

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**TEMA:** “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA MECÁNICA POR FLEXIÓN EN MATERIALES POLIMÉRICOS COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE ABACÁ PARA DETERMINAR LA RELACIÓN ESFUERZO-NÚMERO DE CICLOS”

---

Trabajo estructurado de manera independiente previa a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

**Autor:** José Luis Chisaguano Adame

**Tutor:** Ing. Jorge Guamanquispe Toasa, Mg.

Ambato-Ecuador

2015

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, con CI: 180203948-5, en mi calidad de Tutor del trabajo de investigación bajo el tema: “Estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster con fibra de abacá para determinar la relación esfuerzo-número de ciclos” realizado por el Sr. José Luis Chisaguano Adame, Egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica, tengo a bien informar lo siguiente: El trabajo de investigación en mención está ajustado en su estructura tanto en el problema, marco teórico, metodología, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones y la propuesta del trabajo de investigación, el mismo que es APROBADO para el trámite correspondiente.

Ambato, 20 de mayo del 2014

**EL TUTOR**

.....  
Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

## **AUTORÍA**

Yo, José Luis Chisaguano Adame, portador de cédula de ciudadanía N°1803972312, tengo a bien indicar que el trabajo de investigación con el tema: “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA MECÁNICA POR FLEXIÓN EN MATERIALES POLIMÉRICOS COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE ABACÁ PARA DETERMINAR LA RELACIÓN ESFUERZO-NÚMERO DE CICLOS”, así como los conceptos, ideas y resultados son de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de este trabajo investigativo.

Ambato, 20 de mayo del 2014

**EI AUTOR**

.....

**José Luis Chisaguano Adame**

## **DEDICATORIA**

*A Dios por brindarme la vida, cuidándome y dándome fortaleza para continuar en mi diario vivir, a mis padres, por haberme brindado todas las oportunidades y por quienes seguiré construyendo un futuro lleno de metas.*

## AGRADECIMIENTO

*Un agradecimiento muy especial a mi mamá, nunca dejó de ayudarme, hasta en la cosa más mínima estuvo preocupada por mi carrera y que la pudiera culminar con éxito.*

*A mi papá por haberme brindado sus dotes de maestro, quien con su entrega ejemplar y sacrificio me ha ofrecido su apoyo incondicional para seguir mis objetivos.*

*A mis hermanas, que de una u otra manera son las personas que me impulsaron a culminar mi carrera profesional.*

*A mis profesores y compañeros de aulas con quienes hemos compartido muchas experiencias. Agradezco a los dueños de talleres quienes me han brindado su apoyo para poder culminar mis estudios.*

## ÍNDICE

### PÁGINAS PRELIMINARES

Página de Portada.....	i
Página de aprobación del tutor.....	ii
Página de autoría.....	iii
Página de agradecimiento .....	v
Índice de contenidos.....	vi
Ejecutivo .....	xvii

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>El problema .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tema:.....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico .....	3
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del problema .....	4
1.2.5 Preguntas Directrices .....	4
1.2.6 Delimitación del problema.....	5
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos de la investigación .....	6
1.4.1 Objetivo general .....	6

1.4.2	Objetivos Específicos.....	6
<b>CAPÍTULO II</b>	.....	<b>8</b>
<b>Marco teórico</b>	.....	<b>8</b>
2.1	Antecedentes investigativos .....	8
2.2	Fundamentación filosófica .....	9
2.3	Fundamentación legal.....	9
2.4	Fundamentación teórica .....	10
2.4.1	Ingeniería de los materiales.....	10
2.4.2	Materiales compuestos .....	12
2.4.3	Estudio por fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos	31
2.4.4	Deflexión.....	37
2.4.5	Diseño mecánico .....	39
2.4.6	Resistencia de los materiales.....	39
2.4.7	Determinación de la relación esfuerzo número de ciclos.....	46
2.5	Categorías fundamentales.....	48
2.6	Hipótesis .....	49
2.7	Señalamiento de variables de la hipótesis .....	49
2.7.1	Variable independiente.....	49
2.7.2	Variable dependiente.....	49
<b>CAPÍTULO III</b>	.....	<b>50</b>
<b>Metodología</b>	.....	<b>50</b>

3.1	Enfoque .....	50
3.1.1	Enfoque cuali-cuantitativo .....	50
3.2	Modalidad básica de la investigación.....	50
3.2.1	Investigación de campo.....	50
3.2.2	Investigación bibliográfica.....	51
3.2.3	Investigación experimental .....	51
3.2.4	Investigación experimental o de laboratorio .....	51
3.3	Nivel o tipo de investigación.....	51
3.4	Población y muestra .....	52
3.5	Operacionalización de variables.....	54
3.6	Plan de recolección de la información .....	56
3.7	Plan de procesamientos y análisis .....	56
3.7.1	Plan de procesamiento.....	56
3.8	Plan de análisis e interpretación de resultados .....	56
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>57</b>
<b>Análisis e interpretación de resultados .....</b>		<b>57</b>
4.1	Determinación de parámetros de investigación.....	57
4.1.1	Demostración de la frecuencia de aplicación de esfuerzos.....	57
4.2	Elaboración de las probetas .....	59
4.2.1	Metodología experimental .....	59
4.2.2	Objetivos .....	59
4.2.3	Materiales para realizar las probetas .....	59



4.2.4	Procedimiento .....	60
4.2.5	Parámetros de las probetas .....	63
4.2.6	Calculo del módulo de elasticidad del compuesto resina poliéster fibra de abacá .....	64
4.2.7	Determinacion de las propiedades físicas .....	67
4.2.8	Determinación de su composición resina poliéster-fibra de abacá.....	71
4.2.9	Resultados experimentales de la deflexión .....	72
4.2.10	Relación de esfuerzos.....	73
4.2.11	Análisis de deflexión.....	74
4.3	Registro de datos de la deflexión .....	75
4.3.1	Análisis estadístico de los ensayos matriz poliéster con fibra larga de abacá.....	75
4.4	Comprobación de la hipótesis .....	84
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>89</b>
<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>		<b>89</b>
5.1	Conclusiones .....	89
5.2	Recomendaciones .....	92
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>93</b>
<b>Propuesta .....</b>		<b>93</b>
6.1	Datos informativos .....	93
6.2	Antecedentes a la propuesta .....	94

6.3	Justificación.....	94
6.4	Objetivos .....	95
6.4.1	Objetivos específicos .....	95
6.5	Análisis de factibilidad.....	95
6.6	Fundamentación .....	96
6.6.1	Molde .....	96
6.6.2	Fracción volumétrica.....	96
6.6.3	Parámetros para la construcción de una escalera de ascenso de buses.....	96
6.6.4	Propiedades para el análisis de la escalera.....	97
6.6.5	Modelado .....	97
6.6.6	Análisis.....	98
6.7	Metodología, modelo operativo .....	101
6.7.1	Construcción del molde.....	101
6.7.2	Construcción de la grada con matriz poliéster con fibra de abacá	104
6.8	Administración .....	108
6.8.1	Costos directos .....	108
6.8.2	Costos indirectos .....	109
6.8.3	Costos totales .....	110
6.9	Previsión de la evaluación.....	110
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>111</b>

<b>ANEXOS</b> .....	113
---------------------	-----

## **TABLAS**

Tabla 2-1 Características a temperatura ambiente de algunos polímeros más comunes.....	28
Tabla 2-2 Análisis de tiempo y costo .....	45
Tabla 4-1 Determinación de la frecuencia aplicada en diferentes probetas. ....	57
Tabla 4-2 Datos estadísticos para revoluciones.....	58
Tabla 4-3 Datos estadísticos para la frecuencia. ....	58
Tabla 4-4 Determinación de la densidad resina poliéster .....	61
Tabla 4-5 Determinación de la densidad de fibra de abacá.....	62
Tabla 4-6 Comparación entre diferentes propiedades de las fibras vegetales y fibra de vidrio.....	65
Tabla 4-7 Determinación del módulo de elasticidad.....	66
Tabla 4-8 Pesos de las probetas.....	69
Tabla 4-9 Espesor de probetas.....	70
Tabla 4-10 Densidad de las probetas.....	70
Tabla 4-11 Determinación del número de ciclos de los compuestos matriz poliéster-fibra de abacá.....	72
Tabla 4-12 Esfuerzo y Número de Ciclos para Matriz Poliéster con Fibra larga de Abacá.....	76
Tabla 4-13 Relación Esfuerzo-Número de ciclos para Matriz Poliéster con fibra larga de abacá.....	77
Tabla 4-14 Regresión lineal para Matriz Poliéster con fibra larga de abacá. ....	83
Tabla 4-15 Valores estadísticos. ....	87

Tabla 6-1 Resultados de ensayos de tracción realizados bajo la norma ASTM D3039 .....	97
Tabla 6-2 Costos directos.....	109
Tabla 6-3 Costos indirectos.....	109
Tabla 6-4 Costos Totales.....	110

## FIGURAS

Figura 2-1 La evolución de la ingeniería de los materiales con el tiempo. ....	11
Figura 2-2 Módulo elástico y resistencia mecánica de distintos materiales, en relación a su densidad. ....	13
Figura 2-3 Representación de las características geométricas de los materiales compuestos.....	14
Figura 2-4 Representación esquemática de compuestos con fibras.....	15
Figura 2-5 Fabricación de un domo por estratificación manual. ....	21
Figura 2-6 Diseño de un tipo de tejido.....	22
Figura 2-7 Planta de abacá.....	23
Figura 2-8 Fibra procesada de abacá.....	24
Figura 2-9 Forma de la fibra .....	25
Figura 2-10 Comportamiento esfuerzo deformación de polímeros .....	27
Figura 2-11 Distribución de las unidades de un copolímero. ....	27
Figura 2-12 Proceso de curado de la resina.....	30
Figura 2-13 Símbolos utilizados en el análisis a fatiga.....	34
Figura 2-14 Fibra neutra de viga flexionada.....	35
Figura 2-15 Viga en cantiléver.....	36
Figura 2-16 Probeta de ensayos Tipo B para ensayos a fatiga de polímeros.....	41
Figura 2-17 Sección de Rotura de la probeta.....	42

Figura 2-18 Maquina para ensayos de flexión plana modelo BSS 40 .....	43
Figura 2-19 Máquina de ensayo de fatiga tipo probeta de more. ....	43
Figura 2-20 Maquina de ensayos de fatiga tipo viga en voladizo.....	44
Figura 2-21 Configuración experimental. ....	46
Figura 2-22 Curva S N.....	47
Figura 2-23 Categorías Fundamentales .....	48
Figura 4-1 Determinación de la densidad de fibra de abacá.....	61
Figura 4-2 Determinación de la densidad de fibra de abacá.....	62
Figura 4-3 Probeta Tipo B .....	64
Figura 4-4 Molde de Probetas de (290mm x 230mm).....	67
Figura 4-5 Corte por láser de las probetas en un molde de (290mm x 230mm)....	68
Figura 4-6 Deformación de la probeta .....	74
Figura 4-7 Relación Esfuerzo vs Número de ciclos .....	78
Figura 4-8 Relación Esfuerzo vs Log Número de ciclos .....	79
Figura 4-9 Relación Log de Esfuerzo vs Log Número de ciclos.....	79
Figura 4-10 Relación Log de Esfuerzo vs Número de ciclos.....	80
Figura 4-11 Relación Esfuerzo corregido vs Log Número de ciclos .....	84
Figura 4-12 Curva de probabilidad .....	88
Figura 5-1 Matriz fibra larga (área de rotura).....	90
Figura 5-2 Hilado de fibra de abacá.....	91
Figura 5-3 Encerado del molde.....	91
Figura 6-1 Diseño de un elemento de carrocería formado por una serie de escalones.....	98
Figura 6-2 Sujeciones aplicadas.....	98
Figura 6-3 Carga aplicadas .....	99

Figura 6-4 Deformación del análisis estático.....	99
Figura 6-5 Análisis de von Mises .....	100
Figura 6-6 Análisis del factor de seguridad.....	100
Figura 6-7 Trazado de escalones. ....	101
Figura 6-8 Trazado de los escalones. ....	101
Figura 6-9 Doblado del Tol.....	102
Figura 6-10 Apuntar sus partes laterales. ....	102
Figura 6-11 Pulido de las juntas.....	103
Figura 6-12 Grada matriz de tol.....	103
Figura 6-13 Limpieza de la matriz. ....	104
Figura 6-14 Encerado de la matriz con líquido desmoldante. ....	104
Figura 6-15 Colocar cinta masquin.....	105
Figura 6-16 Abrillantado de la matriz. ....	105
Figura 6-17 Encerado de la matriz. ....	106
Figura 6-18 Preparación de resina con Peróxido de Mek.....	106
Figura 6-19 Aplicación de la primera mano con gelcoat.....	107
Figura 6-20 Ubicación de la fibra de abacá en el molde.....	107
Figura 6-21 Matriz poliéster – Fibra de abacá.....	108

## SIMBOLOGÍA YA ABREVIATURA

$R$	Relación de estrés
$\sigma_{min}$	Tensión mínima
$\sigma_{max}$	Tensión máxima
$f$	Frecuencia
$S$	Tensión
$N$	Número de ciclos
$L$	Longitud total
$x$	Distancia
$b$	Base
$h$	Altura
$P$	Fuerza
$M$	Momento flector
$E$	Módulo de Young del material
$I$	Momento de Inercia
$\rho$	Densidad
$\delta_y$	Deflexión máxima
$l_c$	Longitud crítica
$\sigma_f$	Resistencia a la tracción
$d$	Diámetro de la fibra
$\tau_c$	Resistencia a la cizalladura de la matriz
$F_c$	Carga total soportada por el compuesto
$F_m$	Fase de fibra
$F_f$	Fase de la resina
$E_m$	Módulo de elasticidad de la resina
$E_f$	Módulo de elasticidad de la fibra
$V_m$	Volumen de la resina en porcentaje
$V_f$	Volumen de la fibra en porcentaje

$\sigma_x$	Esfuerzo máximo
$Y$	Deflexión
$E$	Módulo de elasticidad
$l_c$	Longitud crítica
$d$	Diámetro de la fibra
$F_c$	Cargas soportadas.
$TS$	Resistencia a la tracción
$S_{obs}$	Esfuerzos observados
$S_{esp}$	Esfuerzos esperados



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA MECÁNICA POR FLEXIÓN EN MATERIALES POLIMÉRICOS COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE ABACÁ PARA DETERMINAR LA RELACIÓN ESFUERZO-NÚMERO DE CICLOS**

**Autor:** José Luis Chisaguano Adame

**Tutor:** Ing. Jorge Guamanquispe Toasa, Mg.

**Fecha:** Ambato, Diciembre del 2014

### **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente estudio de investigación se basa en realizar un cierto número de probetas estandarizadas con una frecuencia de 30 Hz, sobre los cuales se generaron fracturas dependiendo del esfuerzo aplicado, se determinó el número de ciclos hasta la falla para el análisis de fatiga mecánica por flexión en la composición de resina poliéster con fibra de abacá en el que nos permita, encontrar un número de ciclos que nos indique el porcentaje óptimo de matriz para establecer la construcción de elementos dentro de la industria. Debido al estudio fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster con fibra de abacá se determinaron la relación esfuerzo-número de ciclos, se realizaron ensayos bajo algunos parámetros de la NORMA ASTM D-671, por lo que fueron realizadas las probetas en su porcentaje de volumen y su estructuración obteniendo así el espécimen con mejores propiedades mecánicas en su deflexión.

Finalmente se analizó un caso práctico utilizando los métodos descriptores: resina poliéster, fibra de abacá, matriz, esfuerzo-número de ciclos, elementos finitos.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 TEMA:**

“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA MECÁNICA POR FLEXIÓN EN MATERIALES POLIMÉRICOS COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE ABACÁ PARA DETERMINAR LA RELACIÓN ESFUERZO-NÚMERO DE CICLOS”

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

Hoy en día el uso de las fibras naturales toman una gran importancia a nivel mundial especialmente por las ventajas que éstas presentan para el medio ambiente, ya que constituyen un recurso natural y renovable, además de poseer baja densidad, alta rigidez y capacidad de biodegradación. En la actualidad se producen aproximadamente 30 millones de toneladas de fibras naturales alrededor del mundo. Las fibras naturales son un elemento importante dentro de la tapicería y otros textiles de consumo. Muchas de ellas también tienen aplicaciones industriales y recientemente están siendo utilizadas en el campo de materiales compuestos para interiores de automóviles.

Este tipo de materiales tendría como beneficio adicional la reducción del consumo de plásticos, consecuentemente disminuiría el uso de derivados del petróleo, a la vez que las fibras naturales constituyen una materia prima de bajo costo y de fácil obtención.

Una de las fibras naturales que muestra un futuro promisorio es la fibra de abacá, denominada también «cáñamo de Manila» o «Manila Hemp», de acuerdo a estudios realizados por la FAO “el abacá promete sustituir a la fibra de vidrio, economizando energía”.

El abacá es originario de Filipinas, donde ha sido cultivado desde el siglo XVI, fue introducido en América Central y Sudamérica, de manera principal en Ecuador. Sin embargo, Filipinas aún es el mayor productor mundial de abacá, con aproximadamente el 80% de la producción, mientras que Ecuador ocupa el segundo puesto, con el 17%. En el año 2007 se obtuvieron en Filipinas 60000 toneladas de fibra de abacá, mientras que en Ecuador 10000 toneladas. La zona ecuatoriana de cultivo de abacá está ubicada dentro de un polígono, cuyos vértices más notables son: Quinindé, Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo y La Maná.

Una de las aplicaciones tradicionales de la fibra de abacá ha sido en cordelería, especialmente en la fabricación de sogas para buques. Actualmente, casi todo el abacá se despoja de su pulpa y se transforma en bolsas para té, envolturas para embutidos, papel moneda, papel para cigarrillos y papel de escritorio de alta calidad. No obstante, el uso de la fibra de abacá como material de refuerzo en el campo de los materiales compuestos ha despertado un gran interés especialmente en el sector automotriz.

Frente a la trascendencia de las potenciales aplicaciones de la fibra de abacá en la producción de nuevos materiales, este trabajo pretende obtener materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con esta fibra natural, mediante el proceso de estratificación manual para determinar la formulación de material que exhiba las mejores propiedades mecánicas, con miras a utilizar estos resultados como una guía en trabajos posteriores destinados a la elaboración de productos prototipo a ser empleados en aplicaciones estructurales e industriales.

### **1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO**

Actualmente se está usando el abacá para aplicaciones ‘blandas’ en la industria automotriz, como material de relleno para cojines y asientos. Pero, dada su gran resistencia mecánica extremadamente elevada de la fibra, así como a su longitud, la aplicación del abacá incluso en componentes muy expuestos que ofrece un gran potencial, también puede usarse para aplicaciones ‘más duras’, para componentes exteriores, como sustituto de la fibra de vidrio en componentes de plástico reforzados.

La sustitución de las fibras de vidrio con fibras naturales puede reducir el peso de las partes del automóvil y facilita una producción más respetuosa del medio ambiente. Tecnológicamente es viable la realización de este estudio ya que nuestro país nos proporciona de la materia prima (abacá) y la maquinaria necesaria para obtener las configuraciones requeridas, algunos ensayos se los podrá hacer en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

### **1.2.3 PROGNOSIS**

Hoy en día se pretende establecer nuevos materiales poliméricos, los cuales sean menos tóxicos y nos brinden propiedades mecánicas altamente resistentes de acuerdo a su estructuración, los mismos que nos permitan reemplazar piezas metálicas las que pueden ser utilizadas en el ámbito artesanal y carroceros.

Por otro lado, Ecuador posee grupos étnicos que datan de cientos e incluso miles de años y que han desarrollado todas sus actividades en una íntima y armoniosa relación con la naturaleza.

Esta estrecha relación ha propiciado que el ser humano utilice de forma intensa todos los productos que la naturaleza le proporciona, principalmente provenientes de las plantas (esto constituye una adaptación al medio); pero a su vez, también,

ha creado y desarrollado aplicaciones totalmente nuevas mediante la manipulación de los recursos con lo que ha logrado independencia relativa al medio. Así, descubre y aprovecha las fibras, los principales químicos, la madera, los frutos.

#### **1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Se podrá realizar el estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster con fibra de abacá para determinar la relación esfuerzo-número de ciclos?

#### **1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Se podrá obtener el material compuesto de matriz poliéster con fibra de abacá?

¿Se podrá aplicar las definiciones para relacionar el número de esfuerzos aplicados hasta la falla?

¿Las normas que se utilizan para ensayos de materiales poliméricos permitirán determinar las propiedades mecánicas del material compuesto a fatiga mecánica por flexión, con los que actualmente se elaboran elementos industriales?

¿Se podrá establecer, mediante un análisis estadístico, parámetros del comportamiento a fatiga mecánica por flexión de los polímeros para determinar la posible utilización?

¿Se podrá determinar la posible utilización en elementos mecánicos en la industria?

## **1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.6.1 Delimitación espacial**

La investigación necesaria para el estudio sobre el comportamiento a fatiga mecánica por flexión de matriz poliéster con fibra de abacá se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato ubicada en la ciudad de Ambato Campus Huachi Chico.

### **1.2.6.2 Delimitación temporal**

El presente estudio se realiza sobre el comportamiento a fatiga mecánica por flexión de materiales poliméricos compuestos con matriz poliéster y fibra de abacá se desarrollará en los meses de Marzo del 2014 a Noviembre del 2014.

### **1.2.6.3 Delimitación de contenido**

El estudio de materiales poliméricos con fibra de abacá se centra en el estudio a fatiga mecánica por flexión en el área de Diseño de Materiales.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad en la industria automotriz genera grandes volúmenes de residuos sólidos, en particular al final de la vida útil del vehículo. De manera que se sustituyan por elementos conformados de fibras naturales para disminuir la contaminación ambiental es una de las formas en que la industria está tratando de reducir su impacto, así como la adición de nuevas funcionalidades que le dan un valor añadido a los nuevos productos.

El proyecto BIOFIBROCAR tiene como objetivo la fabricación de sustratos textiles (tejidos o no tejidos) para el interior de vehículos, desarrollando para ello fibras sintéticas basadas en recursos renovables a partir de derivados de ácido poliláctico como sustituto de las fibras de poliéster utilizadas actualmente. Estas

biofibras deben cumplir los mismos requisitos que las fibras que se utilizan en la actualidad, incluyendo la resistencia térmica.

Un aspecto importante son las propiedades de la fibra de abacá ya que nos permitirá realizar una investigación, de modo que este tipo de materiales compuestos han entrado a nuestro medio ingenieril con una serie de aplicaciones como por ejemplo en la industria del automóvil, en la fabricación de pequeños barcos, como material base de conducciones y contenedores de fluidos, en los objetos deportivos, en la rehabilitación de edificios.

Otro aspecto importante es que los estudios se realizaron en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica ya que proveemos de bancos de pruebas.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Realizar el estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster con fibra de abacá para determinar la relación esfuerzo-número de ciclos.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener el material compuesto de matriz poliéster con fibra de abacá a partir de su estructuración.
- Relacionar el número de esfuerzos aplicados hasta la falla en las cargas aplicadas.
- Determinar el comportamiento a fatiga mecánica por flexión del material compuesto a partir de las normas ASTM D 671 y ASTM D 790.

- Establecer, mediante un análisis estadístico, parámetros del comportamiento a fatiga mecánica por flexión de los polímeros.
- Determinar la posible utilización en elementos mecánicos dentro de la industria.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Estudios realizados anteriormente en instituciones de educación superior de los cuales se rescataron sus conclusiones y recomendaciones, las fibras naturales presentan buenas propiedades mecánicas al ser utilizadas dentro del campo de la ingeniería.

Los materiales compuestos están creciendo en gran proporción dentro de aplicaciones industriales, especialmente dentro del campo carroceros y la industria aeronáutica.

Georgopoulos et al. (2005) y El Sabagh (2014), determina sus ventajas dentro de la utilización de materiales renovables, biodegradables, reciclables, por su bajo costo, baja densidad y propiedades comparables a los refuerzos inorgánicos, además de ser de naturaleza menos abrasiva para los equipos de procesamiento que las cargas inorgánicas.

Wolcott y Englund (2005) y Nourbakhsh et al. (2014), explican que los materiales compuestos de fibras celulósicas y polímeros, combinan las propiedades de la madera y los polímeros, debido a que la adición de las fibras celulósicas a la matriz polimérica incrementa las propiedades mecánicas y la estabilidad térmica, cuando se compara con el plástico puro.

Los compuestos reforzados con fibras consisten de dos fases: la fibra y la matriz. En la mayor de los casos, fibras fuertes y rígidas pero frágiles son puestas en una matriz tenaz pero más dúctil, resultando en un material con excelente proporción de la resistencia-peso, rigidez y resistencia a la fatiga. El rol de la fibra es soportar

cargas relevantes de tracción en la dirección longitudinal. Las fibras comunes utilizadas para el reforzamiento incluyen carbono, vidrio, polimérico de alto desempeño, poliéster, acero, titanio y tungsteno.

El material matriz rodea a las fibras, las orienta para optimizar su desempeño colectivo, las protege de ataques ambientales y les transfiere la carga. El poliéster es el material matriz más común debido a su relativo bajo costo. Las resinas epóxicas se utilizan cuando hay que tomar en cuenta la contracción, y el costo es de menor importancia (Newell, 2011).

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

El presente estudio sobre materiales poliméricos compuestos con matriz poliéster y fibra de abacá se fundamenta en el paradigma crítico propositivo el cual conseguirá avances dentro de la Ingeniería de materiales renovar diferentes elementos en la industria, y propositivo por cuanto obtener un material en el que nos permita tener alternativas en el uso de nuevos materiales dentro de la industria y poder tener una mejor comercialización y usos en el país y no sólo ser exportadores de la materia prima.

## **2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

El presente estudio se realizó de acuerdo a la norma ASTM D 671 de viga en cantiléver, mediante la cual se realizó los ensayos de fatiga a flexión, típica para plásticos en voladizo de 2 a 8 mm de grosor. La matriz está sujeta a una serie de pruebas para poder establecer la relación de estrés  $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = -1$ , donde  $\sigma_{\min}$  y  $\sigma_{\max}$ , son el mínimo y el nivel máximos de tensión, respectivamente bajo carga cíclica amplitud de tensión controlada y a la frecuencia  $f = 30$  Hz.

## **2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.4.1 INGENIERÍA DE LOS MATERIALES**

Los arqueólogos no hacen referencia a una “Edad del Barro” o de la alfarería, la realidad es la presencia de vasijas para su uso doméstico hechas a partir de la arcilla cosida que ha proporcionado algunas de las mejores discreciones de las culturas humanas durante miles de años. De forma similar, se han descubierto objetos de vidrio que se remontan al año 4000 a.C. en Mesopotamia (Shackelford, 2010, p.2).

Algunas veces se denomina la cultura moderna en la segunda mitad del siglo XX como la del plástico, en una referencia, no totalmente de alabanza, a los materiales poliméricos, de poco peso y económicos, con los que se fabrican tantos productos (Shackelford, 2010, p.2).

En la figura 2.1 se ilustra un resumen visual de la importancia relativa de los materiales para ingeniería en el transcurso de la historia humana. Aunque la escala temporal no es lineal debido a su evolución en los últimos tiempos, puede comprobarse que el papel cada vez más dominante de las aleaciones metálicas alcanzó un máximo tras la Segunda Guerra Mundial. Desde la década de los 60, las presiones por el ahorro de costes y peso han llevado a una creciente demanda de nuevos y sofisticados materiales no metálicos. La importancia relativa en las edades de piedra y de bronce está basada en las hipótesis de los arqueólogos, la de la década de los 60 en la docencia en las Universidades señaladas de Estados Unidos e Inglaterra, y la de 2020 en predicciones de los fabricantes de automóviles (Shackelford, 2010, p.2).

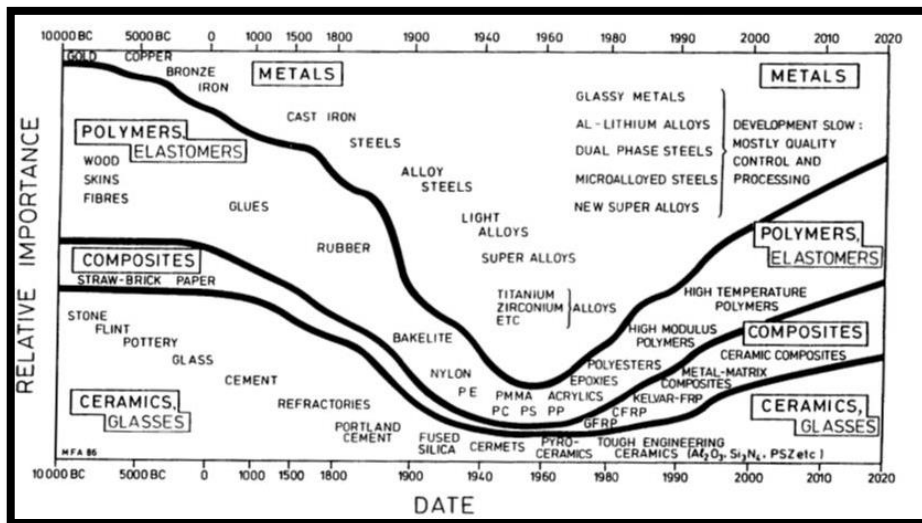


Figura 2-1 La evolución de la ingeniería de los materiales con el tiempo.

Fuente: Shackelford, 2010, p.3

Normalmente la estructura de un material se relaciona con la disposición de sus componentes internos. La estructura subatómica implica a los electrones dentro de los átomos individuales y a las interacciones con su núcleo. A nivel atómico, la estructura se refiere a la organización de átomos. El próximo gran dominio estructural, que contiene grandes grupos de átomos enlazados entre sí, se denominan “microscópico”. Finalmente, los elementos estructurales susceptibles de apreciarse a simple vista se denominan “macroscópicos” (Callister, 2009, p.3).

