (A, B, C) 66

Figura 34. Fractura de probeta 10 (A, B, C) 67
Figura 35. Fractura de probeta 11 (A, B, C) 67
Figura 36. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 1 68
Figura 37. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 2 69
Figura 38. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 3 70
Figura 39. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 4 71
Figura 40. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 5 72
Figura 41. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 6 73
Figura 42. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 7 74
Figura 43. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 8 75
Figura 44. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 9 76
Figura 45. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 10 78
Figura 46. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 11 79
Figura 47. Porcentaje de deformación vs fracción volumétrica de las fibras 82
Figura 48 Módulo de elasticidad vs Fracción volumétrica de las fibras..... 83
Figura 49 esfuerzo vs fracción volumétrica de las fibras..... 83

ÍNDICE DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Clasificación amplia de los materiales compuestos 19
Tabla 2. Materias primas que componen un material compuesto 20
Tabla 3. Propiedades de la fibra de fique 26
Tabla 4. Propiedades de la fibra de Luffa 27
Tabla 5. Características de la maquina universal de ensayos. 42
Tabla 6. Cronograma de actividades 44
Tabla 7. Recursos de insumos 45
Tabla 8. Porcentajes de volumen de cada probeta 58
Tabla 9. Fracción volumétrica de cada probeta 59
Tabla 10. Masa de las fibras de fique para cada probeta 60
Tabla 11 Resultados probeta 1 69
Tabla 12 Resultados probeta 2 70
Tabla 13. Resultados probeta 3 71
Tabla 14. Resultados probeta 4 72
Tabla 15. Resultados probeta 4 73
Tabla 16. Resultados probeta 6 74
Tabla 17. Resultados probeta 7 75
Tabla 18. Resultados probeta 8 76
Tabla 19. Resultados probeta 9 77
Tabla 20. Resultados probeta 10 78
Tabla 21. Resultados probeta 11 79
Tabla 22 Resultados ensayos de tensión 80
Tabla 23 resultados relacionados con la fracción volumétrica 81

ÍNDICE DE ECUACIONES

pág.

Ecuación 1. Longitud Crítica 28
Ecuación 2. Regla de las mezclas 35
Ecuación 3. Esfuerzo de tensión 36
Ecuación 4. Porcentaje de elongación..... 37
Ecuación 5. Módulo de Elasticidad..... 38
Ecuación 6. Fuerza total del material compuesto..... 39
Ecuación 7. Esfuerzo por área del compuesto 39
Ecuación 8. División del Área del compuesto sobre los términos de la ecuación 7 39
Ecuación 9. Fracción de volumen de la matriz y fibra..... 39
Ecuación 10. Longitud critica para la fibra de fique..... 48
Ecuación 11. Longitud critica para la fibra de estropajo 48
Ecuación 12. Área de un Rectángulo 50
Ecuación 13. Área de un Triangulo..... 50
Ecuación 14. Área de un segmento circular..... 51
Ecuación 15. Volumen de un paralelepípedo..... 51
Ecuación 16. Volumen de una sección Cilíndrica 51
Ecuación 17. Volumen de Catalizador..... 55
Ecuación 18. Volumen en términos de la masa y la densidad 56
Ecuación 19. Porcentaje % del volumen de las dos capas de estropajo..... 57
Ecuación 20. Equivalencia porcentual en términos de volumen..... 58

ÍNDICE ANEXOS

pág.
Anexo 1 Plano de probeta 90
Anexo 2 Plano del molde 90
Anexo 3 Ficha técnica de la resina poliéster 91
Anexo 4 Ficha técnica del catalizador 92
Anexo 5 Datos probeta numero 2 93

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se buscan materiales que cumplan con especificaciones que permitan soportar agentes como, cargas externas, temperatura, esfuerzos normales, esfuerzos cortantes y combinaciones de estos factores, por tal motivo se hace necesario conocer las características completas que componen un determinado material, sus técnicas de fabricación, su comportamiento y aspectos económicos entre otros. Estos criterios son fundamentales en la selección de un material que desempeñe un óptimo trabajo al momento de emplearse, y que no represente costos excesivamente altos.

Por otra parte, Los factores de aplicación, diseño y procesos de fabricación han causado que las industrias y personas investiguen y busquen materiales que cumplan con las especificaciones técnicas y de aplicación que tienen los metales, lo que ha orientado la mirada hacia los polímeros y cerámicos como posibles soluciones a estas demandas industriales, esto por su parte permitió el crecimiento y desarrollo de estos dos materiales.

A partir del crecimiento e innovación que se ha generado por esta búsqueda de materiales con propiedades especificas surgen los denominados materiales compuestos o "composites" que básicamente son la combinación de dos o más materiales, uno denominado matriz que aporta ductilidad y otro denominado refuerzo que aporta resistencia, los refuerzos en los materiales compuestos pueden presentarse como reforzado con partículas, reforzado con fibras y estructural.

Este proyecto se centrará en los denominados materiales híbridos que se obtienen básicamente utilizando dos o más clases diferentes de fibras en una única matriz, para ello se utilizaran fibras de fique, dos capas de fibra de estropajo en una matriz de resina poliéster. Esto debido a que las fibras naturales tienen un amplio campo en la industria, ya que son fibras renovables y son amigables con el medio ambiente, pero debido a que estos materiales pueden combinarse de múltiples maneras representan un sin número de propiedades mecánicas distintas, por lo que con la realización de este proyecto se busca evaluar la influencia volumétrica de la composición del material hibrido reforzado con fibras de fique, dos capas de fibras de estropajo y resina poliéster con los valores reales de los ensayos de tensión.

Por lo cual para poder desarrollar y ejecutar el objetivo anteriormente mencionado, este documento está dividido en dos partes, la primera parte hace referencia a los aspectos

teóricos en los que se abordan conocimientos acerca de los componentes de un material compuesto, las características, clasificación, orientación de las fibras y propiedades mecánicas.

En la segunda parte del documento se hace mención del desarrollo del proyecto en el cual se muestra todo el proceso de realización obtención del molde, obtención de la probeta de resina poliéster y material hibrido reforzado con fibras, obtención de datos de las pruebas de tensión para las probetas, y por último se mostrarán las conclusiones y recomendaciones del análisis realizado durante la ejecución del proyecto.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las fibras naturales tienen un amplio campo en la industria ya que son fibras renovables y además algo muy importante son amigables con el medio ambiente. Es por esto, que surge el interés de investigar el potencial de las fibras naturales como refuerzo de materiales híbridos en matrices poliméricas. (Muñoz Velez, Hidalgo Salazar, & Mina Hernandez, 2014)

Las fibras naturales en comparación con las fibras sintéticas en especial la fibra de vidrio, que en la actualidad es una de las fibras más usadas en diferentes campos de la industria en Colombia y el resto del mundo. Además, Muñoz, Hidalgo y Mina afirman en su artículo: el dióxido de carbono (CO2) es uno de los gases con mayor concentración en la atmosfera ya que su peculiar forma de absorber y atrapar la radiación infrarroja del sol contribuye con el efecto invernadero o calentamiento global y que, los materiales de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio, en su proceso de moldeado a compresión generan la emisión de dióxido de carbono (CO2). (Muñoz Velez, Hidalgo Salazar, & Mina Hernandez, 2014) (Ramirez Cabrera, 2014)

Es decir que sin importar las propiedades mecánicas que tengan las fibras sintéticas, están causando un deterioro ambiental en el momento de fabricar el compuesto. Por esta razón es que actualmente las fibras naturales están reemplazando las fibras sintéticas en aplicaciones de baja exigencia estructural, este es el caso de algunas partes de automóviles que están siendo fabricadas con compuestos bioamigables. (Navarro Garcia & Ramirez Zambrano, 2014).

En referencia a las consideraciones anteriores es menester de este trabajo, determinar la fracción volumétrica para obtener las mejores propiedades en tensión para el material hibrido compuesto por fibra de fique, dos capas de fibra de estropajo en una matriz de resina poliéster.

2.1 ESTADO DEL ARTE

La revista Elsevier Ltd público en el 2017, un artículo llamado “Characterization of properties of epoxy sisal-glass fiber reinforced hybrid composite”; analizaron mediante un proceso experimental el comportamiento de las propiedades en tensión y flexión. Trabajaron dos capas de fibra de vidrio constantes variando la fracción de la fibra de fique (paginas 5445-5451 (R S, Saraswaty, & Rajesh, 2017)).

Este artículo ilustra el proceso de fabricación de las probetas en cuanto a la utilización de dos capas fijas de fibra de vidrio, ya que en esta investigación se trabajará dos capas fijas de fibra de estropajo.

En la Universidad Autónoma del Caribe en la ciudad de Barranquilla, en el 2014 Osvaldo Navarro y Andrés Ramírez realizaron su tesis llamada "Evaluación de las propiedades mecánicas de un material compuesto reforzado con fibra de fique y fibra de vidrio en una matriz de resina epoxica". Su objetivo general fue evaluar las propiedades mecánicas de un material compuesto reforzado con fibra de fique y fibra de vidrio en una matriz de resina epóxica, todo lo realizaron con una metodología netamente experimental. (Navarro Garcia & Ramirez Zambrano, 2014).

Sin tener en cuenta la utilización de un tipo diferente de resina y una fibra textil. Esta tesis permite orientar la metodología en cuanto a la fabricación de las probetas para los ensayos de tensión ya que usaron como refuerzo la fibra de fique que será una de las fibras utilizadas en la presenta investigación.

La revista Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial público en el 2014, un artículo llamado "Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial"; mediante un proceso experimental analizaron la resistencia a la tensión variando el proceso de obtención de la fibra (paginas 60-70) (Muñoz Velez, Hidalgo Salazar, & Mina Hernandez, 2014).

Este artículo se tomó como un referente en cuanto al proceso de obtención de la fibra para que no altere los resultados y tratar de que las fibras sean iguales en diámetro y longitud.

Este articulo permite entender el comportamiento del material hibrido en tensión reforzado con dos fibras naturales La revista Elsevier Ltd público en el 2014, un artículo llamado "Mechanical properties of luffa fiber and ground nut reinforced epoxy polymer hibrid composites"; analizaron mediante un proceso experimental, el comportamiento de las propiedades en tensión y compresión variando la fracción volumétrica entre sí (paginas 2042-2051). (R, A, & K, 2014)

estropajo-maní en una matriz de resina epoxica.

2.2 JUSTIFICACIÓN

Una manera de disminuir el calentamiento global es tratando de crear e implementar materiales más amigables con el medio ambiente; por ende, estos materiales deben ser lo

suficientemente asequibles a la hora de mantener una producción estable. Hay que resaltar que una de las fibras con mayor producción en Colombia es el fique, generando aproximadamente 11200 empleos en los diferentes departamentos del país. (Muñoz Velez, Hidalgo Salazar, & Mina Hernandez, 2014)

Dada la necesidad de atender y estar presentes en la evolución de la tecnología relacionada con los materiales híbridos, con el fin de aprovechar la capacidad productora de estas fibras en Colombia es objeto de este proyecto encontrar mediante la experimentación, la fracción volumétrica para obtener las mejores propiedades en tensión del material hibrido fique, estropajo y resina poliéster.

Además, este proyecto permite continuar con conocimientos previamente vistos a lo largo de la formación tecnológica como: materiales no metálicos y resistencia de materiales. Las cuales son algunas de las materias principales sobre las que se fundamenta el tecnólogo mecánico.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia de la fracción volumétrica del material hibrido reforzado con fibras de fique, dos capas de fibra de estropajo en una matriz de resina poliéster, sobre el comportamiento en tensión con base a la norma NTC 595.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Alistamiento y preparación de las probetas de material hibrido según la norma NTC 595.
- Someter las probetas a ensayos de tensión.
- Analizar los resultados obtenidos para determinar la fracción volumétrica que presenta mayor resistencia a la tensión.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales han contribuido al desarrollo y avance de la humanidad, desde su uso para generar herramientas que nos permitieron facilitar las labores como, la caza, la pesca, la agricultura etc. Hasta su uso para crear cohetes que nos llevaron a viajar fuera del planeta, históricamente la evolución de las sociedades ha estado relacionado con su capacidad para desarrollar materiales que puedan satisfacer sus necesidades, las primeras civilizaciones se conocen con el nombre del material que alcanzó su mayor desarrollo, edad de piedra, edad de bronce, edad de plata, edad de oro, (William D. Callister, 1997) sin embargo, el progreso en el conocimiento y el permanente desafío tecnológico demandan materiales que cumplan con especificaciones especializadas, por esta razón los materiales compuestos están diseñados para alcanzar la mejor combinación de las características de cada componente. (William D. Callister, 1997). Los materiales solidos se clasifican en tres tipos: metales, cerámicos y polímeros, Materiales fundamentales, esto se basa en su composición química y su estructura atómica, los materiales compuestos son básicamente la combinación de dos o más materiales, una clasificación útil y completa se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación amplia de los materiales compuestos

	Ejemplo
Materiales compuestos naturales	• Madera • Hueso • bambú • músculos y otros tejidos
Materiales Micro-compuestos	• Aleaciones metálicas: p. ej. Aceros • Termoplásticos endurecidos: p.ej. poliestireno de impacto, ABS • Hojas para moldeo continuo (SMC) • Termoplásticos reforzados
Macro-composites (Productos ingenieriles)	• Acero galvanizado • Vigas de hormigón armado • Palas de helicópteros • Esquís

Fuente: Hull. Derek. Materiales Compuestos, Barcelona. Ed Reverté, 1987 p1

El material compuesto está formado por una fase discontinua, llamada refuerzo de ella depende principalmente las propiedades mecánicas, y por otra fase denominada continua o matriz, responsable de la resistencia térmica y ambiental del material que recubre él refuerzo, esto hace del material una estructura monolítica. (Shackelford, 2005) La forma del refuerzo permite determinar su clasificación, materiales compuestos granulares, materiales compuestos de fibra corta y materiales compuestos de fibra larga o continua en la siguiente Tabla 2. Se observan los componentes de algunos de estos materiales.

Tabla 2. Materias primas que componen un material compuesto

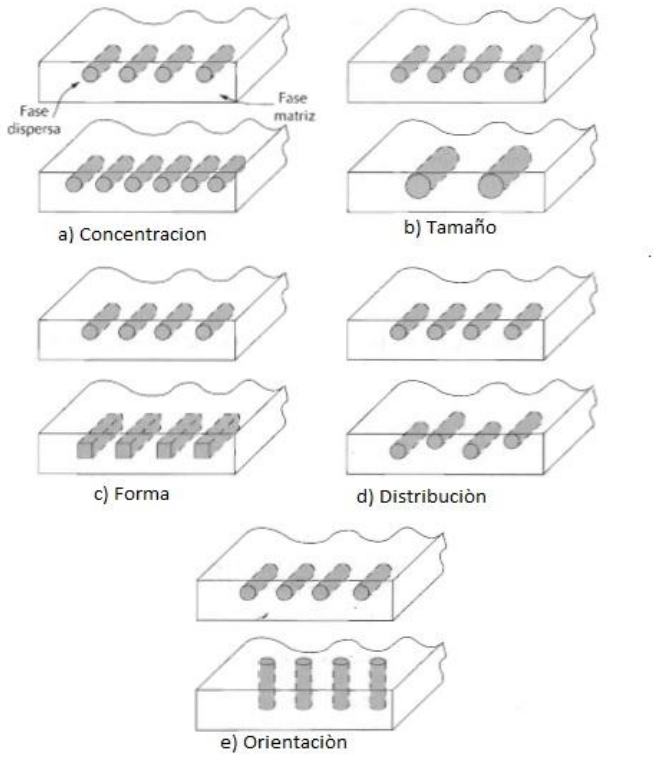
MATERIAS PRIMAS DEL MATERIAL COMPUESTO		
COMPONENTE	CLASIFICACION DE LOS COMPONENTES	TIPOS DE COMPONENTES
FIBRAS	Fibras Cerámicas	Carburo de silicio, Alúmina
	Fibras Metálicas	
	Fibras Inorgánicas	Carbono, Vidrio, Boro
	Fibras Orgánicas	Aramida, Polietileno
MATRICES	Matrices Inorgánicas	Cemento, Geo-polímeros, Yeso
	Matrices Termoestables	Epoxi, Vinilester, Poliéster, Fenólica, Esteres, Cianato, Bismaleidas, Polioimidas, Polieteramida.
	Matrices Termoplásticas	Policloruro de Vinilo (PVC) copolímeros de estireno (ABS; SAN) polietileno (PE), Polipropileno (PP), Policarbonato (PC), Polimetacrilato de metilo (PMMA), Acetato, Poliestireno (PS), Polioximetileno (POM) PBT, Polieterimida, PET, NYLON, Poliamida, PEEK, PEKK, PAI, PAS
NUCLEOS	Nidos de Abeja	Aluminio, Nomex, Polipropileno
	Espumas	Poliuretano, poliestireno, PVC
	Sándwich, Tejido 3D, Madera de Balsa	
ADHESIVOS	Epoxi, Poliuretano, Acrílicos	
RECUBRIMIENTOS	Cerámicos, Fenólicos, Epoxi+Arena, Intumescentes, Mast.	

Fuente: MIRAVETE, Antonio Materiales Compuestos Barcelona, Ed. Reverté 2000. P4

En términos generales un material compuesto o composite "Es aquel formado por dos o más componentes, de forma que las propiedades del material final sean superiores que las de los componentes por separado" (Miravete, 2000), es decir un material compuesto es un material multifase obtenido artificialmente, a partir de materiales que se encuentran en la naturaleza, con dos fases una denominada matriz, es continua y rodea a la otra fase,

llamada fase dispersa, las propiedades de los compuestos son función de las propiedades de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas y de la geometría de las fases dispersas. La Geometría de la fase dispersa, representa la forma, el tamaño, la distribución y la orientación de las partículas (William D. Callister, 1997), estas características geométricas pueden observarse en la Figura 1.

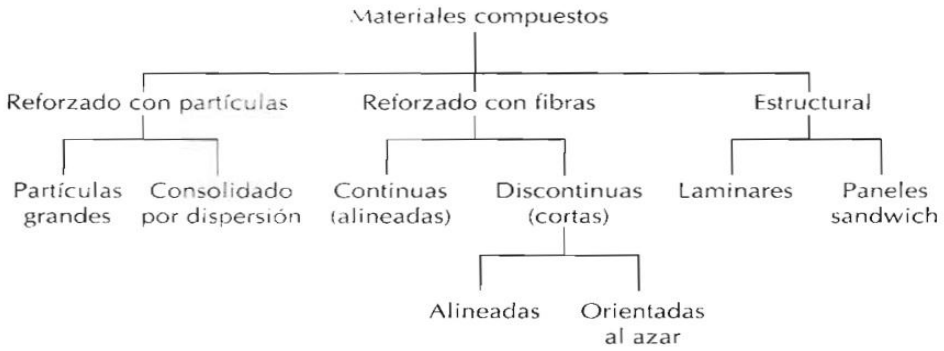
Figura 1. Esquema de las propiedades dispersas



Fuente: Callister, introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Ed Reverte P533

Los materiales compuestos se pueden clasificar en tres grupos; compuestos reforzados con partículas, compuestos reforzados con fibras y compuestos estructurales, estos a su vez tienen dos subdivisiones que se pueden observar en la Figura 2.