Muchos científicos técnicos o ingenieros, sean mecánicos, civiles, químicos o eléctricos, en alguna ocasión se encontrarán con un problema de diseño en el cual intervengan materiales. El engranaje de una transmisión, la superestructura de un edificio, el componente de una refinería de petróleo o el "chip" de un circuito integrado son algunos ejemplos. Por descontado, el ingeniero y el científico de materiales son especialistas totalmente involucrados en la investigación y en el diseño de materiales. A menudo el problema que se presenta es la elección del material más idóneo de entre los muchos miles de materiales disponibles. Existen varios criterios en los cuales se basa normalmente la decisión final. En primer

lugar, deben caracterizarse las condiciones en que el material prestará servicio, y se anotarán las propiedades requeridas por el material para dicho servicio. En raras ocasiones un material reúne una combinación ideal de propiedades, por lo que, muchas veces, habrá que reducir una en beneficio de otra. El ejemplo clásico lo constituyen la resistencia y la ductilidad; generalmente, un material con alta resistencia tiene ductilidad limitada. En estas circunstancias habrá que establecer un compromiso razonable entre dos o más propiedades. La segunda consideración se refiere a la degradación que el material experimenta en servicio. Por ejemplo, las elevadas temperaturas y los ambientes corrosivos disminuyen considerablemente la resistencia mecánica. Finalmente, la consideración más convincente es probablemente la económica (Callister, 2009, p.5).

#### **2.4.2 MATERIALES COMPUESTOS**

Los materiales compuestos están formados por una fase discontinua, también llamada refuerzo, ya que de ella dependen principalmente las propiedades mecánicas, y por una fase de continua o matriz, responsable de la resistencia térmica y ambiental del material, que engloba al refuerzo y hace del material una estructura monolítica (Shackelford, 2005, p.507).

La forma de refuerzo permite una primera clasificación: granulares, de fibra corta y de fibra larga o continua. Todos los materiales compuestos avanzados están reforzados con fibras continuas de altas características (Shackelford, 2005, p.507).

La matriz puede ser polimérica, cerámica o metálica, cada uno de los grupos se subdividen a su vez con materiales específicos, como matriz orgánica de epoxy o de poliéster, o matriz metálica de aluminio o de titanio. La elección del tipo de matriz está condicionada fundamentalmente por la temperatura de servicio. Matrices poliméricas hasta 200 °C, matrices metálicas hasta casi la temperatura de fusión de la aleación correspondiente, matrices cerámicas vítreas o policristalinas, para temperaturas extremas (Shackelford, 2005, p.507).

La fibra es elemento reforzante por excelencia. Las propiedades mecánicas de cualquier material son superiores cuando ese material se presenta en forma de fibra. La figura 2.2 ilustra la resistencia y rigidez específica de distintos materias y fibras (Shackelford, 2005, p.508).

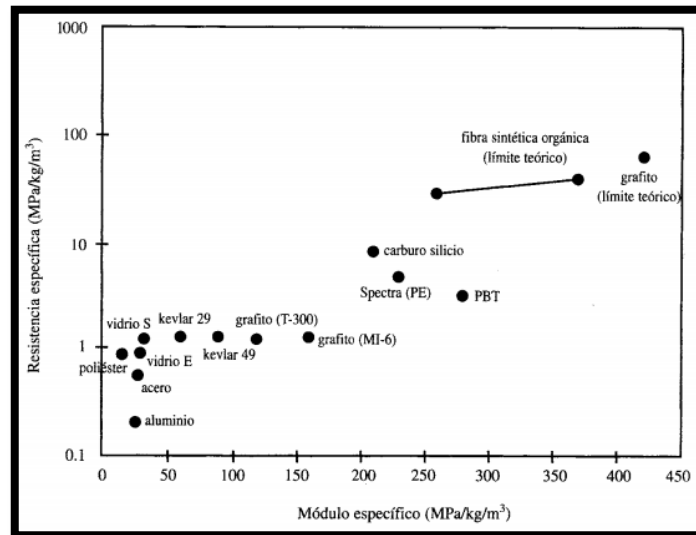


Figura 2-2 Módulo elástico y resistencia mecánica de distintos materiales, en relación a su densidad.

Fuente: Shackelford, 2005, p.508

La mayoría de los materiales compuestos han sido creados para mejorar las combinaciones de características mecánicas tales como rigidez, tenacidad y resistencia al medio ambiente y a las altas temperaturas.

Los materiales compuestos están formados por dos fases solamente: la matriz, que es continua y rodea a la otra fase, denominada la fase dispersa. Las propiedades de los materiales están en función de las propiedades de las fases constitutivas, de sus cantidades relativas y de la geometría de la fase dispersa.

En la figura 2.3 se represente esquemáticamente las diferentes características geométricas y espaciales de las partículas de fase dispersa que influyen en las

propiedades de los materiales compuestos: (a) concentración, (b) tamaño, (c) forma, (d) distribución, y (e) orientación.

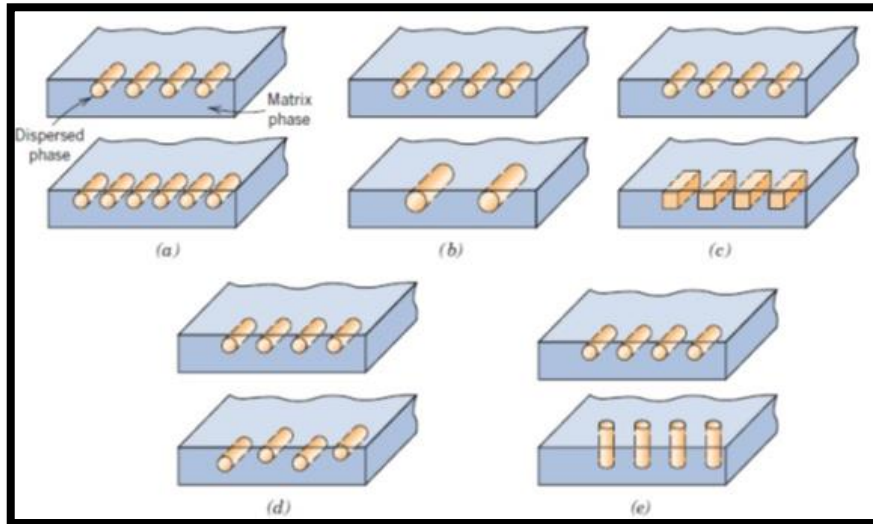


Figura 2-3 Representación de las características geométricas de los materiales compuestos.

Fuente: Callister, 2009, p.579.

### 2.4.2.1 Longitud de la fibra

Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras dependen no sólo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a 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 las fases matrices y 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; en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz (Callister, 2009, p.585).

Existe una longitud de fibra crítica para aumentar la resistencia y la rigidez del material compuesto. Esta longitud crítica  $l_c$  depende del diámetro  $d$  de la fibra, y de su resistencia a la tracción  $\sigma_f$ , así como la resistencia de la unión de la matriz-fibra (o resistencia a la cizalladura de la matriz)  $\tau_c$  (Callister, 2009, p585).

$$l_c = \frac{\sigma_f d}{2 \tau_c}$$

Ecuación 2-1

En varias combinaciones de matriz-fibra de vidrio y de carbono, esta longitud crítica es del orden de 1mm, equivalente a unas 20 a 150 veces el diámetro de la fibra (Callister, 2009, p.585).

La respuesta mecánica de este tipo de materiales compuestos depende de varios factores, como el comportamiento esfuerzo-deformación de las fases de fibra y de matriz, las fracciones de volumen de las fases y, además, la dirección en que se aplica el esfuerzo o la carga. Además, las propiedades de un material compuesto sus fibras alineadas son altamente anisotrópicas, es decir, dependen de la dirección en que se miden. Consideremos primero el comportamiento en aquella situación en la cual el esfuerzo es aplicado a lo largo de la dirección de alineamiento, la dirección longitudinal, cuya dirección se indica en la figura (2.4) (Callister, 2009, p.586).

Representación esquemática de compuestos reforzados con fibras (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineadas, y (c) discontinuas y alineadas al azar.

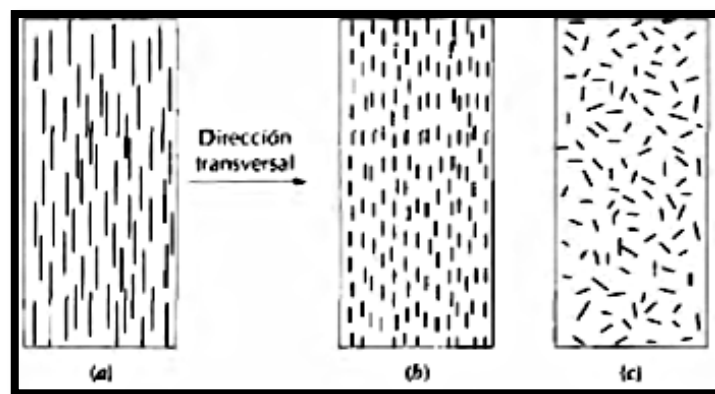


Figura 2-4 Representación esquemática de compuestos con fibras

Fuente: Callister, 2009, p.587



### 2.4.2.2 Fibras continuas y alineadas

Las cargas longitudinales de las propiedades de un compuesto con fibras alineadas tienen carácter altamente anisotrópico, esto depende de la dirección en que se miden.

Según Callister (2009) considera la deformación de este tipo de compuestos originada por un esfuerzo aplicado a lo largo de la dirección de alineamiento, la dirección longitudinal Figura: 2.4a, y suponer que la unión matriz-fibra es muy fuerte, de modo que la deformación de la matriz y de la fibra es la misma (situación de isodeformación). En estas condiciones, la carga total soportada por el compuesto  $F_c$  es igual a las cargas soportadas por la fase matriz  $F_m$  y por la fase fibra  $F_f$ .

$$F_c = F_m + F_f \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Teniendo en cuenta la definición de esfuerzo,  $F = \sigma A$ , es posible obtener las expresiones de  $F_c$ ,  $F_m$  y  $F_f$  en función de sus respectivos esfuerzos ( $\sigma_c$ ,  $\sigma_m$  y  $\sigma_f$ ) y de sus respectivas áreas ( $A_c$ ,  $A_m$  y  $A_f$ ). Aplicando estas expresiones en la ecuación: 2.2 tenemos.

$$\sigma_c A_c = \sigma_m A_m + \sigma_f A_f \quad \text{Ecuación 2-3}$$

En donde:

$F_c$  = Fuerza del compuesto

$F_m$  = Fuerza de la matriz

$F_f$  = Fuerza de la fibra

$\sigma_c$  = Esfuerzo del compuesto

$\sigma_m$  = Esfuerzo de la matriz

$\sigma_f$  = Esfuerzo de la fibra

$A_c$  = Área del compuesto

$A_m$  = Área de la matriz

$A_f$  = Área de la fibra

Dividiendo todos los términos por el área de la sección del compuesto  $A_c$ :

$$\sigma_c A_c = \sigma_m \frac{A_m}{A_c} + \sigma_f \frac{A_f}{A_c} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Donde  $A_m/A_c$  y  $A_f/A_c$  son las fracciones de área de la matriz y de la fibra, este activamente. Si las longitudes del compuesto, de la matriz y de las fibras son iguales,  $A_m/A_c$  es equivalente a la fracción de volumen de la matriz,  $V_m$  y  $A_f/A_c$  es equivalente a la fracción de volumen de las fibras,  $V_f$  la ecuación: 2.4 convierte en:

$$\sigma_c = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f \quad \text{Ecuación 2-5}$$

En un estado de isodeformación se cumple:

$$\epsilon_c = \epsilon_m = \epsilon_f \quad \text{Ecuación 2-6}$$

y si cada término de la ecuación 2.6 se divide por su respectiva deformación

$$\frac{\sigma_c}{\epsilon_c} = \frac{\sigma_m}{\epsilon_c} V_m + \frac{\sigma_f}{\epsilon_c} V_f \quad \text{Ecuación 2-7}$$

Además, si las deformaciones del compuesto, de la matriz y de la fibra son todas elásticas, se cumple  $\frac{\sigma_c}{\epsilon_c} = E_c \frac{\sigma_m}{\epsilon_m} = E_m$ , y  $\frac{\sigma_f}{\epsilon_f}$  siendo las E los módulos de elasticidad de las respectivas fases. Sustituyendo en la ecuación 2.7, resulta ya que el compuesto sólo consta de matriz y de fibras; esto es,  $V_m + V_f = 1$ .

$$E_c = E_m V_m + E_f V_f \quad \text{Ecuación 2-8}$$

$$E_c = E_m(1 - V_f) + E_f V_f$$

Así, el módulo de elasticidad de un material compuesto reforzado con fibras continuas y alineadas en la dirección de alineamiento es igual a las fracciones de volumen multiplicadas por los módulos de elasticidad de ambas fases. Algunas otras propiedades, como la resistencia a la tracción, también dependen de las fracciones de volumen.

### 2.4.2.3 Resistencia longitudinal a la tracción

La rotura de este tipo de material compuesto, es un proceso relativamente complejo, y son posibles varios modos diferentes de rotura. El modo que opera para un material compuesto específico depende de las propiedades de la fibra, de la matriz, de la naturaleza y la resistencia de la unión interracial matriz fibra. En este caso, es posible adaptar la expresión del esfuerzo para este tipo de material compuesto para obtener la siguiente expresión de la resistencia longitudinal del material compuesto (Callister, 2009, p.592).

$$\sigma_{Cl} = \sigma_m(1 - V_f) + \sigma_f V_f \quad \text{Ecuación 2-9}$$

Dónde:

$\sigma_{Cl}$  = Resistencia longitudinal del compuesto

$\sigma_m$  = Esfuerzo de la matriz a la rotura de la fibra

$\sigma_f$  = Resistencia a la tracción de la fibra

#### **2.4.2.4 Materiales compuestos de fibra discontinuas y alineadas**

Aunque la eficiencia del refuerzo con fibras discontinuas, es menor que la obtenida con fibras continuas, los materiales compuestos de fibra alineada y discontinua fig: 2.4b cada vez adquieren más importancia en el mercado. Las fibras de vidrio troceadas se usan muy ampliamente; sin embargo, también se emplean las fibras discontinuas de carbono y de aramida. Estos compuestos con fibras cortas pueden producirse con módulos de elasticidad y resistencias a la tracción que se aproximan a 90% y 50%, respectivamente, de sus equivalentes fabricados con fibras continuas (Callister, 2009, p.592).

#### **2.4.2.5 Materiales compuestos de fibra discontinuas y orientadas al azar**

Normalmente, cuando la orientación de la fibra es al azar, se usan fibras cortas y discontinuas; el refuerzo de este tipo se muestra esquemáticamente en la fig: 2.4c. En estas circunstancias, se puede utilizar la expresión de la “regla de las mezclas” para el módulo elástico.

La velocidad de producción de la orientación y de la longitud de la fibra para un material compuesto específico, dependen del nivel y de la naturaleza del refuerzo aplicado, así como del costo de fabricación. Las velocidades de producción de materiales compuestos de fibras cortas (tanto alineadas como orientadas al azar) son rápidas, y se pueden realizar piezas de formas intrincadas que no son posibles con el esfuerzo de fibras continuas. Además, los costos de fabricación son considerablemente más bajos (Callister, 2009, p.595).

#### **2.4.2.6 Proceso de fabricación**

La fabricación de materiales compuestos tiene una gran importancia, porque permite satisfacer los requerimientos de un producto para una aplicación determinada.

La selección depende de ciertos parámetros, tales como: el tipo de matriz, el tipo de geometría del refuerzo, aplicaciones del producto terminado, entre otros. También es necesario conocer las condiciones del proceso, así como las ventajas y limitaciones de cada técnica de procesamiento (Guerrero, 2011, pp.101, 102).

#### **Estratificación manual**

La estratificación manual, también llamada hand lay-up es la técnica más simple y antigua para la obtención de materiales de matriz termoestable. Las resinas termoestables permiten un fácil procesamiento y una buena impregnación de refuerzos en forma de fibra, dado que se encuentra en estado de líquido a temperatura ambiente. Las matrices más comunes son: poliéster resina epóxicas y fenólicas (Guerrero, 2011, p.102).

Las etapas del proceso de estratificación manual se muestran a continuación:

- a. En primer lugar se adiciona al molde un agente de desmoldeo para poder retirar con facilidad la pieza final.
- b. Posteriormente el gelcoat es aplicado con una pistola de aspersión o de forma manual con el empleo de un rodillo.
- c. Cuando el gelcoat ha curado parcialmente, se colocan capas del material de refuerzo y se deposita la resina catalizada sobre cada capa de refuerzo. Se pasa un rodillo para permitir que el refuerzo se impregne del polímero y con el objetivo de eliminar el aire en el laminado.



Figura 2-5 Fabricación de un domo por estratificación manual.

Fuente: Guerrero, 2011, p.102

#### **2.4.2.7 Elaboración de tejidos**

Dado que el abacá está constituido básicamente de celulosa, se han sugerido tratamientos similares a los aplicados a lino y algodón para lograr su ablandamiento. Con este fin se estudiaron procesos de descruce y blanqueo, los cuales aunque son diferentes entre sí en su aplicación y finalidades, deben tratarse en conjunto ya que las características finales de la fibra dependen de su proceso global.

Si se considera además que en nuestro país se encuentran disponibles diferentes tipos de fibras y tejidos elaborados con fibra de abacá, los cuales son utilizados principalmente en aplicaciones artesanales y podrían usarse en la elaboración de materiales compuestos.

Los materiales fibrosos constituyen la mejor alternativa como refuerzo de matrices poliméricas pues se han demostrado que mientras más finos son los materiales, estos tienden a presentar un menor número de defectos que puedan incluir a fallas. Sin embargo, la utilidad estructural de las fibras no es lo suficientemente aprovechada, si éstas no se encuentran aglutinadas por una matriz también es un factor determinante para las características y propiedades finales

que el material presentará. Dichas configuraciones pueden incluir fibra corta, larga, tejida. Además, es posible obtener numerosas modificaciones por el entrelazamiento de las fibras. (Guerrero, 2011, p.95)

El principio básico de los tejidos consiste en entrelazar los filamentos fijos longitudinalmente, conocidos como urdimbre, con los filamentos horizontales, llamados trama, pasando estos últimos por encima y por debajo de los hilos de urdimbre en distintas configuraciones. Básicamente existen tres tipos de tejidos, el tipo plano, el tipo satén y el de tipo diagonal o sarga (Guerrero, 2011, pp95,96).

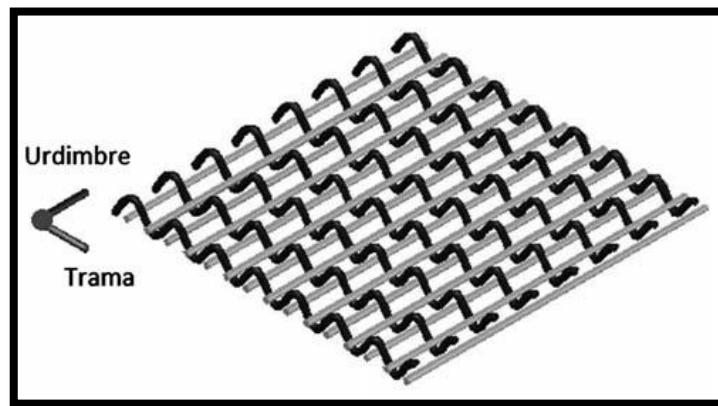


Figura 2-6 Diseño de un tipo de tejido

Fuente:Guerrero, 2011, p.96

#### 2.4.2.8 Fibra de abacá

La planta de abacá también llamada “cáñamo de manila”, ésta tiene un parentesco mucho a la planta del banano y está estrechamente emparentada con ella. Especialmente el abacá es nativa de las Filipinas y distribuida en los trópicos húmedos.

El abacá se encuentra geográficamente concentrado en un triángulo comprendido por las provincias de Pichincha, Esmeraldas y Manabí.

También encontramos algunas fincas en la provincia de Los Ríos. Las principales zonas productoras son La Concordia y Santo Domingo.



Figura 2-7 Planta de abacá

Fuente: Hand of textilefibres Natural 5 Edición, 1984

Todas las variedades no se cultivan comercialmente. Las más comunes que han sido tradicionalmente cultivadas son Bungalanón (tipo negro y rojo), Tangongón (en tres tipos diferentes negro, rojo y meristimático) y Maguindanao (tipo rojo y verde).

Las principales variedades que existen en el Ecuador son:

**Bungalanón:** Es una variedad precoz, tiene en menor desarrollo como planta, con tallos pequeños y delgados, de color de café su base y verde brillante en su parte superior, produce fibras blancas y suaves. Es la variedad que más se siembra en el país.

**Tangongón:** Se caracteriza por producir una fibra ordinaria pero fuerte; los tallos son de mayor diámetro y longitud, con producción de hijuelos limitados.

El uso principal de la fibra de abacá es para la producción de bolsas de té y envolturas de embutidos. Es también un sustituto de la corteza de árbol, la cual



fue alguna vez la fuente principal de la producción de telas. Adicionalmente, se considera una excelente materia prima en el proceso de papel de seguridad y de alta calidad, pañales, servilletas, papel higiénico, filtros para maquinaria, textil para hospitales (mandiles, gorras, guantes), entre otros 200 diferentes productos, forma parte del papel moneda de Filipinas.

Durante años el único productor mundial fue Filipinas, ahora también se cultiva en Ecuador.



Figura 2-8 Fibra procesada de abacá

Fuente: El Autor

#### **2.4.2.9 Propiedades**

Según Villacís (2011) considera que la fibra de abacá es valorada por su gran resistencia mecánica, resistencia al daño por agua salada, flotabilidad, presenta cierta acidez natural, las células individuales de cada fibra son cilíndricas y de superficie lisa, la fibra tiene una longitud que oscila entre 1 a 2 m o más, con un diámetro de 0.01 a 0.28 mm.

El abacá presenta un brillo natural y su color depende del lugar donde se haya extraído. Las mejores clasificaciones del abacá son finas, brillantes, de un color habano claro y muy fuertes.

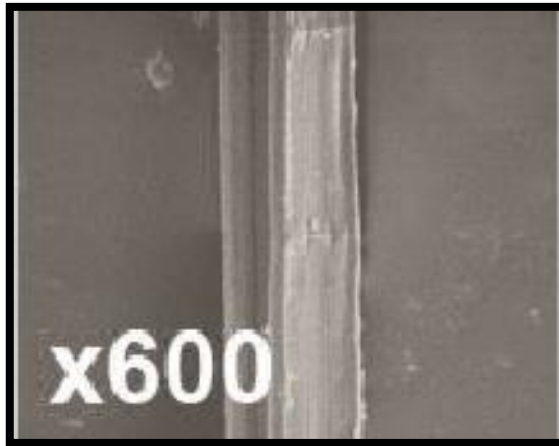


Figura 2-9 Forma de la fibra

Fuente: Hand of textilefibres – Natural fibres 5ta edición, 1984

Según la caracterización de las fibras de abacá que se realizó en la titulación de Morejón y Narváez (2004), en cuanto a las propiedades mecánicas y físicas de esta fibra se tiene los siguientes datos.

Esfuerzo último a la tracción (MPa) = 774,7-1261,3

Modulo (GPa) = 18,5-37,2

Deformación Unitaria (%) = 3,10-4,27

Absorción de agua (%) = 8-10

Densidad ( $\text{g/cm}^3$ ) = 1,3

#### **2.4.2.10 Resinas termoestables**

Las resinas termoestables son aquéllas que cambian irreversiblemente bajo la influencia del calor, de la luz, de agentes fotoquímicos y de agentes químicos, pasando de un material fusible y soluble a otro no fusible e insoluble, por la formación de un retículo tridimensional covalente. En el proceso reactivo de

entrecruzamiento o de curado, las cadenas poliméricas (reactivos termoplásticos o líquidos) reaccionan entre sí y, a la vez, con un agente entrecruzado, formándose macromoléculas orientadas en todas las direcciones y con numerosos enlaces covalentes entre ellas. El retículo tridimensional formado confiere al material curado unas propiedades mecánicas, térmicas y de resistencia química muy elevadas que los hacen aptos para múltiples aplicaciones.

#### **2.4.2.11 Comportamiento esfuerzo-deformación**

Las propiedades mecánicas de los polímeros se especifican con los mismos parámetros utilizados para los metales: módulo elástico y resistencia a la tracción, al impacto y a la fatiga.

La mayoría de las características mecánicas de los polímeros son muy sensibles a la velocidad de deformación, a la temperatura y a la naturaleza química del medio (presencia de agua, oxígeno, disolventes orgánicos, etc.). En los materiales de alta elasticidad, como las gomas, conviene modificar las técnicas de ensayo o la forma de las probetas utilizadas para los metales (Callister, 2009, p.524).

Los materiales poliméricos presentan tres tipos distintos de comportamiento esfuerzo-deformación (Figura 2.9). La curva A corresponde al comportamiento esfuerzo-deformación de un polímero frágil, ya que se rompe cuando se deforma elásticamente. El comportamiento del material representado por la curva B es parecido al de los metales; la deformación inicial es elástica, después de lo cual sigue la fluencia y una región de deformación plástica. Por último, la deformación exhibida por la curva C es totalmente elástica; esta elasticidad de la goma (grandes deformaciones recuperables producidas por pequeños esfuerzos) es exhibida por una clase de polímeros denominados elastómeros (Callister, 2009, p.524).

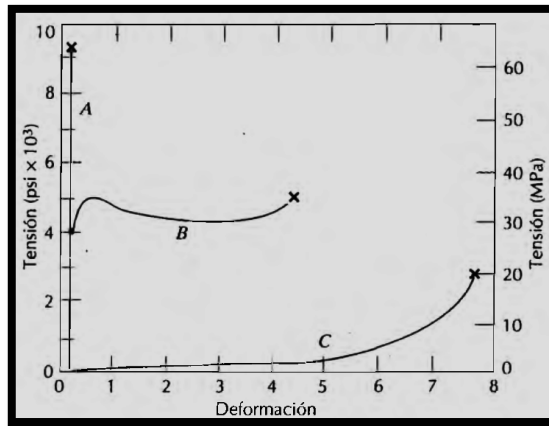


Figura 2-10 Comportamiento esfuerzo deformación de polímeros

Fuente: Callister, 2009, p.525

Los polímeros que encuentran con estructura más simple se denominan homopolímeros. Son los más utilizados y están constituidos por un solo tipo de monómero en cadenas lineales. Estos polímeros normalmente se procesan fundidos a altas temperaturas. Por otro lado, cuando un polímero se deriva de dos o más monómeros es denominado copolímero. Las unidades de un copolímero puede distribuirse de varias formas, como se muestra en la figura 2.10 (Guerrero, 2011, p.30).

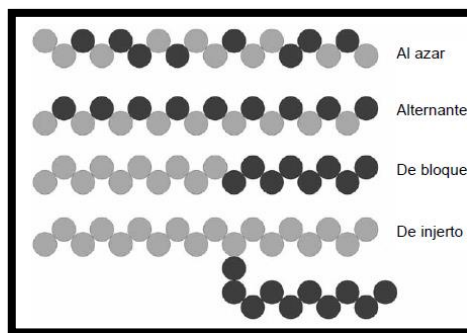


Figura 2-11 Distribución de las unidades de un copolímero.

Fuente: Guerrero, 2011, p.30

El módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción y la ductilidad (en porcentaje de alargamiento) de los polímeros se determinan como en los metales. En la Tabla 2.1 se dan los valores de estas propiedades mecánicas correspondientes a varios materiales poliméricos. Los polímeros son, en muchos aspectos, mecánicamente distintos de los metales. Por ejemplo, el módulo elástico de los polímeros de alta elasticidad es del orden de 7 MPa y el de los de baja elasticidad de  $4 \times 10^3$  MPa, mientras que en los metales los valores del módulo elástico son mayores y el intervalo de variación es menor: va de  $48 \times 10^3$  a  $410 \times 10^3$  MPa. La resistencia máxima a la tracción de los polímeros es de orden de 100 MPa, mientras que la de algunas aleaciones metálicas es 4100 MPa. La elongación plástica de los metales raramente es superior al 100%, mientras que algunos polímeros de alta elasticidad pueden experimentar elongaciones del 1000% (Callister, 2009, p.525).

Tabla 2-1 Características a temperatura ambiente de algunos polímeros más comunes

Material	Densidad	Módulo elástico [psi $\times 10^5$ (MPa $\times 10^2$ )]	Resistencia a la tracción [psi $\times 10^3$ (MPa)]	Alargamiento a la rotura (%)	Resistencia al impacto <sup>a</sup> (ft-lb <sub>i</sub> /in.)
Poliétileno (baja densidad)	0,917-0,932	0,25-0,41 (1,7-2,8)	1,2-4,6 (8,3-31,7)	100-650	No se rompe
Poliétileno (alta densidad)	0,952-0,965	1,55-1,58 (10,6-10,9)	3,2-4,5 (22-31)	10-1200	0,4-4,0
Cloruro de polivinilo	1,30-1,58	3,5-6,0 (24-41)	5,9-7,5 (41-52)	40-80	0,4-22
Politetrafluoretileno	2,14-2,20	0,58-0,80 (4,0-5,5)	2,0-5,0 (14-34)	200-400	3
Polipropileno	0,90-0,91	1,6-2,3 (11-16)	4,5-6,0 (31-41)	100-600	0,4-1,2
Poliestireno	1,04-1,05	3,3-4,8 (23-33)	5,2-7,5 (36-52)	1,2-2,5	0,35-0,45
Poli(metacrilato de metilo)	1,17-1,20	3,3-4,7 (22-32)	7,0-11,0 (48-76)	2-10	0,3-0,6
Fenol-formaldehído	1,24-1,32	4,0-7,0 (28-48)	5,0-9,0 (34-62)	1,5-2,0	0,24-4,0
Nilón 66	1,13-1,15	2,3-5,5 (16-38)	11,0-13,7 (76-94)	15-300	0,55-2,1
Poliéster (PET)	1,29-1,40	4,0-6,0 (28-41)	7,0-10,5 (48-72)	30-300	0,25-0,70
Policarbonato	1,20	3,5 (24,0)	9,5 (60)	110	16

Fuente: Callister, 2009, p.526

En general, los termoestables poseen una buena estabilidad dimensional, estabilidad térmica, resistencia química y propiedades eléctricas. Es por ello que los materiales termoestables se aplican en múltiples campos, como se los puede citar:

- Aeroespacial: Componentes de misiles, alas, fuselajes, etc.
- Aplicaciones domésticas: Interruptores, asas, etc.
- Automoción: Piezas ligeras para sustituir metales, frenos, pinturas, etc.
- Construcción: Espumas aislantes, techos, chapas para forrar paredes, pinturas, etc.
- Vestimenta: Botones, ropa tratada, etc.
- Eléctrico: Cuadro conexiones, recubrimientos, etc.
- Muebles: Puertas imitación madera, pantallas de lámparas, etc.
- Médico: Rellenos dentales, implantes ortopédicos, etc.
- Recreo: Raquetas tenis, barcas, etc.
- Herramientas: Papel de lija, etc.

Las resinas de poliéster, son las más utilizadas debido a su buena relación (calidad - precio), debido a que se pueden combinarse con cualquier tipo de refuerzo y casi con cualquier núcleo. Las resinas de poliéster a su vez se subdividen según la naturaleza de los monómeros que las constituyen.

Los principales monómeros que las constituyen son: Ácidos Insaturados (anhídrido maléico, fumárico), Ácidos Saturados (anhídrido ftálico, ácido isoftálico y ácido adípico), Glicoles (etilenglicol, dietilenglicol, propilenglicol, dipropilenglicol y neopentilglicol) y Monómeros (estireno, divinilbenceno, viniltolueno, alfametilestireno y metacrilato de metilo).

Las resinas de poliéster reaccionan por medio de una polimerización, acelerada por sales de Cobalto, y catalizada por peróxidos, etc. El usuario puede personalizar el tiempo de reacción de las resinas de poliéster, adecuándolas a sus sistemas de producción ajustando los porcentajes de catalizador o acelerante, o la temperatura de curado.

El proceso de curado de la resina de poliéster es el siguiente:

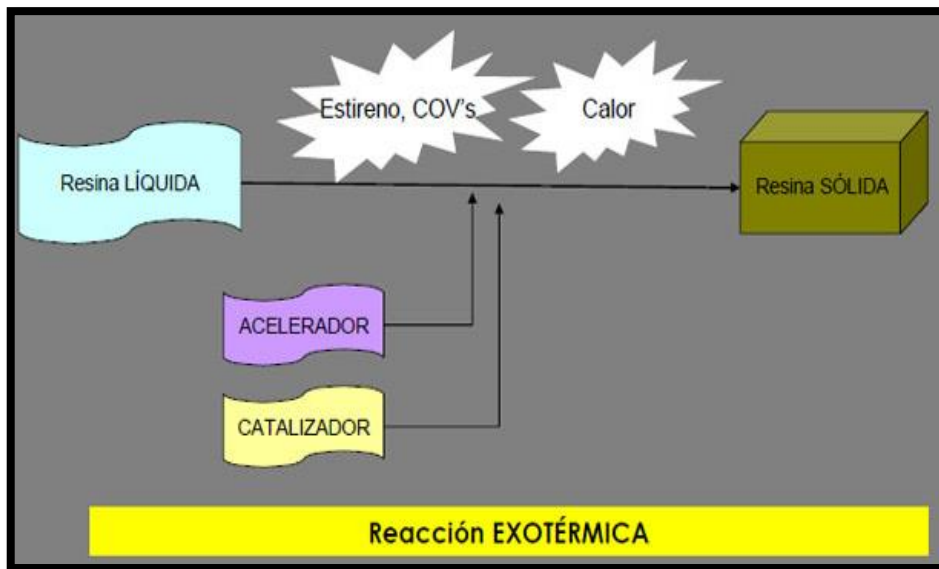


Figura 2-12 Proceso de curado de la resina.

Fuente: Imagen propiedad de Gazechim Composites, Ibérica, 2013

Tras añadir los catalizadores y acelerantes, en su caso, comienza el proceso de gelificación, hasta llegar al punto de gel, momento en el que la resina pasa de estado líquido a estado viscoso, una vez pasado el tiempo de gel comienza la reacción exotérmica de curado.

## **2.4.3 ESTUDIO POR FATIGA MECÁNICA POR FLEXIÓN EN MATERIALES POLIMÉRICOS**

### **2.4.3.1 Introducción a la fatiga de los materiales**

La evaluación de la vida útil en fatiga de los materiales de ingeniería es un paso fundamental entre el diseño y la utilización de productos nuevos. La utilización de materiales compuestos para el desarrollo de nuevos productos se hace cada vez más popular en todos los aspectos de la ingeniería. A nivel estructural, la aplicación de materiales compuestos ha encontrado un mercado emergente en la construcción de puentes, estructuras de contención de tierras, materiales de construcción para edificios y para la rehabilitación estructural de estos, teniendo en cuenta que la sustitución de estructuras es muy costosa y casi prohibitiva. Para la reconstrucción o para la creación de nuevas infraestructuras, los materiales compuestos traen numerosas ventajas, incluyendo menor peso, alta durabilidad, resistencia a la corrosión, estabilidad dimensional, bajo costo de mantenimiento y de instalación. El éxito en el mercado dependerá en gran medida de la capacidad de estos materiales en garantizar la seguridad; por tal motivo, se ha desplegado un enorme esfuerzo en la caracterización de la vida útil en fatiga de una amplia variedad de materiales de ingeniería, incluidos materiales compuestos y compuestos sándwich, tal y como lo demuestra la abundante literatura. La caracterización de la vida útil en fatiga de estos materiales, es abordar una amplia gama de factores influyentes, tales como mecanismos de falla, efecto de “notches”, efectos de temperatura, acumulación de daño, etc.

### **2.4.3.2 El análisis de fatiga o durabilidad**

En la vida real se observa que repetidos ciclos de carga y descarga debilitan las piezas a lo largo del tiempo incluso cuando las cargas inducidas están considerablemente por debajo de la tensión de rotura estática e incluso del límite elástico del material. Este fenómeno se le conoce como fatiga. Cada ciclo de fluctuación de la tensión deteriora o daña la pieza un poco, tras un número de



ciclos determinado, la pieza está tan debilitada que rompe por fatiga (Nota Técnica N°FTO1, 2006).

Los resultados de los estudios estructurales (estáticos y dinámicos, lineales y no lineales) se usan como los datos básicos de partida para definir el estudio de fatiga. El número de ciclos requeridos para que el fallo por fatiga ocurra en un punto depende del material y de la fluctuación de las tensiones. Esta información, para ciertos tipos de materiales férricos, nos la proporciona la llamada Curva S-N (Nota Técnica N°FTO1, 2006).

#### **2.4.3.3 Fases de un fallo por fatiga**

Los fallos por Fatiga se producen en tres fases:

##### **Fase 1 (iniciación)**

Una o más grietas se desarrollan en el material. Las grietas pueden aparecer en cualquier punto del material pero en general ocurren alrededor de alguna fuente de concentración de tensión y en la superficie exterior donde las fluctuaciones de tensión son más elevadas. Las grietas pueden aparecer por muchas razones: imperfecciones en la estructura microscópica del material, ralladuras, arañazos, muescas y entallas causados por las herramientas de fabricación o medios de manipulación. En materiales frágiles el inicio de grieta puede producirse por defectos del material (poros e inclusiones) y discontinuidades geométricas (Nota Técnica N°FTO1, 2006).

##### **Fase 2 (propagación)**

Alguna o todas las grietas crecen por efecto de las cargas. Además, las grietas generalmente son finas y de difícil detección, aun cuando se encuentren próximas a producir la rotura de la pieza (Nota Técnica N°FTO1, 2006).

### **Fase 3 (rotura)**

La pieza continúa deteriorándose por el crecimiento de la grieta quedando tan reducida la sección neta de la pieza que es incapaz de resistir la carga desde un punto de vista estático produciéndose la rotura por fatiga (Nota Técnica N°FTO1, 2006).

#### **2.4.3.4 Limitaciones del análisis de fatiga**

Los fundamentos para la predicción de vida a fatiga se basan en las propiedades del material obtenidas en el laboratorio ensayando con pequeños especímenes sujetos a cargas dinámicas hasta que parten o aparece la primera grieta. El método de tensión-deformación local asume que la vida del espécimen en el laboratorio se puede relacionar con la vida de la estructura real. Es más, se asume que las cargas utilizadas en la estimación de vida a fatiga de la estructura son tensiones locales o deformaciones locales en posiciones críticas (Nota Técnica N°FTO1, 2006).

Si se utilizan propiedades del material publicados en tablas, debe tenerse en cuenta las condiciones del ensayo utilizadas para obtener esos datos. Asegúrese de que las condiciones corresponden al problema que se está investigando, y que se incluyen los procesos utilizados para la fabricación del material y las mismas condiciones de carga del ensayo. Verificar la validez de las cargas y su aplicación correcta (Nota Técnica N°FTO1, 2006).

Aparte de estas limitaciones, el análisis de fatiga es muy interesante, especialmente si se utiliza como una herramienta para ver características y tendencias de un posible fallo a fatiga. Modificando parámetros y comparando estimaciones de vida, se pueden observar tendencias a favor de un diseño más seguro. Únicamente a través de estudios comparativos el ingeniero podrá obtener un conocimiento real de los mecanismos de trabajo (Nota Técnica N°FTO1, 2006).

Tensión máxima =  $\sigma_{\max}$

Tensión mínima =  $\sigma_{\min}$

Tensión media =  $\sigma_{\text{mean}} = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$

Tensión variable (o tensión alterna, o amplitud de tensión,  $\sigma_r$ ) =  $\sigma_{\text{amp}}$   
=  $(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$

Rango de tensiones  $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$

Razón de tensiones (stress Ratio)  $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$

Razón de amplitud  $A = \sigma_{\text{amp}}/\sigma_{\text{mean}}$

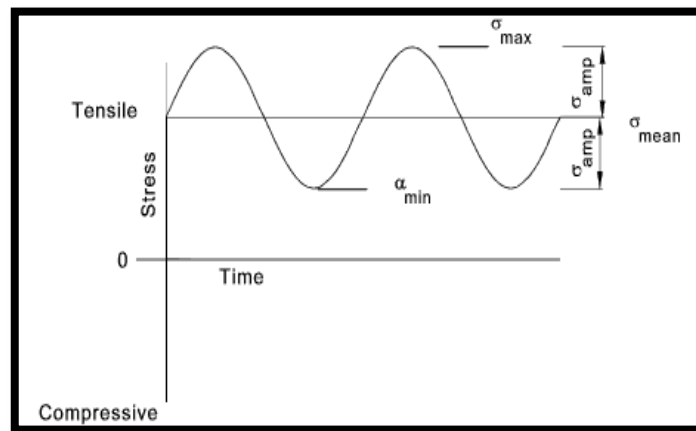


Figura 2-13 Símbolos utilizados en el análisis a fatiga.

Fuente: Nota Técnica N°FTO1, 2006

#### 2.4.3.5 Deformación debido a flexión

Las vigas generalmente son cuerpos sólidos de forma alargada y sección recta constante, de gran interés en ingeniería y arquitectura, que normalmente se

utilizan en posición horizontal y siendo su longitud grande comparada con las dimensiones de su sección recta. Las vigas pueden estar sometidas a cargas concentradas, cargas distribuidas, o a pares (momentos concentrados) que actúen solos o en una combinación cualquiera, siendo la flexión la principal deformación que sufren (Revista Brasileira de Ensino de Física, 2002).

Puede definirse una viga como un sólido homogéneo e isótropo engendrado por una sección transversal, que generalmente admite un plano de simetría y cuyo centro de gravedad describe una curva o línea, denominada directriz, siendo el plano que contiene a la sección transversal normal a dicha directriz. Cuando una viga flexiona debido a la presencia de fuerzas exteriores, existen algunas partes de la viga que se acortan debido a que están sometidas a una compresión, y, sin embargo, otras zonas se alargan por efecto del momento flector que hace que estén sometidas a tracción. Pero hay una línea en la viga en la que las fibras no se acortan ni se alargan, es decir, que no están sometidas a tensión. Esta línea se denomina línea neutra o fibra neutra Fig. 2.13. En la fibra neutra se encuentra el centro de gravedad de la sección transversal; por tanto, para conocer la localización de dicha fibra basta con calcular el centro de gravedad de la sección transversal de la viga (Revista Brasileira de Ensino de Física, 2002).

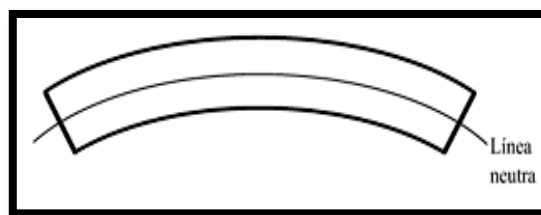


Figura 2-14 Fibra neutra de viga flexionada.

Fuente: Revista Brasileira de Ensino de Física, 2002

En particular, una cuestión que siempre se considera al estudiar la flexión de este tipo de elementos es que las deformaciones de la barra son pequeñas lo cual implica que, aunque la barra se desplace respecto a la horizontal, su longitud o más estrictamente la de su fibra neutra, permanece constante.

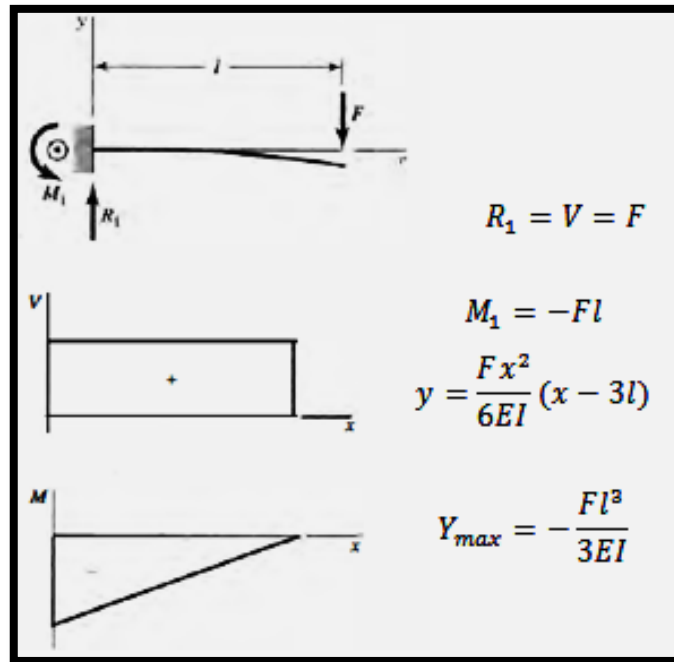


Figura 2-15 Viga en cantiléver.

Fuente: Shigley 8va edición, 2008, p.993

En donde:

$\sigma_x$  = Esfuerzo máximo

M = Momento flector

y = Deflexión

E = Módulo de elasticidad

b = Base

h = Altura

Determinación del momento de inercia

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Ecuación 2-10

Sabiendo que

$$y = \frac{h}{2}$$

Determinación del esfuerzo máximo

$$\sigma_x = -\frac{My}{I}$$

Ecuación 2-11

Remplazando el momento de inercia obtenemos

$$\sigma_x = \frac{6M}{bh^2}$$

Ecuación 2-12

#### 2.4.4 DEFLEXIÓN

La deflexión se presenta por la combinación de las deformaciones de cargas axiales en cada uno de los elementos que la componen.

Teniendo en cuenta las ecuaciones en las que se determinan tanto la rotación como la deflexión de la viga, se tomó de la maestría del Ing. Jorge Guamanquispe, Mg.

La deflexión que ocurre a lo largo de la viga mediante el método de las secciones, para lo cual se realiza un corte o seccionamiento a una distancia X desde el extremo izquierdo de la misma, para lo cual se tiene que el momento flector es:

$$M = P(X - L)$$

Por lo tanto la deformación de la viga en cualquier punto es:

$$Y = \frac{P(X - L)^3}{6EI}$$

Donde las constantes de  $C_1$  y  $C_2$  dependen de las condiciones de borde de frontera, es decir cuando  $X=0$ , la rotación de la viga  $Y'$  y el desplazamiento  $Y$  son cero.

Por lo que las ecuaciones de la deformada para este tramo serán:

$$Y' = \frac{1}{EI_1} P \left( \frac{X^2}{2} - LX \right) \quad \text{Ecuación 2-13}$$

$$Y = \frac{1}{EI_1} P \left( \frac{X^3}{6} - L \frac{X^2}{2} \right) \quad \text{Ecuación 2-14}$$

Para poder obtener las constantes  $C_3$  y  $C_4$  se tiene que  $L_1 \leq X \leq L$

$$C_3 = P \left( \frac{L_1^2}{2} - L \cdot L_1 \right) \left( \frac{I_2}{I_1} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 2-15}$$

$$C_4 = P \left( \frac{L_1^3}{6} - \frac{L \cdot L_1^3}{2} \right) \left( \frac{I_2}{I_1} - 1 \right) - C_3 L \quad \text{Ecuación 2-16}$$

Tenemos cuando  $X = L$ :

$$Y' = Y_2$$

$$Y = Y_2$$

$$Y'_2 = \frac{1}{EI_2} \left( P \frac{L^2}{2} - PL \cdot L + C_3 \right) \quad \text{Ecuación 2-17}$$

$$Y_2 = \frac{1}{EI_2} \left( -P \frac{L^3}{3} + C_3L + C_4 \right) \quad \text{Ecuación 2-18}$$

$$P = \frac{3(C_3L + C_4 - Y_2EI_2)}{L^3} \quad \text{Ecuación 2-19}$$

Dónde:

$C_3$  y  $C_4$  = Son las constantes de la ecuación de la viga.

$L$  = Es la longitud de la viga (en el punto de análisis).

$E$  = Módulo de elasticidad de la Viga.

$Y$  = Es el desplazamiento o deformación de la viga en el punto de análisis.

#### **2.4.5 DISEÑO MECÁNICO**

El diseño mecánico es un proceso de innovación con fines de crear o dar solución a una serie de reparaciones dentro de la industria. Esto conlleva a la necesidad de crear sistemas mecánicos más modernos y complejos que utilicen nuevos y mejores materiales, con el objetivo de mejorar su desempeño y reducir su costo.

#### **2.4.6 RESISTENCIA DE LOS MATERIALES**

La resistencia de materiales es el estudio de las propiedades de los cuerpos sólidos que les permite estudiar las fuerzas internas en los cuerpos y de las deformaciones ocasionadas por las fuerzas externas. Se entiende por falla de un cuerpo o de determinadas partes del mismo: a la rotura, o sin llegar a ello, a la existencia de un estado inadecuado. Esto último puede ocurrir por varios motivos: deformaciones demasiado grandes, falta de estabilidad de los materiales, fisuraciones, pérdida del equilibrio estático por pandeo, abollamiento o vuelco, etc.



#### **2.4.6.1 Máquinas para ensayos de esfuerzos en materiales**

En cuanto a la clasificación de las maquinas se pueden hacer partiendo de la naturaleza de los esfuerzos que actúan, sea cualquiera el modo de sollicitación en función del tiempo.

De esta forma se tienen cuatro categorías principales de máquinas de ensayos:

- Máquinas de esfuerzos axiales (tracción, compresión).
- Máquinas de flexión plana o rotativa.
- Máquinas de torsión.
- Máquinas de esfuerzos combinados; por ejemplo flexión y torsión.

Las máquinas de ensayos de flexión rotativa pueden ser del tipo de momento flector constante o momento flector variable.

Se determina varios tipos de ensayos para determinar la vida a fatiga de un espécimen. Uno de los más empleados es el de viga rotatoria; este puede ser realizado mediante la máquina de Moore o la de tipo (viga en voladizo), también existen variantes de máquinas que presentan los modelos para ensayos de fatiga por flexión rotativa. Otros modelos como la fabricación de la casa Instrón, adjuntan la función de fatiga por tensión axial a las máquinas universales de tracción.

#### **2.4.6.2 Ensayos de flexión plana**

La máquina para ensayos de flexión plana modelo BSS-40H diseñada por la compañía Fatigue Dynamics Inc, cuenta con un sistema biela-manivela para la aplicación de la carga. Está utiliza el método de desplazamiento constante y posee una capacidad de carga de 40 lbs., con una carrera máxima de 2 pulg.

Los ensayos de fatiga de flexión típicos para plásticos por la norma ASTM D 671 se realizan en espécimen estándar (fig: 2.15) es de una viga en voladizo con 2 a 8 mm de espesor, se utiliza para la prueba de ensayos a fatiga por flexión. El haz está sujeta a una simétrica (estrés reacción ( $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = -1$ ), donde ( $\sigma_{\min}$ ) y ( $\sigma_{\max}$ ) son los niveles máximos de tensión mínima y respectivamente) bajo carga cíclica, amplitud de tensión controlada con una frecuencia  $f = 30$  Hz. Esta prueba y equipos usados son baratos y proporciona un conjunto de datos básicos para la comparación de diferentes materiales plásticos. Con algunas suposiciones, datos de fatiga desarrollados (S - Curvas NF) se utiliza para el diseño de diversas piezas de plástico.

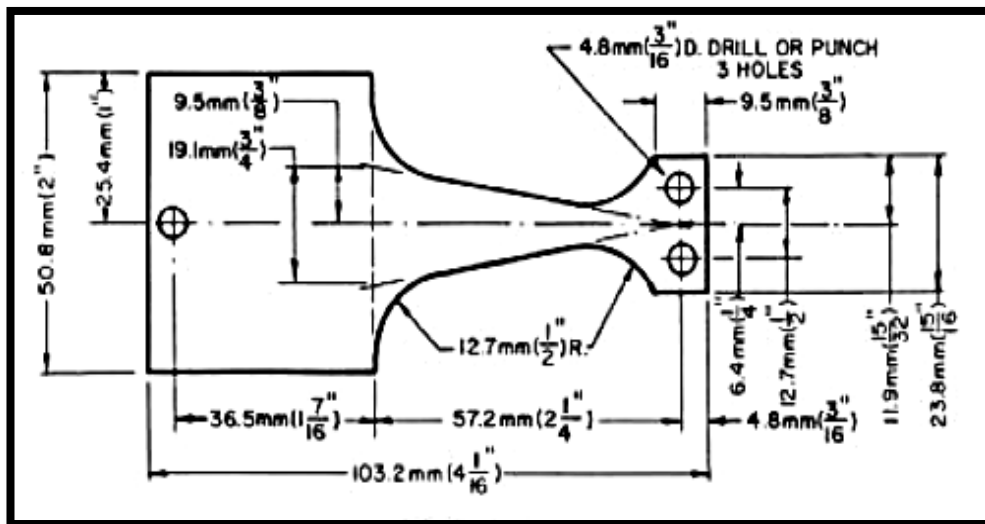


Figura 2-16 Probeta de ensayos Tipo B para ensayos a fatiga de polímeros.

Fuente: John Wiley & Sons, 2007, p.84

La forma triangular de la (fig: 2.16) de la muestra de ensayo está destinada a producir una tensión constante a lo largo de la longitud de la sección de prueba de la muestra en la cual se va a producir la rotura.

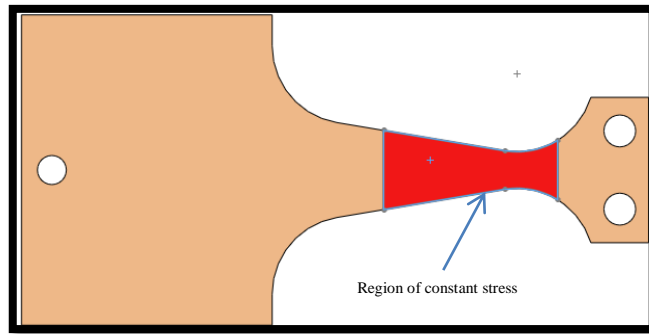


Figura 2-17 Sección de Rotura de la probeta.

Fuente: El Autor

Hay limitaciones obvias en los datos de fatiga de flexión obtenidos mediante el procedimiento ASTM D-671 anterior, entre ellos están:

Los datos se obtienen en un único modo de flexión con relación estrés  $R = -1$ , mientras que las aplicaciones reales a menudo se encuentran la fatiga en tensión-tensión o el modo de compresión-compresión, o el modo de flexión con relación estrés  $R$  distinto de  $-1$ .

Las dimensiones de espesor en particular, son a menudo diferentes de las de las muestras de ensayo. Como resultado, las condiciones de moldeo diferentes experimentadas por las partes de plástico y las muestras pueden invocar diferente resistencia a la carga cíclica, debido a características específicas en la orientación y distribución de refuerzos.

La tensión cíclica frecuencias  $f$  en aplicaciones reales suelen ser sustancialmente más baja que la de  $30$  Hz a partir de los ensayos ASTM flexión. La forma de la función de carga cíclica también puede ser muy diferente de la sinusoidal utilizada en el ensayo de fatiga a la flexión ASTM.

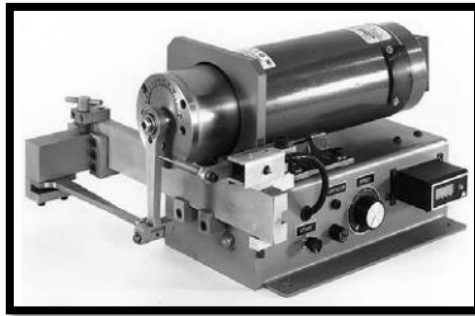


Figura 2-18 Maquina para ensayos de flexión plana modelo BSS 40

Fuente: Geffrey G. & Rodríguez, 2007,p.27

### 2.4.6.3 Máquina de probeta rotatoria de moore para ensayo a fatiga

Para determinar la resistencia de materiales bajo la acción de cargas de fatiga, las probetas se someten a fuerzas repetidas o variables de magnitudes especificadas y, así, se cuentan los ciclos o alternaciones de esfuerzos que soporta el material hasta la falla o ruptura. El dispositivo para ensayos de fatiga más empleado es la máquina de viga rotatoria de alta velocidad de Moore. Esta somete a la probeta a flexión pura (no a cortante transversal) por medio de pesas. La probeta se labra a máquina y se pule cuidadosamente, recibiendo un pulimento final en la dirección axial para evitar ralladuras circunferenciales.

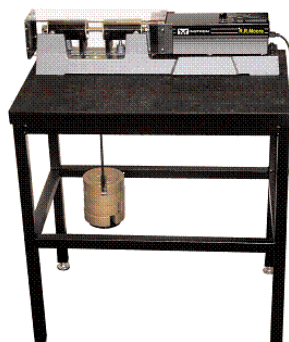


Figura 2-19 Máquina de ensayo de fatiga tipo probeta de more.

Fuente: Nota Técnica N°FTO1, 2006

#### 2.4.6.4 Máquina de ensayos de fatiga tipo viga en voladizo

Otro método común para medir la resistencia a la fatiga de un material es el ensayo de viga rotatoria cargada en voladizo (Figura 2.19): uno de los extremos de la probeta maquinada se sujeta al eje de un motor y en el extremo opuesto se sostiene un peso.

Inicialmente la probeta tiene un esfuerzo inducido en tensión actuando sobre la superficie superior, en tanto que la superficie inferior está sometida a compresión.

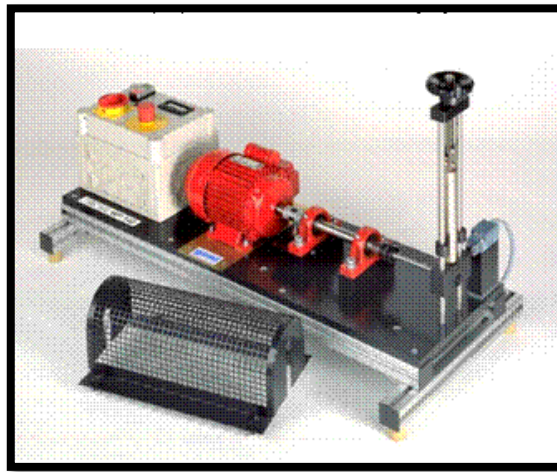


Figura 2-20 Máquina de ensayos de fatiga tipo viga en voladizo.

Fuente: Nota Técnica N°FTO1, 2006

Cuando la probeta gira  $90^\circ$  los puntos que inicialmente estaban bajo tensión y compresión, no están sujetos a esfuerzo alguno. Después de una media revolución de  $180^\circ$  las partículas que originalmente estaban en tensión, pasan a compresión y viceversa. Por lo que el esfuerzo en cualquier punto pasa a través de un ciclo sinusoidal completo desde un esfuerzo máximo a tensión hasta un esfuerzo máximo a compresión. Después de un número repetido de ciclos la probeta puede fallar (Norton, 1999).

#### 2.4.6.5 Máquina de fatiga por vibración viga en doble voladizo.

El comportamiento general de vida en fatiga de los materiales, es un proceso notoriamente estocástico, especialmente en materiales compuestos (Zenkert et al., 2006; Sharma et al., 2006; Mahi et al., 2002; Kulkarni et al., 2003). Como resultado de ello para poder obtener resultados estadísticos significativos para el análisis, son necesarios múltiples pruebas (Collins, 2003). La Tabla 2.2 muestra un ejemplo del tiempo y costo que sería necesario invertir si los especímenes presentan un millón de ciclos como vida característica en fatiga, y que en muchos casos podría ser mucho mayor.