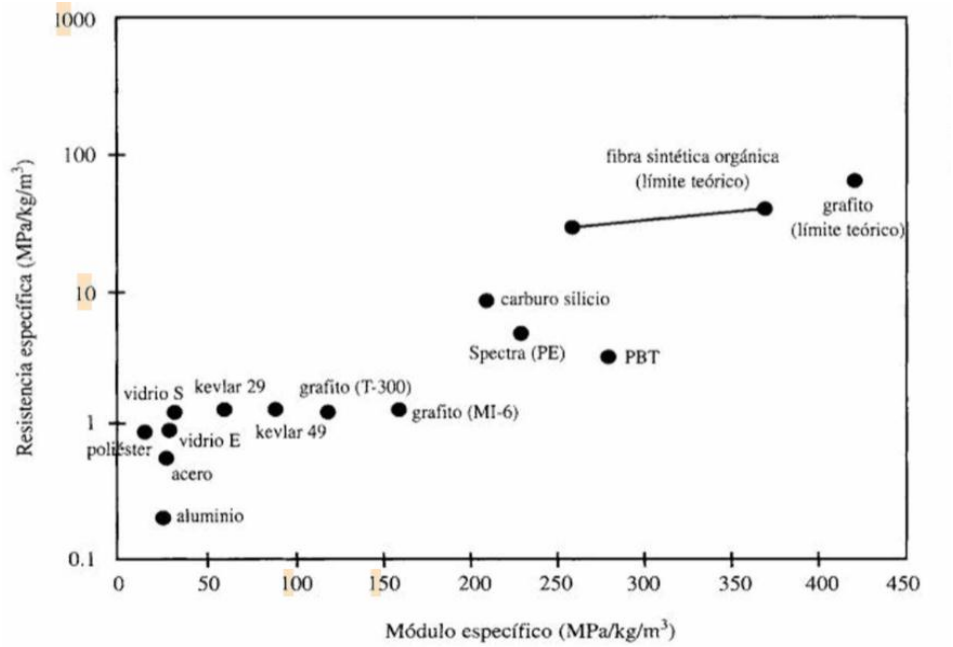
Figura 2. Clasificación de materiales compuestos



Fuente: Callister, introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Ed Reverte P534

Para interés de este documento se tratarán materiales compuestos reforzados con fibras continúas orientadas al azar. Los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes, a menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros de resistencia específica y modulo específico, que corresponden a la relación de la resistencia a la tracción y el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico, utilizando materiales de baja densidad puede obtenerse compuestos reforzados con fibras con estos parámetros excepcionalmente elevados (William D. Callister, 1997). La Figura 3 ilustra la resistencia y la rigidez especifica de distintos materiales y fibras.

Figura 3. Resistencia y rigidez especifica de distintos materiales y fibras.



Fuente: James F. Shackelford, introducción a la ciencia de materiales para ingenieros Ed. PEARSON P508

Se observa que las fibras aventajan a los otros materiales, acercándose al límite teórico.

Un Material compuesto reforzado con fibras relativamente nuevo es el denominado hibrido, se obtiene utilizando dos o más clases diferentes de fibras en una única matriz, los híbridos tienen una mejor combinación de propiedades que los compuestos que tienen una sola fibra (William D. Callister, 1997). Se utilizan distintos materiales tanto para las fibras como para la matriz existen diferentes procedimientos para mezclar dos o más tipos diferentes de fibras, los cuales afectan en última instancia a las propiedades generales del compuesto, por ejemplo, se toman todas las fibras y se alinean y se mezclan íntimamente o se pueden laminar en capas alternadas de los dos tipos de fibras, en casi todos los materiales las propiedades son anisotrópicas (William D. Callister, 1997), las principales aplicaciones de los materiales híbridos son: componentes estructurales de baja densidad para transporte aéreo, marítimo, implementos deportivos, y componentes ortopédicos de baja densidad.

4.2 FIQUE

4.2.1 Planta de fique

El Fique (Furcraea spp.), son plantas grandes, de tallo erguido, su altura varía entre 2 metros y 7 metros, densamente poblado de hojas de color verde, en forma radial, largas de 1 metro a 3 metros, angostas de 10 centímetros a 20 centímetros, carnosas, puntiagudas, acanaladas, y dentado espinosas, en algunas variedades, presentando líneas o estrías tenues de unos 3 milímetros de largo, a medida que la planta crece, se desarrolla en la base un tronco corto que lleva de 75 a 100 hojas cuya longitud varía de 150 centímetros a 200 centímetros y su anchura de 15 centímetros a 20 centímetros en la parte más ancha cerca de la mitad, angostándose a 10 centímetros cerca de la base, la cual tiene un espesor de 6 a 8 centímetros (Figura 4). Su flor es de color blanco verdoso, llamada magüey o escapo, sólo florece una vez en su ciclo de vida y luego le sobreviene la muerte. Las semillas germinan en la misma planta y sus propágulos (bulbillos) caen ya formados al suelo por lo que su vida varía entre 10 y 20 años. Su vida útil (producción de fibra, jugos, etc.) comienza entre los 3 y 6 años, dependiendo de las condiciones que enfrente (Navarro Garcia & Ramirez Zambrano, 2014).

Figura 4. Planta de fique



Fuente: Osvaldo A. Ramírez A. Evaluación de las propiedades mecánicas de un material compuesto reforzado con fibra de fique y fibra de vidrio en una matriz de resina epóxica P14

Sus hojas son de color verde claro por encima y ceniza por debajo; se distingue por sus espinas encorvadas en sus bordes y un aguijón pequeño en las puntas. Además; emite

hijuelos en el tronco. Esta especie, prefiere los suelos secos y crece bien en los climas medios cafeteros. Produce muy buena cantidad y calidad de fibra.

El largo de la hoja es de 1.50 metros a 2.00 metros, con un ancho entre 8 centímetros. Y 14 centímetros. Y un contenido de fibra entre 4.5% a 8%, dependiendo la calidad del suelo. Se cultiva principalmente en el departamento del cauca y Nariño.

Su vida útil va de 12 a 20 años, en algunos casos llega hasta los 40-50 años. El número, tamaño de hojas y calidad de la fibra dependen del suelo y de las condiciones climáticas (Navarro Garcia & Ramirez Zambrano, 2014).

4.2.2 Fibra de fique

Se obtiene al separar la corteza de las hojas de las fibras de cabuya que están en su interior. Se hace por métodos manuales o con desfibradora portátil de motor a gasolina o diésel. En la obtención de la fibra, el proceso de fermentado es fundamental a la hora de determinar la calidad de la fibra. La acción de los microorganismos y levaduras aumentan la temperatura, descomponiendo orgánicamente la materia, es decir, soltando el ripio. Los compuestos químicos del jugo hacen que se desprendan los restos de celulosa quedados entre las fibras. El sereno de la noche contribuye a que la fibra blanquee mejor y sea menos agresiva (pica menos en la piel).

La fibra debe tener un proceso de secado (aéreo), ya que cuando la fibra es secada en mangas o potreros se presentan una serie de inconvenientes que afectan la calidad de la fibra y contribuyen a su rechazo. En invierno la cabuya tiende a negrearse o se mohosea; también se dificulta alcanzar el grado de humedad máximo requerido de 12%. La fibra (cabuya) debe estar libre de ripio y suciedades. La fibra se selecciona por diferentes grupos de cabuya seca de acuerdo con las siguientes características: Calidad obtenida, cabuyas cortas y largas, humedad de la cabuya, no mayor del 12% (Navarro Garcia & Ramirez Zambrano, 2014).

Tabla 3. Propiedades de la fibra de fique

Característica	Fique	Media
Diámetro equivalente (mm)	0,160 – 0,420	0,240
Densidad aparente (gr/cm^3)	0,720	--
Densidad especifica (gr/cm^3)	1,740	--
Absorción de agua (%)	60	--
Resistencia máxima a la tensión (MPa)	43 - 571	132,400
Elongación ultima (%)	9,8	--
Módulo de elasticidad (GPa)	8,2 – 9,1	--

Fuente: Muñoz Vélez, Salazar y Mina Hernández, Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial.

4.3 ESTROPAJO

4.3.1 Planta de estropajo

El estropajo pertenece a la familia botánica Cucurbitáceas, género Luffa y nombre científico *Luffa aegytiaca y Luffa cylindrica.* El estropajo es una enredadera de ciclo anual que consta de una raíz principal y raíces secundarias con una gran cantidad de pelos absorbentes. Los tallos son sólidos cuando jóvenes y huecos al madurar, pueden llegar a medir hasta 15 metros de longitud, de características trepadoras y entrenudos de longitud variable (depende del manejo, el clima y las características genéticas de cada planta) (Finkero, 2015).

Figura 5. Planta de estropajo



Fuente: http://abc.finkeros.com/el-estropajo/. (Finkero, 2015)

4.3.2 Fibras de estropajo

Las fibras de Luffa se componen principalmente de celulosa (54.2%) y lignina (15.1%), proviene de una planta subtropical de la familia Cucurbitacea, que produce una fruta con un sistema vascular fibroso de tamaños entre 15 centímetros y 1.5 metros, y con un diámetro promedio de 8 a 10 centímetros. Es abundante en China, Japón y otros países de Asia, América Central y del Sur. La estructura del sistema fibroso vascular de las esponjas secas se puede dividir en dos regiones muy diferentes. Un núcleo central con una estructura parecida a un nido de abeja y las partes exteriores en las que las fibras están dispuestas en una matriz multidireccional que forman una estera natural. Las fibras de Luffa utilizadas en la elaboración de materiales compuestos tienen un diámetro promedio entre 150-200 µm con las siguientes propiedades (Martinez Lopez, 2012).

Tabla 4. Propiedades de la fibra de Luffa

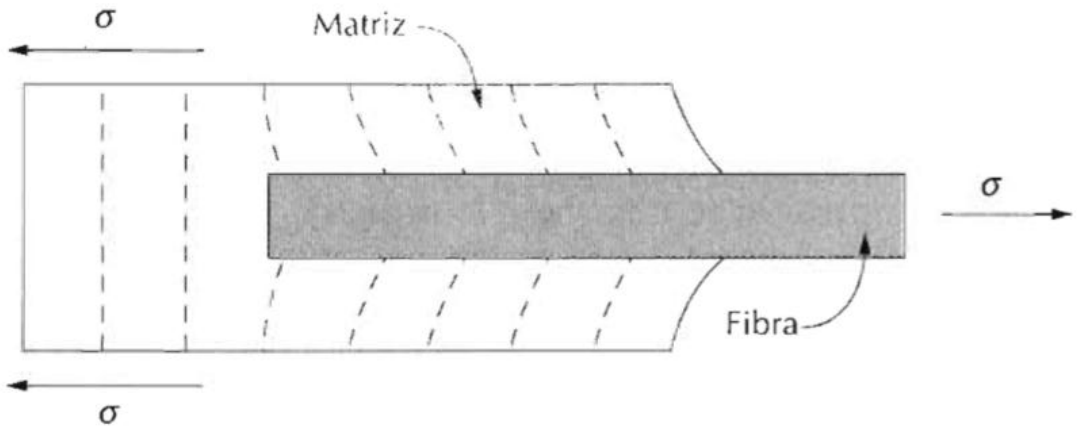
Propiedad	Valores
Capacidad de absorción de agua	13.6
Desionizada (g/g)	
Área superficial (m^2/g)	123.0
Resistencia a la tensión (MPa)	21.3 ± 6.6
Módulo de elasticidad (GPa)	0.8 ± 0.3
Porcentaje de elongación (%)	4.5 ± 0.4

Fuente: López Martínez, Elaboración y caracterización de concreto polimérico: efecto del contenido de fibra de luffa y radiación gamma.

4.4 LONGITUD DE FIBRA

Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras dependen no sólo de las propiedades de la fibra, sino también de cómo se transmite una carga aplicada a través de la fibra por medio de la fase matriz, en este proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión en la intercara de la fase matriz y la fibra, al aplicar un esfuerzo de tracción la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación como el que se observa en la Figura 6, es decir, en los extremos de la fibra no hay transmisión de cargas desde la matriz (William D. Callister, 1997).

Figura 6. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción



Fuente: Callister, introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Ed Reverte P540

Se debe tener presente que existe una longitud de fibra critica (Lc) que busca aumentar la resistencia y rigidez del material compuesto, esa longitud (Lc) depende del diámetro de la fibra (d), de la resistencia a la tracción (δ*f)* y de la resistencia al corte de la unión matriz-fibra (τC) de acuerdo con la ecuación.

Ecuación 1. Longitud Crítica

$$Lc = \frac{\sigma f \times d}{Tc}$$

Donde:

Lc = Longitud critica de la fibra (mm)

δ*f* = Resistencia a la tracción de la fibra (Mpa)

d = Diámetro de la fibra (μ)

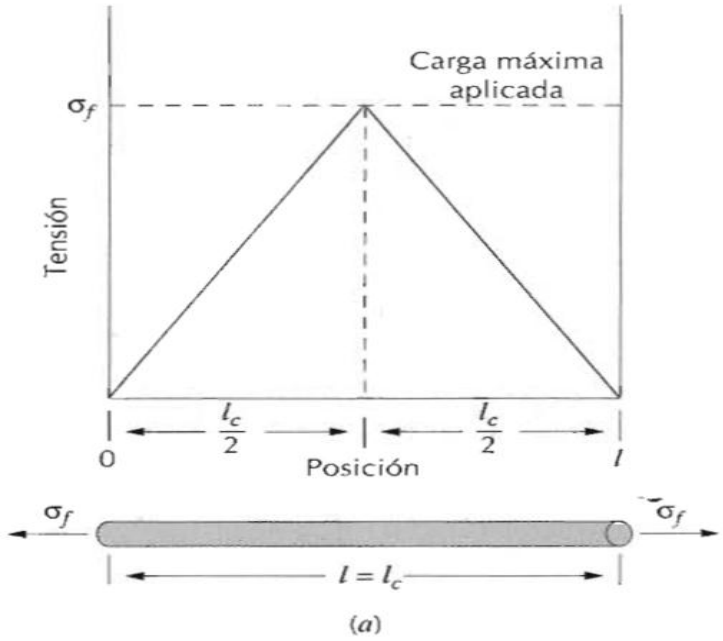
Tc = Resistencia a esfuerzo cortante de la matriz (Mpa)

Cuando se aplica un esfuerzo de tracción δf a una fibra que tiene una longitud igual al de la crítica, los resultados del perfil del esfuerzo-posición se muestran en la Figura 7. Esto es a la carga máxima que se consigue en el centro del eje de la fibra. Si la longitud l de la fibra se incrementa, el refuerzo de la fibra se hace más efectivo, como se indica en la Figura 8. Donde la posición esfuerzo-posición axial para l > lc, cuando el esfuerzo

aplicado es igual a la resistencia de la fibra. La Figura 9. Muestra el perfil de esfuerzo-posición para $l < l_c$ (William D. Callister, 1997).

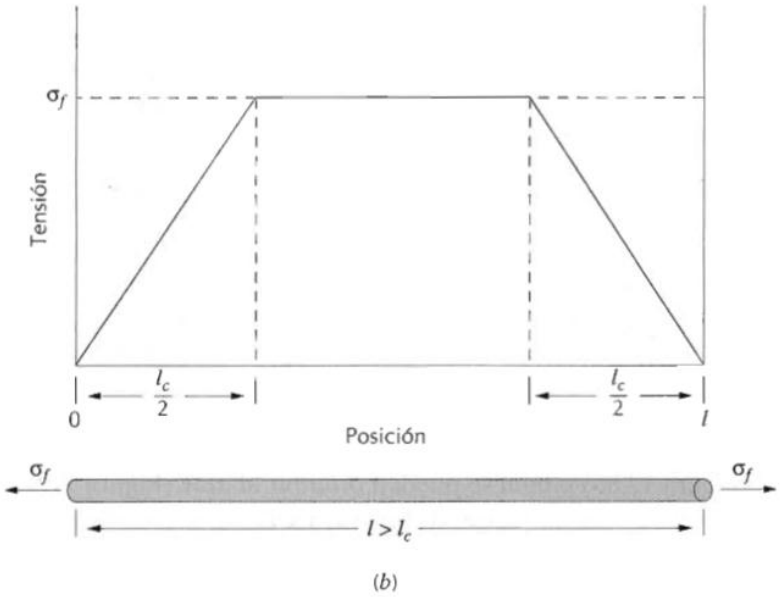
Las fibras con $l > l_c$ (normalmente $l > 15 l_c$) se denominan continuas, y las fibras de menor longitud se denominan discontinuas o fibras cortas. En las fibras cortas significativamente menores que la longitud critica ocurre que la matriz se deforma alrededor de la fibra de modo que el esfuerzo transmitido es mínimo y el efecto de reforzamiento de la fibra es insignificante, en conclusión, para que el refuerzo de fibras tenga un efecto apreciable en los materiales compuestos, estas fibras deben ser continuas (William D. Callister, 1997).

Figura 7. Perfil esfuerzo-posicion cuando la longitud de la fibra es igual a la longitud critica



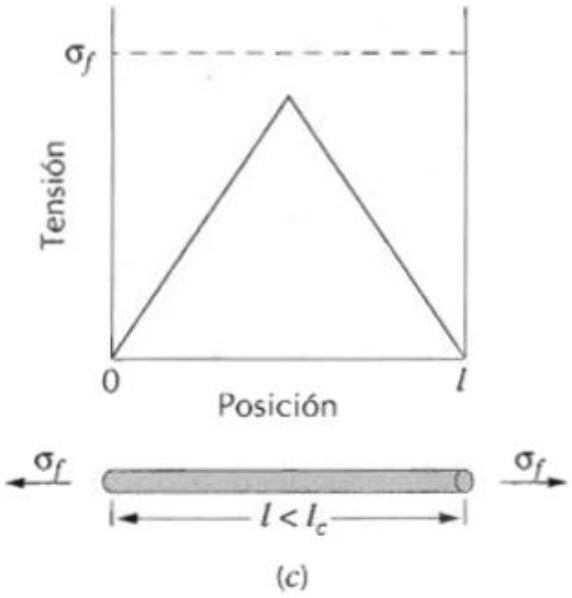
Fuente: Callister, introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Ed Reverte. P541

Figura 8. Perfil esfuerzo-posicion cuando la longitud de la fibra es mayor a la longitud critica.



Fuente: Callister, introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Ed Reverte P541

Figura 9. Perfil esfuerzo-posicion cuando la longuitud de la fibra es menor a la longitud critica.



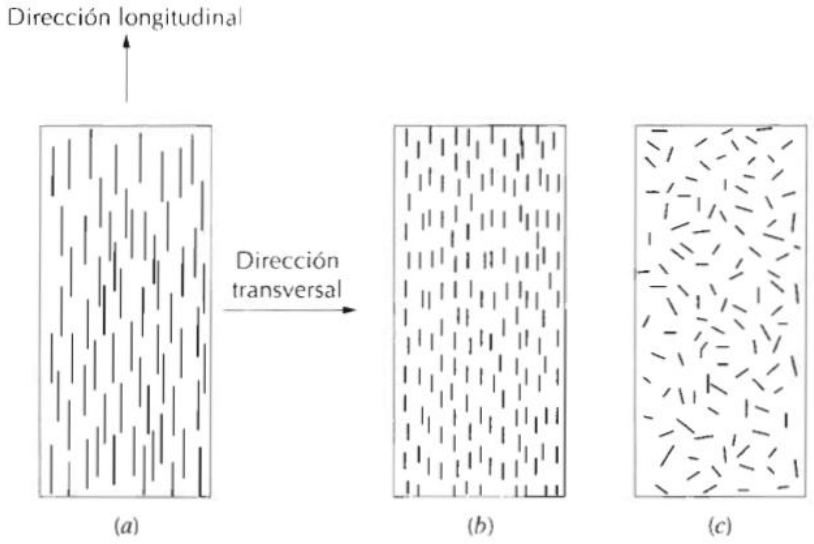
Fuente: Callister, introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Ed Reverte P541

4.5 ORIENTACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LA FIBRA

La disposición u orientación relativa de las fibras y su concentración y distribución influyen radicalmente en la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibra. Con respecto a la orientación existen dos situaciones

extremas (1) alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras y (2) alineación al azar. Las fibras continuas normalmente se alinean Figura 10 (a), mientras que, por otra parte, las fibras discontinuas se pueden alinear Figura 10 (b) o bien se pueden orientar al azar Figura 10 (c) o alinearse parcialmente. Las mejores propiedades de los materiales compuestos se consiguen con la distribución uniforme de la fibra (William D. Callister, 1997).

Figura 10. Representación esquemática de compuestos reforzados con fibras (a) Continuas y alineadas (b) discontinuas y alineadas (c) discontinuas y orientadas al azar



Fuente: Callister, introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Ed Reverte p542

4.6 POLÍMEROS

A lo largo de los años se han utilizado polímeros naturales procedentes de plantas y animales, estos materiales incluyen madera, caucho, lana, cuero y seda, desde principios del siglo XX, la moderna investigación científica ha determinado la estructura molecular de este grupo de materiales, y ha desarrollado numerosos polímeros sintéticos a partir de moléculas orgánicas. Muchos plásticos, cauchos y materiales fibrosos son considerados polímeros sintéticos, y su síntesis suelen ser baratas, las propiedades de los polímeros en algunas ocasiones sustituyen a los metales y cerámicos debido a que tienen propiedades idóneas para múltiples aplicaciones, las propiedades de los polímeros al igual que los metales y cerámicos, están relacionadas con la estructura elemental del material (William D. Callister, 1997).

4.7 POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

Una forma de clasificar los polímeros es según su respuesta mecánica frente a temperaturas elevadas, los termoplásticos son polímeros que al aumentar la temperatura se ablandan, cabe aclarar que si el aumento de temperatura es muy elevado pueden llegar a fundirse, y al reducir la temperatura es decir al enfriarse se endurecen, estos procesos son totalmente reversibles y pueden repetirse. Los polímeros termoplásticos normalmente se fabrican con aplicaciones simultáneas de presión y calor, a nivel molecular a medida que la temperatura aumente, la fuerza de los enlaces secundarios se debilita (por que la movilidad molecular aumenta) y esto facilita el movimiento relativo de las cadenas adyacentes al aplicar un esfuerzo. La degradación irreversible se produce cuando la temperatura de un termoplástico fundido se eleva hasta el punto de que las vibraciones moleculares son tan violentas que pueden romper los enlaces covalentes, los termoplásticos son relativamente blandos y dúctiles (William D. Callister, 1997).

4.8 POLÍMEROS TERMOESTABLES

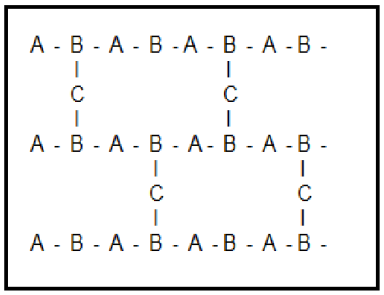
Una forma de clasificar los polímeros es según su respuesta mecánica frente a temperaturas elevadas, los polímeros Termoestables se endurecen al calentarse y no se ablandan al continuar el aumento de temperatura, al iniciar el tratamiento térmico se origina entrecruzamiento covalente entre cadenas moleculares contiguas. Estos enlaces dificultan los movimientos de vibración de las cadenas a altas temperaturas, generalmente el entrecruzamiento es extenso: del 10 a 50% de las unidades monoméricas de las cadenas están entrecruzadas. Solo el calentamiento a temperaturas excesivamente altas causa rotura de estos enlaces entrecruzados y posteriormente la degradación del polímero. Los polímeros termoestables generalmente son más duros, más resistentes y más frágiles que los termoplásticos y tienen mejor estabilidad dimensional. La mayoría de los polímeros entrecruzados y reticulados, como el caucho vulcanizado, el epoxi y las resinas fenólicas y de poliéster son termoestables (William D. Callister, 1997).

4.9 RESINA POLIÉSTER

La reacción general que conduce a las resinas de poliéster es una policondensación, siendo constituyentes primarios: ácidos y alcoholes. El esquema más común de la molécula de una resina poliéster se observa en la Figura 11, donde A representa un alcohol polioxhidrilico y B representa dibásico insaturado y un producto insaturado tipo estireno

La reacción tiene lugar a dos fases, la primera la condensación o esterificación del alcohol polivalente y el ácido dibásico dando lugar a cadenas lineales, posteriormente se adiciona un monómero insaturado (estireno, derivados vinílicos, alicilicos, etc.) que produce un crecimiento de redes de cadenas que pueden ser dos o tres dimensiones (Pereira., 2006).

Figura 11. Esquema de la molécula de resina poliéster



Fuente: Bulla Pereira, Determinación volumétrica resina poliéster- fibra de vidrio para obtener las mejores propiedades a tensión.

Para la reticulación en la segunda fase es absolutamente necesario que la molécula contenga grupos insaturados, pues la unión con el monómero insaturado tiene lugar entre dobles enlaces. Las posibilidades de variación de los compuestos son las que permiten la aparición de una gran diversidad de resinas poliéster, que van desde as resistentes al calor y muy rígidas hasta las completamente flexibles y de baja resistencia térmica (Pereira., 2006).

Los principales cambios que controlan la variación de las propiedades en las resinas de poliéster son los siguientes.

- Tipo y porcentaje de ácido no saturado: la proporción de ácido no saturado es directamente proporcional a la reactividad de la resina y a su rigidez mecánica.
- Tipo y porcentaje de ácido saturado: los ácidos saturados confieren a las resinas una gran flexibilidad, menos temperatura de distorsión y muy buena tenacidad, pueden utilizarse los ácidos bibásicos alifáticos y aromáticos.
- Tipo de glicel: cuanto mayor sea la longitud de la cadena obtendremos resinas de mayor flexibilidad, el uso de glicol propilenico y sus homologas conducirá a productos más compatibles con los monómeros vinílicos y más resistentes al agua que los del glicol etilenico.

- Peso molecular del poliéster base: para controlar el peso molecular utilizamos el índice de ácido, en las resinas comerciales el índice de ácido suele tener valores que oscilan entre 20 y 40, cuanto menor sea el índice mayor será el peso molecular, este influye en la viscosidad y en el peso específico, aunque en estas propiedades tiene gran importancia la relación monómero-poliéster.
- Tipo y porcentaje del monómero vinílico: entre los monómeros vinílicos el más utilizado es el estireno debido a la fácil polimerización y bajo costo. La adición de estireno se usa en la medida que aumente la proporción de estireno en la resina, aumentando la temperatura exotérmica, disminuye la resistencia a la tracción, aumentando la elongación y el tiempo de curado, por ello no suele sobrepasar el 40%. También se utiliza el metacrilato de metilo, para conseguir resinas con mejores resistencias a las condiciones, atmosféricas, transparencia, coloreabilidad, etc. No se utiliza solo por ser muy baja su velocidad de polimerización, pero si mezclado con estireno reduce considerablemente la resistencia química.
- Catalizadores, inhibidores y acelerantes: las resinas de poliéster se suministran en estado líquido más o menos viscoso y su endurecimiento se verifica con la polimerización promovida por peróxido orgánicos que suministran radicales libres para iniciar el proceso. Los peróxidos orgánicos pueden manifestar su acción catalítica a la temperatura ambiente si se utiliza acelerantes. La relación acelerante iniciador nos dará la posibilidad de conseguir endurecimientos casi instantáneos. En determinados casos se forma un gel y el endurecimiento no se consigue hasta pasados unos días, el añadir acelerantes a las resinas de poliéster no disminuye su conservación, pero en algunas ocasiones para aumentarla es necesario añadir inhibidores (hidroquinina) que se destruyen en las diferentes fases del endurecimiento. Entre los catalizadores más utilizados se encuentra: peróxido de benzoilo a temperaturas elevadas, peróxido de metil etil cetona y peróxido ciclohexanona a temperatura del ambiente como acelerantes el más utilizado es el naftenado de cobalto.
- Todas las materias reforzantes que se añaden absorben parte del calor que se desprende durante el endurecimiento, disminuyendo la contracción, mejorando la resistencia a la abrasión y al agua.

Estos son los principales ítems que cambian las propiedades mecánicas de la resina poliéster (Pereira., 2006).

4.10 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES COMPUESTO

Las propiedades obtenidas en el compuesto están determinadas por las propiedades que cada fase aporta al material final, es decir, el comportamiento del material compuesto está determinado por las propiedades que el producto final tenga (Pereira., 2006). *"las propiedades en el material se pueden estimar mediante la regla de las mezclas"* (Mangonon, 2001), para un sistema con dos componentes se establece que:

$$Pc = V1P1 + V2P2$$

$$V1 + V2 = 1$$

Ecuación 2. Regla de las mezclas

Donde:

Pc = Propiedad del material

V = Fracción Volumétrica

P = Propiedad

Las propiedades en el material compuesto pueden ser isotrópicas o anisotrópicas, estas propiedades en el material están establecidas o determinadas por cualidades, defectos y constantes físicas, que se produjeron o generaron durante el proceso de fabricación. Cabe aclarar que se debe tener presente todas las características o propiedades que pueda presentar los diferentes porcentajes o composición del material susceptible de ser valoradas, estas características deben ser medidas y relacionadas con la respuesta a esfuerzos, cargas, deterioros o condiciones como la temperatura de los materiales individualmente (Pereira., 2006).

Las pruebas que se le realizan a los materiales se pueden clasificar como pruebas físicas donde se incluye la medición de cantidades como peso específico, propiedades eléctricas, magnéticas, térmicas y ópticas. Existe también pruebas químicas o mecánicas, las pruebas químicas hacen referencia a propiedades químicas que posee el material estructura molecular, agentes corrosivos, reacciones químicas etc. Y existen las pruebas mecánicas que buscan medir dureza, resistencia y tenacidad, para realizar este tipo de pruebas es necesario equipos y técnicas de medición.

4.10.1 Resistencia

La resistencia es la capacidad que tiene un material para soportar carga o fuerzas externas. Es importante tener en cuenta que, si el material debe soportar sin romperse, se denomina carga de rotura. Por lo cual el material puede romperse por un esfuerzo de tensión o compresión, etc. Cabe resaltar que en esta investigación se determinaran valores reales de la resistencia a la tensión en materiales compuestos obtenidos a partir de la resina poliéster, fibra de fique continúa orientada al azar y dos capas de fibra de estropajo continúas alineadas.

4.10.2 Resistencia a la Tensión

La norma Técnica colombiana NTC 595, Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión en plásticos define la Resistencia a la tracción (nominal) como *"el esfuerzo máximo de tracción que la probeta puede soportar durante un ensayo de tracción. Cuando el esfuerzo máximo se presenta en el punto de cedencia."* (ICONTEC, 2007).

La resistencia a la tensión se calcula al dividir la carga máxima (F), expresada en Newton (N) por el área promedio de la sección transversal (A) de la probeta en metros cuadrados y se expresa los resultados en Pascales (Pa).

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Ecuación 3. Esfuerzo de tensión

Donde:

F = Fuerza (N)

A = Área (Metros cuadrados)

σ = Esfuerzo de tensión (Pa)

4.10.3 Elongación

La elongación está determinada por la deformación que sufre la muestra, es decir, por los cambios que tiene en volumen y forma la probeta por la acción de una carga o fuerza. La elongación se encuentra por la diferencia del cambio de longitud (Lf) que tiene la probeta con respecto a la longitud inicial (Lo) dividida por la longitud inicial este es el valor de la elongación o deformación (Є), se expresa en unidades de longitud, usualmente en

milímetros (mm), si se multiplica el valor resultante por cien (100) se obtendrá el porcentaje de elongación (Pereira., 2006).

$$\%Enlongacion = \frac{(Lf - Lo)}{Lo}\ x\ 100$$

Ecuación 4. Porcentaje de elongación

Donde:

Lf = Longitud Final (mm)

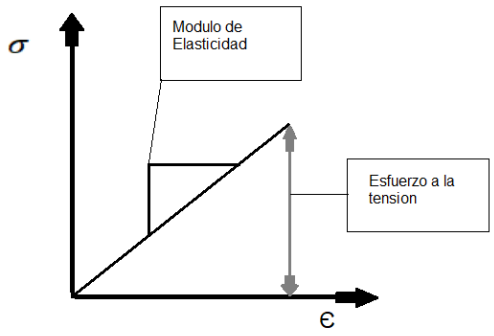
Lo = Longitud Inicial (mm)

Al hablar de porcentaje elongación se refiere al largo de la muestra después de estirada o deformada antes de que se rompa la probeta con respecto a su longitud inicial.

4.10.4 Modulo de elasticidad

El Módulo de elasticidad (E), también conocido como módulo de Young, es una medida de la rigidez, entiéndase como rigidez la propiedad que tiene un material para resistir deformación.

Figura 12. Diagrama Esfuerzo-Deformación



Fuente: Bulla, Edwin. Estudio de la Determinacion volumetrica resina poliester- fibra de vidrio para obtener las mejores propiedades a tensiòn, Bogora D.C p52

En la figura 12 se observa que, al aplicar la carga se genera una línea recta con pendiente constante, lo cual indica que el esfuerzo es directamente proporcional a deformación. Si la pendiente de la recta se pronuncia quiere decir que el material tiene un alto módulo de elasticidad, lo cual expresa que es resistente a la deformación, si la recta no se prolonga quiere decir que el material puede deformarse de forma fácil. Existen materiales donde la curva esfuerzo-deformación no es una recta- en los plásticos-, lo que indica que a medida

que el esfuerzo incrementa, la pendiente no es constante, por lo cual experimenta cambios en la tensión, cuando se presentan casos como estos el módulo se mide calculando el esfuerzo y dividiéndolo por la elongación (Pereira., 2006).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Ecuación 5. Módulo de Elasticidad

Donde:

E= Modulo de elasticidad (Mpa)

Є= Deformación

σ = Esfuerzo de tensión (Mpa)

En el grafico Esfuerzo- Deformación si se mide el área bajo la curva de la gráfica se tendría la tenacidad del material, la tenacidad es la energía que puede absorber un material antes de su punto de ruptura, en otras palabras se puede decir que la tenacidad es el trabajo interno que lleva a cabo un material en un proceso de deformación hasta alcanzar la rotura, por tanto la característica esencial de una elevada tenacidad es una alta capacidad de absorber energía y esta se expresa en J/cm^3 o en in-lb/in^3.

4.11 MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS CONTINUAS Y ALINEADAS

Las propiedades mecánicas de los materiales compuestos, con base en la regla de las mezclas, están sujetos a las siguientes suposiciones, 1) tanto la fibra como la matriz se comportan como materiales elásticos lineales, es decir, ambos presentan una curva de esfuerzo-deformación elástica lineal. 2) la adhesión de la fibra y la matriz es perfecta. Por lo tanto, se parte de los siguientes supuestos, que este tipo de material compuesto con fibras continúas alineadas soporta un esfuerzo aplicado a lo largo de la dirección longitudinal (Figura 6 (a)) no posee imperfecciones y creer que la unión de matriz-refuerzo es muy fuerte (Pereira., 2006).

Se considera que la unión de las materias primas del compuesto es muy fuerte, y la deformación de la matriz y la fibra es la misma. En estas condiciones, la fuerza total (Fc) soportada por el material compuesto es la suma de las fuerzas de las fibras (Ff) y la fuerza soportada por la matriz (Fm).

$$Fc = Ff + Fm$$

Ecuación 6. Fuerza total del material compuesto

Donde:

Fc = Fuerza total (N)

Ff= Fuerza de la fibra (N)

Fm = Fuerza de la Matriz (N)

Donde la c, f y m representan el compuesto, fibra y matriz respectivamente por lo cual cada fuerza o carga, está definida a un esfuerzo por un área, esto es:

$$\sigma cAc = \sigma fAf + \sigma mAm$$

Ecuación 7. Esfuerzo por área del compuesto

Donde:

σc = Esfuerzo del Compuesto (Mpa)

σm = Esfuerzo de la matriz (Mpa)

σf = Esfuerzo de la fibra (Mpa)

Ac= Área del compuesto (mm^2)

Af= Área de la fibra (mm^2)

Am= Área de la matriz (mm^2)

Dividiendo todos los términos por el área de la sección del compuesto (Ac) se obtiene:

$$\sigma cAc = \sigma f \frac{Af}{Ac} + \sigma m \frac{Am}{Ac}$$

Ecuación 8. División del Área del compuesto sobre los términos de la ecuación 7

Por lo cual (Af/ Ac y Am/Ac), son la fracciones de área de la fibra y la matriz, y si las longitudes del compuesto matriz y fibra, son iguales, entonces el (Af/Ac), es equivalente a tener la fracción de volumen de la fibra (Vf) y (Am/Ac) es equivalente a decir que esta es la fracción de volumen de la matriz (Vm), por lo tanto se puede ordenar así (Pereira., 2006).

$$\sigma c = \sigma fVf + \sigma mVm$$

Ecuación 9. Fracción de volumen de la matriz y fibra

4.12 NORMATIVIDAD

Para los materiales compuestos, según el instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) los procedimientos de ensayos para determinar las propiedades a tensión se encuentran regidas bajo la norma Técnica Colombiana 595, Métodos para determinación de propiedades a tensión en plásticos. Según la actualización 2007 que se encuentra actualmente en vigencia.

4.13 MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS

El conocimiento de las propiedades de los materiales utilizados en Ingeniería es un aspecto fundamental para el diseñador en su propósito de desarrollar las mejores soluciones a las diversas situaciones que se presentan en su cotidiano quehacer. La realización correcta de ensayos en los materiales nos permite conocer su comportamiento ante diferentes circunstancias, al igual que la determinación de sus propiedades fundamentales.

En este proyecto analizaremos el comportamiento del material hibrido compuesto por dos capas de fibra de estropajo, fibra de fique y resina poliéster al ser sometido a un esfuerzo de tensión. El ensayo se realizará en una Máquina Universal De Ensayos (REF. UH 50-A Shimatzu) Figura13 y la operación consiste en someter una probeta a una carga uniaxial gradualmente creciente (es decir, estática) hasta que ocurra la falla.

Figura 13. Máquina Universal De Ensayos (REF. UH 50-A Shimatzu)



Fuente:https://rita.udistrital.edu.co:23604/Documentos/Fichas_tecnicas/resistencia/FT-RE01.pdf (Consulta realizada el 02/09/2018)

Esta máquina universal de ensayos realiza tracción, compresión, y la prueba de flexión de los materiales metálicos. En combinación con equipos de prueba opcional, la máquina puede realizar pruebas en madera, hormigón, cerámica, caucho, plástico y muchos otros materiales. El sistema de máquinas de carga hidráulica dispone de una amplia gama de control de las velocidades de carga y los permisos sin problemas principales. Una válvula servo electrohidráulica controla con precisión la velocidad de flujo de aceite a presión bombeado por una bomba de carga que alimenta el cilindro de carga. Una carga aplicada a una muestra se detecta como un cambio de presión de aceite en el cilindro de carga y se traduce en una señal de voltaje de una celda de presión de alta precisión y amplificador de alto rendimiento. Esta señal analógica se convierte en una señal digital, que se calcula en términos de la escala completa. Por lo tanto, el sistema de medición de la carga proporciona la digitaland displeys analógica de la carga aplicada en la unidad de KN (tf) (MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS UH-A.C, 2017).

Tabla 5. Características de la maquina universal de ensayos.

Nombre del equipo	Maquina Universal de Ensayos UH-A.C
Marca/Fabricante:	SHIMADZU
Datos de Proveedor:	INSTRUSER LTDA.
Representante:	PROUD DE COLOMBIA
Tipo de equipo:	Universal de Ensayos UH
Ubicación:	Laboratorio Resistencia de Materiales Universidad Distrital Francisco José de Caldas Sede tecnológica
Salón:	Bloque 4 Primer piso
Código equipo:	12105300025
Código de inventario:	0208-00153 13536
No. Serie	12105300025
Modelo:	UH-50ª
Dimensiones del equipo Frente (mm):	2800
Profundidad (mm):	850
Altura(mm):	1800

Fuente:https://rita.udistrital.edu.co:23604/Documentos/Fichas_tecnicas/resistencia/FT-RE01.pdf (Consulta realizada el 02/09/2018)

5. METODOLOGÍA

- ✓ Etapa de recopilación bibliográfica: Levantamiento de información teórico práctico.
- ✓ Etapa de materias primas: Conseguir las fibras naturales y la resina poliéster.
- ✓ Etapa del molde para las probetas: Mandar a cortar el molde en laser.
- ✓ Etapa de elaboración de probetas de resina poliéster: Se implementará un proceso para determinar las proporciones de resina y catalizador, esto con el fin de garantizar la homogeneidad en las probetas.
- ✓ Etapa de ensayos de tensión: Se realizarán ensayos de tensión en la maquina universal de ensayos para determinar qué, proporción de resina-catalizador tuvo más resistencia a la tensión.
- ✓ Etapa de elaboración de probetas de material hibrido: Una vez se haya escogido la mezcla resina-catalizador que tubo las mejores propiedades en tensión, se preparan las probetas de material hibrido reforzado con dos capas de fibra de estropajo continúa orientada al azar y fibra de fique discontinua y orientada al azar.

  La elaboración de las probetas se hace manualmente basándonos en la ecuación de la regla de mezclas con el fin de darle un buen control a la fracción volumétrica de cada compuesto del material hibrido. Después de haber realizado dicho proceso, un peso se aplica desde la parte superior del molde con el propósito de expulsar el exceso de resina y el aire atrapado, esto con el fin de garantizar una mejor adhesión entre las fibras con la matriz.
- ✓ Etapa de ensayos de tensión: Se le realizaran ensayos de tensión en la maquina universal de ensayos a todas las probetas de material hibrido con el fin de analizar su comportamiento en tensión.
- ✓ Etapa de análisis de resultados: Se analizará los resultados de cada fracción volumétrica respectivamente, esto con el fin de dar los resultados y conclusiones.

6. CRONOGRAMA

A continuación, se presentará una Tabla 6, Con la duración estimada de las actividades que se van a llevar a cabo para la consecución de este proyecto.