Tabla 2-2 Análisis de tiempo y costo

Vida total, $10^6$ ciclos			
Número de puntos dato	Frecuencia (Hz)	Días por punto dato	
1 (Especímen)	1	11.57	277
	10	1.157	27.7
	100	0.115	2.7
20 (Especímenes)	1	115.7	5540
	10	11.57	554
	100	1.16	55.4
60 (Especímenes)	1	694.2	16620
	10	69.2	1662
	100	6.92	166.2

Fuente: Barron V., Buggy M. y McKenna N., 2001, p.2

Utilizar el concepto de vibraciones, como posible alternativa para predicción de vida en fatiga, se convierte en una opción atractiva, por la ventaja que ofrece un significativo ahorro de tiempo y dinero durante el desarrollo de sus pruebas experimentales con respecto a pruebas convencionales en flexión, debido a su mayor frecuencia de trabajo. Este trabajo desarrolla una innovadora técnica de fatiga, utilizando vibraciones; valiéndose de las propiedades modales de los materiales y utilizando optimización geométrica de los especímenes, además que

en esta técnica, el patrón de esfuerzos generados por vibraciones busca imitar la distribución de esfuerzos generados en los especímenes por flexión de tres puntos.

Para llevar a cabo las pruebas estáticas y de fatiga bajo la configuración de flexión en tres puntos, se utilizó una máquina servohidráulica MTS 810, con capacidad de aplicación de carga de 100 kN, guiados por las normas estándar ASTM C393. Durante las pruebas de fatiga los especímenes fueron sometidos a cargas cíclicas completamente reversibles ( $R = -1$ ,  $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ ), con una frecuencia de 0.75 Hz, y a temperatura ambiente, registrándose el número total de ciclos hasta producirse la falla de los especímenes; progresivamente las curvas del Diagrama de Goodman S-N, tanto poliuretano FR-7140 y para los compuestos de sándwich (Norton, 2001).

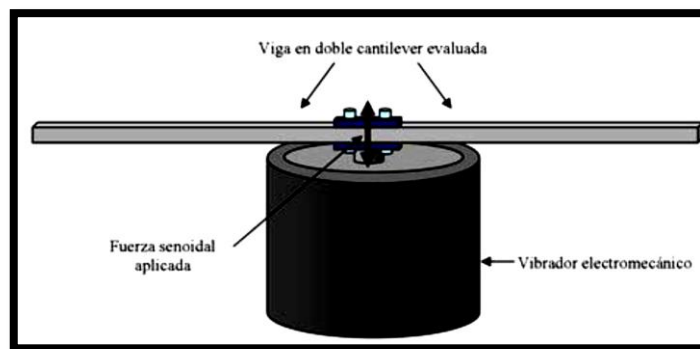


Figura 2-21 Configuración experimental.

Fuente: Barron V., Buggy M. y McKenna N., 2001, p.2

## 2.4.7 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ESFUERZO NÚMERO DE CICLOS

### 2.4.7.1 Curva s-n

La Curva S-N de un material define valores de tensiones alternas vs. el número de ciclos requeridos para causar el fallo a un determinado ratio de tensión. La siguiente figura muestra una curva típica S-N. El eje-Y representa la tensión

alterna (S) y el eje-X representa el número de ciclos (N). La curva S-N se basa en un ratio de tensión o tensión media. Para cada material se pueden definir múltiples curvas S-N con diferentes valores de tensión media.

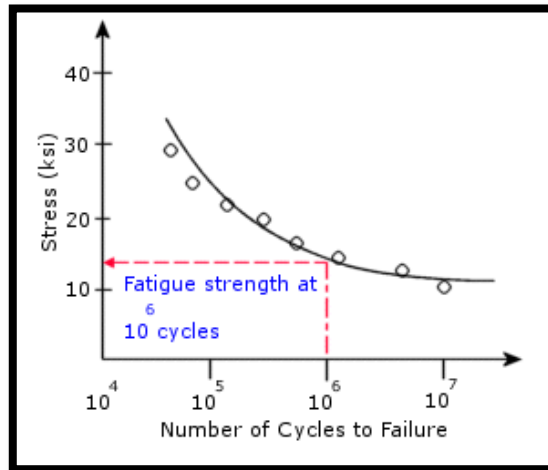


Figura 2-22 Curva S N

Fuente: Nota Técnica N°FTO1, 2006

Las curvas S-N se basan en la vida a fatiga media o en una probabilidad de fallo dada. La generación de la curva S-N de un material requiere muchos ensayos para de una forma estadística variar las tensiones alternas, las tensiones medias (o ratio de tensión) y contar el número de ciclos. Para caracterizar un material se toma un conjunto de probetas y se las somete a sollicitaciones variables con diferentes niveles de tensión, contándose el número de ciclos que resiste hasta la rotura. Debido a la elevada dispersión estadística propia de la fatiga los resultados se agrupan en una banda de roturas. Una parte de esta dispersión puede atribuirse a errores del ensayo, pero es una propiedad del fenómeno físico lo cual obliga a realizar un gran número de ensayos de probetas a fin de determinar la banda de fractura con suficiente precisión. Por tanto, caracterizar un material a fatiga supone un coste muy importante.



En base a los ensayos sobre probetas se han desarrollado métodos para cálculo y diseño a fatiga. La extrapolación de los resultados de los ensayos de fatiga a las piezas reales está basado en la utilización de una serie de valores modificativos empíricos, y por ello la fiabilidad de los métodos de cálculo es reducida si se compara por ejemplo con un cálculo estático lineal ya que existen numerosos factores que intervienen en el comportamiento a fatiga de un sistema físico que son imposibles de introducir en un modelo de elementos finitos, teniendo el usuario que "estimar" su efecto. Por tanto, en sistemas de alta responsabilidad es imprescindible recurrir a ensayos sobre prototipos.

## 2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

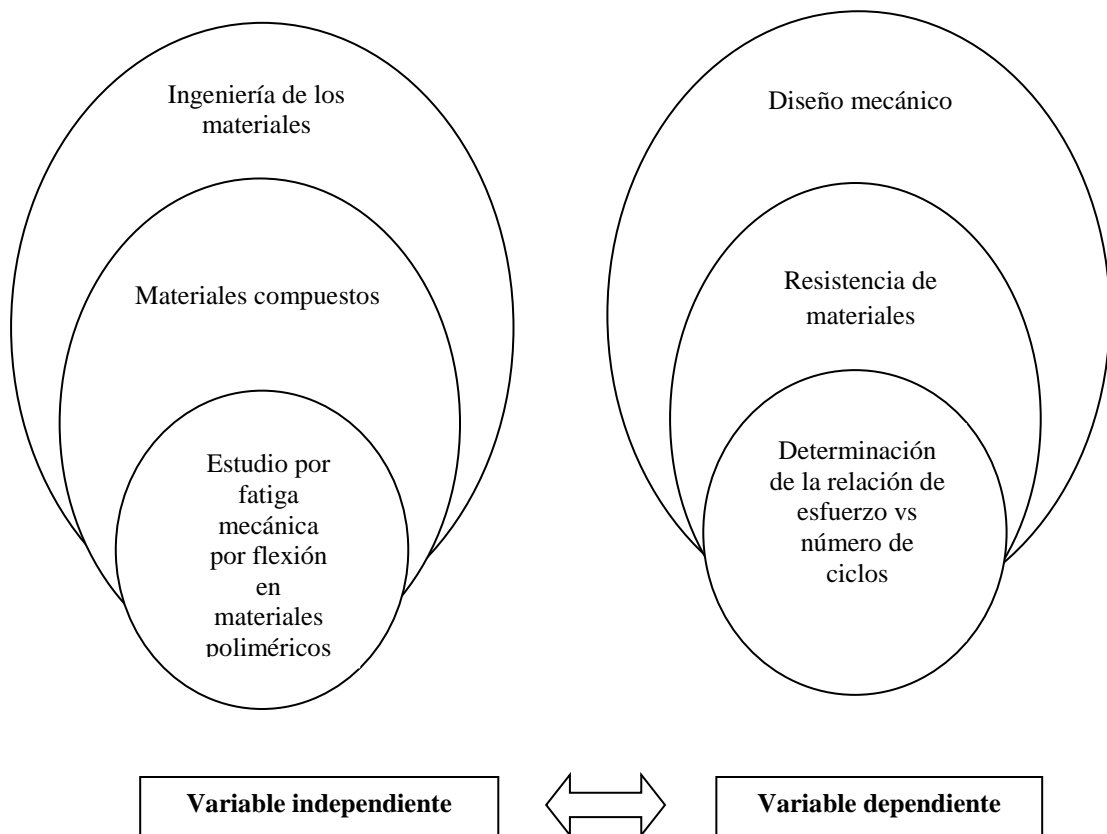


Figura 2-23 Categorías Fundamentales

Fuente: El Autor

## **2.6 HIPÓTESIS**

Con el estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster con fibra de abacá se podrá determinar la relación esfuerzo-número de ciclos.

## **2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE**

Estudio a fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster con fibra de abacá.

### **2.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

Determinación de la relación esfuerzo vs número de ciclos.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE**

##### **3.1.1 ENFOQUE CUALI-CUANTITATIVO**

La presente investigación se realizará bajo variables cuantitativas; ya que se realizaran ensayos que ayudaran a determinar las propiedades Mecánicas de los nuevos Materiales Compuestos Poliméricos.

La información que se requiere para el presente estudio, tiene como fuentes primarias a libros, tesis, artículos, internet y más; mientras que las fuentes secundarias se requirieron a las publicaciones y/o artículos técnicos en las áreas de los materiales compuestos; así también para el análisis de resultados se maneja tablas, gráficas de barras, gráficas de dispersión de datos y más.

#### **3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.2.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO**

La investigación de laboratorio es fundamental para el análisis de probetas y obtener datos fundamentales así poder realizar un análisis estadístico para evaluar la fiabilidad de nuestro proyecto.

### **3.2.2 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA**

El presente estudio por su contextualización es importante por la aplicación de la modalidad de investigación bibliográfica por requerir fuentes como libros, tesis, publicaciones, artículos técnicos de internet y más para su desarrollo.

### **3.2.3 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

La investigación experimental es indispensable por cuanto lleva a una evolución de confiabilidad de nuestro proyecto, para lo cual se utiliza una máquina de ensayos a fatiga de acuerdo a la Norma ASTM D-671 de viga en cantiléver en la cual se va a realizar un número estimado de ensayos para poder determinar la relación esfuerzo-número de ciclos (S-N).

### **3.2.4 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL O DE LABORATORIO**

La investigación experimental es de vital importancia ya que se evaluó la veracidad del proceso investigativo. Para la parte experimental se utilizó equipos de ensayos de materiales.

## **3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Este estudio abarcó variables que competen, a la investigación de un material alternativo para diferentes elementos dentro de la industria el mismo que con propiedades adecuadas, el nivel descriptivo permitió caracterizar la realidad investigada con lo que se realizará, describiendo el problema en una circunstancia espacial determinada, el nivel de correlación aclaró el grado de relación entre las variables en estudio y finalmente el nivel explicativo detectó las causas de determinados comportamientos y los problemas que aquejan a este centro de investigación, de los cuales se especificó y el cual fue motivo de mi investigación mediante la aplicación de técnicas e instrumentos de investigación.

### 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Con la estimación del tamaño de muestra se pudo conocer la proporción de la población que tienen las características obtenidas para el estudio, a partir del análisis de un solo grupo de ellas (una muestra). Los datos estadísticos sirven para conocer el tamaño de la muestra necesaria.

Para la estimación de parámetros con una determinada precisión. En el presente estudio la población sobre la cual trata, está en el volumen de producción mundial de un material compuesto de matriz poliéster con fibra de abacá, dicha producción es indeterminada, por lo que el tamaño de muestra se determina utilizando la ecuación 3.2, la cual depende de tres factores.

1. El nivel de coeficiente de  $Z_{\alpha}$  varía según diferentes niveles de seguridad, así:

• Si la seguridad  $Z_{\alpha}$  fuese del 90 % el coeficiente sería 1,645.

• Si la seguridad  $Z_{\alpha}$  del 95 % el coeficiente sería 1,96.

• Si la seguridad  $Z_{\alpha}$  fuese del 97,5 % el coeficiente sería 2,24.

• Si la seguridad  $Z_{\alpha}$  fuese del 99 % el coeficiente sería 2,576.

2. La precisión deseada para nuestro estudio o error máximo (d).

3. La proporción esperada puede ser próxima al 5%, se utiliza el valor  $p = 0,5$  que máxima el tamaño de muestra.

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2} \qquad \text{Ecuación 3.2}$$

De acuerdo a la proporción estimada asumiremos parámetros de la ecuación 3.2, se tiene los siguientes resultados.

$$Z_{\alpha} = 1.645 \text{ ya que la (seguridad buscada es del 95 \%)}$$

$$P = 5 \% \text{ ó } 0,05 \text{ (proporción esperada)}$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,05 = 0,95$$

$$d = 7 \% \text{ (precisión deseada)}$$

$$n = \frac{1,645^2 \times 0,05 \times 0,95}{0,07^2}$$

$$n = 26$$

De acuerdo al tamaño de la muestra tuvimos que realizar un promedio de 26 probetas la cual nos permitirá tener una probabilidad del 95 % del estudio de acuerdo a la norma ASTM D-671.

### 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Variable Independiente:** Estudio a fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos.

Contextualización	Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Un material polimérico compuesto con fibra de abacá, sometido a fatiga mecánica por flexión se define como la ruptura debida a esfuerzos repetitivos que influye a la propagación de fisuras hasta el fallo final por fractura.	Material compuesto  Fallo del material	Configuración de fibras  Volumétrica  Capas de fibras  Esfuerzo  Número de ciclos  Fatiga mecánica por flexión	Mat de Fibra de abacá  Corta, Continua, Tejido Plano  MPa  N  $Se = Ff \times Sut$  Sut(abacá)	Pruebas de laboratorios.  Guías de observación  Pruebas de laboratorios.  Toma de datos de los equipos.  Bibliografía  Normas ASTM

**Variable Dependiente:** Determinación de la relación esfuerzo vs número de ciclos.

Contextualización	Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>El comportamiento mecánico se debe a la repetición de ciclos de carga y descarga que debilitan los elementos se refiere a un fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas se produce más fácilmente que con cargas estáticas.</p>	<p>carga aplicada</p> <p>número de ciclos</p>	<p>pesos normalizados</p> <p>frecuencia y tiempos de ensayos</p>	<p>KN</p> <p>Hz;</p> <p>Horas</p>	<p>Pruebas de laboratorios</p> <p>Toma de datos</p> <p>Pruebas de laboratorio</p> <p>Toma de datos</p>



### **3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

De acuerdo al desarrollo del estudio se tomó nota de todo lo que se consideró necesario para describir los hechos de significación espacial, que ayudó a registrar incidentes hasta tener una base informativa suficiente.

### **3.7 PLAN DE PROCESAMIENTOS Y ANÁLISIS**

#### **3.7.1 PLAN DE PROCESAMIENTO**

Se estructuraron probetas de acuerdo a la normativa ASTM D 671 la cual obtendremos en los ensayos del espécimen estándar del material compuesto con fibra de abacá se procesó en tablas de datos, fichas técnicas, fotografías y planos los que nos permitió tabular datos de acuerdo a los parámetros.

La representación de los resultados se realizó a través de gráficas estadísticas y curvas que permitieron identificar las propiedades mecánicas del material; por ejemplo: fatiga, deformación deflexión, flexión, etc.

### **3.8 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Estudios de los resultados estadísticos, y tabulación de datos con la función de destacar tendencias relacionadas fundamentalmente con los objetivos e hipótesis.

Comprensión de los resultados, con soporte del marco teórico, en el aspecto adecuado.

Para la demostración de hipótesis, y para la investigación estadística se tuvo que seguir la sugerencia de un especialista con el fin de justificar las conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE INVESTIGACIÓN

##### 4.1.1 DEMOSTRACIÓN DE LA FRECUENCIA DE APLICACIÓN DE ESFUERZOS

A pesar que la placa del motor nos indique 1720 RPM, luego de realizar 16 ensayos en los que se mide el tiempo y se relaciona con el número de ciclos mediante un contador electrónico, los datos se presentan en la tabla 4.1, luego del análisis estadístico realizado se demuestra que en realidad el motor funciona a 1799 RPM como se muestra en la tabla 4.2, con lo cual nos da una frecuencia de 29,99 Hz con lo que se cumple con lo que exige la Norma ASTM D-671, por lo tanto nuestro estudio se realizó con una frecuencia de 29,99 Hz.

Tabla 4-1 Determinación de la frecuencia aplicada en diferentes probetas.

DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA				
ENSAYO	REVOLUCIONES	TIEMPOS	FRECUENCIA	RPM
1	662	22	30.091	1.805.455
2	1471	49	30.020	1.801.224
3	1816	61	29.770	1.786.230
4	2191	72	30.431	1.825.833
5	2322	77	30.156	1.809.351
6	2403	81	29.667	1.780.000
7	3413	114	29.939	1.796.316
8	3608	120	30.067	1.804.000
9	3626	121	29.967	1.798.017
10	3979	133	29.917	1.795.038
11	3998	134	29.836	1.790.149
12	5394	180	29.967	1.798.000
13	7675	256	29.980	1.798.828
14	10800	360	30.000	1.800.000
15	23380	780	29.974	1.798.462
16	170250	5683	29.958	1.797.466

Fuente: Tomado de la tesis de maestría del Ing. Jorge Guamanquispe, 2012

Con los datos de la tabla anterior se calculan los datos de tendencia central y de dispersión tanto para las revoluciones del motor como para la frecuencia.

Tabla 4-2 Datos estadísticos para revoluciones

DATOS ESTADÍSTICOS	
Media	1.799.023
Error típico	2.525
Mediana	1.798.239
Moda	N/A
Desviación estándar	10.099
Varianza de la muestra	101.982
Curtosis	2.946
Coficiente de asimetría	0.814
Rango	45.833
Mínimo	1.780.000
Máximo	1.825.833
Suma	28.784.367
Cuenta	16.000

Fuente: Tomado de la tesis de maestría del Ing. Jorge Guamanquispe, 2012

Tabla 4-3 Datos estadísticos para la frecuencia.

DATOS ESTADÍSTICOS	
Media	29.984
Error típico	0.042
Mediana	29.971
Moda	N/A
Desviación estándar	0.168
Varianza de la muestra	0.028
Curtosis	2.946
Coficiente de asimetría	0.814
Rango	0.764
Mínimo	29.667
Máximo	30.431
Suma	479.739
Cuenta	16.000

Fuente: Tomado de la tesis de maestría del Ing. Jorge Guamanquispe, 2012

## **4.2 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS**

### **4.2.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

En el presente estudio propuesto se ha considerado importante describir los materiales a ser empleados dentro de la matriz poliéster con fibra de abacá, específicamente en el uso y su composición para obtener las probetas de acuerdo a la normativa ASTM D-671.

### **4.2.2 OBJETIVOS**

- Determinar los porcentajes de resina poliéster y fibra natural de abacá.
- Estudiar el tiempo de curado (resina-fibra).
- Elaborar probetas de acuerdo a la norma ASTM D-671.
- Realizar los ensayos a fatiga por flexión en la máquina de acuerdo a la norma ASTM D-671.
- Tabular los datos obtenidos mediante los ensayos.
- Realizar las gráficas esfuerzo VS número de ciclos.

### **4.2.3 MATERIALES PARA REALIZAR LAS PROBETAS**

Resina Poliéster

Aditivos (Metil Etil Cetona o Peróxido de Mek).

Será desmoldante

Fibra de abacá

Recipientes

Vaso de precipitación de 1000 ml/cc.

Espátulas

Brocha

Guantes de protección

Balanza Digital

Calibrador pie de rey

Goteros

Moldes

Prensas

#### **4.2.4 PROCEDIMIENTO**

Para poder determinar el esfuerzo máximo de las probetas se tomó en cuenta el módulo de elasticidad de la resina poliéster y de la fibra de abacá lo mismo que el porcentaje al ser aplicado.

##### **4.2.4.1 Determinación de la densidad de la resina poliéster**

Se determinó la densidad de la resina utilizando el método gravimétrico, mediante la obtención de un cuerpo sólido de resina poliéster catalizada con Peróxido de (Metil Etil Cetona o Peróxido de Mek), se determinó su peso en una balanza digital el mismo que fue sumergido en resina sin peróxido en un vaso de precipitación de 1000 ml o cc a temperatura ambiente de 20 a 25 °C.



Figura 4-1 Determinación de la densidad de fibra de abacá.

Fuente: El Autor

Se determinó mediante el método gravimétrico del cuerpo sólido de resina poliéster, como datos el peso del cuerpo sólido y del volumen adquirido al sumergir el cuerpo sólido en la resina sus propiedades mecánicas referenciales para el estudio se muestran en la Tabla 4-5:

Tabla 4-4 Determinación de la densidad resina poliéster

<b>MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE LA RESINA POLIÉSTER TEMPERATURA AMBIENTE</b>		
Peso del cuerpo sólido (gr)	Volumen de la resina (cm <sup>3</sup> )	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
176,80	140,00	1,26

Fuente: El Autor

#### 4.2.4.2 Determinación de la densidad de la fibra de abacá

La fibra de abacá como material de refuerzo para la matriz poliéster se determinó la densidad por un método gravimétrico, mediante la selección de un volumen de fibra de abacá el mismo que fue pesado en una balanza digital, posteriormente va

ser introducido en un volumen específico de resina, teniendo en cuenta su temperatura ambiente de 20 a 25 °C con un vaso de precipitación de 1000 ml o cc,

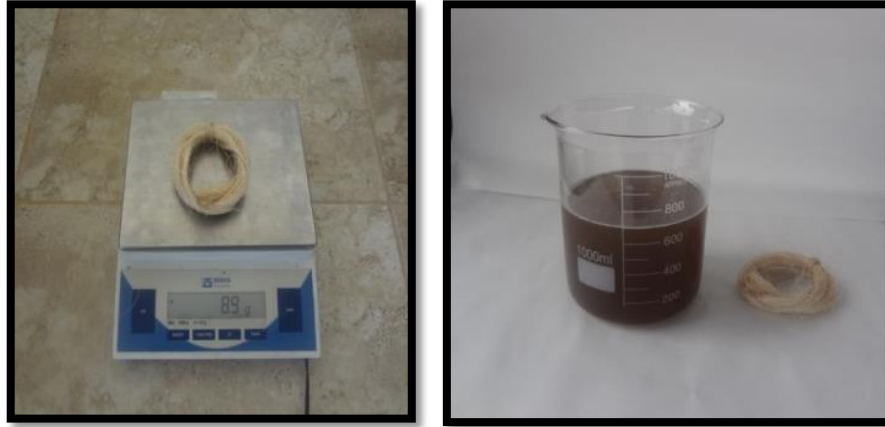


Figura 4-2 Determinación de la densidad de fibra de abacá.

Fuente: El Autor

Se realizó las mediciones bajo el cual se expusieron medidas tomadas en los ensayos que se determinó una densidad promedio del 1,3 gr/cc. Como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 4-5 Determinación de la densidad de fibra de abacá

<b>MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE LA FIBRA DE ABACÁ A TEMPERATURA AMBIENTE</b>		
Peso de la fibra (gr)	Volumen de la resina (cm <sup>3</sup> )	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
8,90	7,20	1,24
9,00	7,00	1,28
8,80	6,80	1,29
	<b>DENSIDAD</b>	<b>1,27</b>

Fuente: El Autor

## 4.2.5 PARÁMETROS DE LAS PROBETAS

### 4.2.5.1 Configuración y fracciones volumetricas del compuesto

Los porcentajes de cada material se determinaron de la ecuación 4.1

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ecuación 4-1}$$

$$f_m = 1 + f_f$$

Dónde:

$\rho_c$  = Densidad del compuesto

$f_m$  = Fracción volumétrica de la matriz

$f_f$  = Fracción volumétrica de la fibra

$\rho_m$  = Densidad de la matriz

$\rho_f$  = Densidad de la fibra

De manera investigativa la configuración de la matriz compuesta que se utilizaron, hace necesario proponer las posibles fracciones volumétricas que estas pueden alcanzar, pasando por un análisis lógico teniendo en cuenta en el manejo del proceso de manufactura en partes y piezas con fibra de vidrio.

Por proceso de manufactura y acabados de las piezas del compuesto se debe realizar con una mano de resina poliéster sin Peróxido de (Metil Etil Cetona o Peróxido de Mek).



Las fracciones volumétricas que se tomaron están en directa relación a las siguientes consideraciones de la norma ASTM D-671 en la cual especifica las técnicas y parámetros de las probetas Tipo B con espesores de 2 a 8 mm, donde la sección reducida es el punto donde se encuentre el fallo.

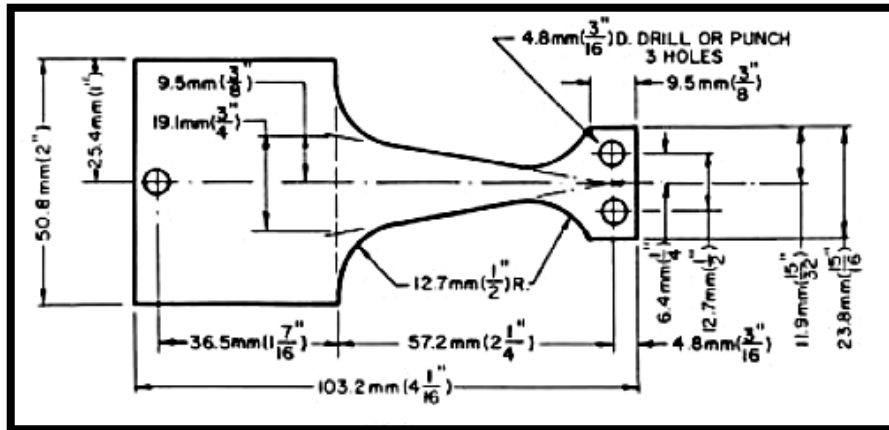


Figura 4-3 Probeta Tipo B

Fuente: John Wiley & Sons, 2007, p.84

## 4.2.6 CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL COMPUESTO RESINA POLIÉSTER FIBRA DE ABACÁ

### 4.2.6.1 Módulo de elasticidad de la resina poliester

El módulo elástico (Módulo de Young) de polímeros rígidos se caracterizó con precisión con el equipamiento de ensayo, tanto a temperatura ambiente como en función de la temperatura y/o del tiempo de cura que se le proporciona a dicha probeta.

De acuerdo a la tabla: 2.1 seleccionamos el módulo elástico  $E = 34.5 \times 10^2$  MPa.

#### 4.2.6.2 Módulo de elasticidad de la fibra de abacá

El módulo de elasticidad de la fibra de abacá se toma en cuenta de estudios anteriores.

Tabla 4-6 Comparación entre diferentes propiedades de las fibras vegetales y fibra de vidrio.

Fibras	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación Fractura(%)	Absorción de humedad (%)
Vidrio-S	2,5	2000-3500	70	2,5	
Vidrio-E	2,5	4570	86	2,8	
Aramida	1,4	3000-3150	63-67	3,3-3,7	
Carbón	1,4	4000	230-240	1,4-1,8	
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Yute	1,3	393-773	26,5	1,5-1,8	12
Ramio	1,5	400-938	61,4-128	3,6-3,8	12-17
Coco	1,2	175-220	4-6	15-30	10
Sisal	1,5	511-635	9,4-22,0	2,0-2,5	11
Abacá	1,3	400-1289	45	2,7	8-10
Lino	1,5	345-1035	27,6	2,7-3,2	7
Algodón	1,5	393-773	26,5	07-ago	8-25

Fuente: Guerrero, 2011, p.85

De acuerdo a la tabla estimada tenemos que  $E = 45 \text{ GPa}$

Después de la caracterización de las probetas bajo las condiciones establecidas, en función de las necesidades y desarrollo del estudio se adaptan tanto para ensayos a materiales compuestos y materiales de matriz polimérica.

Se ha determinado mediante la ecuación del esfuerzo normal, originalmente formulada a la Ley de Hook.

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

$\sigma$  = Esfuerzo que se produce en el material (MPa)

E = Módulo de elasticidad del material o (módulo de Young)

$\varepsilon$  = Elongación del material compuesto

#### 4.2.6.3 Porcentaje de deformación

De manera que los porcentajes de deformación se determinaron utilizando siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_i} = \frac{l_i - l_o}{l_i}$$

Dónde:

$\Delta l$  = Deformación total

$l_o$  = longitud inicial

$l_i$  = longitud final

Se determinó mediante los diferentes porcentajes los siguientes parámetros.

Tabla 4-7 Determinación del módulo de elasticidad

DETERMINACIÓN DEL MODULO ELASTICIDAD				
Nº	CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO	RESINA %	FIBRA %	Ec (Mpa)
1	FIBRA LARGA DE ABACÁ	90	10	7065
		80	20	11760
		70	30	15915
2	FIBRA CORTA DE ABACÁ (5mm)	90	10	7065
		80	20	11760
		70	30	15915
3	FIBRA TEJIDA DE ABACÁ	90	10	7065
		80	20	11760
		70	30	15915

Fuente: El Autor

## 4.2.7 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

### 4.2.7.1 Preparación de la matriz

La fibra de abacá de la variedad Tangongón Rojo, grado de calidad 3, fue adquirido por un productor de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Se utilizó la fibra de abacá en las siguientes configuraciones: fibra continua, fibra corta y tejido plano.

De acuerdo como matriz termoestable se empleó resina poliéster (CRISTALAN 836) adquirida en una de las empresas fibreras de la ciudad de Ambato, y como catalizador peróxido de metiletilcetona (Metil Etil Cetona o Peróxido de Mek). Finalmente, como agente de desmoldeo se usó cera desmoldante Simoniz.

Mediante la construcción de una muestra rectangular de 290mm x 230mm con un espesor de 7mm de la matriz al ser empleada en los análisis de la cual se obtuvieron probetas para realización de los ensayos, las mismas que fueron aprovechadas para determinar sus números de ciclos en la máquina de ensayos de viga en cantiléver de la Universidad Técnica de Ambato de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la carrera de Mecánica.