Tabla 6. Cronograma de actividades

	S E M A N A S							
ACTIVIDADES	1-2	2-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16
Recopilación bibliográfica	**x**							
Materias primas		**x**						
Molde para las probetas			**x**					
Ensayos de tensión				**x**				
Elaboración de probetas de material hibrido				**x**	**x**	**X**		
Ensayos de tensión						**X**		
Análisis de resultados							**x**	
Redactar el documento								**X**

7. RECURSOS

En este proyecto se usarán elementos dispuestos en los laboratorios de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, estos elementos son:

- Báscula de precisión
- Calibrador pie de rey digital
- Maquina universal de ensayos
- Laboratorio de metalografía

Cabe destacar que en este proyecto se usarán recursos propios destinados a satisfacer los objetivos planteados. A continuación, se especificarán los gastos para llevar a cabo dicho proyecto Tabla 7.

Tabla 7. Recursos de insumos

CANTIDAD	NOMBRE	VALOR UNIDAD ($)	TOTAL ($)
2	ESTROPAJO DE DIAMETRO 3" Y LONGITUD 6"	10000	20000
1	ROLLO DE FIQUE	12000	12000
2	LITRO RESINA POLIESTER	15000	30000
1	CATALIZADOR	8000	8000
1	TIJERAS	3000	3000
1	JERINGA 50 CC	12000	12000
1	JERINGA 5 CC	1000	1000
8	TORNILLOS M10 X 16	1000	8000
8	TUERCA M10	700	5600
	OTROS	50000	50000
		TOTAL ($)	149600

8. DESARROLLO Y EJECUCION DEL PROYECTO

8.1 MATERIAS PRIMAS

Se compró el estropajo, el fique y la resina poliéster para llevar a cabo el proyecto, Cabe resaltar que este proceso se realizó de manera meticulosa, con el fin de obtener el fique y el estropajo lo más natural posible.

Por otra parte, fue imposible conseguir el fique y el estropajo desfibrado, razón por la cual, se realizó un proceso manual para obtener las fibras de cada material.

La resina poliéster que se adquirió fue PRESTO, por sus propiedades mecánicas, costo y facilidad de adquisición, De igual manera el fabricante provee el catalizador y la recomendación de la proporción y el tiempo aproximado de curado.

8.2 DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL MOLDE

Se elaboró un molde con base en la norma NTC 595, para dicho molde se realizó el diseño en un software CAD (Figura 14), ya que por sus características de modelado 3D permite una aproximación a la realidad.

Por otra parte, se identificó que a la hora de fundir las probetas de material hibrido se necesitaba un material de apoyo lo suficientemente liso y con bajo índice de rugosidad, para que a la hora de retirar la probeta esta no sufriera una deformación plástica, garantizando que la longitud de prueba permanezca homogénea y con paralelismo entre sus caras laterales.

Otro factor importante que se tuvo en cuenta fue el proceso de manufactura para fabricar el molde, ya que el material seleccionado no supera los 7 mm de espesor presento un problema a la hora de realizarse el montaje del material en bruto en el centro de mecanizado CNC, ubicado en la universidad Distrital Francisco José de Caldas sede tecnológica, razón por la cual, se optó por el corte a laser esta alternativa facilito el proceso de fabricación ya que solo era necesario llevar el plano en PDF para que la maquina mediante un software parametrice la imagen, y proceda a realizar el corte con la trayectoria indicada.

Por último, se tomó la decisión de usar acrílico como material para la fabricación del molde, ya que cumple con las condiciones anteriormente dadas, es muy económico, y se puede cortar con láser agilizando aún más el proceso.

Figura 14. Molde en Software CAD

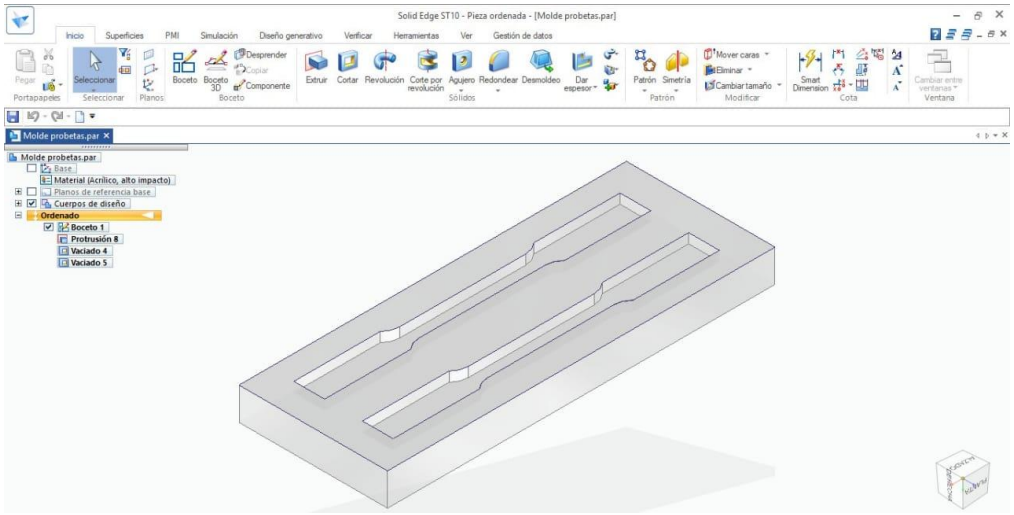


Figura 15. Molde terminado



8.3 LONGITUD CRÍTICA DE LA FIBRA DE FIQUE Y LA FIBRA DE ESTROPAJO

Teniendo en cuenta el diámetro equivalente de la fibra de fique y la fibra de estropajo, y según el libro de Callister, multiplicando el diámetro de la fibra por un valor entre 20 a 150 veces, Dicha fibra se considera de longitud crítica por tanto se calcula la longitud de la siguiente forma.

Para la fibra de fique:

$$Lc = h \times d$$

Ecuación 10. Longitud critica para la fibra de fique

$$d = 0{,}240mm$$

$$h = 50$$

$$Lc = 0{,}240mm \times 50 = 12mm$$

Para la fibra de estropajo:

$$h = 120$$

$$d = 175\mu m \times \frac{1 \times 10^{-6}m}{1\mu m} \times \frac{1000mm}{1m} = 0{,}175mm$$

$$Lc = 0{,}175mm \times 120 = 21mm$$

Ecuación 11. Longitud critica para la fibra de estropajo

Como conclusión la fibra de fique se debe cortar a una longitud mínima de 12 mm y la fibra de estropajo a una longitud mínima de 21 mm, pero teniendo en cuenta que el proceso de corte es manual, y que lo importante es que la longitud de la fibra sea mayor o igual que la longitud critica, se opta por cortar la fibra de fique en un rango de 12mm a 15 mm de longitud y la fibra de estropajo en un rango de 21 mm a 25 mm de longitud.

8.4 CORTE DE LA FIBRA DE FIQUE

Después hallar el valor teórico de la longitud critica de las fibras de fique, el cual resulto ser de 12 a 15 mm de longitud. El procedimiento que se empleó en el corte de estas fue el siguiente:

- Se pegó una regla metálica a una superficie plana con cinta, esto con el fin de garantizar que la regla no se mueva y altere la toma de medidas de la fibra, se pegó la regla dejándola en voladizo aproximadamente 30 mm por fuera de la superficie plana.
- Se Colocó un recipiente debajo de la regla para almacenar la fibra de fique.

- Se toman varias fibras de longitud aleatoria garantizando, que todas las fibras partan desde 12 mm.
- Apoyando con firmeza dichas fibras sobre la regla se cortan con unas tijeras.

Figura 16. Corte fibra de fique



8.5 CORTE DE LA FIBRA DE ESTROPAJO

Una vez hallado el valor teórico de la longitud critica de las fibras de estropajo, el cual resulto ser de 21 a 25mm de longitud, se realizó un proceso de separación y selección de fibras, debido a que la presentación del estropajo contiene ramificaciones cortas que no alcanzan la longitud critica calculada teóricamente.

El procedimiento para realizar la selección y corte de las fibras utilizado fue el siguiente:

- Se seleccionaron las fibras de estropajo con una longitud mayor a 21 mm, y se les retiraron las ramificaciones, esto con el fin de obtener uniformidad en las fibras de estropajo.
- Se pegó una regla metálica a una superficie plana con cinta, esto con el fin de garantizar que la regla no se mueva y altere la toma de medidas de la fibra, se pegó la regla dejándola en voladizo, aproximadamente 30 mm por fuera de la superficie plana.
- Se Colocó un recipiente debajo de la regla para almacenar las fibras de estropajo.
- Apoyando con firmeza dichas fibras sobre la regla se cortan con tijeras a la longitud crítica.
- Se tomaron varias fibras de longitud aleatoria garantizando que todas las fibras partan desde 21 mm.

Figura 17. Corte fibra de Estropajo



8.6 CALCULO DEL VOLUMEN DE LA PROBETA

Para el cálculo del volumen de la probeta debemos tener en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$A_C = b \times h$$

Ecuación 12. Área de un Rectángulo

Donde:

A_C = Área

$b =$ Base

h = Altura

$$A_b = \frac{b \times h}{2}$$

Ecuación 13. Área de un Triangulo

Donde:

A_b = Área

$b =$ Base

h = Altura

$$A = \frac{R^2}{2} \times \left(\frac{(\pi \times \beta)}{180^{\circ}} - sin\ sin\ \beta \right)$$

Ecuación 14. Área de un segmento circular

$A =$ Area

$R =$ Radio

$\beta =$ Angulo en grados

$$V = A_c \times T$$

Ecuación 15. Volumen de un paralelepípedo

Donde:

V = Volumen

A_c= Area rectángulo

T = Espesor

$$V = A_t \times T$$

Ecuación 16. Volumen de una sección Cilíndrica

Donde:

V = Volumen

A_t = Área de la base

T = Espesor

Figura 18. Esquema de la probeta por zonas

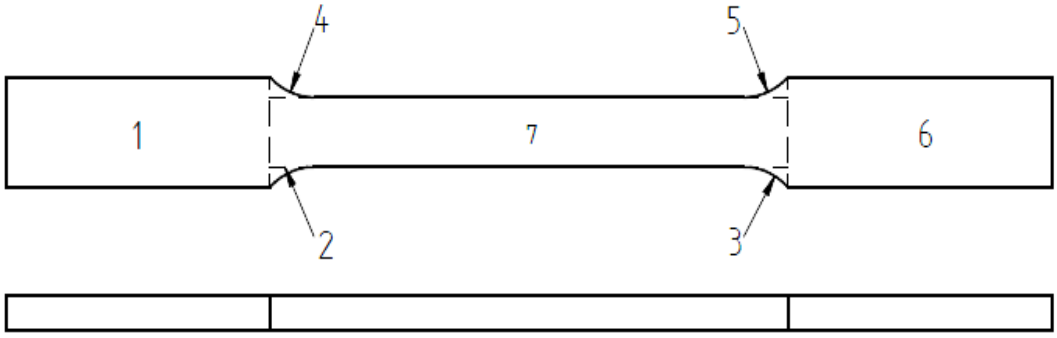
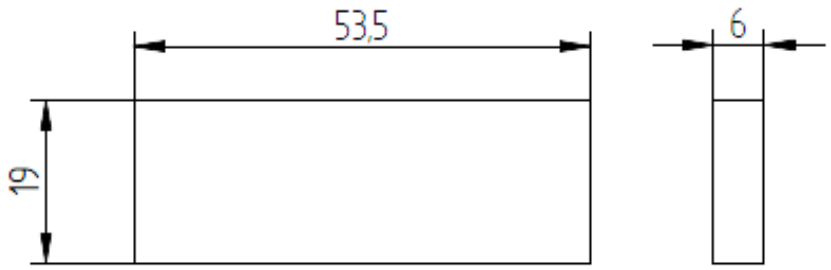


Figura 19. Zona 1 y Zona 6



$ZONA\ 1 = ZONA\ 6$

$$b = 53{,}5\ mm$$

$$h = 19\ mm$$

$$T = 6\ mm$$

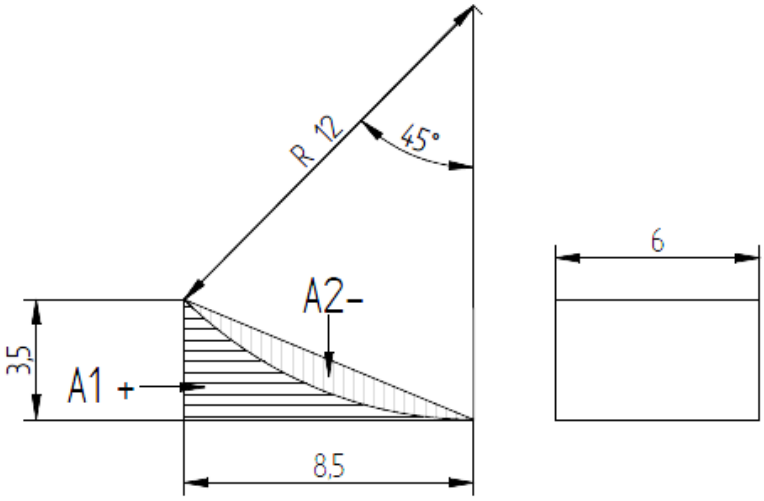
$A_c = b \times h$ (12)

$A_c = 53{,}5\ mm \times 19\ mm = 1016{,}5\ mm^2$

$V = A_c \times T$ (15)

$V = 1016{,}5\ mm^2 \times 6\ mm = 6099\ mm^3$

Figura 20. Zona 2, 3, 4,5



ZONA 2 = ZONA 3 = ZONA 4 = ZONA 5

$A_1 + = A_b = \frac{b \times h}{2}$ (13)

$b = 8{,}5\ mm$

$h = 3{,}5\ mm$

$T = 6\ mm$

$A_b = \frac{8{,}5\ mm \times 3{,}5\ mm}{2} = 14{,}875\ mm^2$

$A_2 - = A = \frac{R^2}{2} \times \left(\frac{(\pi \times \beta)}{180^\circ} - sin\ sin\ \beta\right)$ (14)

$R = 12\ mm$

$\beta = 45^\circ$

$A = \frac{(12\ mm)^2}{2} \times \left(\frac{(\pi \times 45^\circ)}{180^\circ} - sin\ sin\ 45^\circ\right) = 5{,}616\ mm^2$

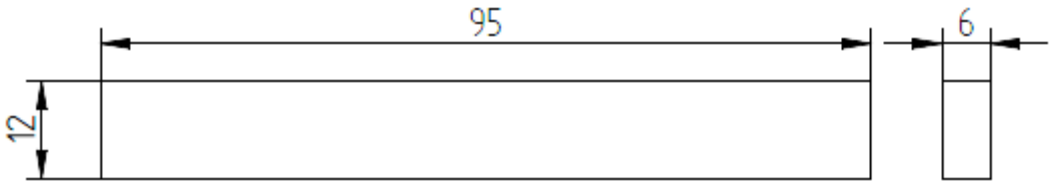
$A_t = A_b - A$

$A_t = 14{,}875\ mm^2 - 6{,}616\ mm^2 = 9{,}259\ mm^2$

$V = A_t \times T$ (16)

$V = 9{,}259\ mm^2 \times 6\ mm = 55{,}554\ mm^3$

Figura 21. Zona 7



$Zona\ 7$

$$b = 95\ mm$$

$$h = 12\ mm$$

$$T = 6\ mm$$

$A_c = b \times h$ (12)

$A_c = 95\ mm \times 12\ mm = 1140\ mm^2$

$V = A_c \times T$ (15)

$V = 1140\ mm^2 \times 6\ mm = 6840\ mm^3$

Volumen total:

$V = 6840\ mm^3 + (55{,}554\ mm^3 \times 4) + (6099\ \times 2\ mm^3) =\ 19260{,}216\ mm^3$

$V = 19260{,}216\ mm \times \frac{1\ cm^3}{1000\ mm^3} = 19{,}260\ cm^3$

8.7 CANTIDAD DE CATALIZADOR (MEK)

Hay que tener en cuenta este factor para asegurar que el tiempo de curado es el apropiado. En este caso se usó un 2% ya que es la proporción recomendada[1]. (Mariano, 2011)

$19{,}260\ cm^3 = 100\%$

$Volumen\ de\ catalizador = 2\ \%$

[1] Se puede lograr diferentes tiempos de curado mediante la alteración de la cantidad de catalizador empleado. Es importante la utilización de la proporción correcta de catalizador en la resina para asegurar el tiempo de curado correcto. Un 1% de catalizador es un curado lento, el 2% es la proporción recomendada, y el 3% dará un curado rápido. La adición de más del 4% puede dar lugar a que la resina cure antes de terminar la aplicación

$x = volumen\ de\ catalizador$

$$x = \frac{19{,}260\ cm^3 \times 2\%}{100\%} = 0{,}385\ cm^3$$

Ecuación 17. Volumen de Catalizador

Después de hallar el valor teórico, el cual resulto ser pequeño en comparación al volumen total de la probeta, se consiguió un gotero con el fin de manejar dicho volumen en gotas, Para este proceso se tuvo en cuenta la siguiente metodología:

- En una jeringa pequeña introducimos la cantidad correspondiente de volumen de catalizador.
- Introducimos el fluido en el gotero.
- Se realiza el conteo del total de gotas emitidas por el gotero.

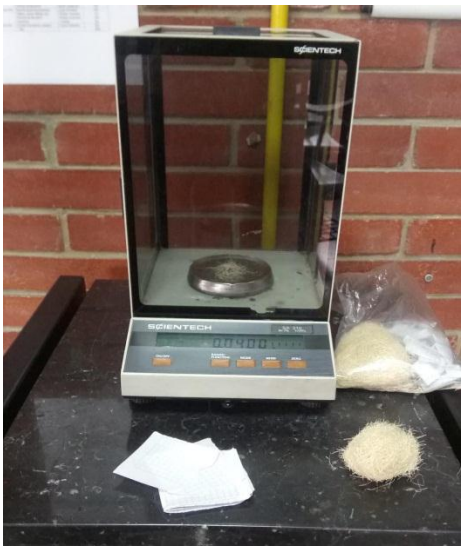
Después de dicho procedimiento concluimos que el valor del volumen de catalizador relacionado en gotas emitidas por un gotero convencional es de 5 a 6 gotas. Esta proporción de catalizador se va a mantener en todas las probetas sin excepción alguna.

8.8 FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DE LAS DOS CAPAS DE ESTROPAJO

Con base en el molde en el cual se van a fundir las probetas y las fibras de estropajo ya cortadas. El proceso que se llevó a cabo para realizar la medición en cuanto a la fracción volumétrica de las dos capas de estropajo fue la siguiente:

- Se distribuyeron de manera uniforme las fibras de estropajo en toda la superficie inferior del molde.
- En una báscula de precisión se pesó la cantidad correspondiente a una capa de fibras de estropajo, teniendo en cuenta que son dos capas fijas se tomó el doble del valor de la capa de fibras de estropajo.
- Como se van a fabricar 33 probetas, se tomaron 33 muestras iguales ya que dicha proporción es constante en todas las probetas.

Figura 22. Peso de las dos capas de estropajo en la báscula de precisión



Después de haber pesado las muestras, se obtuvo que la masa de las dos capas de fibras de estropajo equivale a 0,10 gramos, como ya se conoce la masa y la densidad del estropajo, se puede hallar el volumen o fracción volumétrica de dicha capa con la siguiente ecuación.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Ecuación 18. Volumen en términos de la masa y la densidad

Donde:

$V =$ Volumen

$m =$ Masa

$\rho =$ Densidad

Se tiene que:

$m = 0{,}10\ g$

$\rho = 0{,}650\ \frac{g}{cm^3}$

$V = \frac{m}{\rho}$ (***)

$V = \frac{0{,}10\ g}{0{,}650\ \frac{g}{cm^3}} = 0{,}153\ cm^3$

Terminado el procedimiento se puede garantizar que cada probeta que se fabrique va tener la misma fracción volumétrica de fibras de estropajo.

8.9 FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL HIBRIDO

Teniendo en cuenta que en el material hibrido el volumen de las dos capas de estropajo es constante, el volumen del catalizador también será constante y, por ende, solo se variará la fracción volumétrica del fique junto con la fracción volumétrica de la resina poliéster.

Para dicho calculo lo que se hizo fue primero; analizar que hay dos valores constantes que representan una fracción volumétrica para el resultado final (catalizador y dos capas fibra de estropajo). El catalizador se manejó con un 2% del volumen total de la probeta, pero para el estropajo se tuvo que:

$$100\ \% = 19{,}260\ cm^3$$

$$\%\ estropajo = 0{,}153\ cm^3$$

$$\%\ estropajo = \frac{0{,}153\ cm^3 \times 100\ \%}{19{,}260\ cm^3} = 0{,}794\ \%$$

Ecuación 19. Porcentaje % del volumen de las dos capas de estropajo

Segundo; se concluyó que se variarían los porcentajes de fique de la siguiente manera: 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%, 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5%, 5,0%. Los datos mencionados anteriormente se pueden observar en la Tabla 8.

Tabla 8. Porcentajes de volumen de cada probeta

PORCENTAJE DE VOLUMEN					
Probeta	% Fique	% Estropajo	% Catalizador	% Resina	% Total
1	0	0,79879	2	97,201	100
2	0,5	0,79879	2	96,701	100
3	1	0,79879	2	96,201	100
4	1,5	0,79879	2	95,701	100
5	2	0,79879	2	95,201	100
6	2,5	0,79879	2	94,701	100
7	3	0,79879	2	94,201	100
8	3,5	0,79879	2	93,701	100
9	4	0,79879	2	93,201	100
10	4,5	0,79879	2	92,701	100
11	5	0,79879	2	92,201	100

Como solo se va a variar la fracción volumétrica del fique junto con la fracción volumétrica de la resina poliéster se tiene que, a mayor fracción volumétrica de resina menor fracción volumétrica de fique, con los valores porcentuales de la fibra de fique se aplica la siguiente ecuación para hallar su equivalencia en términos de volumen

$$100\ \% = 18{,}721\ cm^3$$

$$0{,}5\ \% = Volumen$$

$$Volumen = \frac{0{,}5\ \% \times 18{,}721\ cm^3}{100\ \%} = 0{,}094\ cm^3$$

Ecuación 20. Equivalencia porcentual en términos de volumen

Cabe resaltar que este proceso se realizó para cada muestra. Ya que como se dijo antes el porcentaje de fique varía en cada probeta. Teniendo en cuenta la ecuación 2 (regla de mezclas para materiales compuestos), los datos de fracción volumétrica de la fibra de fique, fibra de estropajo, catalizador y resina poliéster se pueden observar en la Tabla 9. La fracción volumétrica de cada probeta.

Tabla 9. Fracción volumétrica de cada probeta

Probeta	Fracción volumétrica de fique	Fracción volumétrica de estropajo	Fracción volumétrica de catalizador	Fracción volumétrica de resina	Fracción volumétrica total
1	0,000000	0,007985	0,01999	0,972015	1,0
2	0,004881	0,007985	0,01999	0,967134	1,0
3	0,009709	0,007985	0,01999	0,962305	1,0
4	0,014590	0,007985	0,01999	0,957425	1,0
5	0,019418	0,007985	0,01999	0,952596	1,0
6	0,024299	0,007985	0,01999	0,947715	1,0
7	0,029180	0,007985	0,01999	0,942835	1,0
8	0,034008	0,007985	0,01999	0,938006	1,0
9	0,038889	0,007985	0,01999	0,933126	1,0
10	0,043718	0,007985	0,01999	0,928297	1,0
11	0,048598	0,007985	0,01999	0,923416	1,0

8.10 MASA DE LA FIBRA DE FIQUE

Para darle un buen manejo a la fracción volumétrica en cada probeta es necesario definir la masa respectiva a dicha fracción para las fibras. Con base en la Tabla 9 donde ya se conoce el volumen a trabajar para cada probeta y la densidad del fique se puede calcular la masa de las fibras de fique en cada probeta, este proceso se realizó de manera ordenada como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Masa de las fibras de fique para cada probeta

Probeta	Volumen de fique (cm^3)	Masa de fique (g)
1	0,000	0,000
2	0,094	0,067
3	0,187	0,135
4	0,281	0,202
5	0,374	0,270
6	0,468	0,337
7	0,562	0,404
8	0,655	0,472
9	0,749	0,539
10	0,842	0,607
11	0,936	0,674

Luego de conocer la masa de las fibras de fique concernientes a cada fracción volumétrica y por ende a cada probeta, con una báscula de precisión, se pesaron las muestras teniendo en cuenta que para cada porcentaje se tomaran tres medidas Figura 23. Para poder realizar tres ensayos por muestra.

Figura 23. Toma de la masa de cada una de las muestras.



8.11 FABRICACIÓN DE PROBETAS

Para comenzar, este proceso se llevó a cabo en un espacio abierto con buena ventilación ya que la resina emite un olor muy fuerte. En este proceso se utilizaron los siguientes materiales:

- 2 kg de resina poliéster
- Catalizador
- 2 jeringas de 50 cm^3
- 1 jeringa de 5 cm^3
- Gotero
- 3 recipientes de plástico
- 1 palo de paleta

Por otra parte, en cuanto a la fabricación de cada probeta se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- En la jeringa de 5 cm^3 se depositó el volumen de catalizador calculado anteriormente.
- Se vertió el catalizador en un recipiente de plástico.
- Con el gotero se absorbió toda la cantidad de catalizador presente en el recipiente.
- En la jeringa de 50 cm^3 se depositó el volumen de resina poliéster calculado anteriormente.
- Se dejó escapar la resina poliéster en un recipiente de plástico.
- Se depositó el fique en el recipiente de plástico que contiene la resina poliéster.
- Se mezcló con el palo de paleta el contenido del recipiente de plástico en el cual se encontraba la resina poliéster con el fique, mezclando hasta garantizar que todas las fibras de fique se encontraron sumergidas en la resina poliéster.
- Se añadió a la mezcla la cantidad de catalizador depositada en el gotero y luego, se mezcló durante 30 segundos.
- Se vertió la mitad de la mezcla en el molde y rápidamente se acomodaron las fibras de estropajo, que representan las dos capas, en toda la superficie del molde.
- Se vertió el restante de la mezcla y se dejó secar en el molde, cabe recalcar que al momento de verter la mezcla se tuvo en cuenta la velocidad de vertido al molde, la cual se hacía de forma lenta y con un movimiento circular para reducir la aparición de burbujas de aire.

Las probetas fueron sometidas a un proceso de curado a temperatura ambiente en un promedio de 20°c (temperatura promedio en la ciudad de Bogotá D.C) durante un tiempo de 48 horas Figura 24.

Una vez ya curadas las probetas fueron sometidas a un proceso de pulido para retirar las asperezas y deformidades que remanan del proceso de curado. Este proceso se llevó a cabo con limas media caña y limas circulares.

Figura 24. Proceso de curado a temperatura ambiente



8.12 ENSAYO DE TENSIÓN

Las probetas de material hibrido obtenidas fueron sometidas a ensayos de tensión en la maquina universal de ensayos Shimatzu UH 50-A del laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Esta prueba se realizó con una velocidad de 3,75 mm/min con base en la norma NTC 595. A continuación, se ilustran las probetas después de ser sometidas a una carga uniaxial y un esfuerzo de tensión.

Figura 25. Fractura de probeta 1 (A, B, C)



Figura 26. Fractura de probeta 2 (A, B, C)



Figura 27. Fractura de probeta 3 (A, B, C)



Figura 28. Fractura de probeta 4 (A, B, C)



Figura 29. Fractura de probeta 5 (A, B, C)



Figura 30. Fractura de probeta 6 (A, B, C)



Figura 31. Fractura de probeta 7 (A, B, C)



Figura 32. Fractura de probeta 8 (A, B, C)



Figura 33. Fractura de probeta 9 (A, B, C)



Figura 34. Fractura de probeta 10 (A, B, C)



Figura 35. Fractura de probeta 11 (A, B, C)



9. RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos anteriormente en los ensayos de tensión se realizó una serie de tablas y graficas en las cuales podemos identificar la relación que existe entre los esfuerzos y las deformaciones.

Luego de haber realizado todos los ensayos correspondientes a cada fracción volumétrica y teniendo en cuenta que por cada muestra se realizaron cuatro ensayos, de los cuales se escogieron los tres mejores resultados en cuanto a la porción de la probeta en donde se presentó la falla, ya que con base en la norma NTC 595, probeta que no falle en su longitud de prueba no sirve. Cabe aclarar que como se mencionó anteriormente por cada fracción volumétrica se seleccionaron 3 probetas las cuales serán nombradas A B y C respectivamente, de las 3 muestras se sacó un promedio y así mismo la desviación estándar, ya que dicho promedio es el que se tendrán en cuenta a la hora de determinar que probeta tubo las mejores propiedades en tensión.

A continuación, se mostrarán una serie de graficas "esfuerzo vs deformación" de los resultados obtenidos para cada probeta. En cada figura se puede identificar la resistencia ultima a la tensión y la deformación unitaria axial. También se puede obtener el módulo de elasticidad que es igual a la pendiente de cada recta, él % de deformación y la fuerza máxima. Después de las gráficas se mostrarán las tablas en donde se puede identificar los valores de las propiedades anteriormente nombradas. Este proceso se realizó para cada una de las probetas.

9.1 PROBETA 1

Figura 36. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 1

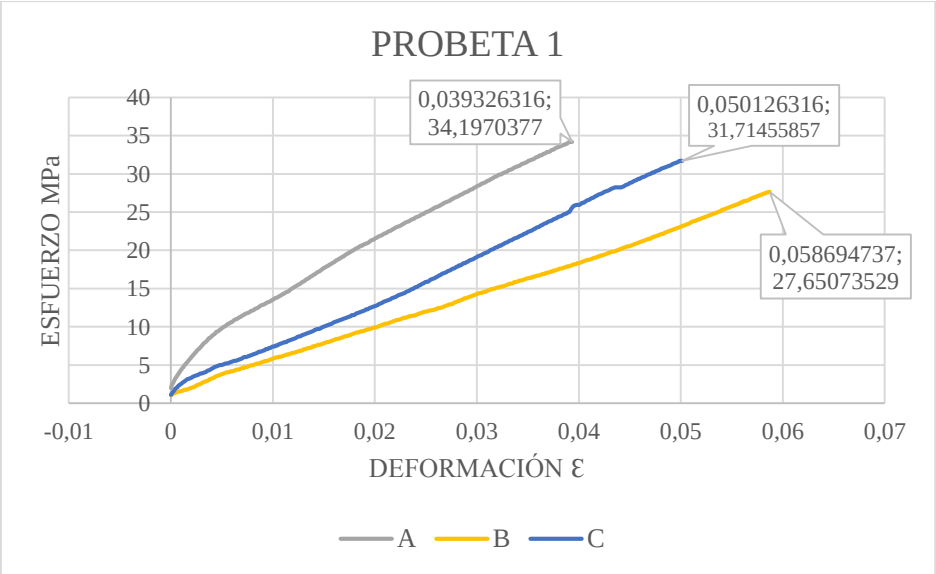


Tabla 11 Resultados probeta 1

PROBETA 1					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (MPa)	Fuerza máxima (KN)
A	34,197	0,039	3,932	762,78	2,285
B	27,651	0,050	5,882	605,12	1,917
C	31,715	0,059	5,021	437,04	2,241
Promedio	31,187	0,049	4,945	601,647	2,148
Desviación estándar	3,305	0,010	0,977	162,898	0,201

En la tabla 11 se puede identificar la similitud de los resultados. Luego de analizar la información anterior se determinó las propiedades en tensión para la probeta 1.

9.2 PROBETA 2

Figura 37. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 2

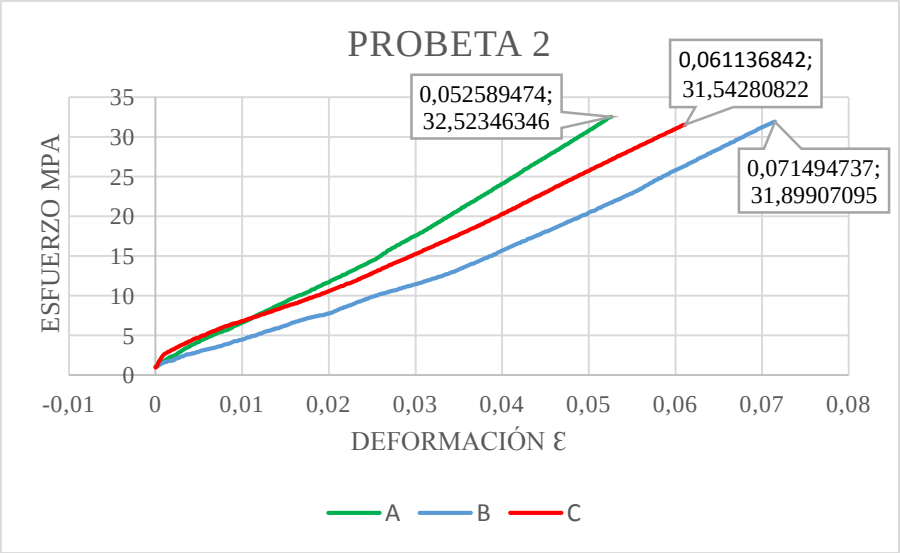


Tabla 12 Resultados probeta 2

PROBETA 2					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (Mpa)	Fuerza máxima (KN)
A	32,523	0,052	5,2	590,09	2,349
B	31,899	0,0611	6,11	426,81	2,266
C	31,542	0,0714	7,14	479,52	2,486
Promedio	31,988	0,0615	6,15	498,807	2,367
Desviación estándar	0,497	0,010	0,971	83,331	0,111

En la tabla 12 se puede identificar la similitud de los resultados. Luego de analizar la información anterior se determinó las propiedades en tensión para la probeta 2.

9.3 PROBETA 3

Figura 38. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 3

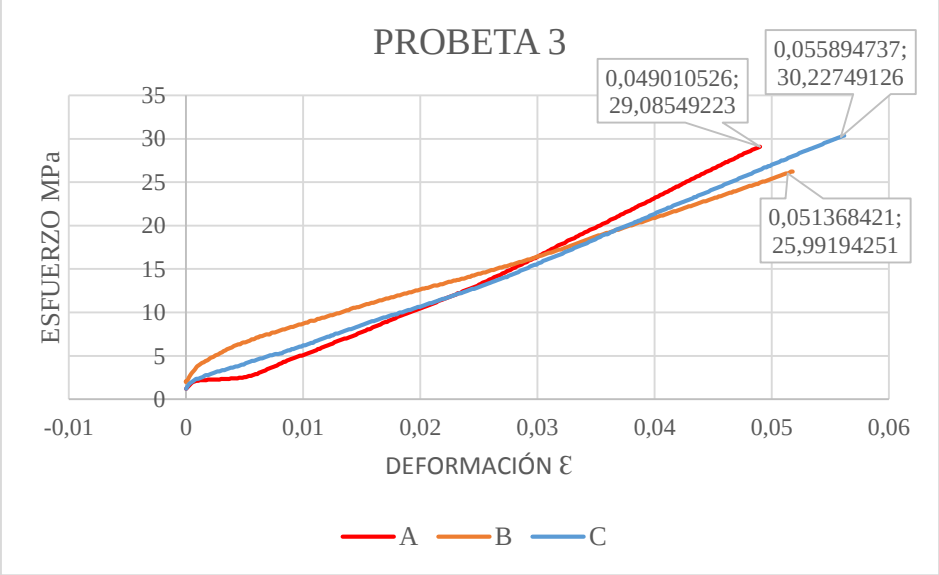


Tabla 13. Resultados probeta 3

PROBETA 3					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (Mpa)	Fuerza máxima (KN)
A	29,085	0,049	4,901	587,26	2,021
B	25,991	0,051	5,136	422,09	1,790
C	30,227	0,055	5,589	511,4	2,075
Promedio	28,434	0,052	5,209	506,917	1,962
Desviación estándar	2,192	0,003	0,350	82,676	0,151

En la tabla 13 se puede identificar la similitud de los resultados. Luego de analizar la información anterior se determinó las propiedades en tensión para la probeta 3.

9.4 PROBETA 4

Figura 39. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 4

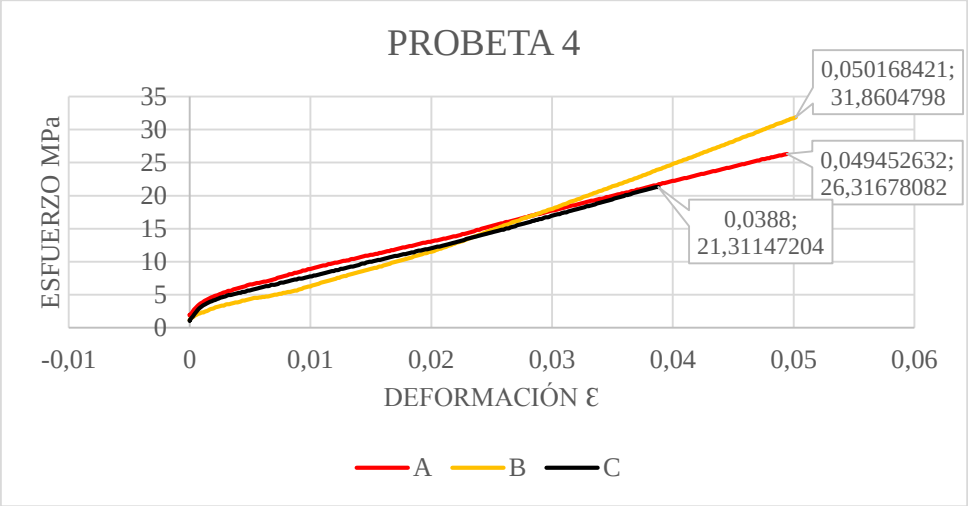


Tabla 14. Resultados probeta 4

PROBETA 4					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (Mpa)	Fuerza máxima (KN)
A	26,316	0,049	4,9	456,86	1,844
B	31,86	0,05	5	606,1	2,271
C	21,311	0,038	3,8	469,29	1,555
Promedio	26,496	0,046	4,567	510,750	1,890
Desviación estándar	5,277	0,007	0,666	82,809	0,360

En la tabla 14 se puede identificar que las propiedades de la probeta 4B y 4C varían notablemente esto puede ser por la adhesión fibra matriz. Luego de analizar la información anterior se determinó las propiedades en tensión para la probeta 4.

9.5 PROBETA 5

Figura 40. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 5

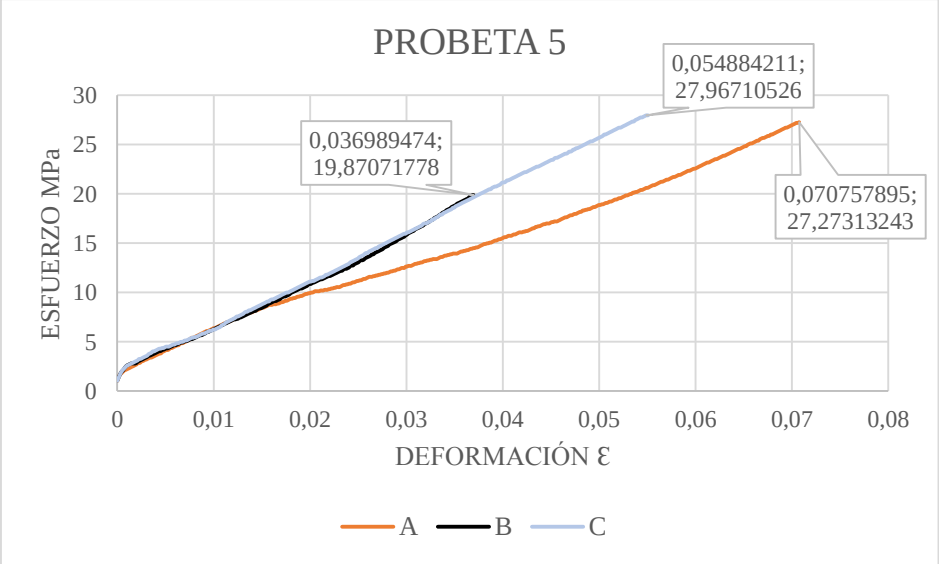


Tabla 15. Resultados probeta 4

PROBETA 5					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (Mpa)	Fuerza máxima (KN)
A	27,273	0,071	7,1	333,11	1,928
B	19,871	0,037	3,7	475,32	1,462
C	27,967	0,054	5,4	480,68	1,977
Promedio	25,037	0,054	5,4	429,703	1,789
Desviación estándar	4,487	0,017	1,7	83,695	0,284

En la tabla 15 se puede detallar que las propiedades de las probetas 5A y 5C se asemejan en su esfuerzo ultimo a la tensión. Por otro parte en la probeta 5B varía notablemente respecto a las probetas 5A y 5C ocasionando que el promedio de las tres muestras disminuya respecto a los valores nominales de las probetas 5A y 5C, este cambio repentino se puede dar por la adhesión de la fibra matriz. Luego de analizar la información anterior se determinó las propiedades en tensión para la probeta 5.