Figura 4-4 Molde de Probetas de (290mm x 230mm)

Fuente: El Autor

#### 4.2.7.2 Obtención de las probetas por corte a laser

Mediante el corte por láser que es un mecanizado sin contacto del material y libre de fuerzas que permite realizar cortes de cualquier geometría, por lo que no se generan fuerzas de corte. Este tipo de mecanizado permite cortar una gran variedad de materiales compuestos específicamente optimizado para las aplicaciones con variedad de espesores.

Las probetas obtenidas por el proceso de se realizó en una cortadora a laser Nc-5030 en la ciudad de Ambato.



Figura 4-5 Corte por láser de las probetas en un molde de (290mm x 230mm)

Fuente. El Autor

### 4.2.7.3 Peso

Para determinar el peso de la matriz (resina-fibra) se han seleccionado tres probetas las mismas que fueron pesadas en una balanza digital, ya que su espesor está en función de sus volúmenes de cada material, por lo que conlleva a obtener pequeñas diferencias entre las probetas, que se obtuvieron para ser ensayadas.

Tabla 4-8 Pesos de las probetas

PESO DE LAS PROBETAS			
CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO	FIGURA	FIBRA %	PESO PROMEDIO (gr)
FIBRA LARGA DE ABACÁ		10	22,00
		20	24,50
		30	23,30
FIBRA CORTA DE ABACÁ (5mm)		10	22,10
		20	25,50
		30	25,60
FIBRA TEJIDA DE ABACÁ		10	24,40
		20	22,00
		30	26,20

Fuente: El Autor

### 4.2.7.4 Espesor

Se determinó el espesor de las probetas en estudio con el calibrador pie de rey, considerando que el espesor del material compuesto (fibra-resina), está referenciado al porcentaje del 30% de fibra de abacá, por lo que para el estudio se determinó su estructuración y espesor promedio como referente para el dimensionamiento y aplicación del nuevo material que se obtuvo.

Tabla 4-9 Espesor de probetas

ESPESOR DE LAS PROBETAS			
CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO	FIGURA	FIBRA %	ESPESOR PROMEDIO
FIBRA LARGA DE ABACÁ		10	6,50
		20	7,20
		30	7,40
FIBRA CORTA DE ABACÁ (5mm)		10	7,00
		20	7,40
		30	7,40
FIBRA TEJIDA DE ABACÁ		10	7,00
		20	7,00
		30	8,00

Fuente: El Autor

#### 4.2.7.5 Densidad

La densidad se obtuvo por el método gravimétrico, es decir se utilizó un vaso de precipitación de capacidad de 1000 ml/cc, al mismo que se lo llenó con agua a temperatura ambiente de (20 a 25 °C) hasta 700 ml, tomando la probeta para ser colocada en el vaso de precipitación en la que se observó un incremento de volumen promedio aproximado de 6ml, considerando su masa de 9gr determinado en la balanza digital

Tabla 4-10 Densidad de las probetas

DENSIDAD DE LAS PROBETAS					
CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO	FIGURA	FIBRA %	PESO PROMEDIO (gr)	VOLUMEN (ml/cc)	DENSIDAD (gr/cc)
FIBRA LARGA DE ABACÁ		10	22,00	19	1,16
		20	24,50	20	1,23
		30	23,30	18	1,29
FIBRA CORTA DE ABACÁ (5mm)		10	22,10	19	1,16
		20	25,50	20	1,28
		30	25,60	20	1,28
FIBRA TEJIDA DE ABACÁ		10	24,40	19	1,28
		20	22,00	18	1,22
		30	26,20	20	1,31

Fuente: El Autor

#### **4.2.8 DETERMINACIÓN DE SU COMPOSICIÓN RESINA POLIÉSTER-FIBRA DE ABACÁ**

Para poder analizar la deflexión de la probeta nos hemos basado en una viga empotrada y sometida a flexión mediante la aplicación de una carga puntual en el extremo en voladizo, basado en la teoría clásica de Euler–Bernoulli.

El procedimiento en el cual se van a realizar los ensayos en viga en cantiléver capaz de producir esfuerzos de amplitud constante en cada ciclo, la característica principal de esta máquina es un motor excéntrico montado sobre el eje de un motor que gira a velocidad constante este movimiento desbalanceado de la excéntrica produce una fuerza alternante, el número de revoluciones es constante mediante un circuito electrónico contabiliza su número de ciclos este se detiene cuando en la probeta se produce el fallo.

Para poder cumplir este objetivo se utilizó las relaciones expuestas en el Capítulo 2 y se verificaron experimentalmente en el Capítulo 4. De esta manera, se realizaron por un esfuerzo cercano a la resistencia del material compuesto, que se compararan bajo condiciones de cargas diferentes para dichas probetas expuestas a análisis.

El análisis de deflexión que se realizó en la probeta matriz poliéster-fibra de abacá seleccionando el espesor óptimo, con el que realizamos los ensayos a fatiga por flexión siguiendo su geometría de la probeta de acuerdo a la norma ASTM D-671, empezando por un esfuerzo muy cercano a la resistencia del material compuesto tomando un 30% del desplazamiento vertical máximo, hasta tener un número de ciclos suficientemente alto.



Tabla 4-11 Determinación del número de ciclos de los compuestos matriz poliéster-fibra de abacá.

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CICLOS MATRIZ POLIÉSTER-FIBRA DE ABACÁ						
Nº	CONFIGURACIÓN DEL REFUERZO	RESINA %	FIBRA %	Espesor (mm)	Ec(Mpa)	Nº CILOS
1	FIBRA LARGA DE ABACÁ	90	10	6,50	7065	5750
		80	20	7,20	11760	12418
		70	30	7,40	15915	60188
2	FIBRA CORTA DE ABACÁ (5mm)	90	10	7,00	7065	3880
		80	20	7,40	11760	6112
		70	30	7,40	15915	7635
3	FIBRA TEJIDA DE ABACÁ	90	10	7,00	7065	2210
		80	20	7,00	11760	2108
		70	30	8,00	15915	10367

Fuente: El Autor

#### 4.2.9 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA DEFLEXIÓN

Se considera en la tabla 4-11 un número de ciclos promedio en sus diferentes estructuraciones y su volumen de manera que se determinó la configuración más óptima dependiendo del porcentaje de fibra de abacá al ser empleada y sus parámetros mencionados anteriormente en el que su número de ciclos superior de la matriz tuvo un efecto positivo cuando la fibra estuvo orientada longitudinalmente, por el hecho de que su fractura fue aplicada en el área menos corta de la probeta.

Especificando en la configuración entre la fibra corta de 5cm distribuida aleatoriamente, su número de ciclos a un 30% de fibra de abacá fue de 7635 rpm no contribuyó efectivamente al incremento de su número de ciclos, los cuales no presenta con la fibra continua.

En la configuración de la fibra tejido plano de abacá se realizó teniendo en cuenta el número de capas empleadas para realizar el estudio, en su estudio se realizó probetas con una, dos y tres capas teniendo en cuenta que para cada capa de fibra de abacá se le denominó al 10% con un peso de 34,94 gr debido a su hilado y

conformación de la misma con una área de 230x190x1,6 mm. De tal manera que su conformado de matriz a 30% de fibra se obtuvo un espesor de 8mm mediante su proceso de estratificación manual. Se tiene que su fallo se dio a 10367 ciclos con estos porcentajes.

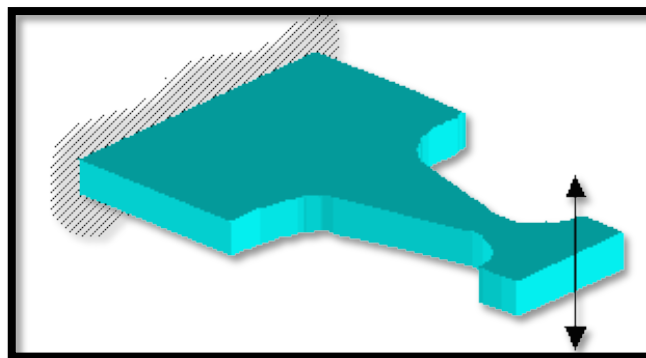
#### **4.2.10 RELACIÓN DE ESFUERZOS**

Para realizar un análisis de falla es esencial entender las causas básicas de la fatiga en materiales y la importancia del origen de la fractura de fatiga. En un análisis, el centro de atención es el origen de la fractura.

A escala macroscópica, el fallo por fatiga comienza en un punto cualquiera (que excede la resistencia a fatiga del material) en forma de una minúscula grieta que se expande hasta que el área resistente llega a ser tan pequeña que se produce súbitamente la fractura completa.

##### **4.2.10.1 Límite de fatiga**

Es el esfuerzo máximo invertido que puede ser repetido un número indefinido de veces (sobre una probeta).



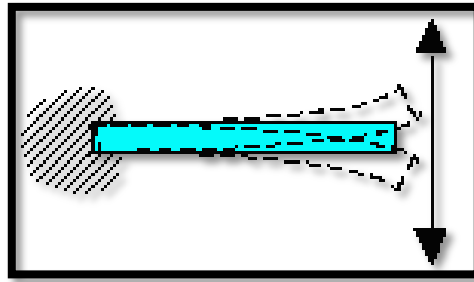


Figura 4-6 Deformación de la probeta

Fuente: Nota Técnica Ffatigue limit – ASTM D671 Plastic Test Standard.

El problema de la fatiga radica en que los esfuerzos pueden variar de una manera muy irregular e imprevisible. Lo que se debe conocer es el valor de la amplitud, el valor del esfuerzo medio y la relación de esfuerzos; teniendo en cuenta la normativa que especifica que la relación de esfuerzo es de -1.

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

#### 4.2.11 ANÁLISIS DE DEFLEXIÓN

Se estableció tres tipos de orientación de fibra tanto como fibra continua, corta y tejido plano dependiendo del porcentaje empleado, se estableció realizar ensayos a fatiga por flexión del material compuesto la misma que fue seleccionada por su mayor número de ciclos y de manera que sus probetas se obtubieron por un mecanizado a laser, se realizaron ensayos dependiendo de su mayor número de ciclos la cual se considero en el compuesto con orientación de fibra larga alineada, partiendo de investigaciones anteriores se determino que el espécimen a ser ensayado demuestran ventajas en su composición de matriz-fibra continua y orientada en la dirección de corte por lo que presenta una elevada anisotropía dentro de sus propiedades mecánicas del material compuesto.

Para calcular la carga aplicada (P) sobre la probeta (tomando en cuenta que lo que se puede regular en la máquina de ensayos es la deflexión) se puede utilizar la

ecuación presentada en la tesis de maestría de título “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A FATIGA MECÁNICA DEL TEFLÓN Y NYLON PARA DETERMINAR LA RELACIÓN ESFUERZO-NÚMERO DE CICLOS BAJO LA APLICACIÓN DE CARGAS VARIABLES Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE MÁQUINAS” finalizada en el período 2012 en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato desarrollada por el Ingeniero Mecánico Jorge Guamanquispe. Dicha ecuación es la siguiente:



$$P = \frac{3(C_3L + C_4 - Y_2EI_2)}{L^3} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

### **4.3 REGISTRO DE DATOS DE LA DEFLEXIÓN**

#### **4.3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ENSAYOS MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA LARGA DE ABACÁ**



De manera que su número de ciclos en fibra larga demostró un nivel alto se procedió a realizar con el número de muestra de 26 análisis para en contra la relación (S-N).

Tabla 4-12 Esfuerzo y Número de Ciclos para Matriz Poliéster con Fibra larga de Abacá.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>									
		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>									
		<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>									
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>											
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>											
<b>Tipo estudio:</b>	De laboratorio						<b>N° de probetas</b>		26		
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A/F.I.C.M						<b>Fecha de elaboración</b>		03/08/2014		
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano						<b>Supervisado</b>		Ing. Guamanquispe		
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato						<b>Frecuencia = 30 Hz</b>		E = 15915 MPa		
<b>Material:</b>	Matriz Poliéster (70%) con fibra larga de abacá (30%)										
<b>RESULTADOS</b>											
N	ciclos	e (m)	a (m)	b (m)	l (m)	L (m)	X (m)	I1[m^4]	I2[m^4]	def[m]	P[N]
1	307575	0,0071	0,0064	0,056	0,052	0,088	0,015	2E-10	2E-09	0,0005	7,1
2	215660	0,0072	0,0062	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,0006	8
3	255642	0,0071	0,0062	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,0006	8
4	107323	0,0072	0,006	0,056	0,052	0,088	0,015	2E-10	2E-09	0,0007	10
5	160031	0,0074	0,0071	0,056	0,052	0,088	0,01	2E-10	2E-09	0,0007	12
6	182631	0,0070	0,0071	0,056	0,052	0,088	0,01	2E-10	2E-09	0,0008	12
7	161231	0,0073	0,0071	0,056	0,052	0,088	0,01	2E-10	2E-09	0,0008	14
8	135931	0,0074	0,0071	0,056	0,052	0,088	0,01	2E-10	2E-09	0,0009	16
9	93375	0,0069	0,008	0,056	0,052	0,088	0,012	2E-10	2E-09	0,001	16
10	132571	0,0070	0,006	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,001	13
11	124986	0,0072	0,006	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,0013	18
12	102437	0,0069	0,006	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,0013	16
13	121509	0,0072	0,0062	0,056	0,052	0,088	0,013	2E-10	2E-09	0,0015	22
14	104192	0,0070	0,006	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,0015	19
15	116205	0,0072	0,0062	0,056	0,052	0,088	0,011	2E-10	2E-09	0,0017	24
16	91860	0,0070	0,0064	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,0017	23
17	79685	0,0072	0,0062	0,056	0,052	0,088	0,016	2E-10	2E-09	0,002	29
18	91453	0,0072	0,006	0,056	0,052	0,088	0,015	2E-10	2E-09	0,002	28
19	85218	0,0070	0,0060	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,0023	30
20	62672	0,0072	0,0070	0,056	0,052	0,088	0,016	2E-10	2E-09	0,0023	37
21	82184	0,0070	0,0064	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,0025	34
22	78453	0,0072	0,006	0,056	0,052	0,088	0,015	2E-10	2E-09	0,0025	35
23	64188	0,0070	0,0060	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,0027	35
24	71234	0,0070	0,006	0,056	0,052	0,088	0,012	2E-10	2E-09	0,0027	35
25	60188	0,0070	0,0064	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,003	41
26	54567	0,0072	0,006	0,056	0,052	0,088	0,014	2E-10	2E-09	0,003	42

Fuente: El Autor

Tabla 4-13 Relación Esfuerzo-Número de ciclos para Matriz Poliéster con Fibra larga de abacá.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>			
	<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>				
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>N° de probetas</b>	26	
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A/F.I.C.M	<b>Fecha de elaboración</b>	03/08/2014	
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado:</b> Ing. Guamanquispe		
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato	<b>Frecuencia = 30 Hz</b>	E = 15915 MPa	
<b>Material:</b>	Matriz poliéster (70%) con fibra larga de abacá (30%)			
<b>RESULTADOS</b>				
<b>N</b>	<b>ciclos</b>	<b>Log N</b>	<b>S [MPa]</b>	<b>Log S</b>
1	307575	5,488	9,639	0,984
2	215660	5,334	11,051	1,043
3	255642	5,408	11,365	1,056
4	107323	5,031	14,082	1,149
5	160031	5,204	14,445	1,160
6	182631	5,262	16,143	1,208
7	161231	5,207	17,317	1,238
8	135931	5,133	19,259	1,285
9	93375	4,970	19,156	1,282
10	132571	5,122	19,633	1,293
11	124986	5,097	25,694	1,410
12	102437	5,010	24,869	1,396
13	121509	5,085	30,802	1,489
14	104192	5,018	28,694	1,458
15	116205	5,065	34,498	1,538
16	91860	4,963	32,564	1,513
17	79685	4,901	38,978	1,591
18	91453	4,961	39,429	1,596
19	85218	4,931	45,306	1,656
20	62672	4,797	44,048	1,644
21	82184	4,915	48,138	1,682
22	78453	4,895	49,286	1,693
23	64188	4,807	52,857	1,723
24	71234	4,853	54,286	1,735
25	60188	4,780	58,048	1,764
26	54567	4,737	59,954	1,778

Fuente: El Autor

En la siguiente gráfica se presenta la variación de esfuerzo en función del número de ciclos en los cuales ocurre el fallo de la probeta.

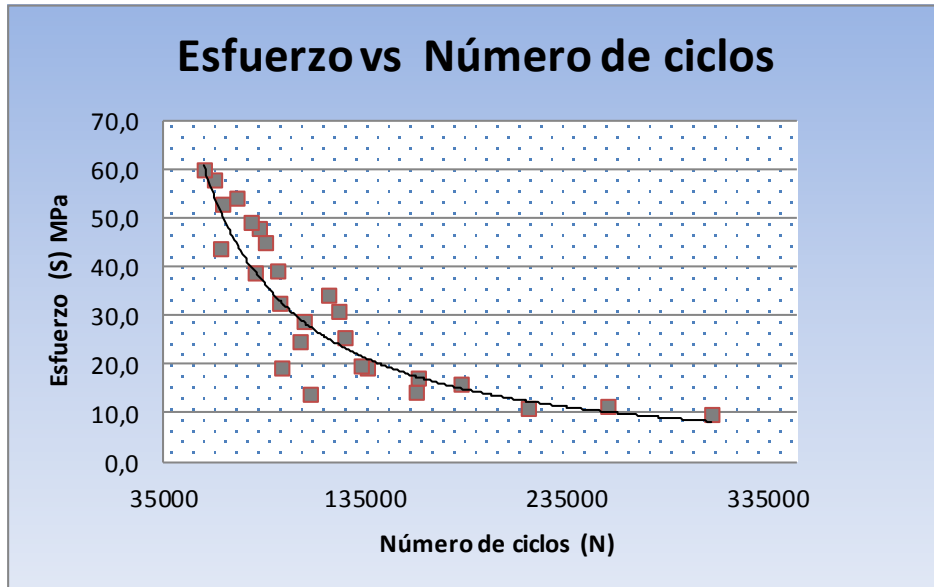


Figura 4-7 Relación Esfuerzo vs Número de ciclos

Fuente: El Autor

De acuerdo a la figura anterior el menor número de ciclos a los que ocurre el fallo del material es a 54567 ciclos con un esfuerzo igual a 59,954 MPa. Asimismo el mayor número de ciclos que resiste la muestra de probetas es igual a 307575 ciclos con un valor de esfuerzo igual 9,639 MPa.

En la gráfica se muestra la relación del Esfuerzo producido en función del logaritmo del número de ciclos de fallo de las probetas.

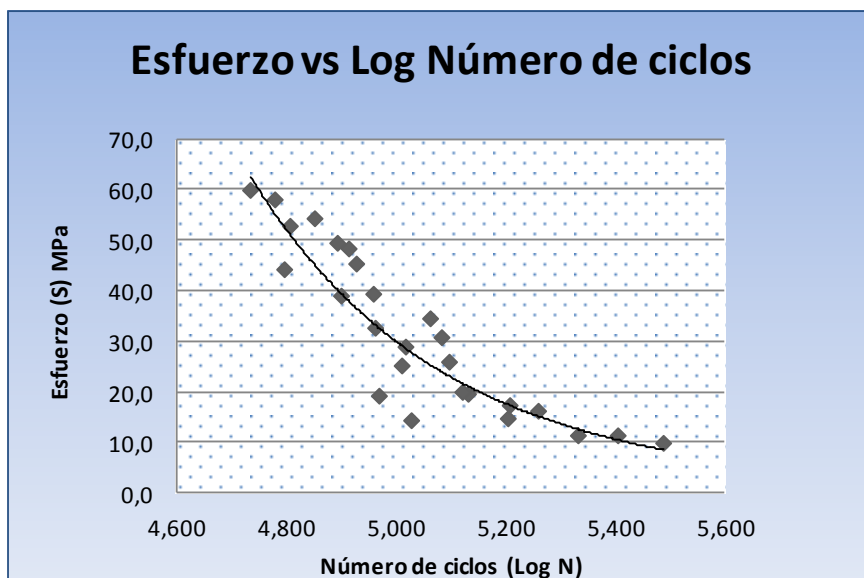


Figura 4-8 Relación Esfuerzo vs Log Número de ciclos

Fuente: El Autor

En la siguiente grafica se presenta la relación del Log de Esfuerzos en función del Log Número de ciclos de fallo de las probetas.

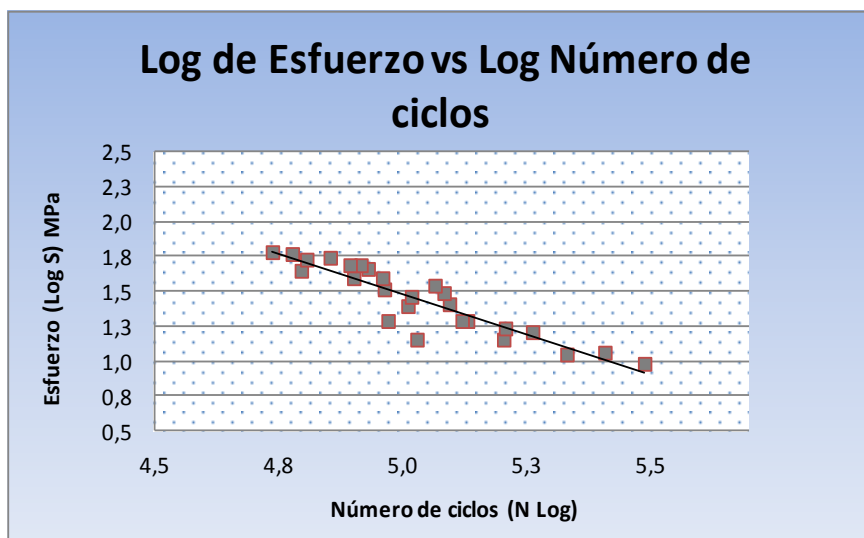


Figura 4-9 Relación Log de Esfuerzo vs Log Número de ciclos

Fuente: El Autor



A continuación se presenta la relación del Log de Esfuerzos en función del Número de ciclos de fallo de las probetas.

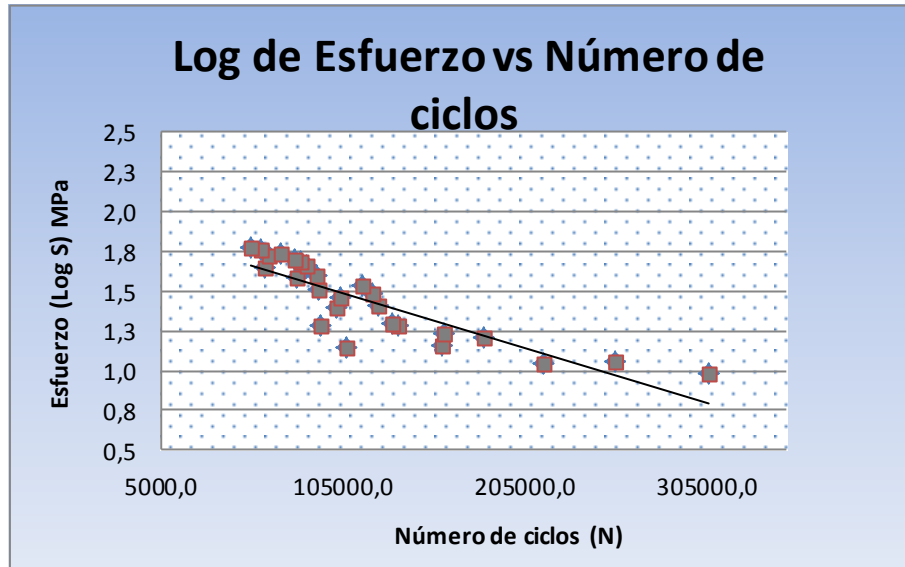


Figura 4-10 Relación Log de Esfuerzo vs Número de ciclos

Fuente: El Autor

#### 4.3.1.1 Regresión S-N para la matriz poliéster con fibra de abacá continua

En el estudio de la relación funcional entre dos variables poblacionales, una variable (x), llamada independiente, explicativa o de predicción y una variable (y), llamada dependiente o variable resultado, se toma en cuenta la siguiente notación:

Como se determinó la relación logarítmica y se presenta mediante ecuaciones que expresa el esfuerzo en los análisis de las probetas en función de su número de ciclos.

$$S = aN^b$$

Ecuación 4-3

Dónde:

S = amplitud del esfuerzo

N = número de ciclos

Dónde:

$$Y = \text{Log } S$$

$$A = \text{Log } a$$

$$x = \text{Log } N$$

Remplazando tenemos:

$$Y = A + bx \quad \text{Ecuación 4-4}$$

Determinando:

$$A = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2} \quad \text{Ecuación 4-5}$$

$$b = \bar{Y} - A\bar{X} \quad \text{Ecuación 4-6}$$

En donde:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad \text{Ecuación 4-7}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \quad \text{Ecuación 4-8}$$

Dependiendo de la ecuación 4-2

$$\text{Log } S = \text{Log } (a N^b)$$

$$\text{Log } S = \text{Log } a + \text{Log } N^b$$

$$\text{Log } S = \text{Log } a + b \text{ log } N \quad \text{Ecuación 4-9}$$

Los valores obtenidos de la constante:



$$A = -3,537$$

$$b = 48,043$$

Donde la ecuación de regresión tenemos:

$$S = -3,537 * \text{Log } N + 48,043$$

Tabla 4-14 Regresión lineal para Matriz Poliéster con fibra larga de abacá.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>						
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>						
	<b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>						
<b>REGRESIÓN LINEAL</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>							
<b>Tipo estudio:</b>	De laboratorio	<b>N° de probetas:</b>	26				
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A/F.I.C.M	<b>Fecha de elaboración;</b>	03/10/2014				
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado:</b>	Ing. Guamanquispe				
<b>Lugar:</b>	Universidad Tecnica de Ambato	<b>Frecuencia = 30 Hz</b>	<b>E = 15915 MPa</b>				
<b>Material:</b>	Matriz poliester (70%) con fibra larga de abacá (30%)						
<b>RESULTADOS</b>							
N	ciclos	S	xi=Log ciclos	x <sup>2</sup>	XY	yi =calc	y-y cal
1	307575	9,639	5,488	30,118	52,898	28,633	-18,994
2	215660	11,051	5,334	28,449	58,945	29,178	-18,127
3	255642	11,365	5,408	29,242	61,457	28,917	-17,552
4	107323	14,082	5,031	25,308	70,841	30,250	-16,168
5	160031	14,445	5,204	27,084	75,173	29,636	-15,192
6	182631	16,143	5,262	27,684	84,935	29,433	-13,291
7	161231	17,317	5,207	27,118	90,177	29,625	-12,308
8	135931	19,259	5,133	26,351	98,865	29,887	-10,628
9	93375	19,156	4,970	24,703	95,208	30,464	-11,308
10	132571	19,633	5,122	26,239	100,567	29,926	-10,293
11	124986	25,694	5,097	25,978	130,961	30,016	-4,322
12	102437	24,869	5,010	25,105	124,604	30,322	-5,453
13	121509	30,802	5,085	25,853	156,616	30,059	0,743
14	104192	28,694	5,018	25,179	143,981	30,296	-1,602
15	116205	34,498	5,065	25,657	174,741	30,128	4,370
16	91860	32,564	4,963	24,633	161,618	30,489	2,075
17	79685	38,978	4,901	24,023	191,048	30,707	8,271
18	91453	39,429	4,961	24,613	195,615	30,496	8,933
19	85218	45,306	4,931	24,310	223,383	30,604	14,702
20	62672	44,048	4,797	23,012	211,300	31,076	12,971
21	82184	48,138	4,915	24,155	236,587	30,660	17,478
22	78453	49,286	4,895	23,957	241,237	30,731	18,555
23	64188	52,857	4,807	23,112	254,108	31,040	21,817
24	71234	54,286	4,853	23,549	263,432	30,880	23,406
25	60188	58,048	4,780	22,844	277,443	31,138	26,910
26	54567	59,954	4,737	22,439	283,997	31,289	28,665
<b>Σ</b>		819,54	121,457	660,71	3498,30	723,453	-21,915

Fuente: Autor

En la siguiente figura se presenta la relación esfuerzo corregido vs el logaritmo del número de ciclos de fallo de las mismas. De la gráfica se puede notar que la curva tiende a ser una línea recta debido a la regresión lineal que se utilizó para realizar dicha gráfica.

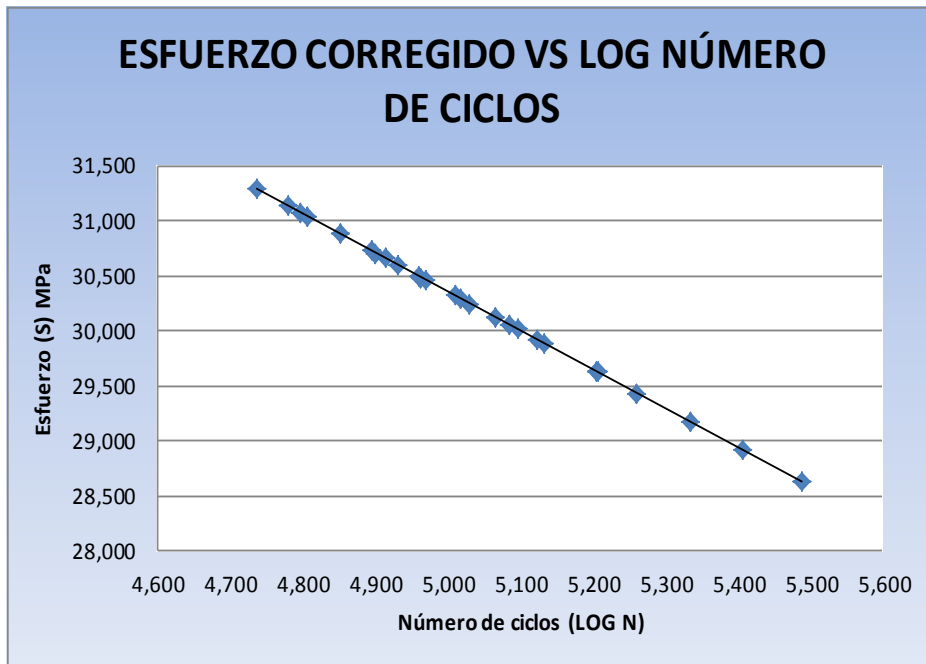


Figura 4-11 Relación Esfuerzo corregido vs Log Número de ciclos

Fuente: El Autor

#### 4.4 COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Luego de haber obtenido los ensayos de la matriz poliéster 70% con fibra larga de abacá 30%, se analizaron los resultados obtenidos versus los esperados mediante la prueba de comprobación de la hipótesis se verifica realizando la prueba del “T” de Student para Observaciones pareadas en dos grupos.

$$T = \frac{\bar{x}}{s_x/\sqrt{n}}$$

Ecuación 4-10

Dónde:

$T = t$  student

$\bar{x}$  = media

$n$  = observaciones

$S_x$  = desviación estándar

Se comprueba la hipótesis estadísticamente teniendo.