9.6 PROBETA 6

Figura 41. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 6

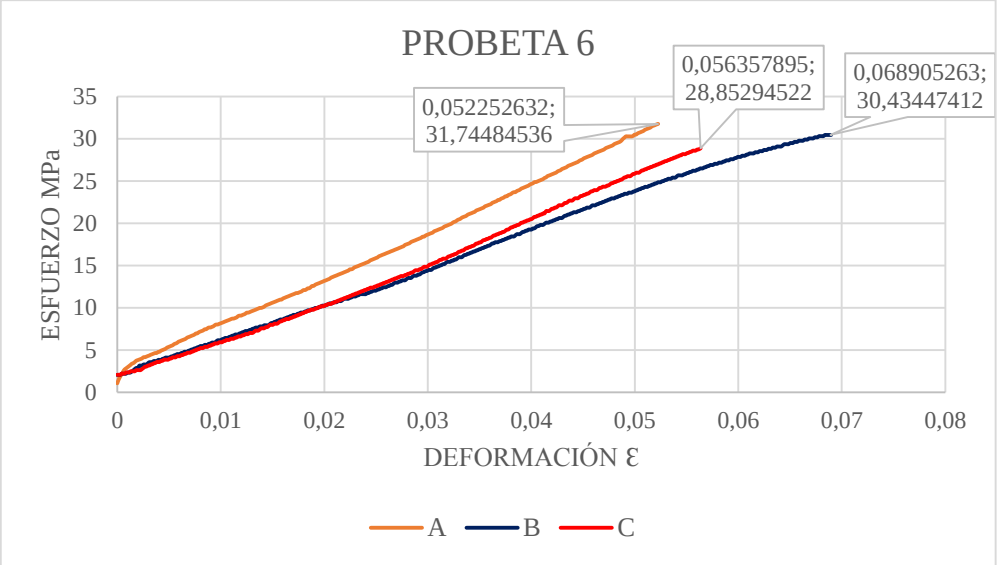


Tabla 16. Resultados probeta 6

PROBETA 6					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (Mpa)	Fuerza máxima (KN)
A	31,745	0,052	5,200	557,67	2,217
B	30,434	0,069	6,9	431,16	2,188
C	28,853	0,056	5,6	490,55	2,060
Promedio	30,344	0,059	5,900	493,127	2,155
Desviación estándar	1,448	0,009	0,889	63,294	0,084

9.7 PROBETA 7

Figura 42. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 7

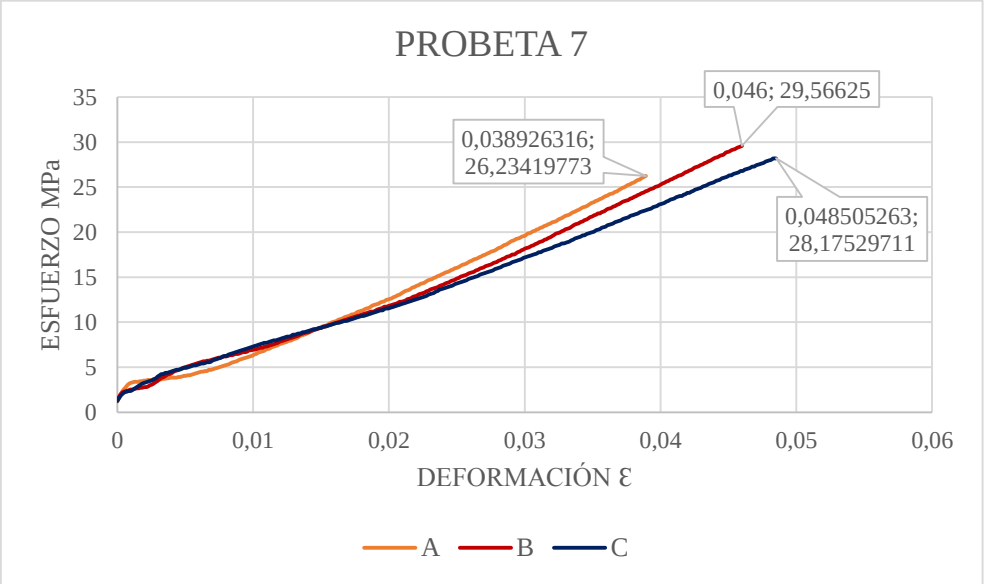


Tabla 17. Resultados probeta 7

PROBETA 7					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (Mpa)	Fuerza máxima (KN)
A	26,234	0,039	3,900	630,87	1,942
B	29,566	0,046	4,6	594,36	2,129
C	28,175	0,048	4,8	531,82	1,991
Promedio	27,992	0,044	4,433	585,683	2,021
Desviación estándar	1,674	0,005	0,473	50,092	0,097

En la tabla 17 se puede identificar la similitud de los resultados. Luego de analizar la información anterior se determinó las propiedades en tensión para la probeta 7.

9.8 PROBETA 8

Figura 43. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 8

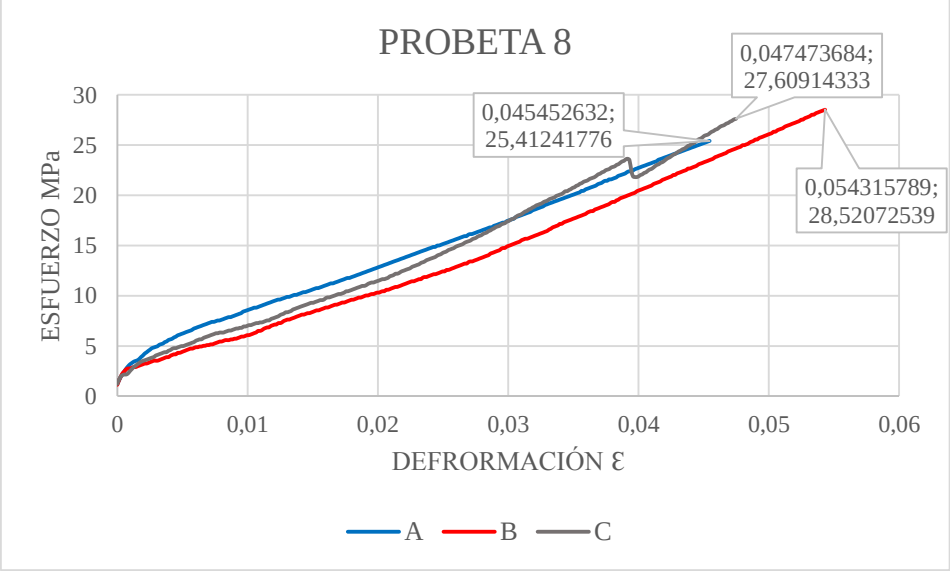


Tabla 18. Resultados probeta 8

PROBETA 8					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (Mpa)	Fuerza máxima (KN)
A	25,412	0,045	4,500	479,72	1,854
B	28,521	0,054	5,4	483,61	1,982
C	27,609	0,047	4,7	578,75	2,011
Promedio	27,181	0,049	4,867	514,027	1,949
Desviación estándar	1,598	0,005	0,473	56,086	0,083

En la tabla 18 se puede identificar la similitud de los resultados. Luego de analizar la información anterior se determinó las propiedades en tensión para la probeta 8.

9.9 PROBETA 9

Figura 44. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 9

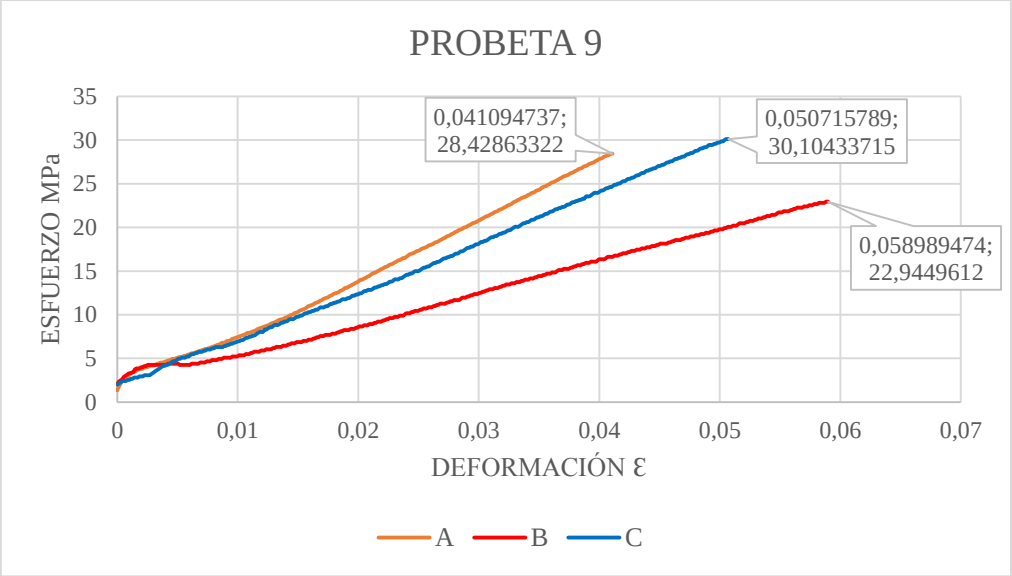


Tabla 19. Resultados probeta 9

PROBETA 9					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (Mpa)	Fuerza máxima (KN)
A	28,428	0,041	4,100	649,09	1,973
B	22,944	0,059	5,9	353,72	1,638
C	30,104	0,051	5,1	561,98	2,207
Promedio	27,159	0,050	5,033	521,597	1,939
Desviación estándar	3,745	0,009	0,902	151,769	0,286

En la tabla 19 se puede detallar que las propiedades de las probetas 9A y 9C se asemejan en su esfuerzo ultimo a la tensión. Por otro parte en la probeta 9B varía notablemente respecto a las probetas 9A y 9C ocasionando que el promedio de las tres muestras disminuya respecto a los valores nominales de las probetas 9A y 9C, este cambio repentino se puede dar por la adhesión de la fibra matriz o simplemente la no homogeneidad de las fibras en toda la zona de falla. Luego de analizar la información anterior se determinó las propiedades en tensión para la probeta 9.

9.10 PROBETA 10

Figura 45. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 10

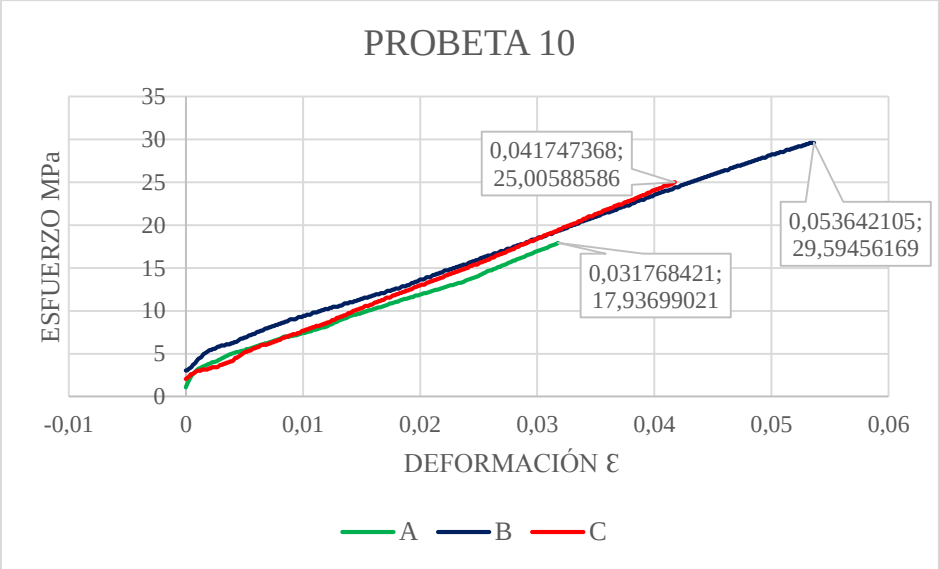


Tabla 20. Resultados probeta 10

PROBETA 10					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (Mpa)	Fuerza máxima (KN)
A	17,936	0,031	3,100	462,57	1,319
B	29,594	0,053	5,3	479,07	2,188
C	25,006	0,041	4,1	542,38	1,785
Promedio	24,179	0,042	4,167	494,673	1,764
Desviación estándar	5,873	0,011	1,102	42,131	0,434

En la tabla 20 se puede detallar que las propiedades de las probetas 10A, 10B y 10C varían notablemente una respecto a la otra, este debido a la no homogeneidad en la fabricación de las probetas en cuanto a la forma en la que se distribuyeron las fibras o simplemente que no hubo una buena adhesión fibra matriz. Luego de analizar la información anterior se determinó las propiedades en tensión para la probeta 10.

9.11 PROBETA 11

Figura 46. Curva de esfuerzo vs deformación, probeta 11

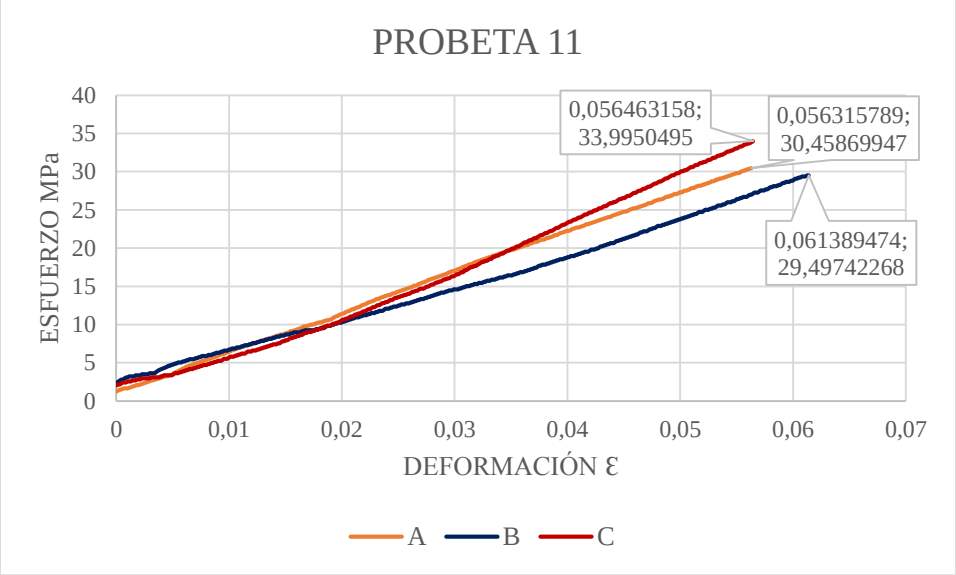


Tabla 21. Resultados probeta 11

PROBETA 11					
Muestra	Resistencia ultima a la tensión (Mpa)	Deformación	% de deformación	Módulo de elasticidad (Mpa)	Fuerza máxima (KN)
A	30,458	0,056	5,600	525,18	2,080
B	29,497	0,061	6,1	432,82	2,060
C	33,995	0,056	5,6	590,45	2,472
Promedio	31,317	0,058	5,767	516,150	2,204
Desviación estándar	2,369	0,003	0,289	79,202	0,232

En la tabla 21 se puede identificar la similitud de los resultados. Luego de analizar la información anterior se determinó las propiedades en tensión para la probeta 11 y que en su defecto tuvo uno de los mejores comportamientos ya que, sus resultados fueron muy similares ocasionando que su promedio no varié mucho respecto a los valores nominales de cada uno.

10. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los ensayos de tensión realizados con anterioridad se pueden identificar en la tabla 22.

Tabla 22 Resultados ensayos de tensión

Probeta	Deformación	% de deformación	Esfuerzo ultimo a la tensión (Mpa)	Fuerza máxima (KN)	Módulo de elasticidad (Mpa)
1	0,049	4,945	31,187	2,148	601,647
2	0,0615	6.15	31,988	2,367	498,807
3	0,052	5,209	28,434	1,962	506.917
4	0,046	4,567	26,496	1,89	510,75
5	0,054	5,4	25,037	1,789	429,703
6	0,059	5,9	30,344	2,155	493,727
7	0,044	4,433	27,992	2,021	585,683
8	0,049	4,867	27,181	1,949	514,022
9	0,05	5,033	27,159	2,207	521,597
10	0,042	4,167	24,179	1,764	494,693
11	0,058	5,767	31,317	2,204	516,15

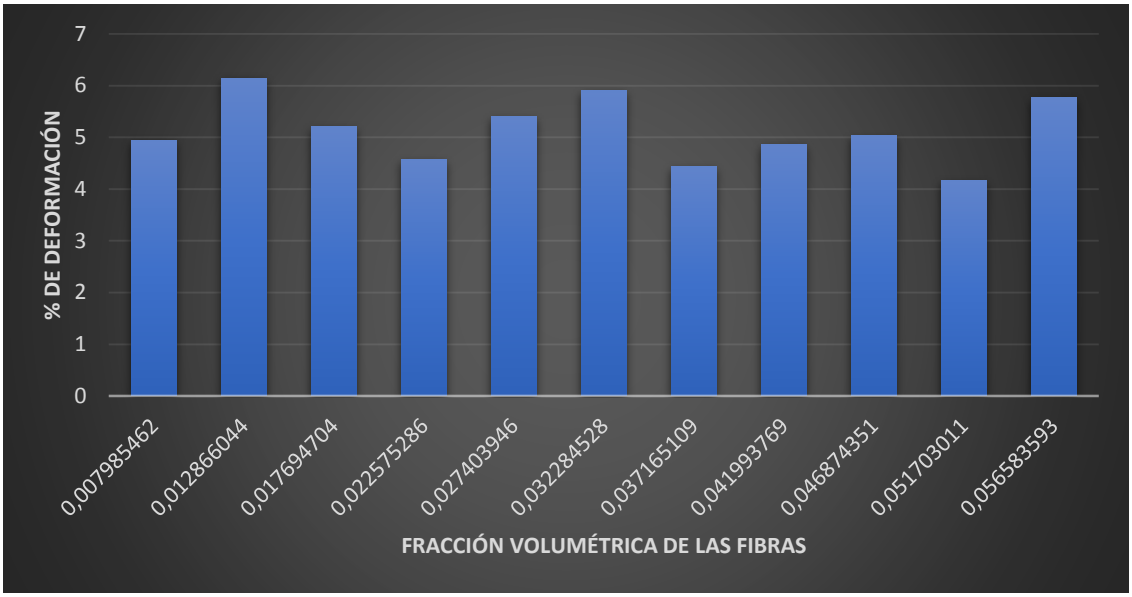
Con el fin de realizar un mejor análisis de resultados lo que se hizo fue, para cada probeta le corresponde una fracción volumétrica de fibras de fique junto con una fracción volumétrica de fibras de estropajo constante. En la tabla 9 “Fracción volumétrica en cada probeta”, se sumaron los valores de fracción volumétrica de las fibras de fique junto con la fracción volumétrica de las fibras de estropajo con el fin de analizar los resultados obtenidos con base en la fracción volumétrica de las fibras. Por ultimo reemplazamos los datos obtenidos en la tabla 22, los cuales podemos apreciar en la tabla 23.

Tabla 23 resultados relacionados con la fracción volumétrica

Fracción volumétrica de las fibras	% de deformación	Esfuerzo ultimo a la tensión (Mpa)	Fuerza máxima (KN)	Módulo de elasticidad (Mpa)
0,0080	4,945	31,187	2,148	601,647
0,0129	6.15	31,988	2,367	498,807
0,0177	5,209	28,434	1,962	506.917
0,0226	4,567	26,496	1,89	510,75
0,0274	5,4	25,037	1,789	429,703
0,0323	5,9	30,344	2,155	493,727
0,0372	4,433	27,992	2,021	585,683
0,0420	4,867	27,181	1,949	514,022
0,0469	5,033	27,159	2,207	521,597
0,0517	4,167	24,179	1,764	494,693
0,0566	5,767	31,317	2,204	516,15

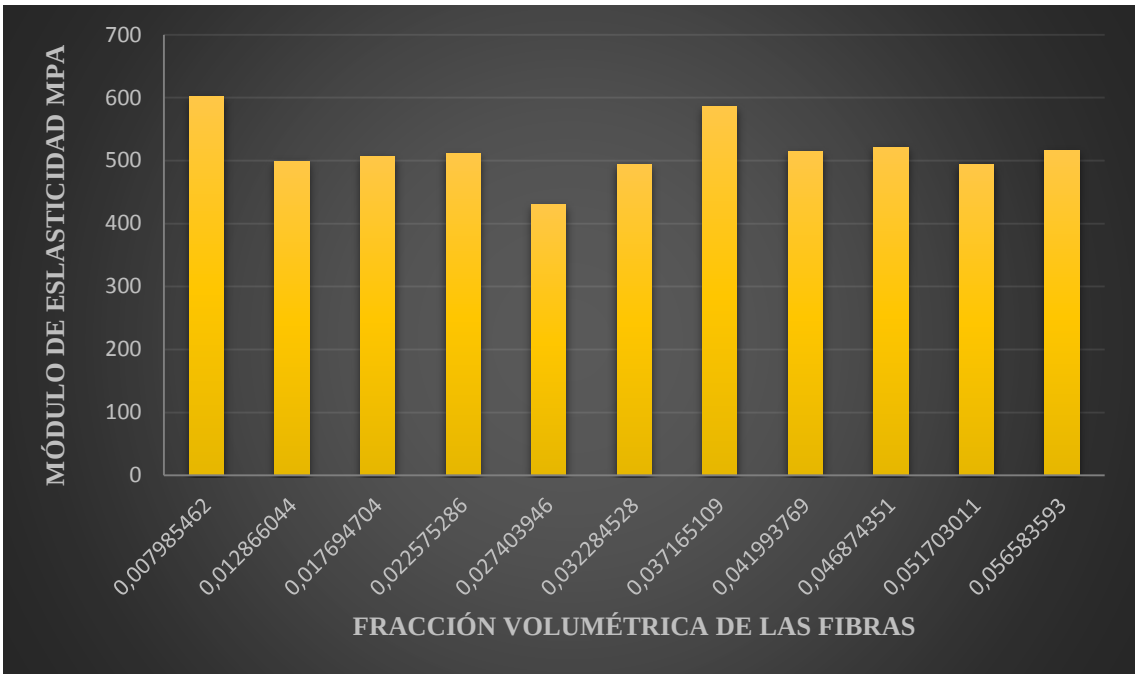
Con base en los valores de la tabla 23 se realizaron las siguientes gráficas para caracterizar el comportamiento de cada propiedad basados en la fracción volumétrica de las fibras.

Figura 47. Porcentaje de deformación vs fracción volumétrica de las fibras



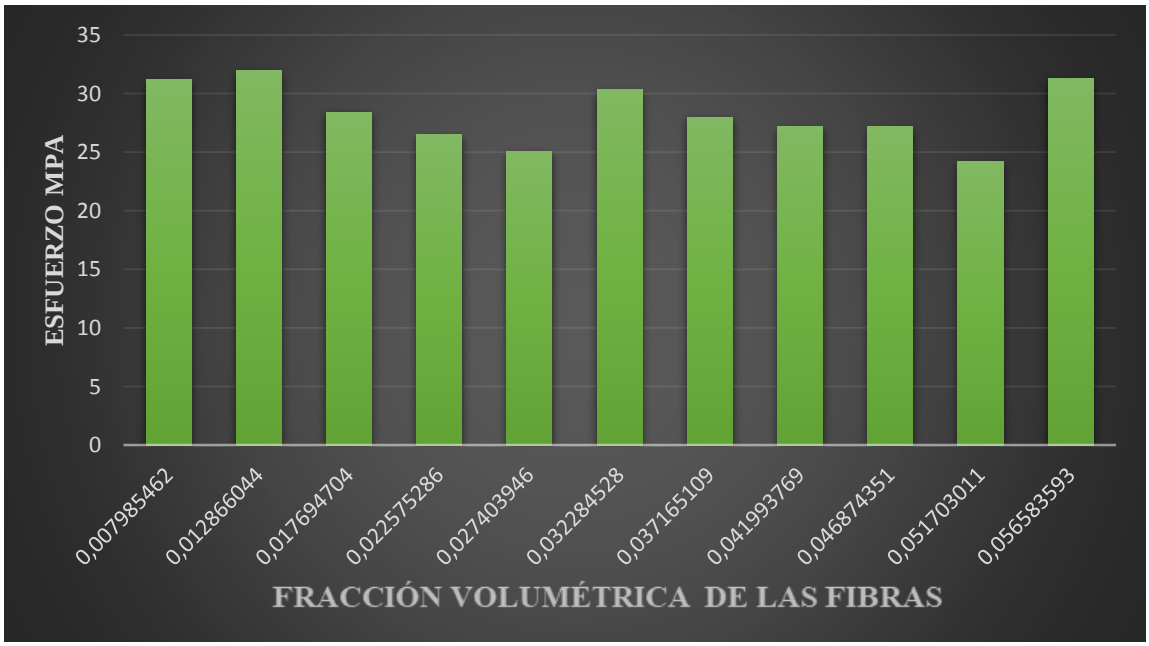
En la figura 47 se puede analizar la gráfica de % de deformación vs fracción volumétrica de las fibras, se observa que los porcentajes de deformación para cada muestra fluctúan en un rango de 4% a 6%, no obstante, las que más sufrieron deformación en su zona elástica fueron las probetas con 0,248 y 0,622 de fracción volumétrica de las fibras, el 0,248 de fracción volumétrica de las fibras corresponde a 0,5% de volumen de fique y 0,79% de volumen de estropajo, por su parte el 0,622 de fracción volumétrica de las fibras corresponde a 0,79% de volumen de estropajo y 2,5% de volumen de fique. Antes de la falla estas probetas se deformaron aproximadamente un 6% de su longitud inicial, es decir su longitud antes de fallar fue aproximadamente de 100 mm.

Figura 48 Módulo de elasticidad vs Fracción volumétrica de las fibras



En la figura 48 se puede analizar la gráfica de módulo de elasticidad vs fracción volumétrica de las fibras, se puede observar que en las probetas 1,3,4,7,8,9 y 10 el módulo de elasticidad oscila en un rango de 600 Mpa a 500 Mpa, siendo estas las muestras que más tienden a deformarse.

Figura 49 esfuerzo vs fracción volumétrica de las fibras



En la figura 49 se puede analizar la gráfica de esfuerzo ultimo a la tensión vs fracción volumétrica de las fibras, se observa que las probetas 1,2,6 y 11 presentaron un esfuerzo ultimo a la tensión alto en comparación con las demás probetas. Por su parte se puede decir que la probeta que más esfuerzo ultimo a la tensión soporto fue la probeta 2, esta probeta corresponde a 0,0248 de fracción volumetría de fibras que relacionadas con el porcentaje de volumen seria: 0,5% de volumen de fique y 0,79% de volumen de estropajo. En esta probeta se caracterizó por tener una buena adhesión entre las fibras y la matriz y, así mismo una buena trasferencia de esfuerzos por parte de la matriz hacia las fibras.

11. CONCLUSIONES

- Las probetas del material hibrido al ser elaboradas manualmente permite un máximo de relleno en cuanto a volumen de fibras de 1.0898 cm^3; es decir, el máximo porcentaje en volumen que permite la composición es de 5.79%. esto debido a que al aumentar la proporción de la fibra de fique su manipulación es complicada, porque la concentración de las fibras impide llegar a zonas de detalle del molde, por lo que en algunos casos llega incluso curar antes de terminar el vaciado en el molde, impidiendo la obtención de la probeta.
- Basado en la longitud critica del fique y el estropajo se concluye que el procedimiento manual de corte de estos dos materiales; en fibras de determinada longitud es muy dispendioso, generando incluso aumento de costos, tiempos, métodos y dificultando una buena optimización en la fabricación de elementos.
- Los instrumentos de medición, corte, almacenaje y preparación que se emplean en el proceso presentan desventajas por las pérdidas que se tienen de material.
- Uno de los defectos encontrados en las probetas es la mala distribución y orientación de las fibras, esto indica que la distribución de la carga en el material hibrido no fue de manera homogénea a través del material o dicho de otra manera no actuó como un bloque, esto se debe a la poca adherencia entre las fibras y la resina. Por lo que la resina no puede transmitir la carga en todas las extensiones de las fibras.
- Las porosidades se pueden clasificar como un defecto, estas se deben al proceso de fabricación y vaciado de la mezcla en el molde, sumado a la densidad y viscosidad de la mezcla permiten la aparición de aire dejando cavidades vacías en el molde que al solidificarse se aprecian.
- Con el aumento de la cantidad de fibra de fique la humectación de las fibras no es homogénea en su totalidad razón por la cual existen manojos de fibra en los que se evidencia poca adherencia resina poliéster y fibra.
- A partir del análisis de las gráficas de esfuerzo vs deformación se puede concluir que el material hibrido no presenta una zona plástica debido a que el material se fractura instantes antes del cambio de zona elástica a zona plástica. Por lo tanto, se infiere que el comportamiento mecánico del material es elastofragil.
- La probeta con mejores propiedades en tensión fue la probeta 2, esta corresponde a 0,0248 de fracción volumetría de fibras que relacionadas con el porcentaje de volumen seria: 0,5% de volumen de fique y 0,79% de volumen de estropajo. Dicha

probeta obtuvo los mejores resultados en cuanto a esfuerzo ultimo a la tensión, deformación unitaria axial, % de deformación y fuerza máxima. Por otra parte, su módulo de elasticidad fue 498,807 MPa, el cual se mantuvo en el rango de las demás muestras.

12. RECOMENDACIONES

- Seleccionar las fibras naturales de manera que no presente irregularidades en su color forma o desgaste aparente, es decir que se encuentren en óptimas condiciones para ser utilizadas.
- Lavar las fibras naturales en este caso fique y estropajo para retirar cualquier tipo de suciedad o componente que pueda afectar la composición ultima del material hibrido.
- Al momento de cortar las fibras en la longitud crítica calculada anteriormente utilizar elementos de medición que permitan garantizar la homogeneidad de las fibras, de igual forma, el proceso de corte debe ser reproducido para todas las muestras de manera que se obtenga la longitud deseada.
- Elaborar el molde en un material que no sufra deformación al momento de mezclar los componentes y mantenga el diseño de la probeta, de igual forma permita retirar el material hibrido de manera sencilla sin que este se modifique.
- Utilizar una magnitud que facilite garantizar la cantidad necesaria de material para cada muestra, es decir por ejemplo peso de las fibras de estropajo y fique, y el volumen de resina y catalizador.
- Una vez definida la magnitud de cada material utilizar un elemento acorde para medir la cantidad necesaria de material, ejemplo báscula de precisión
- Realizar los ensayos de tensión en una maquina universal de ensayos especializada para este tipo de materiales, con unos niveles de carga menores para ser más precisos en la toma de datos.
- Para la obtención del material hibrido tratar de que las fibras de fique junto con las fibras de estropajo, queden esparcidas en toda la muestra para obtener un material hibrido compacto y con un área uniforme.
- Fabricar las probetas de material hibrido en un espacio con buena ventilación e iluminación.
- Tener cuidado y precisión a la hora de preparar la mezcla, es decir se recomienda realizar este procedimiento con medidores especiales con el fin de minimizar las perdidas.
- Realizar la preparación de la resina con guantes, gafas, tapa bocas y bata.
- Aplicar cera desmoldeante a los moldes para facilitar el retiro del material con dicha cera.

- Sacar burbujas mediante vibraciones, con el fin de mejorar las propiedades.
- Para el curado de cada probeta se recomienda un lapso de tiempo mayor a 48 horas.
- El proceso de acabado de las probetas de material hibrido, se recomienda realizarlo con una lima media caña y una lima circular. La lima media caña se usará en todas las superficies de la probeta y la lima circular se usará en la zona de los concentradores de esfuerzos.
- Con base en los valores de propiedades obtenidos para este material, se recomienda utilizarlo en elementos de baja exigencia mecánica, por ejemplo, en la carrocería de los vehículos, ya que este tipo de materiales son muy livianos y además como se mencionó anteriormente son materiales bioamigables.

BIBLIOGRAFÍA

Finkero. (18 de Mayo de 2015). (Finkeros.com) Recuperado el 03 de Septiembre de 2018, de http://abc.finkeros.com/el-estropajo/

Hull, D. (1987). *Materiales Compuestos.* Barcelona: REVERTÈ S.A.

ICONTEC. (2007). *Norma tecnica colombiana NTC 595.* Bogota.

Mangonon, P. L. (2001). *Ciencia de los materiales seleccion y diseño.* Mèxico: Pearson Educaciòn.

MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS UH-A.C. (21 de 02 de 2017). (Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas) Recuperado el 02 de 09 de 2018, de https://rita.udistrital.edu.co:23604/Documentos/Fichas_tecnicas/resistencia/FT-RE01.pdf

Martinez Lopez, M. (2012). *Elaboracion y caracterización de concreto polimérico: efecto del contenido de fibra de luffa y radicación gamma.* Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.

Miravete, A. (2000). *Materiales Compuestos.* Barcelona: REVERTÈ.

Muñoz Velez, M. F., Hidalgo Salazar, M. A., & Mina Hernandez, J. H. (2014). Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 60-70.

Navarro Garcia, O. A., & Ramirez Zambrano, A. D. (2014). *Evaluacion de las propiedades mecánicas de un material compuesto reforzado con fibra de fique y fibra de vidrio en un matriz de resina epoxica.* Barranquilla.

Pereira., E. A. (2006). *Estudio de la Determinacion volumetrica resina poliester- fibra de vidrio para obtener las mejores propiedades a tensiòn.* Bogora D.C: Proyecto de grado Universidad Distrital Francisco jose de Caldas.

R S, R. A., Saraswaty, R., & Rajesh, P. (2017). Characterization of properties of epoxy sisal/glass fiber reinforced hybrid composite. *Elsevier Ltd*, 5445-5451.

R, P., A, G., & K, R. (2014). Mechanical properties of luffa fiber and ground nut reinforced epoxy polymer hibrid composites. *Elsevier Ltd*, 2042-2051.

Ramirez Cabrera, L. V. (2014). Analisis de las emisiones de CO2 de los materiales usadas en palas de aerogeneradores. *Conferencia ciéntifica internacional sostenibilidad y cambio climatico.*

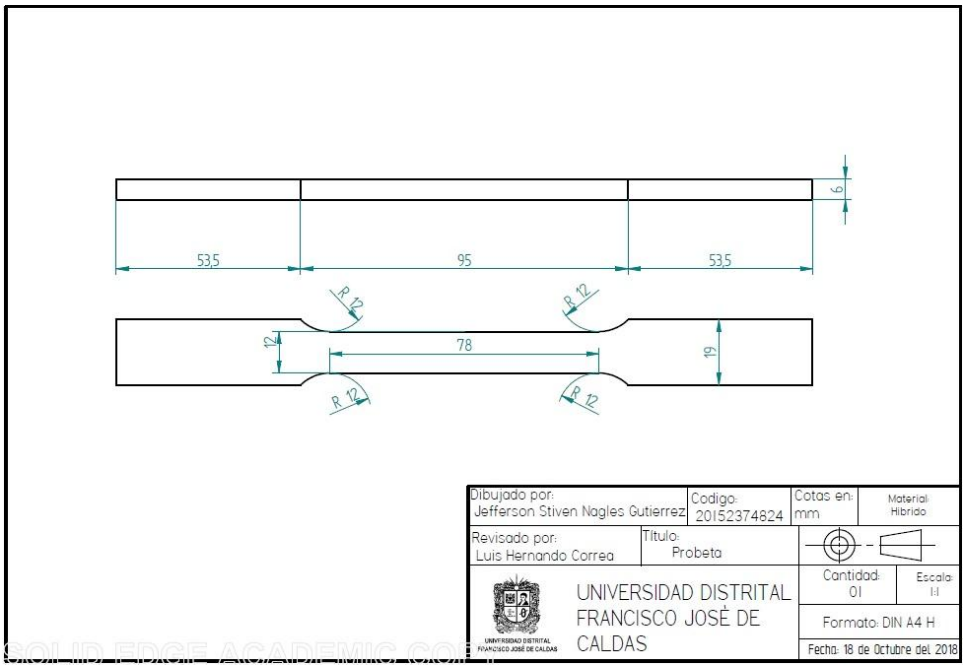
Shackelford, J. F. (2005). *Introduccion a la ciencia de materiales para ingenieros.* España: PEARSON.

William D. Callister, J. (1997). *Introduccion a la ciencia e ingeniería de los materiales.* Bacerlona,Bogotá, Buenos Aires,México,Caracas: REVERTÉ, S.A.

ANEXOS

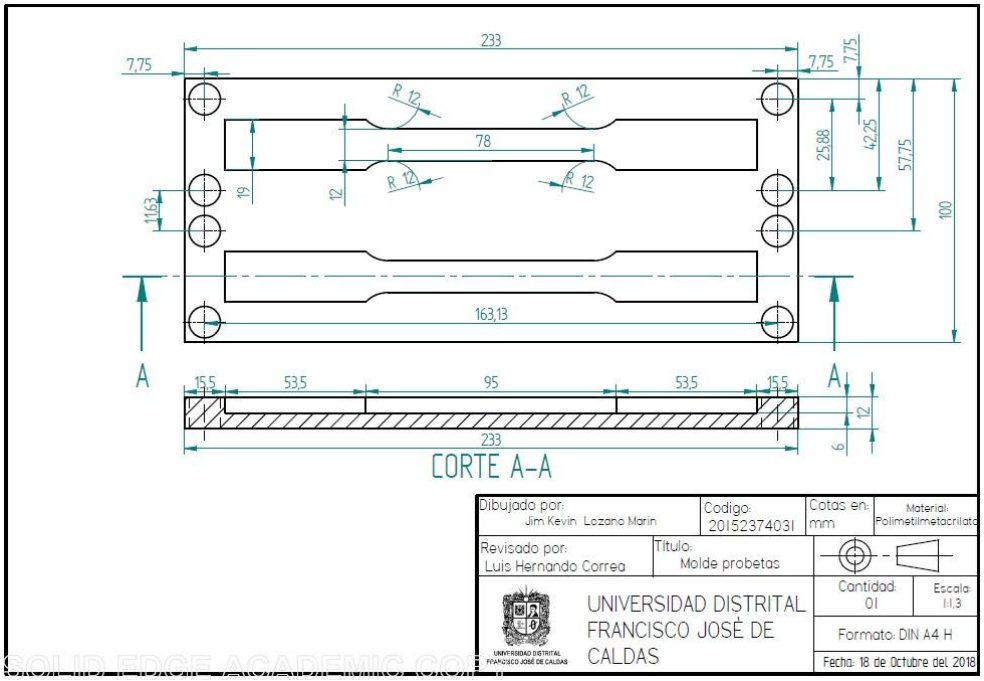
Plano de la probeta

Anexo 1 Plano de probeta



Plano del molde

Anexo 2 Plano del molde



Ficha técnica de la resina poliéster

Anexo 3 Ficha técnica de la resina poliéster

Hoja técnica Resina de poliester



La resina de poliester presto es una resina elástica insaturada con alta reactividad, que se puede usar prácticamente sobre todo tipo de superficies, especialmente con telas y guatas de fibra de vidrio para reparar orificios grandes, lugares oxidados o daños en general. Aplicable sobre metal, madera y hormigon, en el sector del automóvil, hogar, jardín, construccion de moldes y modelismo, por ejemplo para usarlo en conductos que tienen fugas, tuberias, calderas, embarcaciones etc.

En el caso que haya que pintar poderiormente la superficie recomendamos el uso de presto Masilla de relleno o presto Masilla fina.

Calidad y propiedades

- Fácil aplicación
- Alta elasticidad
- Buena adherencia
- Fácil lijado, incluso después de mucho tiempo
- Resistente a ácidos y lejías débiles, propelentes, disolventes, agua y sales.

Datos físicos y químicos

- **Base:** resina de poliester insaturada, elastificada
- **Color:** color miel
- **Olor:** a estirol
- **Forma:** suave, tixotrópico
- **Tiempo estado líquido/tiempo de aplicacion con 20°C:** aprox. 10 Min.
- **Temperatura de aplicación:** a partir de 12°C
- **Secado: (con 20°C, 50% humedad relativa del aire):** Lijable después de aprox. 30 Min.
- **Punto de inflamación:** aprox. 33°C (resina); no aplicable para el endurecedor
- **Densidad con 20°C:** Resina 1,2 g/cm³ Endurecedor 1,15 g/cm³
- **Adición endurecedor:** 2 - 4 % (mezcla óptima 2,5 %)
- **Resistencia a temperaturas del material endurecido:** 120°C
- **Caducidad/almacenaje:** 24 meses con almacenaje correcto (+10°-25°C, humedad relativa del aire de max 60%) en envase original cerrado. Proteger de los rayos solares directos, de las heladas y de la humedad.
- **Formato:** Resina: envase de boca estrecha Endurecedor: tubo de plástico

Mediambiente y clasificación

Medioambiente: Los productos de MOTIP DUPLI están al 100 % libres de metales pesados dañinos para la salud y desde el año 1977 libre de propelentes CFC's. Las tapas y los envases son de materiales reciclables.