$H_a$  = hipótesis alterna ( $H_a < 0$ )

$H_o$  = hipótesis nula ( $H_o > 0$ )

### **Hipótesis Alterna**

Con el estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster con fibra de abacá se podrá determinar la relación esfuerzo-número de ciclos.

### **Hipótesis Nula**

Con el estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster con fibra de abacá no se podrá determinar la relación esfuerzo-número de ciclos.

Para esta investigación se toma un nivel de confiabilidad del 95% por lo tanto se tiene un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  por tratarse de muestras relacionadas y pequeñas ( $<30$ ).

Como se analiza para las dos colas la significancia dividimos para 2 teniendo.

$$P = \frac{0,05}{2} = 0,025$$

Los grados de libertad son:

$$gl = 26 - 1 = 10 - 1 = 25$$

Con P y gl vamos a la tabla de "t" (Anexo H) y tenemos.

$$"t" \text{ tablas}_{(25 \text{ gl}; 0,025)} = \pm 2,060$$

Para determinar la frecuencia esperada se basó en el número de ciclos hasta la falla, obtenidos en MPa.



Para el cálculo estadístico T, en primer lugar se calcula el promedio de las diferencias muestrales.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Para calcular la cuasi varianza se tiene:

$$S_{x^2} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Tabla 4-15 Valores estadísticos.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>					
		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>					
		<b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>					
<b>DEMOSTRACIÓN DE LA HIPOTESIS</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>							
<b>Tipo estudio:</b>	De laboratorio		<b>N° de probetas:</b>		26		
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A/F.I.C.M		<b>Fecha de elaboración:</b>		03/10/2014		
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano		<b>Supervisado:</b>		Ing. Guamanquispe		
<b>Lugar:</b>	Universidad Tecnica de Ambato		<b>Frecuencia = 30 Hz</b>		<b>E = 15915 MPa</b>		
<b>Material:</b>	Matríz poliéster (70%) con fibra larga de abacá (30%)						
<b>RESULTADOS</b>							
N	ciclos	Sobs	Sesp	$X_i$	$(X_i - X_{med})^2$	$(X_i - X_{med})$	
1	307575	9,639	28,633	18,994	411,617	20,288	
2	215660	11,051	29,178	18,127	328,578	18,127	
3	255642	11,365	28,917	17,552	308,072	17,552	
4	107323	14,082	30,250	16,168	261,413	16,168	
5	160031	14,445	29,636	15,192	230,790	15,192	
6	182631	16,143	29,433	13,291	176,648	13,291	
7	161231	17,317	29,625	12,308	151,487	12,308	
8	135931	19,259	29,887	10,628	112,946	10,628	
9	93375	19,156	30,464	11,308	127,877	11,308	
10	132571	19,633	29,926	10,293	105,943	10,293	
11	124986	25,694	30,016	4,322	18,676	4,322	
12	102437	24,869	30,322	5,453	29,734	5,453	
13	121509	30,802	30,059	-0,743	0,551	-0,743	
14	104192	28,694	30,296	1,602	2,565	1,602	
15	116205	34,498	30,128	-4,370	19,099	-4,370	
16	91860	32,564	30,489	-2,075	4,304	-2,075	
17	79685	38,978	30,707	-8,271	68,410	-8,271	
18	91453	39,429	30,496	-8,933	79,801	-8,933	
19	85218	45,306	30,604	-14,702	216,143	-14,702	
20	62672	44,048	31,076	-12,971	168,253	-12,971	
21	82184	48,138	30,660	-17,478	305,471	-17,478	
22	78453	49,286	30,731	-18,555	344,283	-18,555	
23	64188	52,857	31,040	-21,817	476,003	-21,817	
24	71234	54,286	30,880	-23,406	547,843	-23,406	
25	60188	58,048	31,138	-26,910	724,147	-26,910	
26	54567	59,954	31,289	-28,665	821,660	-28,665	
$\Sigma$		819,540	785,881	-33,659	6042,32	-32,365	

Fuente: El Autor



### Regla de decisión:

Se acepta la  $H_a$ , es decir, con el estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster con fibra de abacá se podrá determinar la relación esfuerzo-número de ciclos; si el valor de  $t$  a calcularse es menor que el valor de  $\pm 2,060$ . Caso contrario si el valor es mayor o igual se acepta el  $H_0$ , es decir con el estudio del comportamiento a fatiga mecánica por flexión en materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster con fibra de abacá no se podrá determinar la relación esfuerzo-número de ciclos.

Observaciones	26
Grados de libertad	25
$X_{med}$	-1,295
$Sx^2$	241,693
T	1,041

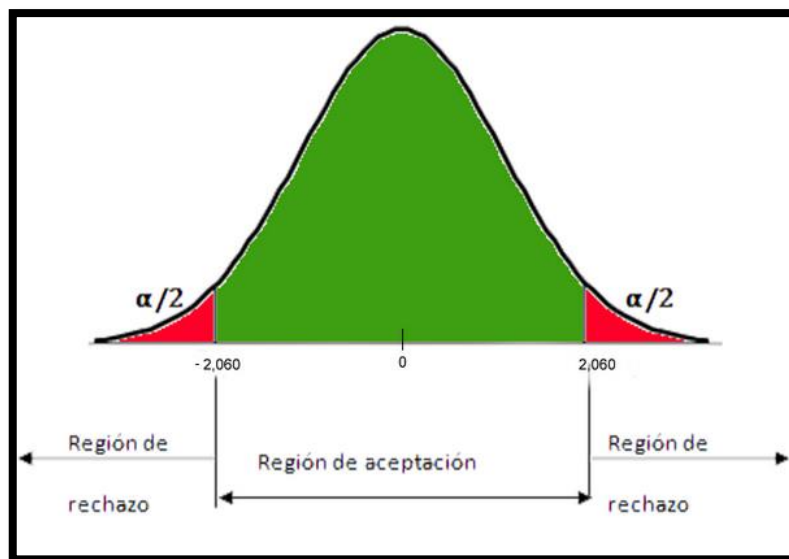


Figura 4-12 Curva de probabilidad

Fuente: El Autor

Como  $T < t$ , es decir  $1,041 < 2,060$ ; por lo tanto se aprueba la hipótesis alterna (por encontrarse este valor dentro de la campana).

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- Los ensayos se realizaron partiendo de un esfuerzo muy cercano a la resistencia del compuesto Matriz-fibra.
- Se determinó su mejor estructuración y porcentajes volumétricos al realiza 5 probetas a ensayar así poder obtener su mejor número de ciclos.
- Partiendo del análisis de cada una de las tres estructuras de la fibra, es posible contemplar una serie de variantes en su número de ciclos, se realizó empezando por un esfuerzo muy cercano a la resistencia del compuesto (matriz-fibra), este esfuerzo va disminuyendo hasta aproximadamente un 30% de este valor o hasta que la probeta tenga un número de ciclos lo suficiente mente alto.
- Se determinó su tiempo de curado de las probetas, fue de 4 horas teniendo en cuenta que por cada 100 g de resina poliéster 2% de catalizador.
- Se elaboraron probetas entre porcentajes de matriz poliéster con fibra de abacá entre 10-90%, 20-80% y 30-70% para determinar su influencia en su estudio a fatiga.
- En la composición de matriz-fibra a sus porcentajes del 10, 20 y 30% se obtuvo un número de ciclos menor que el de la fibra tejida en todos sus porcentajes.
- Dentro de su estructuración de fibra tejida con compuesto de 30% de fibra se estima un número de ciclos cercano a la matriz de fibra continua, respecto a su proceso de mecanizado influye en sus propiedades del compuesto.

- En la obtención de la mejor combinación de sus propiedades fue del 30% de fibra longitudinal con un número de ciclos 60188 a una deflexión de 3 mm.
- El compuesto matriz fibra de abacá se utilizó como elemento útil dentro de la industria partiendo de una investigación artesanal la que puede ser incrementada al aplicarla en partes y piezas.
- De acuerdo a los porcentajes en la matriz resina-fibra de abacá; tenemos que el mayor número de ciclos depende de la deflexión, el mismo que se determinó por su estructuración en un 30% de fibra.



Figura 5-1 Matriz fibra larga (área de rotura).

Fuente: El Autor

- En cuanto a la caracterización mecánica que requieren las probetas de un material compuesto y partiendo de investigaciones se recomienda trabajar con fibra fina, ya que el hilo grueso dificulta el procesamiento del material dentro de los moldes.
- Debido a su caracterización mecánica que presenta la fibra de abacá se realizó un tejido de fibra. Los diámetros aproximados en que presenta se tienen de 0,9 a 1,6 mm lo mismo que fueron hilados en la parroquia de Salasaca del cantón

Pelileo de la provincia de Tungurahua. Teniendo en cuenta que la fibra de abacá es muy áspera.



Figura 5-2 Hilado de fibra de abacá.

Fuente: El Autor

Se recomienda que al utilizar moldes nuevos encerar cada uno con 8 a 12 manos de cera de tal manera que la preparación del mismo sea el óptimo.



Figura 5-3 Encerado del molde.

Fuente: El Autor

- Para empezar la composición de la resina es recomendable tener sus porcentajes óptimos.

- Es necesario realizar mayor número de estudios sobre fatiga en diferentes materiales compuestos con fibras naturales por su intervención dentro de la industria.
- La matriz resina poliéster-fibra de abacá se puede emplear dentro de materiales compuestos para la fabricación de elementos en de la industria.
- Para la fabricación de cualquier tipo de accesorio utilizado dentro de la industria carrocera, con fibra de abacá el proceso de elaboración sigue siendo el mismo por estratificación manual.
- Dependiendo de su espesor (2 a 8 mm) el número de ciclos tiende a  $10^6$  vida finita lo que me lleva a determinar la fiabilidad de mi producto realizado mientras menor sea su espesor se obtiene un mayor número de ciclos.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Utilizar los porcentajes adecuados de materiales para diferentes tipos de ensayos ya que nos brindarían unos análisis exactos.
- Realizar accesorios mecánicos dentro de la industria con fibras naturales ya que se eliminaría la contaminación ambiental en gran proporción.
- Es considerable tener en cuenta procesos de estructuración de ensayos a seguir dentro de la manipulación de materiales poliméricos.
- Realizar ensayos con diferentes materiales de resinas y su compuesto que nos permitan obtener mejores propiedades.
- La estructuración de la matriz se recomienda tener una buena humectación de la fibra antes de colocar presión en la tapa superior, de tal manera obtener una buena compactación del material.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESCALERA DE ASCENSO DE BUSES CONSTRUÍDA CON MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y FIBRA DE ABACÁ.**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

La presente investigación se realizó con material compuesto de matriz poliéster - fibra de abacá. El desarrollo de su procedimiento, se basa en parámetros de ensayos a fatiga por medio de viga en cantiléver dentro de la norma ASTM D-671, se establece dimensiones nominales de las probetas Tipo A para ensayos con espesores de 2 a 8mm.

Así mismo vale la pena mencionar que la tendencia actual es trabajar cada vez con materiales poliméricos compuestos de matriz poliéster, y que actualmente se van introduciendo en la industria de materiales aplicables a la conformación de piezas o partes mecánicas, y se establece reducir peso en los conformados dentro de las carrocerías y la sustitución de la fibra de vidrio con fibras naturales.

De acuerdo a las normas para fabricación de carrocerías, se establecen parámetros para cada una de sus partes, que conforma el armado del mismo por lo que se toma la norma NTE INEN 1323 en la que se detallan parámetros de construcción para los escalones de ascenso de pasajeros.

De manera que se establece diseñar una escalera de ascenso de buses construida con material compuesto de matriz polimérica y fibra de abacá.

Asimismo se debe verificar la resistencia del material compuesto con matriz poliéster fibra de abacá, utilizada para la fabricación de la escalones de un bus. Para realizar el análisis de dicho componente mediante elementos finitos se procederá a determinar las cargas a los que se encuentra sometido al componente que es objeto de análisis.

## **6.2 ANTECEDENTES A LA PROPUESTA**

En la actualidad, en el campo de la ingeniería de materiales, se evidencia cada vez más el uso de las fibras naturales, ya que en nuestro entorno se encuentra una gran variedad de las mismas; a lo largo de la historia de la humanidad, estas fibras han establecido un margen de utilidad muy importante, ya que estas presentan buenos factores constructivos y estéticos en sus propiedades mecánicas, se establece al desarrollo de materiales biodegradables y que además se derivan de recursos renovables y constituye una alternativa viable frente a los problemas medioambientales.

## **6.3 JUSTIFICACIÓN**

A nivel mundial se están desarrollando una variedad de materiales compuestos, por ende hoy en día se pretende sustituir algunos materiales como la fibra de vidrio, kevlar u otros. De esta manera se trata de dar un valor agregado a los recursos naturales, además generar nuevas alternativas de materiales compuestos con mejores características.

Del mismo modo cabe recalcar que el abacá es una fibra que ha ido evolucionando con el tiempo en cuanto a su uso, tanto en el ámbito textil como industrial; y el compuesto matriz-fibra de abacá se ha ido popularizando cada vez más como elemento útil dentro de la industria debido a su gran versatilidad de aplicación en la misma.

## **6.4 OBJETIVOS**

Diseño y construcción de una escalera de ascenso de buses construida con material compuesto de matriz polimérica y fibra de abacá.

### **6.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar parámetros durante el diseño de la escalera.
- Modelado de la escalera mediante un software.
- Determinar las deformaciones producidas en la escalera mediante un análisis estático, deflexión mediante un software para poder establecer parámetros de confiabilidad en su diseño.
- Realizar el procedimiento de construcción de la escalera.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

Se determina que el diseño y construcción de la escalera es factible de realizarse, debido a que se cuenta con información técnica relacionada al uso de productos y procesos de construcción.

Además del recurso humano y económico, los materiales para la elaboración de la escalera son moderados y se encuentran en el mercado siendo de fácil adquisición, recalando que la fibra de abacá fue adquirida en la provincia de Santo Domingo.



## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

### **6.6.1 MOLDE**

Se realizó la construcción del molde en una plancha de tol 1220x2440x1,5 mm para la fabricación de la escalera teniendo en cuenta el Anexo E para su construcción en el que especifica sus dimensiones de construcción teniendo tres piezas para obtener un fácil desmolde de la grada.

### **6.6.2 FRACCIÓN VOLUMÉTRICA**

Partiendo de los porcentajes en su estructuración y orientación de la fibra realizados en el capítulo IV, así obtenidos con un 30 % de fibra de abacá y 70 % de matriz poliéster lo mismo que se determinó partiendo del diseño de la grada en el software para encontrar cada uno de sus volúmenes de cada material.

### **6.6.3 PARÁMETROS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA ESCALERA DE ASCENSO DE BUSES**

Partiendo del diseño de los escalones y determinación de sus dimensiones expuestas en la Norma INEN 2205 para elementos de vehículos automotores, se determina mediante la Norma INEN 1323 la carga que va a soportar los escalones la misma que es de 70 Kg.

Dimensiones para el diseño de escalones para el ascenso de pasajeros.

Contrahuella de los peldaños interiores: máximo 220 mm.

Huella en el primer peldaño: mínimo 300 mm.

Huella en los peldaños interiores: mínimo 250 mm.

#### 6.6.4 PROPIEDADES PARA EL ANÁLISIS DE LA ESCALERA

Debido a los estudios realizados en capítulos anteriores, la composición del material con mejores propiedades mecánicas en su deflexión se asume el compuesto de resina poliéster 70% y de fibra larga de abacá 30%, para que este sea el parámetro de evaluación.

Los parámetros al ser utilizados en el análisis por medio del software se tomaron de los ensayos realizados en la Escuela Politécnica Nacional (Quito-Ecuador).

Tabla 6-1 Resultados de ensayos de tracción realizados bajo la norma ASTM D3039

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTMD3039-14									
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo (MPa)	Coefficiente de Poisson	Deformación última (%)	Modo de rotura *
1	14,75	2,76	40,71	2210	54,30	14900	0,331	0,476	AGM
3	14,62	3,10	45,32	2720	63,70	16900	0,372	0,353	SAT
4	14,82	2,87	42,53	2690	63,10	12300	0,341	0,503	SAT
5	14,83	2,82	41,82	2840	67,90	14400	0,336	0,459	SAB
6	14,78	2,89	42,71	2360	55,20	12500	0,366	0,432	SAB
Promedio			$\bar{x}$	2564,000	60,840	14200	0,349	0,445	
Desviación estándar			$S_{n-1}$	266,139	5,868	1892,089	0,019	0,057	
Coeficiente de variación			CV	10,380	9,644	13,325	5,309	12,898	

Fuente: El Autor

Partiendo del diseño del modelado y parámetros dentro de la simulación del software se establece analizar sus factores de seguridad para la elaboración y fabricación de la escalera para buses.

#### 6.6.5 MODELADO

Partiendo de las dimensiones espuestas en la norma NTE INEN 2205 para diseño de carrocerías para buses se procedió al modelado de la escalera especificando un espesor para su análisis.

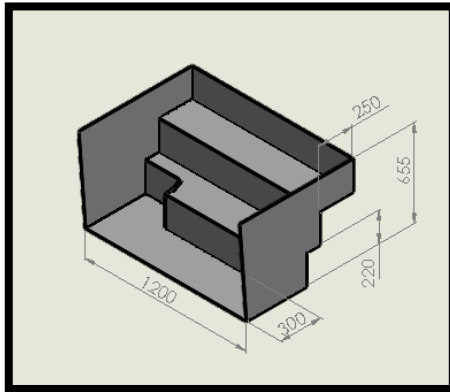


Figura 6-1 Diseño de un elemento de carrocería formado por una serie de escalones

Fuente: El Autor

## 6.6.6 ANÁLISIS

### 6.6.6.1 Apoyos y carga aplicada en el análisis

Los apoyos en los que va a ser ensamblado la escalera se establece como geometría fija.

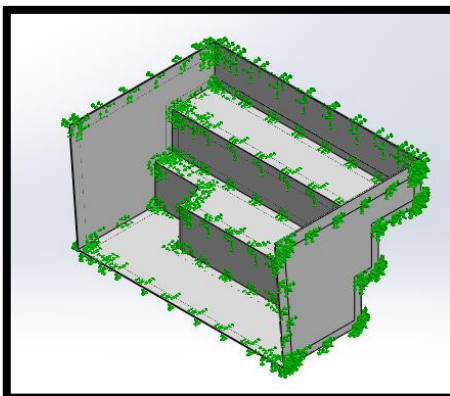


Figura 6-2 Sujeciones aplicadas

Fuente: El Autor

Las cargas están aplicadas en cada peldaño y se estima una carga de 70 Kg en cada uno de estos.

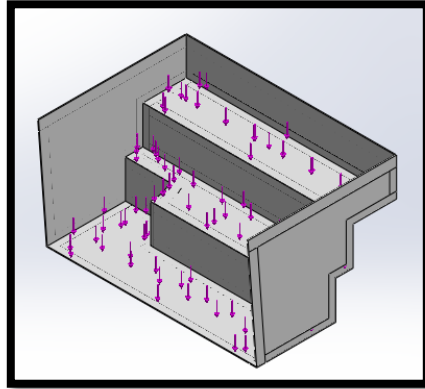


Figura 6-3 Carga aplicadas

Fuente: El Autor

#### 6.6.6.2 Analisis de la deflexión

Se determina un desplazamiento máximo de 0,07279 mm y un mínimo de 0,001 mm en las áreas, que en su mayor parte de tiempo están expuestas en contacto con las cargas.

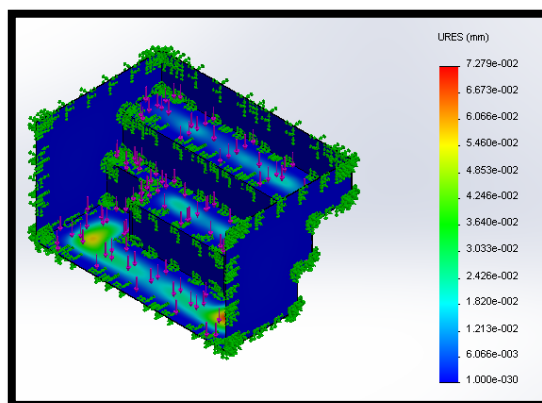


Figura 6-4 Deformación del análisis estático

Fuente: El Autor

### 6.6.6.3 Diseño de esfuerzo y factor de seguridad

Las tensiones de Von Mises se obtuvo un factor máximo de  $1147073,9 \text{ N/m}^2$  y un mínimo de  $31,9 \text{ N/m}^2$  que han superado el límite elástico, pues que el material demuestra una mínima fluencia.

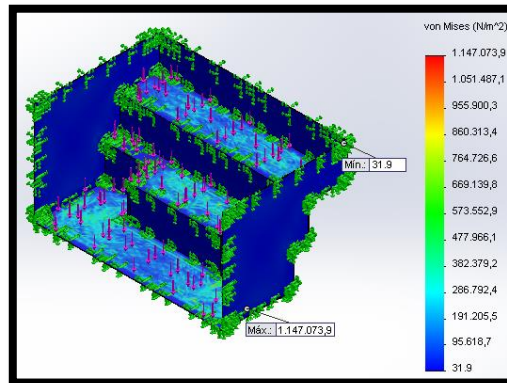


Figura 6-5 Análisis de von Misses

Fuente: El Autor

El factor de seguridad obtenido de 41,75 determina que con un espesor de 3 mm de compuesto de resina poliéster-fibra de abacá se establece la construcción de la escalera.

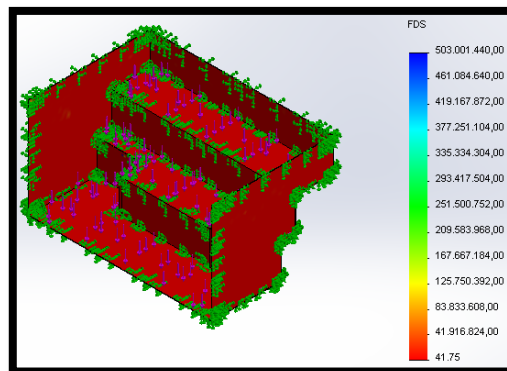


Figura 6-6 Análisis del factor de seguridad

Fuente: El Autor

## 6.7 METODOLOGÍA, MODELO OPERATIVO

Una vez realizado el modelado y análisis de la escalera para un bus se realizará su construcción de la misma, a continuación se detalla cada uno de los procesos hasta obtener un producto final.

### 6.7.1 CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

El molde se realizó en una plancha de tol acero A36 con 2 mm de espesor de tal manera que su construcción cumpla con tres piezas lo cual nos permita obtener un fácil desmolde.

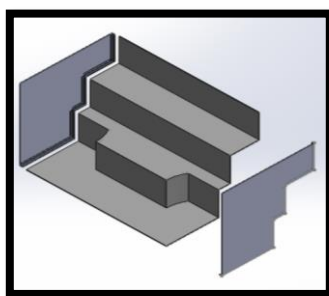


Figura 6-7 Trazado de escalones.

Fuente: El Autor

- a) Se realizó el trazado de escalones siguiendo el Anexo I (plano 3) en la plancha de tol con un área de (1220x2440 mm).



Figura 6-8 Trazado de los escalones.

Fuente: El Autor

- b) Doblar la plancha de tol para obtener cada uno de los escalones.



Figura 6-9 Doblado del Tol.

Fuente: El Autor

- c) Apuntar sus partes laterales del molde para colocar unos ángulos de  $\frac{3}{4}$  pulg de 2 mm de espesor en sus lados, así obtener tres piezas libres para conseguir un fácil desmolde de la grada.



Figura 6-10 Apuntar sus partes laterales.

Fuente: El Autor

d) Pulido de las juntas apuntadas del molde.



Figura 6-11 Pulido de las juntas.

Fuente: El Autor

e) Molde de tres piezas lo cual está sujeto con puntos de suelda en las juntas, con ángulos en la parte interior lo cual nos permite pulir y tener un fácil desprendimiento de la pieza.



Figura 6-12 Grada matriz de tol.

Fuente: El Autor



## 6.7.2 CONSTRUCCIÓN DE LA GRADA CON MATRIZ POLIÉSTER CON FIBRA DE ABACÁ

Una vez realizado la construcción de la matriz en tol se procedió a la construcción de la grada cono, su procedimiento se enlista en los siguientes ítems.

- a) Limpiar la superficie del molde con thinner para eliminar impurezas.

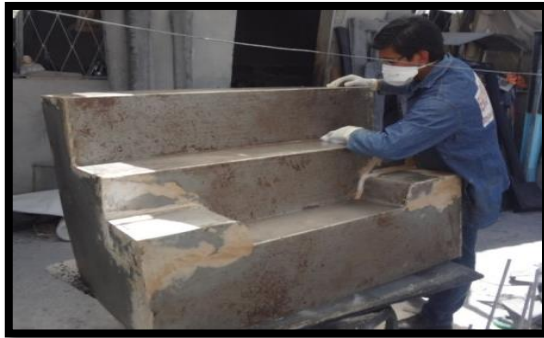


Figura 6-13 Limpieza de la matriz.

Fuente: El Autor

- b) Pasar cuatro manos de líquido desmoldante a un intervalo de 15 minutos en la superficie del molde, para obtener un buen desprendimiento de la matriz al ser un molde nuevo.



Figura 6-14 Encerado de la matriz con líquido desmoldante.

Fuente: El Autor

- c) Colocar una cinta masquin en las juntas ya que la matriz consta de tres partes, así obtener un fácil desmolde.



Figura 6-15 Colocar cinta masquin.

Fuente: El Autor

- d) Encerar las superficies del molde y abrillantar, la idea primordial es tener un original lo más perfecto y pulido que se pueda.



Figura 6-16 Abrillantado de la matriz.

Fuente: El Autor

- e) Aplicar cera desmoldante Simoniz, por lo menos 5 veces de manera que quede perfectamente encerada y esperar un tiempo de 20 minutos a temperatura ambiente.



Figura 6-17 Encerado de la matriz.

Fuente: El Autor

- f) Preparación del gelcoat para colocar la primera mano en la superficie del molde con pigmento de color plomo.



Figura 6-18 Preparación de resina con Peróxido de Mek.

Fuente: El Autor

- g) Colocar una mano de gelcoat con (Metil Etil Cetona o Peróxido de Mek) en el molde y esperar unos 15 min.



Figura 6-19 Aplicación de la primera mano con gelcoat.

Fuente: El Autor

- h) Colocar fibra de abacá y aplicar sobre ella la resina preparada con Metil Etil Cetona o Peróxido de Mek con una brocha y rodillo para obtener una humectación correcta de la fibra.



Figura 6-20 Ubicación de la fibra de abacá en el molde.

Fuente: El Autor

- i) Desmolde de la grada después de obtener un aspecto gelatinoso.



Figura 6-21 Matriz poliéster – Fibra de abacá

Fuente: El Autor

## **6.8 ADMINISTRACIÓN**

En el estudio realizado se debe analizar los costos, tanto de los ensayos como de la propuesta y de toda la investigación en sí.

### **6.8.1 COSTOS DIRECTOS**

Los costos directos comprenden los rubros detallados en la siguiente tabla.

Tabla 6-2 Costos directos

Nº	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO(USD)	TOTAL (USA)
1	Resina poliéster	50	Kg	2,74	137,00
2	Peróxido (Meck)	3	Kg	20	60,00
3	Será desmoldante	1	-	19	19,00
4	Fibra de abacá	4	kg	2,4	9,60
5	Tejido de fibra	1	1	15	15,00
6	Envases plásticos	10	4	80 ctv	3,60
7	Vidrios	5	(290x230x5) mm	3	15,00
8	Matriz	100	corte	1	100,00
9	molde probetas	1	-	70	70,00
10	molde grada	1	-	110	100
SUBTOTAL					529,20
IVA 12%					63,50
TOTAL					592,70

Fuente: El Autor

## 6.8.2 COSTOS INDIRECTOS

Tabla 6-3 Costos indirectos

Nº	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO(USD)	TOTAL (USA)
1	Corte por laser	100	corte	1	100
2	Transporte	20	-	1,5	30
3	Ensayos	80	-	-	70
TOTAL					200

Fuente: El Autor

### 6.8.3 COSTOS TOTALES

Tabla 6-4 Costos Totales

DETALLE	COSTO
Costos directos	592,70
Costos indirectos	200,00
SUBTOTAL	792,70
imprevistos	12%
TOTAL	887,82

Fuente: El Autor

### 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Se puede evaluar el comportamiento real de la escalera de ascenso de buses construida con material compuesto de matriz polimérica y fibra de abacá durante su uso (en función del tiempo de funcionamiento de dicho bus), y de este modo corroborar los resultados obtenidos del análisis desarrollado en la presente investigación.