Reciclado: Solo debe reciclar el envase totalmente vacio en el contenedor correspondiente. aerosoles con restos deben llevarse al punto limpio.Clasificacion: Todos los productos MOTIP DUPLI corresponden al actual estado de la normativa de clasificación según disposición 1999/45/CE.

Normativa de preparación: Todos los aerosoles corresponden al reglamento técnico alemán TRGS 200 y TRG 300 así como a la normativa sobre aerosoles 75/324/EWG en su versión actual

Aplicación

- El lugar a reparar debe estar libre de óxido, limpio, seco, libre de grasa y estar lijado.
- Recortar el material de fibra de vidrio según el tamaño del lugar a reparar, de manera que solape lo suficiente en el borde.
- Sacar la cantidad necesaria de material y mezclarlo con la cantidad correspondiente de endurecedor y seguir el siguiente proceso de trabajo:
- Aplicar a la superficie la resina preparada y colocar después el material de fibra de vidrio recortado.
- Con una brocha empezar apretar uniformemente en el iborde y volver a embeber con la resina de poliester. El material de fibra de vidrio no debe tener burbujas de aire.
- Como última capa se debe colocar la guata de fibra de vidrio que forma así una superficie idónea para los siguientes pasos.
- En el caso que posteriormente haya que pintar la superficie se recomienda seguir con la aplicación con presto plástico Masilla de relleno o presto flex Masilla fina. La superficie pegajosa por la resina de poliester funciona así como el mejor adherente. También si se desea se puede quitar con un diluyente nitro.

Estas informaciones sobre las técnicas de aplicación se realizan según nuestro mejor conocimiento, pero es solo una indicación sin compromiso, y no le exime de realizar sus propias pruebas de los productos suministrados por nosotros sobre si son aptos para los fines deseados. El uso y la aplicación de los productos se realizan fuera de nuestras posibilidades de control y por tanto se encuentran solo bajo responsabilidad del usuario. MOTIP DUPLI no se hace responsable, siempre y cuando no se pueda adjudicar el error a MOTIP DUPLI.

Fecha: 16.09.2010
Con esta version se invalidan todas las versiones anteriores.

Print date: 03.12.2015

MOTIP DUPLI GmbH | Kurt-Vogelsang-Straße 6 | 74855 Haßmersheim | info@dupli-color.de

Ficha técnica del catalizador

Anexo 4 Ficha técnica del catalizador

PLAINSUR

Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE (REACH), 453/2010/EC

CATALIZADOR PEROXIDO DE MEK



SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA

1.1 Identificador del producto: CATALIZADOR PEROXIDO DE MEK

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados:

Catalizador para poliésteres insaturados. Uso exclusivo profesional.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad:

PLÁSTICOS INDUSTRIALES DEL SUR, S.A.
P.I. La Red Sur Calle 11 Nave 4
41500 Alcalá de Guadaira - SEVILLA - ESPAÑA
Tfno.: +34 955 631 100 - Fax: +34 955 631 825
calidad@plainsur.com
www.plainsur.com

1.4 Teléfono de emergencia: 915 620 420

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información de propiedades físicas y químicas básicas:

Para completar la información ver la ficha técnica/hoja de especificaciones del producto.

Aspecto físico:

Estado físico a 20 ºC:	Líquido
Aspecto:	No determinado
Color:	No determinado
Olor:	No determinado

Volatilidad:

Temperatura de ebullición a presión atmosférica:	254 ºC
Presión de vapor a 20 ºC:	1048 Pa
Presión de vapor a 50 ºC:	4686 Pa (5 kPa)
Tasa de evaporación a 20 ºC:	No relevante *

Caracterización del producto:

Densidad a 20 ºC:	1172 kg/m³
Densidad relativa a 20 ºC:	1,172
Viscosidad dinámica a 20 ºC:	13,35 cP
Viscosidad cinemática a 20 ºC:	11,39 cSt
Viscosidad cinemática a 40 ºC:	No relevante *
Concentración:	No relevante *
pH:	No relevante *
Densidad de vapor a 20 ºC:	No relevante *
Coeficiente de reparto n-octanol/agua a 20 ºC:	No relevante *
Solubilidad en agua a 20 ºC:	No relevante *

*No relevante debido a la naturaleza del producto, no aportando información característica de su peligrosidad.

- CONTINÚA EN LA SIGUIENTE PÁGINA -

PLAINSUR

Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE (REACH), 453/2010/EC

CATALIZADOR PEROXIDO DE MEK



SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS (continúa)

Propiedad de solubilidad:	No relevante *
Temperatura de descomposición:	No relevante *

Inflamabilidad:

Temperatura de inflamación:	146 ºC
Temperatura de autoignición:	516 ºC
Límite de inflamabilidad inferior:	No relevante *
Límite de inflamabilidad superior:	No relevante *

9.2 Información adicional:

Tensión superficial a 20 ºC:	No relevante *
Índice de refracción:	No relevante *

*No relevante debido a la naturaleza del producto, no aportando información característica de su peligrosidad.

Anexo 5 Datos probeta numero 2

Fuerza N	Deformación Ɛ	Esfuerzo Mpa
78,48	0	1,086378738
78,48	0,000147368	1,086378738
83,385	0,000273684	1,154277409
93,195	0,000421053	1,290074751
103,005	0,000568421	1,425872093
107,91	0,000694737	1,493770764
117,72	0,000842105	1,629568106
127,53	0,000989474	1,765365449
137,34	0,001136842	1,901162791
142,245	0,001263158	1,969061462
152,055	0,001410526	2,104858804
156,96	0,001536842	2,172757475
166,77	0,001684211	2,308554817
166,77	0,001831579	2,308554817
171,675	0,001957895	2,376453488
176,58	0,002105263	2,444352159
181,485	0,002252632	2,512250831
186,39	0,0024	2,580149502
196,2	0,002526316	2,715946844
206,01	0,002673684	2,851744186
210,915	0,0028	2,919642857
215,82	0,002947368	2,987541528
225,63	0,003094737	3,12333887
230,535	0,003221053	3,191237542
240,345	0,003368421	3,327034884
245,25	0,003515789	3,394933555
250,155	0,003663158	3,462832226
259,965	0,003810526	3,598629568
259,965	0,003936842	3,598629568
269,775	0,004084211	3,73442691
274,68	0,004210526	3,802325581
279,585	0,004357895	3,870224252
284,49	0,004484211	3,938122924
289,395	0,004610526	4,006021595
299,205	0,004757895	4,141818937
299,205	0,004905263	4,141818937
304,11	0,005052632	4,209717608
313,92	0,0052	4,34551495
318,825	0,005347368	4,413413621
323,73	0,005494737	4,481312292
328,635	0,005621053	4,549210963
333,54	0,005768421	4,617109635
338,445	0,005915789	4,685008306
343,35	0,006042105	4,752906977
348,255	0,006189474	4,820805648
353,16	0,006315789	4,888704319
358,065	0,006463158	4,95660299
362,97	0,006589474	5,024501661
Fuerza N	Deformación Ɛ	Esfuerzo Mpa
372,78	0,006884211	5,160299003
377,685	0,007010526	5,228197674
382,59	0,007157895	5,296096346
387,495	0,007305263	5,363995017
392,4	0,007452632	5,431893688
392,4	0,007578947	5,431893688
397,305	0,007726316	5,499792359
402,21	0,007873684	5,56769103
407,115	0,008	5,635589701
407,115	0,008147368	5,635589701
412,02	0,008294737	5,703488372
416,925	0,008421053	5,771387043
421,83	0,008568421	5,839285714
426,735	0,008694737	5,907184385
431,64	0,008821053	5,975083056
441,45	0,008968421	6,110880399
446,355	0,009115789	6,17877907
451,26	0,009263158	6,246677741
456,165	0,009410526	6,314576412
461,07	0,009557895	6,382475083
465,975	0,009684211	6,450373754
470,88	0,009831579	6,518272425
475,785	0,009978947	6,586171096
480,69	0,010105263	6,654069767
485,595	0,010252632	6,721968439
490,5	0,0104	6,78986711
495,405	0,010526316	6,857765781
500,31	0,010673684	6,925664452
505,215	0,0108	6,993563123
510,12	0,010947368	7,061461794
519,93	0,011094737	7,197259136
524,835	0,011221053	7,265157807
529,74	0,011368421	7,333056478
534,645	0,011515789	7,40095515
544,455	0,011663158	7,536752492
544,455	0,011789474	7,536752492
554,265	0,011936842	7,672549834
559,17	0,012084211	7,740448505
559,17	0,012210526	7,740448505
568,98	0,012357895	7,876245847
568,98	0,012505263	7,876245847
578,79	0,012631579	8,012043189
583,695	0,012778947	8,07994186
588,6	0,012926316	8,147840532
593,505	0,013052632	8,215739203
598,41	0,0132	8,283637874
603,315	0,013347368	8,351536545
608,22	0,013473684	8,419435216
Fuerza N	Deformación Ɛ	Esfuerzo Mpa
622,935	0,013768421	8,623131229
627,84	0,013894737	8,6910299
632,745	0,014042105	8,758928571
637,65	0,014189474	8,826827243
642,555	0,014315789	8,894725914
647,46	0,014463158	8,962624585
652,365	0,014610526	9,030523256
657,27	0,014736842	9,098421927
662,175	0,014884211	9,166320598
667,08	0,015010526	9,234219269
671,985	0,015157895	9,30211794
681,795	0,015305263	9,437915282
686,7	0,015431579	9,505813953
691,605	0,015578947	9,573712625

696,51	0,015726316	9,641611296
701,415	0,015873684	9,709509967
706,32	0,016	9,777408638
711,225	0,016147368	9,845307309
716,13	0,016294737	9,91320598
721,035	0,016421053	9,981104651
725,94	0,016568421	10,04900332
725,94	0,016694737	10,04900332
730,845	0,016842105	10,11690199
735,75	0,016989474	10,18480066
740,655	0,017136842	10,25269934
745,56	0,017263158	10,32059801
750,465	0,017410526	10,38849668
755,37	0,017557895	10,45639535
760,275	0,017684211	10,52429402
765,18	0,017831579	10,59219269
774,99	0,017978947	10,72799003
779,895	0,018084211	10,7958887
779,895	0,018231579	10,7958887
784,8	0,018378947	10,86378738
794,61	0,018526316	10,99958472
799,515	0,018673684	11,06748339
804,42	0,0188	11,13538206
809,325	0,018947368	11,20328073
814,23	0,019094737	11,2711794
819,135	0,019221053	11,33907807
828,945	0,019368421	11,47487542
828,945	0,019515789	11,47487542
838,755	0,019663158	11,61067276
838,755	0,019789474	11,61067276
843,66	0,019936842	11,67857143
848,565	0,020084211	11,7464701
858,375	0,020210526	11,88226744
868,185	0,020505263	12,01806478
Fuerza N	Deformación Ɛ	Esfuerzo Mpa
877,995	0,020778947	12,15386213
882,9	0,020905263	12,2217608
887,805	0,021052632	12,28965947
892,71	0,0212	12,35755814
897,615	0,021347368	12,42545681
902,52	0,021473684	12,49335548
912,33	0,021621053	12,62915282
912,33	0,021747368	12,62915282
917,235	0,021894737	12,6970515
922,14	0,022042105	12,76495017
931,95	0,022189474	12,90074751
936,855	0,022315789	12,96864618
941,76	0,022463158	13,03654485
946,665	0,022589474	13,10444352
951,57	0,022736842	13,17234219
956,475	0,022884211	13,24024086
961,38	0,023010526	13,30813953
966,285	0,023157895	13,37603821
976,095	0,023305263	13,51183555
981	0,023452632	13,57973422
985,905	0,023578947	13,64763289
990,81	0,023726316	13,71553156
995,715	0,023873684	13,78343023

1000,62	0,024	13,8513289
1005,525	0,024147368	13,91922757
1010,43	0,024273684	13,98712625
1015,335	0,024421053	14,05502492
1025,145	0,024568421	14,19082226
1030,05	0,024715789	14,25872093
1034,955	0,024842105	14,3266196
1039,86	0,024989474	14,39451827
1044,765	0,025115789	14,46241694
1049,67	0,025263158	14,53031561
1054,575	0,025410526	14,59821429
1064,385	0,025536842	14,73401163
1069,29	0,025684211	14,8019103
1079,1	0,025831579	14,93770764
1084,005	0,025978947	15,00560631
1093,815	0,026126316	15,14140365
1103,625	0,026252632	15,277201
1108,53	0,0264	15,34509967
1113,435	0,026526316	15,41299834
1123,245	0,026673684	15,54879568
1133,055	0,0268	15,68459302
1137,96	0,026947368	15,75249169
1142,865	0,027094737	15,82039037
1152,675	0,027242105	15,95618771
1157,58	0,027389474	16,02408638
Fuerza N	Deformación Ɛ	Esfuerzo Mpa
1167,39	0,027663158	16,15988372
1177,2	0,027789474	16,29568106
1182,105	0,027936842	16,36357973
1187,01	0,028084211	16,43147841
1191,915	0,028210526	16,49937708
1201,725	0,028357895	16,63517442
1206,63	0,028484211	16,70307309
1211,535	0,028631579	16,77097176
1216,44	0,028778947	16,83887043
1226,25	0,028926316	16,97466777
1226,25	0,029052632	16,97466777
1236,06	0,0292	17,11046512
1240,965	0,029326316	17,17836379
1250,775	0,029473684	17,31416113
1255,68	0,029621053	17,3820598
1260,585	0,029747368	17,44995847
1265,49	0,029894737	17,51785714
1270,395	0,030042105	17,58575581
1275,3	0,030189474	17,65365449
1280,205	0,030315789	17,72155316
1290,015	0,030463158	17,8573505
1294,92	0,030610526	17,92524917
1299,825	0,030757895	17,99314784
1304,73	0,030884211	18,06104651
1314,54	0,031031579	18,19684385
1319,445	0,031157895	18,26474252
1324,35	0,031305263	18,3326412
1334,16	0,031431579	18,46843854
1339,065	0,031578947	18,53633721
1343,97	0,031726316	18,60423588
1353,78	0,031852632	18,74003322
1358,685	0,032	18,80793189

1368,495	0,032147368	18,94372924
1373,4	0,032294737	19,01162791
1378,305	0,032421053	19,07952658
1388,115	0,032568421	19,21532392
1393,02	0,032715789	19,28322259
1397,925	0,032842105	19,35112126
1407,735	0,032989474	19,4869186
1412,64	0,033136842	19,55481728
1422,45	0,033263158	19,69061462
1427,355	0,033410526	19,75851329
1432,26	0,033557895	19,82641196
1442,07	0,033705263	19,9622093
1446,975	0,033831579	20,03010797
1451,88	0,033978947	20,09800664
1461,69	0,034105263	20,23380399
1466,595	0,034252632	20,30170266
Fuerza N	Deformación Ɛ	Esfuerzo Mpa
1481,31	0,034526316	20,50539867
1486,215	0,034673684	20,57329734
1491,12	0,0348	20,64119601
1500,93	0,034947368	20,77699336
1505,835	0,035094737	20,84489203
1515,645	0,035242105	20,98068937
1525,455	0,035368421	21,11648671
1525,455	0,035515789	21,11648671
1535,265	0,035642105	21,25228405
1540,17	0,035789474	21,32018272
1549,98	0,035915789	21,45598007
1554,885	0,036063158	21,52387874
1559,79	0,036210526	21,59177741
1569,6	0,036357895	21,72757475
1574,505	0,036505263	21,79547342
1579,41	0,036652632	21,86337209
1584,315	0,036778947	21,93127076
1594,125	0,036926316	22,06706811
1599,03	0,037073684	22,13496678
1608,84	0,0372	22,27076412
1613,745	0,037326316	22,33866279
1618,65	0,037473684	22,40656146
1628,46	0,037621053	22,5423588
1633,365	0,037768421	22,61025748
1638,27	0,037894737	22,67815615
1648,08	0,038042105	22,81395349
1652,985	0,038189474	22,88185216
1657,89	0,038315789	22,94975083
1667,7	0,038463158	23,08554817
1672,605	0,038589474	23,15344684
1677,51	0,038736842	23,22134551
1687,32	0,038884211	23,35714286
1697,13	0,039010526	23,4929402
1702,035	0,039157895	23,56083887
1706,94	0,039305263	23,62873754
1716,75	0,039431579	23,76453488
1721,655	0,039578947	23,83243355
1726,56	0,039726316	23,90033223
1736,37	0,039873684	24,03612957
1741,275	0,04	24,10402824
1746,18	0,040147368	24,17192691
1751,085	0,040273684	24,23982558
1760,895	0,040421053	24,37562292
1765,8	0,040568421	24,44352159
1775,61	0,040694737	24,57931894
1780,515	0,040842105	24,64721761
1790,325	0,040989474	24,78301495
1795,23	0,041115789	24,85091362
Fuerza N	Deformación Ɛ	Esfuerzo Mpa
1809,945	0,041410526	25,05460963
1814,85	0,041557895	25,12250831
1819,755	0,041684211	25,19040698
1829,565	0,041831579	25,32620432
1834,47	0,041978947	25,39410299
1844,28	0,042105263	25,52990033
1849,185	0,042252632	25,597799
1858,995	0,0424	25,73359635
1868,805	0,042526316	25,86939369
1873,71	0,042673684	25,93729236
1878,615	0,0428	26,00519103
1883,52	0,042947368	26,0730897
1893,33	0,043094737	26,20888704
1898,235	0,043221053	26,27678571
1908,045	0,043368421	26,41258306
1912,95	0,043515789	26,48048173
1917,855	0,043642105	26,5483804
1927,665	0,043789474	26,68417774
1932,57	0,043936842	26,75207641
1937,475	0,044063158	26,81997508
1947,285	0,044210526	26,95577243
1952,19	0,044357895	27,0236711
1957,095	0,044484211	27,09156977
1966,905	0,044631579	27,22736711
1971,81	0,044778947	27,29526578
1976,715	0,044905263	27,36316445
1986,525	0,045052632	27,49896179
1991,43	0,0452	27,56686047
2001,24	0,045326316	27,70265781
2006,145	0,045473684	27,77055648
2015,955	0,045621053	27,90635382
2020,86	0,045768421	27,97425249
2025,765	0,045894737	28,04215116
2030,67	0,046042105	28,11004983
2040,48	0,046189474	28,24584718
2045,385	0,046315789	28,31374585
2050,29	0,046463158	28,38164452
2060,1	0,046610526	28,51744186
2065,005	0,046736842	28,58534053
2074,815	0,046884211	28,72113787
Fuerza N	Deformación Ɛ	Esfuerzo Mpa
2089,53	0,047157895	28,92483389
2094,435	0,047305263	28,99273256
2099,34	0,047431579	29,06063123
2104,245	0,047578947	29,1285299
2114,055	0,047726316	29,26432724
2118,96	0,047852632	29,33222591
2128,77	0,048	29,46802326
2133,675	0,048147368	29,53592193
2143,485	0,048294737	29,67171927

2148,39	0,048421053	29,73961794
2153,295	0,048568421	29,80751661
2163,105	0,048715789	29,94331395
2168,01	0,048842105	30,01121262
2177,82	0,048989474	30,14700997
2182,725	0,049136842	30,21490864
2187,63	0,049263158	30,28280731
2197,44	0,049410526	30,41860465
2202,345	0,049557895	30,48650332
2207,25	0,049684211	30,55440199
2217,06	0,049831579	30,69019934
2221,965	0,049978947	30,75809801
2231,775	0,050105263	30,89389535
2236,68	0,050252632	30,96179402
2241,585	0,0504	31,02969269
2251,395	0,050526316	31,16549003
2256,3	0,050673684	31,2333887
2266,11	0,050821053	31,36918605
2271,015	0,050947368	31,43708472
2280,825	0,051094737	31,57288206
2285,73	0,051221053	31,64078073
2290,635	0,051368421	31,7086794
2300,445	0,051515789	31,84447674
2305,35	0,051642105	31,91237542
2315,16	0,051789474	32,04817276
2320,065	0,051936842	32,11607143
2329,875	0,052063158	32,25186877
2339,685	0,052210526	32,38766611
2344,59	0,052357895	32,45556478
2349,495	0,052589474	32,52346346