También se puede complementar el presente estudio con otros que contemplen situaciones de fatiga más parecidas al estado real; y con esto evaluar de manera más fiable los resultados del presente estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agustin, D. (2008). Introduccion a la resina poliester como material compuesto. Colombia : Suin S.A.
- Callister. (s.f.). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. México: Grupo Noriega.
- Gordon, C. (1981). Handbook of textil. fibers vegetable Tomo I y Tomo II.
- Guerrero, V. (2011). Nuevos Materiales Aplicaciones estructurales e industriales. Quito-Ecuador: Victor Hugo Guerrero, Ph. D.
- Hull, D. (2003). Materiales Compuestos. Barcelona: Reverté. S.A.
- Ibérica, G. C. (23 de 09 de 2013). [www.gazechim.es/productos/resinas.html](http://www.gazechim.es/productos/resinas.html). Recuperado el 12 de 08 de 2014, de [www.gazechim.es/productos/resinas.html](http://www.gazechim.es/productos/resinas.html): <http://www.gazechim.es/>
- Jiménez, D., & Sette, R. (1996). Tratamiento de aguas residuales (Segunda ed.). Editorial Reverte S. A.
- Newell, J. (2011). Ciencias de Materiales Aplicaciones en Ingeniería . Mexico D.F: Mexico .
- NºFT01, N. T. (2006). Introducción al Análisis de Fatiga o Durabilidad.
- Norton, B. V. (2001). Journal of Materials Science, Vol 36 N| 7.
- R., N. (1999). Diseño de Máquinas. Mexico: Prentice Hall.
- Shackelford, J. F. (2005). Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros Sexta Edición. Madrid (España): Pearson Educación S.A. Madrid. 2005.



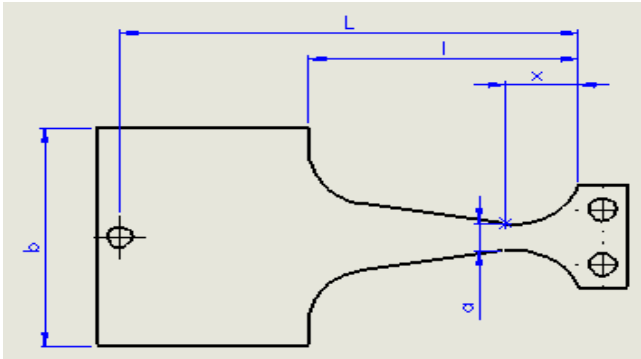


- Shackelford, J. F. (2010). Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. Madrid (España): Miguel Martín-Romo.
- Shigley. (2008). Mechanical Engineering Desing (Eighth ed.). McGraw-Hill.
- Sons, J. W. (2007). Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis. Canada: United States of America.
- Spiegel, M. R. (1980). Teoria y Problemas de Probabilidad y Estadística. Colombia: Libros Mc.Graw.Hill.
- Sturges, W. F. (1995). Ingeniería Mecánica. Barcelona: Reverté.
- Tarsicio Beléndez, C. N. (2002). Estudio de la Flexión de una Viga de Material Elástico no Lineal. Brasileira de Ensino de Física, 1.
- Willian D. Callister, J. (2009). Introducción a la ciencia e Ingeniería de los Materiales. México: Limusa Wiley.
- Willian F. Smith, F. H. (2004). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Wylie, S. &. (2000). Fundamentos de Mecánica de Fluidos (Octava ed.). McGraw-Hill.

# ***ANEXOS***

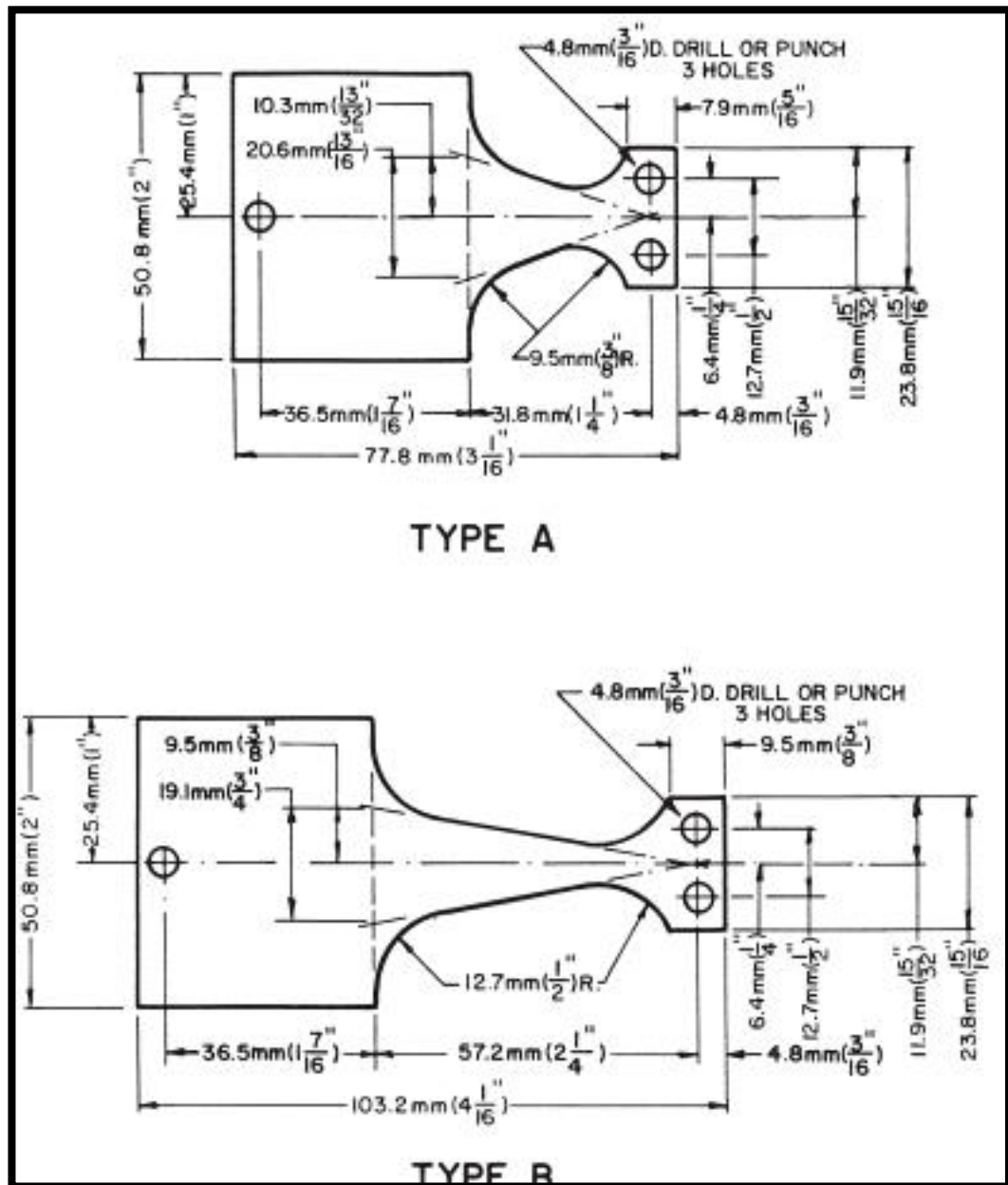
## ANEXO A

Anexo A 1. Tabla de recopilación de datos.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>						
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Nº de probeta:</b>				
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. / F.I.C.M.	<b>Fecha de elaboración:</b>				
<b>Centro de estudio:</b>	Laboratorio Ingeniería Mecánica	% Volumetrico				
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado por:</b> Ing. Guamanquispe				
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato					
<b>RESULTADOS</b>						
N	Tiempo	Número de ciclos	espesor	X (mm)	a (mm)	desfasamiento
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
FOTOGRAFÍAS						
GRAFICAS						
						
OBSERVACIONES						

Fuente: El Autor

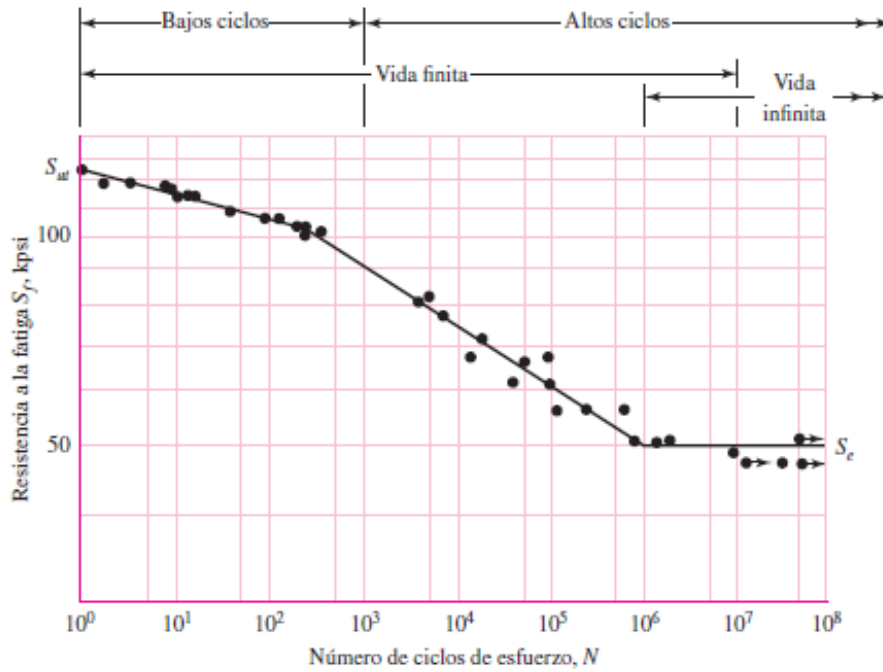
Anexo A 2. Probetas



Fuente: John Wiley & Sons, 2007, p.84

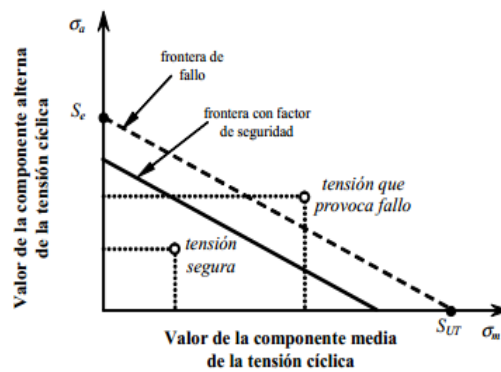
## ANEXO B

### Anexo B 1. Diagrama S - N.



Fuente: Shigley, 2008

### Anexo B 2. Aplicación al diseño del diagrama de vida constante $\sigma_m - \sigma_a$ .










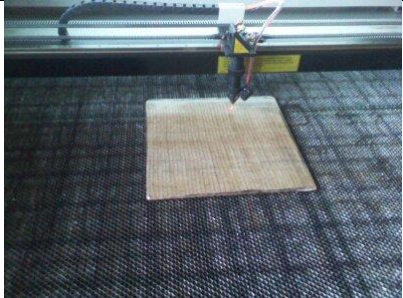
Fuente: Nota Técnica

## ANEXO C

### Anexo C 1. Proceso del compuesto resina poliéster-fibra larga

	
Cantidad de la fibra de abacá	Encerado del molde
	
Aplicar una capa de resina sin Peróxido de (Metil Etil Cetona o Peróxido de Mek)	Compactacion de la matriz y secado
	
Corte de las probetas por laser	probeta

Anexo C 2. Proceso de la obtencion del compuesto resina poliester-fibra tejida




	
<p>Cantidad a ser hilado de la fibra de abacá</p>	<p>Preparacion del hilado de la fibra</p>
	
<p>Tejido del hilado de la fibra</p>	<p>Obtencion del telar de fibra</p>
	
<p>Recortado del telar y pesado</p>	<p>Aplicar una capa de resina sin Peróxido de (Metil Etil Cetona o Peróxido de Mek).</p>
	
<p>Proceso de humectacion de la fibra</p>	<p>Proceso de corte</p>

Anexo C 3. Proceso de la obtencion del compuesto resina poliester-fibra corta 5 cm.

	
Cantidad en fibra corta 5cm	Aplicar una capa de resina sin Peróxido de (Metil Etil Cetona o Peróxido de Mek).
	
Corte de las probetas por laser	



Anexo C 4. Materiales que se utilizaron durante el analisis de matriz poliéster-fibra de abacá

	
Materiales de contruccion	Materiales de laboratorio
	
Máquina de ensayos	

Anexo C 5. Probetas analizadas

Probetas realizadas con fibra larga.



Fuente: El Autor

Probetas realizadas con fibra corta de 5 cm.



Fuente: El Autor

Probetas realizadas con fibra tejida



Fuente: El Autor

## **ANEXO D**



# Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 3039/D 3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

<sup>ε1</sup> NOTE—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

## 1. Scope

1.1 This test method determines the in-plane tensile properties of polymer matrix composite materials reinforced by high-modulus fibers. The composite material forms are limited to continuous fiber or discontinuous fiber-reinforced composites in which the laminate is balanced and symmetric with respect to the test direction.

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

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

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement<sup>2</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins<sup>3</sup>
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics<sup>3</sup>
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials<sup>4</sup>
- D 3878 Terminology for Composite Materials<sup>4</sup>
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption

- Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials<sup>4</sup>
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>5</sup>
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing<sup>5</sup>
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers<sup>5</sup>
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus<sup>5</sup>
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process<sup>6</sup>
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature<sup>5</sup>
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>6</sup>
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics<sup>6</sup>
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>6</sup>
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading<sup>5</sup>
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>

## 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D 883 defines terms relating to plastics. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other standards.

### 3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

NOTE—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental

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

Current edition approved April 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3039 – 71T. Last previous edition D 3039 – 95a.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.03.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

<sup>6</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.



dimensions, shown within square brackets:  $[M]$  for mass,  $[L]$  for length,  $[T]$  for time,  $[Θ]$  for thermodynamic temperature, and  $[nd]$  for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.1 *nominal value,  $n$* —a value, existing in name only, assigned to a measurable property for the purpose of convenient designation. Tolerances may be applied to a nominal value to define an acceptable range for the property.

3.2.2 *transition region,  $n$* —a strain region of a stress-strain or strain-strain curve over which a significant change in the slope of the curve occurs within a small strain range.

3.2.3 *transition strain,  $\epsilon^{transition}$   $[nd]$ ,  $n$* —the strain value at the mid range of the transition region between the two essentially linear portions of a bilinear stress-strain or strain-strain curve.

3.2.3.1 *Discussion*—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during loading, such as seen in plots of either longitudinal stress versus longitudinal strain or transverse strain versus long longitudinal strain. There are varying physical reasons for the existence of a transition region. Common examples include: matrix cracking under tensile loading and ply delamination.

3.3 *Symbols:*

3.3.1  $A$ —minimum cross-sectional area of a coupon.

3.3.2  $B_y$ —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about  $y$  axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3  $B_z$ —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about  $z$  axis of the specimen (about the wide direction).

3.3.4  $CV$ —coefficient of variation statistic of a sample population for a given property (in percent).

3.3.5  $E$ —modulus of elasticity in the test direction.

3.3.6  $F^{tu}$ —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7  $F^{su}$ —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8  $h$ —coupon thickness.

3.3.9  $L_g$ —extensometer gage length.

3.3.10  $L_{min}$ —minimum required bonded tab length.

3.3.11  $n$ —number of coupons per sample population.

3.3.12  $P$ —load carried by test coupon.

3.3.13  $P^f$ —load carried by test coupon at failure.

3.3.14  $P^{max}$ —maximum load carried by test coupon before failure.

3.3.15  $s_{n-1}$ —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16  $w$ —coupon width.

3.3.17  $x_i$ —test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

3.3.18  $\bar{x}$ —mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

3.3.19  $\delta$ —extensional displacement.

3.3.20  $\epsilon$ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21  $\epsilon$ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22  $\sigma$ —normal stress.

3.3.23  $\nu$ —Poisson's ratio.

## 4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

## 5. Significance and Use

5.1 This test method is designed to produce tensile property data for material specifications, research and development, quality assurance, and structural design and analysis. Factors that influence the tensile response and should therefore be reported include the following: material, methods of material preparation and lay-up, specimen stacking sequence, specimen preparation, specimen conditioning, environment of testing, specimen alignment and gripping, speed of testing, time at temperature, void content, and volume percent reinforcement. Properties, in the test direction, which may be obtained from this test method include the following:

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

## 6. Interferences

6.1 *Material and Specimen Preparation*—Poor material fabrication practices, lack of control of fiber alignment, and damage induced by improper coupon machining are known causes of high material data scatter in composites.

6.2 *Gripping*—A high percentage of grip-induced failures, especially when combined with high material data scatter, is an indicator of specimen gripping problems. Specimen gripping methods are discussed further in 7.2.4, 8.2, and 11.5.

6.3 *System Alignment*—Excessive bending will cause premature failure, as well as highly inaccurate modulus of elasticity determination. Every effort should be made to eliminate excess bending from the test system. Bending may occur as a result of misaligned grips or from specimens themselves if improperly installed in the grips or out-of-tolerance caused by poor specimen preparation. If there is any doubt as to the alignment inherent in a given test machine, then the alignment should be checked as discussed in 7.2.5.

6.4 *Edge Effects in Angle Ply Laminates*—Premature failure and lower stiffnesses are observed as a result of edge softening in laminates containing off-axis plies. Because of this, the strength and modulus for angle ply laminates can be drastically underestimated. For quasi-isotropic laminates containing significant  $0^\circ$  plies, the effect is not as significant.

## 7. Apparatus

7.1 *Micrometers*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be

used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of  $\pm 2.5 \mu\text{m}$  [ $\pm 0.0001 \text{ in.}$ ] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of  $\pm 25 \mu\text{m}$  [ $\pm 0.001 \text{ in.}$ ] is adequate for width measurement.

7.2 *Testing Machine*—The testing machine shall be in conformance with Practices E 4 and shall satisfy the following requirements:

7.2.1 *Testing Machine Heads*—The testing machine shall have both an essentially stationary head and a movable head.

7.2.2 *Drive Mechanism*—The testing machine drive mechanism shall be capable of imparting to the movable head a controlled velocity with respect to the stationary head. The velocity of the movable head shall be capable of being regulated as specified in 11.3.

7.2.3 *Load Indicator*—The testing machine load-sensing device shall be capable of indicating the total load being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy over the load range(s) of interest of within  $\pm 1 \%$  of the indicated value. The load range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

NOTE 1—Obtaining precision load data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate load are being determined, place extreme requirements on the load cell and its calibration. For some equipment, a special calibration may be required. For some combinations of material and load cell, simultaneous precision measurement of both elastic modulus and ultimate strength may not be possible and measurement of modulus and strength may have to be performed in separate tests using a different load cell range for each test.

7.2.4 *Grips*—Each head of the testing machine shall carry one grip for holding the test specimen so that the direction of load applied to the specimen is coincident with the longitudinal axis of the specimen. The grips shall apply sufficient lateral pressure to prevent slippage between the grip face and the coupon. If tabs are used the grips should be long enough that they overhang the beveled portion of the tab by approximately 10 to 15 mm [0.5 in.]. It is highly desirable to use grips that are rotationally self-aligning to minimize bending stresses in the coupon.

NOTE 2—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in untabbed coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with either hydraulic grips or an emery cloth interface, or both.

7.2.5 *System Alignment*—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E 1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E 1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane ( $B_y$ ) and width plane ( $B_z$ ) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

7.2.5.2 When evaluating system alignment, it is advisable to perform the alignment check with the same coupon inserted in each of the four possible installation permutations (described relative to the initial position): initial (top-front facing observer), rotated back to front only (top back facing observer), rotated end for end only (bottom front facing observer), and rotated both front to back and end to end (bottom back facing observer). These four data sets provide an indication of whether the bending is due to the system itself or to tolerance in the alignment check coupon or gaging.

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1-3 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon and the total percent bending,  $B_{\text{total}}$ . Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation load range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the

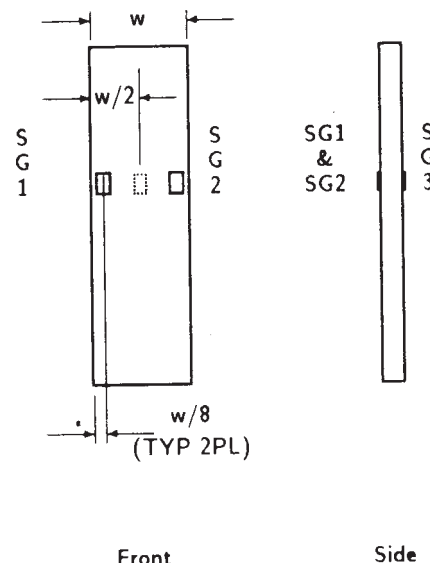


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels ( $>1000 \mu\epsilon$ ). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_y = \frac{\epsilon_{ave} - \epsilon_3}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{4/3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (2)$$

where:

$B_y$  = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;

$B_z$  = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;

$\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ , and  $\epsilon_3$  = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1,  $\mu\epsilon$ ; and

$\epsilon_{ave}$  =  $(|\epsilon_1 + |\epsilon_2|)/2 + |\epsilon_3|/2$ .

The total bending component is:

$$B_{total} = |B_y| + |B_z| \quad (3)$$

**7.3 Strain-Indicating Device**—Load-strain data, if required, shall be determined by means of either a strain transducer or an extensometer. Attachment of the strain-indicating device to the coupon shall not cause damage to the specimen surface. If Poisson's ratio is to be determined, the specimen shall be instrumented to measure strain in both longitudinal and lateral directions. If the modulus of elasticity is to be determined, the longitudinal strain should be simultaneously measured on opposite faces of the specimen to allow for a correction as a result of any bending of the specimen (see 11.6 for further guidance).

**7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection**—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].<sup>7</sup> Gage calibration certification shall comply with Test Methods E 251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.<sup>8</sup>

**7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites** in accordance with Practice E 1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process.

<sup>7</sup> A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- $\Omega$  resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

<sup>8</sup> Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54–65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153–154.

The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

**7.3.1.2 Consideration** should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350  $\Omega$  or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

**7.3.1.3 Consideration** of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

**7.3.1.4 Consideration** should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 11.

**7.3.2 Extensometers**—For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E 83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E 83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

**NOTE 3**—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

**7.4 Conditioning Chamber**—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vaporlevel-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required relative vapor level to within  $\pm 3\%$ . Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

**7.5 Environmental Test Chamber**—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the gage section of the test specimen at the required test environment during the mechanical test.



**8. Sampling and Test Specimens**

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

NOTE 4—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

8.2 *Geometry*—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 <i>General Requirements</i>	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 <i>Specific Recommendations</i>	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 <i>Detailed Examples</i>	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 *General Requirements:*

8.2.1.1 *Shape, Dimensions, and Tolerances*—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 *Use of Tabs*—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of load into the specimen and the prevention of premature failure as a result of a significant discontinuity. Therefore, determine the need to use tabs, and specification of the major tab design parameters, by the end

result: acceptable failure mode and location. If acceptable failure modes occur with reasonable frequency, then there is no reason to change a given gripping method (see 11.10).

8.2.2 *Specific Recommendations:*

8.2.2.1 *Width, Thickness, and Length*—Select the specimen width and thickness to promote failure in the gage section and assure that the specimen contains a sufficient number of fibers in the cross section to be statistically representative of the bulk material. The specimen length should normally be substantially longer than the minimum requirement to minimize bending stresses caused by minor grip eccentricities. Keep the gage section as far from the grips as reasonably possible and provide a significant amount of material under stress and therefore produce a more statistically significant result. The minimum requirements for specimen design shown in Table 1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 *Gripping/Use of Tabs*—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 *Tab Geometry*—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated nonwedge grips are used with care, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 *Friction Tabs*—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the load into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used

**TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements**

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed <sup>A</sup>
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

<sup>A</sup> See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations<sup>A</sup>

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [ 7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

<sup>A</sup> Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

must be able to withstand significant compressive loads. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.<sup>9</sup>

**8.2.2.5 Tab Material**—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]<sub>n</sub>s laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

**8.2.2.6 Bonded Tab Length**—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

$$L_{\min} = F^{tu}h/2F^{su} \quad (4)$$

where:

- $L_{\min}$  = minimum required bonded tab length, mm [in.];
- $F^{tu}$  = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
- $h$  = coupon thickness, mm [in.]; and
- $F^{su}$  = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

**8.2.2.7 Bonded Tab Adhesive**—Any high-elongation (tough) adhesive system that meets the environmental requirements may be used when bonding tabs to the material under test. A uniform bondline of minimum thickness is desirable to reduce undesirable stresses in the assembly.

**8.2.3 Detailed Examples**—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Dimensionally toleranced specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in Fig. 2 (SI) and Fig. 3 (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed, but satisfy the requirements of Table 1 for all of the recommended configurations of Table 2. For a specific configuration, the tolerances on Fig. 2 and Fig. 3 might be able to be relaxed.

### 8.3 Specimen Preparation:

**8.3.1 Panel Fabrication**—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured

properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

**8.3.2 Machining Methods**—Specimen preparation is extremely important for this specimen. Mold the specimens individually to avoid edge and cutting effects or cut from them plates. If they are cut from plates, take precautions to avoid notches, undercuts, rough or uneven surfaces, or delaminations caused by inappropriate machining methods. Obtain final dimensions by water-lubricated precision sawing, milling, or grinding. The use of diamond tooling has been found to be extremely effective for many material systems. Edges should be flat and parallel within the specified tolerances.

**8.3.3 Labeling**—Label the coupons so that they will be distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

## 9. Calibration

9.1 The accuracy of all measuring equipment shall have certified calibrations that are current at the time of use of the equipment.

## 10. Conditioning

**10.1 Standard Conditioning Procedure**—Unless a different environment is specified as part of the experiment, condition the test specimens in accordance with Procedure C of Test Method D 5229/D 5229M and store and test at standard laboratory atmosphere (23 ± 3°C [73 ± 5°F] and 50 ± 10 % relative humidity).

## 11. Procedure

### 11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

NOTE 5—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

### 11.2 General Instructions:

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

<sup>9</sup> E-Z Flex Metalite K224 cloth, Grit 120-J, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  
 NO DECIMAL    .X    .XX  
                  ±.3    ±.1    ±.3
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

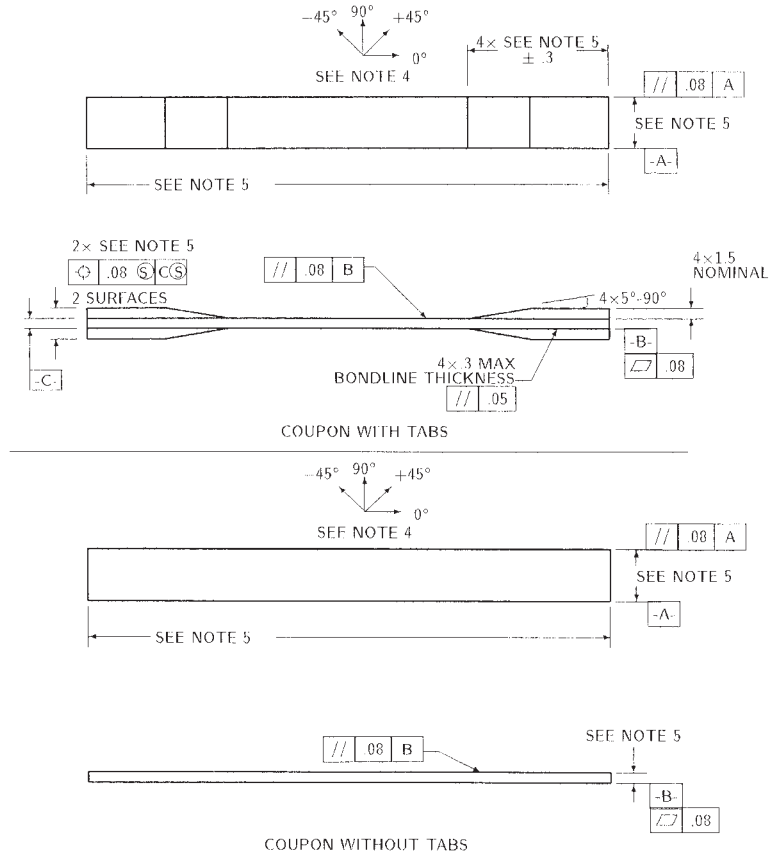


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as  $A = w \times h$ , at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of  $\text{mm}^2$  ( $\text{in.}^2$ ).

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as mea-

sured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of  $0.01 \text{ min}^{-1}$ .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min [0.05 in./min].

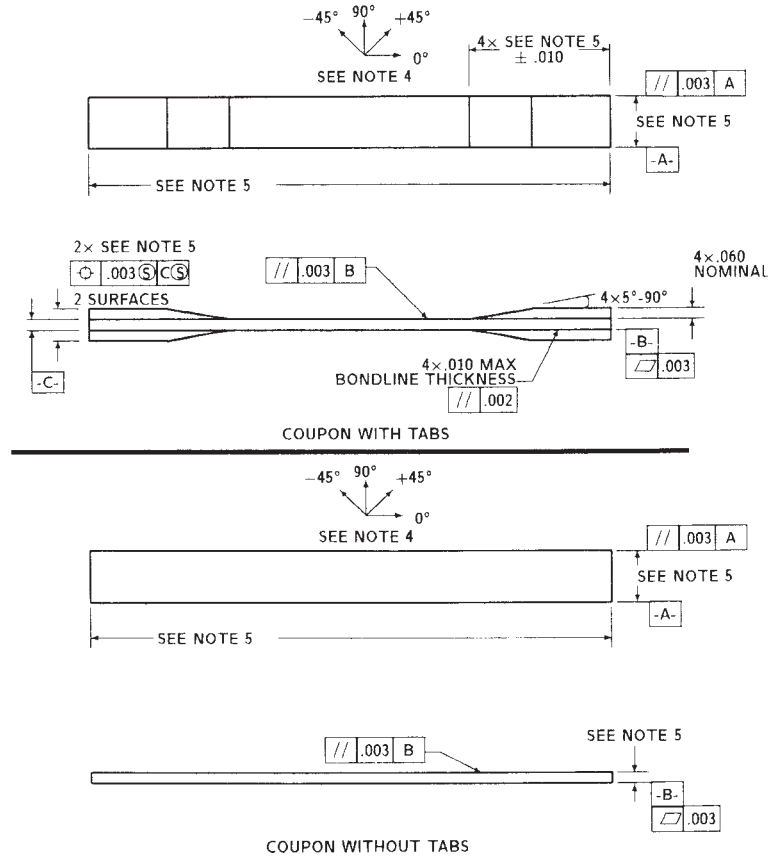
NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as

**DRAWING NOTES:**

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64√ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
5. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
6. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.



**FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)**

elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

NOTE 7—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using

untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

11.6 *Transducer Installation*—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the

**TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges**

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\mu\epsilon^A$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 <sup>B</sup>	3000	2000

<sup>A</sup> 1000  $\mu\epsilon$  = 0.001 absolute strain.

<sup>B</sup> This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000  $\mu\epsilon$ , a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 % averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (5)$$

where:

- $\epsilon_f$  = indicated strain from front transducer,  $\mu\epsilon$ ;
- $\epsilon_b$  = indicated strain from back transducer,  $\mu\epsilon$ ; and
- $B_y$  = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the load to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record load versus strain (or transducer displacement) continuously or at frequent regular intervals. If a transition region or initial ply failures are noted, record the load, strain, and mode of damage at such points. If the specimen is to be failed, record the maximum load, the failure load, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

NOTE 8—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes load versus head displacement data and load versus time data.

11.9 *Failure Mode*—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of load introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

## 12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 6 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 7.

$$F^{tu} = P^{\max}/A \quad (6)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (7)$$

where:

- $F^{tu}$  = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- $P^{\max}$  = maximum load before failure, N [lbf];
- $\sigma_i$  = tensile stress at  $i$ th data point, MPa [psi];
- $P_i$  = load at  $i$ th data point, N [lbf]; and
- $A$  = average cross-sectional area from 11.2.3, mm<sup>2</sup> [in.<sup>2</sup>].

12.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 8 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (8)$$

where:

- $\epsilon_i$  = tensile strain at  $i$ th data point,  $\mu\epsilon$ ;
- $\delta_i$  = extensometer displacement at  $i$ th data point, mm [in.]; and
- $L_g$  = extensometer gage length, mm [in.].

### 12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

NOTE 9—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

12.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 9. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

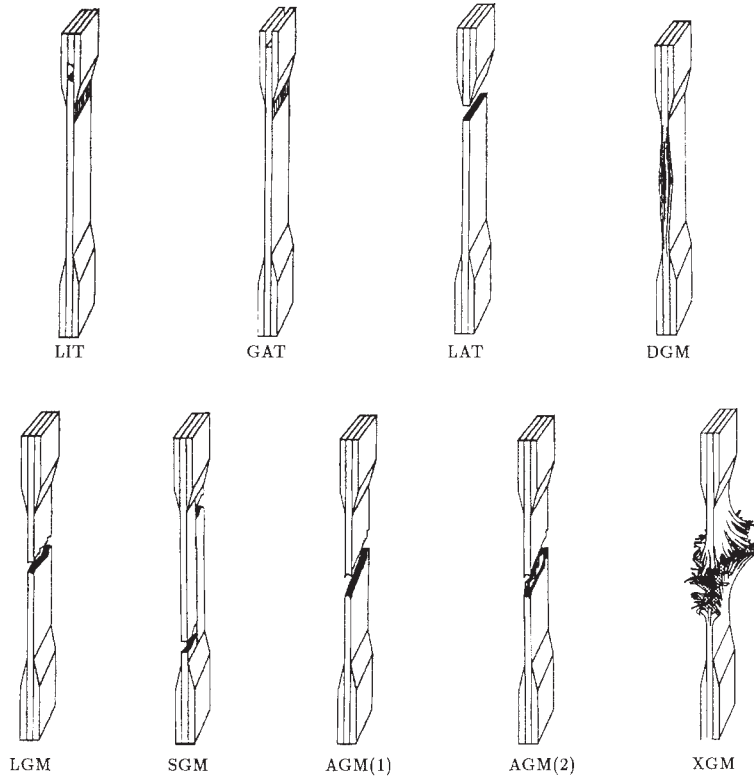
12.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{\text{chord}} = \Delta\sigma/\Delta\epsilon \quad (9)$$

where:

- $E^{\text{chord}}$  = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$  = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\epsilon$  = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

12.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used,



First Character		Second Character		Third Character	
Failure Type	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Angled	A	Inside grip/tab	I	Bottom	B
edge Delamination	D	At grip/tab	A	Top	T
Grip/tab	G	<1W from grip/tab	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Multiple areas	M	Middle	M
long. Splitting	S	Various	V	Various	V
eXplosive	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O				

FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 10—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

12.4 Poisson's Ratio:

NOTE 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load),  $\epsilon_t$ , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load),  $\epsilon_l$ , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use

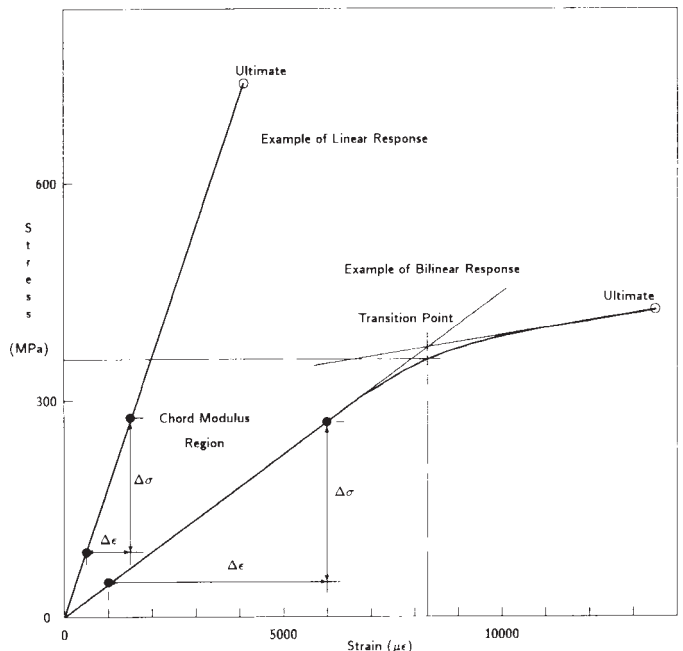


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 10 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = -\Delta\epsilon_t/\Delta\epsilon_l \quad (10)$$

where:

- $\nu$  = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_t$  = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3,  $\mu\epsilon$ ; and
- $\Delta\epsilon_l$  = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

12.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

12.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i)/n \quad (11)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)/(n-1)} \quad (12)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1}/\bar{x} \quad (13)$$

where:

- $\bar{x}$  = sample mean (average);
- $s_{n-1}$  = sample standard deviation;
- CV = sample coefficient of variation, in percent;
- $n$  = number of specimens; and
- $x_i$  = measured or derived property.

### 13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

- 13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.
- 13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.
- 13.1.3 The name(s) of the test operator(s).

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

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

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

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

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

13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

13.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

13.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

13.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

13.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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

13.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

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

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

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

13.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

## 14. Precision and Bias

### 14.1 Precision:

14.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D 3039/D 3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of loading and displacement/strain measurement, speed of loading, alignment of test specimen with applied load, parallelism of the grips, grip pressure, and type of load control (displacement, strain, or load).

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the

natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.<sup>10</sup> Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

A	IM-6/3501-6 uni-tape (0)n
B	IM-6/3501-6 uni-tape (90)n
C	IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n
F	Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)- warp aligned
G	Carbon/epoxy fabric (66108 carbon/Ciba R 6376

**TABLE 4 Precision Statistics**

Material	$\bar{x}$	$s \bar{x}$	$S_r$	$S_R$	$S_r/\bar{x}$ , %	$S_R/\bar{x}$ , %
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of  $S_r/X$  and  $S_R/X$  represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

<sup>10</sup> International Harmonization of Composite Materials—Phase I: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.



**TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation**

Parameter	Average of $S/X$ , %	Average of $S_R/X$ , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, mate-

rial and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

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

## 15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

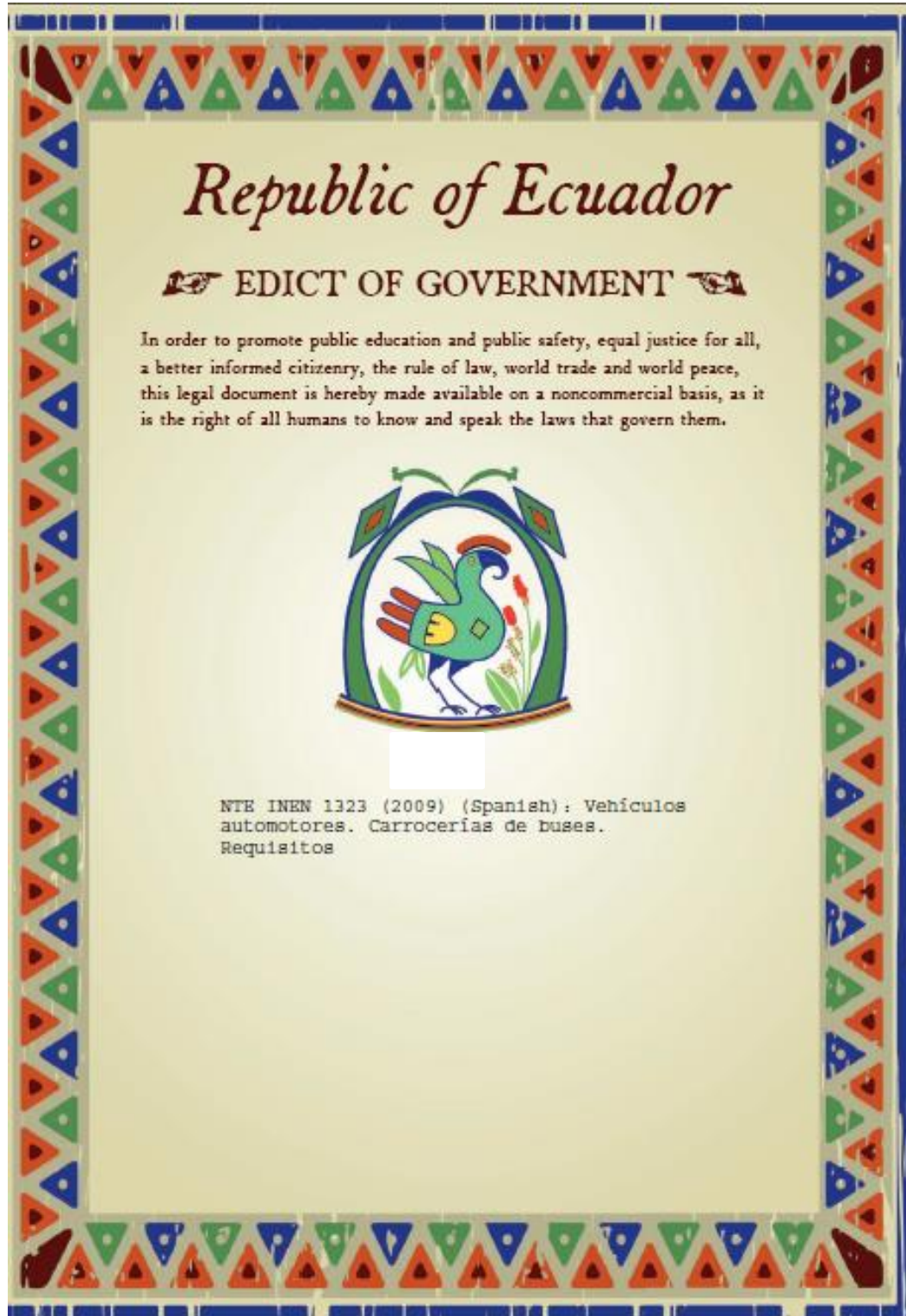
*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are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

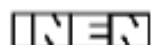
*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM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

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

## ANEXO E

Anexo E 1. Norma INEN 1323 para carrocerías de buses.





# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1 323:2009**  
**Primera revisión**

---

## **VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS.**

**Primera Edición**

ROAD VEHICLES. BUS BODIES. REQUIREMENTS

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos  
MC 01.01-401  
CDU: 629.11.011.6  
CIIU: 3843  
ICS: 43.020.60

## 5. REQUISITOS

### 5.1 Estructura de las carrocerías de buses

5.1.1 *Cargas de Diseño.* Para el análisis cuasi estático de la estructura de la carrocería se aplicarán las cargas especificadas en el presente numeral.

5.1.1.1 *Cargas vivas.* Se determinarán de acuerdo con la tabla 1.

**TABLA 1. Cargas vivas de diseño.**

TIPO DE SERVICIO (ver nota 3)	MASA DE UN OCUPANTE (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE DE MANO POR PASAJERO (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE A TRANSPORTARSE EN BODEGAS PORTA EQUIPAJES (kg) (ver nota 4)	ESPACIO NECESARIO POR PASAJERO DE PIE (m <sup>2</sup> )
Urbano	70	-	-	0,16
Urbano (escolar e Institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Interurbano (Intraprovincial)	70	5	100 x Vol	0,16
Larga Distancia (Interprovincial y turismo)	70	5	100 x Vol	Sin pasajeros de pie

5.1.1.2 *Carga de Giro (G).* Debe calcularse en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva de determinado radio de giro y a cierta velocidad. Esta fuerza centrífuga deberá ser inferior a la fuerza de vuelco, calculada sobre la base del peso total del bus a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h y el radio de giro se establece en función de la tabla 2.

**TABLA 2.- Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera. (Ver Nota 5)**

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	
125	800	
130	900	7,51
135	1050	6,97
140	1250	6,25
145	1475	5,49
150	1725	4,84
		4,29

NOTA 3.- De acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente y al Reglamento de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre vigente.

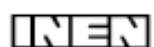
NOTA 4.- Vol.- Volumen de las bodegas portaequipajes en m<sup>3</sup>

NOTA 5.- Tabla determinada al documento Norma 3.1-IC

(Continúa)

Anexo E 2. Norma INEN 2205 para carrocerias de buses.





## INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 205:2010  
Segunda revisión

---

### VEHÍCULOS AUTOMOTORES. BUS URBANO. REQUISITOS.

**Primera Edición**

MOTOR VEHICLES. URBAN BUS. SPECIFICATIONS.

First edition

---

DESCRIPTORES: Vehículos de carretera, vehículos automotores, bus urbano, requisitos.  
MC 08.08-401  
CDU: 625.113  
CIIU: 3843  
ICS: 43.020

e.8) Protecciones. Los bordes libres de las puertas dispondrán de bandas elásticas flexibles para cada hoja abatible, para un cierre hermético y sin causar rozamiento entre hojas y sin que puedan producir daños a las manos o dedos de los usuarios.

f) Salidas de emergencia

f.1) El número mínimo de salidas de emergencia debe estar de acuerdo a lo indicado en la norma NTE INEN 1 323 vigente.

f.2) De las ventanas para los usuarios, al menos tres, dos en el lado izquierdo (por no existir puertas) y una en el lado derecho, deben ser salidas de emergencia, con un dispositivo que permita la fragmentación del vidrio o desprender fácilmente las ventanas y expulsarlas hacia afuera del vehículo desde su perfil; adicionalmente, puede ser la luneta.

f.3) Escotillas. El número mínimo de escotillas de emergencia debe ser una por cada 50 pasajeros o fracción. Las dimensiones de las escotillas de emergencia deben tener un área libre mínima de 3 000 cm<sup>2</sup>, de tal forma que sea posible inscribir en esta área un rectángulo de 500 mm x 600 mm.

f.3.1) Toda escotilla de emergencia debe funcionar de forma que no impida el libre paso desde el interior o exterior del vehículo. El funcionamiento de las escotillas de emergencia eyectables debe ser protegido eficazmente contra una eyección involuntaria.

f.3.2) Las escotillas de emergencia se deben poder abrir fácilmente o retirar desde el exterior y desde el interior. Sin embargo, este requisito no excluye la posibilidad de bloquear la escotilla de emergencia para asegurar el vehículo cuando este vacío, siempre y cuando esta escotilla se pueda abrir o retirar desde su interior mediante el mecanismo de apertura o remoción normal.

g) Ventilación

g.1) Ventilación con escotillas. Para efectos de ventilación se debe contar con mínimo dos escotillas, ubicadas sobre el área comprendida entre los ejes delantero y posterior del vehículo. Las escotillas deben tener tapa hermética con abertura superior parcial y total de mínimo 3 000 cm<sup>2</sup>, de tal forma que sea posible inscribir en esta área un rectángulo de 500 mm x 600 mm, pudiendo ser considerada como una escotilla de emergencia siempre que cumpla con las condiciones indicadas en el ítem f.3.

g.2) Ventilación delantera. Los buses y minibuses urbanos deben disponer de un sistema de ventilación delantera, con regulación de temperatura y control de dispersión, el cual debe incluir un dispositivo antivaho para el parabrisas frontal.

5.1.2.5 Organización interna

a) Dimensiones internas del vehículo

a.1) Alturas internas del Bus urbano. Altura mínima en el corredor central: 2 000 mm medido en el eje central longitudinal del vehículo.

a.2) Alturas internas del Minibus urbano. Altura mínima en el corredor central: 1 900 mm medido en el eje central longitudinal del vehículo.

a.3) Altura mínima en las líneas laterales: 1 800 mm medido en la pared interior.

a.4) Altura mínima del piso al borde inferior de ventana: 700 mm.

b) Áreas interiores

b.1) Entrada y salida de pasajeros

b.1.1) Peldaños. La estructura de soporte de los peldaños tiene que conformar una caja de gran resistencia, el número máximo de peldaños será de tres con las siguientes dimensiones:

(Continúa)

Contrahuella de los peldaños interiores:	máximo 220 mm
Huella en el primer peldaño:	mínimo 300 mm
Huella en los peldaños interiores:	mínimo 250 mm

b.1.2) *Estribo*. La altura máxima del estribo desde la calzada debe ser 450 mm.

b.1.3) *Material*. Acero, aluminio con recubrimiento de vinilo u otro material con rugosidad antideslizante.

b.1.4) *Asideros*. Cada uno de los ingresos y salidas de pasajeros dispondrá de dos asideros anclados firmemente en la carrocería.

## b.2) Conductor

b.2.1) *Ángulos de visión*. El parabrisas debe tener las dimensiones de tal manera que permita un ángulo mínimo vertical de 8° sobre la horizontal y de mínimo 20° bajo la horizontal de la línea de visión del conductor y un ángulo mínimo horizontal de 60° medidos desde el lugar del conductor (ver Anexo A, figuras A.1, A.2, A.3 y A.4).

### b.2.2) Panel de conducción.

- *Ubicación*. Parte frontal del interior del vehículo donde el tablero de instrumentos se encuentra en el campo de visión del conductor, a una distancia de aproximadamente 700 mm, donde los instrumentos o indicadores de alerta deben estar dentro de un ángulo horizontal de visión de 30°.
- *Contenido*. Instrumentos de control y mando: velocímetro, odómetro, manómetro doble de presión de los frenos (no aplica a sistema hidráulico), indicadores de combustible y presión de aceite de motor, termómetro para indicar la temperatura del sistema de refrigeración, tacómetro, mandos neumáticos o eléctricos para puertas, luces de alarma de insuficiencias de cada sistema.

### b.2.3) Asiento del conductor.

- *Tipo* ergonómico, regulable en los planos vertical y horizontal (longitudinal), con cinturón de seguridad de tres puntos de apoyo.
- *Ubicación*. Frente al volante de conducción.
- *Dimensiones*:
  - ancho mínimo: 450 mm
  - profundidad: entre 400 mm y 500 mm
  - ángulo de inclinación hacia atrás: entre 3° y 6°
  - Ángulo de inclinación de la base del asiento: entre 2° y 6°
  - altura mínima del espaldar: 500 mm sin considerar el apoyo cabezas.
  - Altura del asiento: entre 400 mm y 550 mm, desde el piso.
  - La inclinación del espaldar debe estar: entre 90° y 110° con respecto a la parte horizontal del asiento (ver Anexo A, figura A.5).
- *Ajustes*:
  - *Rangos de ajuste*:
- Los recorridos de ajuste deben ser:
  - Vertical: 150 mm,
  - Horizontal, adelante – atrás, con una carrera mínima de 120 mm

(Continúa)



## ANEXO F

### Anexo F 1. Ensayos a tracción bajo la norma Norma ASTM D3039.



#### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES

*Análisis, procesamiento y evaluación de materiales*

#### INFORME TÉCNICO

Quito, 13 de marzo de 2015

**Trabajo solicitado por:** Sr. José Luis Chisaguano

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a la evaluación de los ensayos de caracterización mecánica a tracción en muestras de material compuesto de matriz poliéster y refuerzo de fibra de abacá. Los ensayos fueron realizados bajo la norma ASTM D3039-14.

Se entregaron ocho muestras a ensayar, de las cuales una probeta se tomó para un ensayo preliminar por lo que fue descartada. Asimismo se descartaron los resultados de las probetas 2 y 7 por ser los valores extremos superior e inferior del módulo de elasticidad y deformación a la ruptura.

#### 1. Equipo utilizado

- Máquina Universal de Ensayos Tinius Olsen H25K-S; capacidad máxima 25 KN; precisión utilizada: 0,1 MPa
- Calibrador de vernier SCALA; precisión: 0,01 mm
- Micrómetro Mitutoyo; precisión: 0,01 mm

En la Fig. 1 se muestra la máquina universal de ensayos que se utilizó para las pruebas realizadas en las probetas de poliéster reforzadas con fibra de abacá.

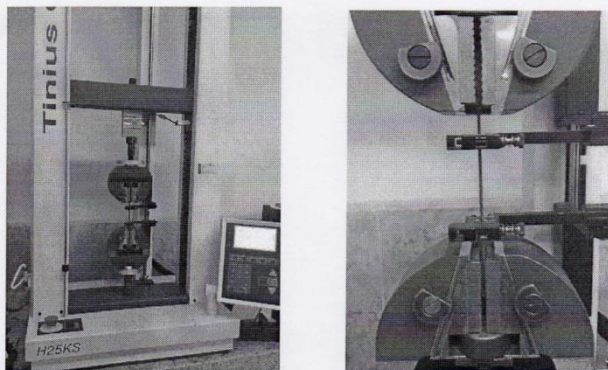


Fig. 1. Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25K-S con extensómetro.



## 2. Condiciones de ensayo según la norma ASTM D3039-14

- Número de muestras: Al menos 5 especímenes
- Velocidad de ensayo: 2 mm/min
- El extensómetro debe ser colocado con una separación de 50 mm entre marcas

La Fig. 2 muestra las condiciones de las probetas antes del ensayo

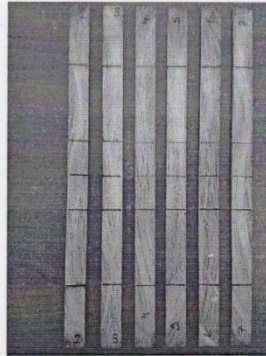


Fig. 2. Probetas acondicionadas antes del ensayo

## 3. Resultados

En la tabla 1 se pueden apreciar los resultados obtenidos de la ejecución de los ensayos de tracción.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de tracción realizados bajo la norma ASTM D3039-14

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039-14									
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo (MPa)	Coefficiente de Poisson	Deformación última (%)	Modo de rotura *
1	14,75	2,76	40,71	2210	54,30	14900	0,331	0,476	AGM
3	14,62	3,10	45,32	2720	63,70	16900	0,372	0,353	SAT
4	14,82	2,87	42,53	2690	63,10	12300	0,341	0,503	SAT
5	14,83	2,82	41,82	2840	67,90	14400	0,336	0,459	SAB
6	14,78	2,89	42,71	2360	55,20	12500	0,366	0,432	SAB
Promedio			$\bar{x}$	2564,000	60,840	14200	0,349	0,445	
Desviación estándar			$S_{n-1}$	266,139	5,868	1892,089	0,019	0,057	
Coeficiente de variación			CV	10,380	9,644	13,325	5,309	12,898	

\* Códigos para describir el modo de rotura según ASTM D3039-14 (tipo de falla/ Área de falla/ localización de falla)  
 AGM: Angled/Gaged/Middle, SAT: Long. Splitting/At grip/Top, SAB: Long. Splitting/At grip/Bottom



En la Fig. 3, se puede apreciar como quedaron las probetas después del ensayo de tracción.

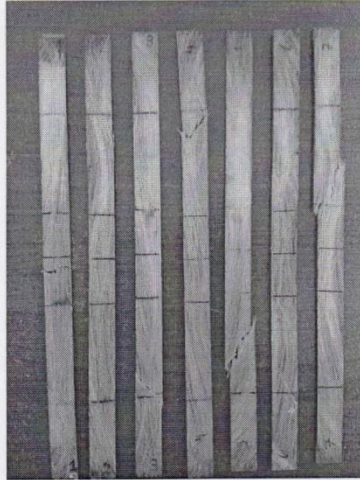


Fig. 3. Probetas ensayadas a tracción

#### 4. Bibliografía

- American Society for Testing and Materials; ASTM D3039-14; Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials; West Conshohocken; 2014



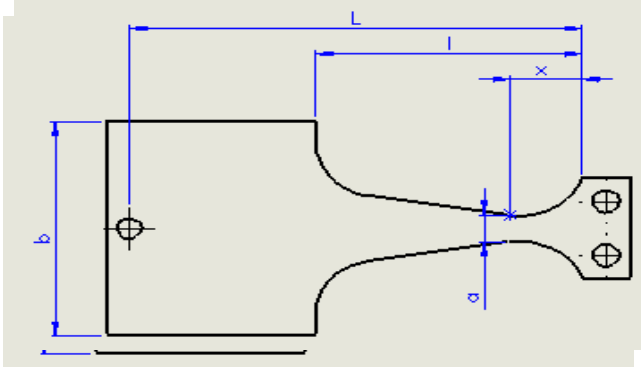
A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Victor Hugo Guerrero".

Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.  
JEFE DEL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES



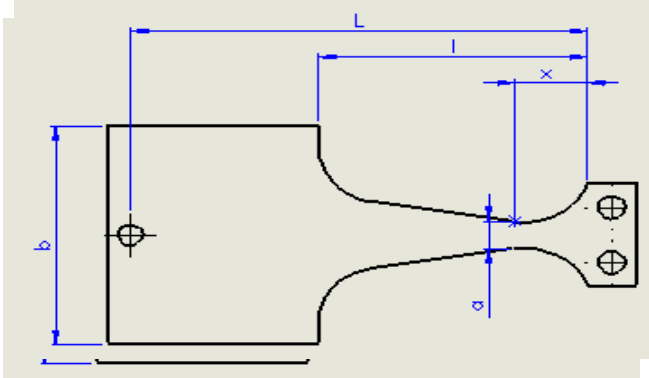


Anexo F 2. Ensayos a Fátiga mecánica por Flexión en compuesto (matriz – fibra).



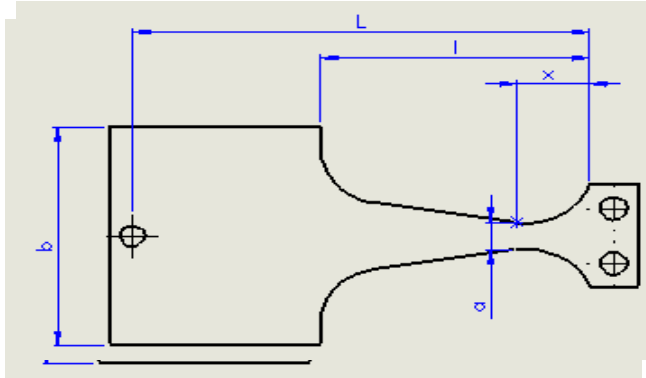
Ensayos realizados con 30% de fibra larga – 70% resina poliéster.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Nº de probeta: 5</b>			
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. / F.I.C.M.	<b>Fecha de elaboración: 24/07/2014</b>			
<b>Centro de estudio:</b>	Laboratorio Ingeniería Mecánica	Fibra larga 30% - Resina poliéster 70%			
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado por:</b> Ing. Guamanquispe			
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato				
<b>RESULTADOS</b>					
N	Numero de ciclos	espesor	X (mm)	a (mm)	desfasamiento (mm)
1	24331	7	13,5	6,2	3
2	12078	7	12	6,1	3
3	40688	6	16,4	6,2	3
4	30748	6	6,5	8	3
5	1785	6	11	6,4	5
6	3150	7,1	11	6,1	3
7	26240	7,6	8	7	3
<b>GRAFICAS</b>					
					



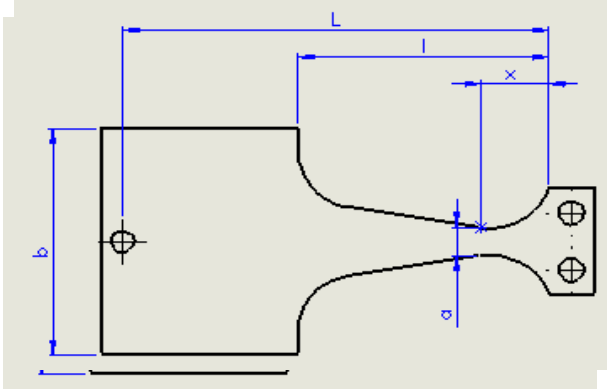
Ensayos realizados con 20% de fibra larga – 80% resina poliéster.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Nº de probeta:</b> 5			
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. / F.I.C.M.	<b>Fecha de elaboración:</b> 24/07/2014			
<b>Centro de estudio:</b>	Laboratorio Ingeniería Mecánica	Fibra larga 20% - Resina poliéster 80%			
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado por:</b> Ing. Guamanquispe			
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato				
<b>RESULTADOS</b>					
N	Numero de ciclos	espesor	X (mm)	a (mm)	desfasamiento (mm)
1	496	6	6,1	14	5
2	1392	6,3	6	13	4
3	1629	6	6,4	11	3
4	6155	6	6,2	15	3
5	12413	6,2	6,1	14	3
6					
7					
<b>GRAFICAS</b>					
					



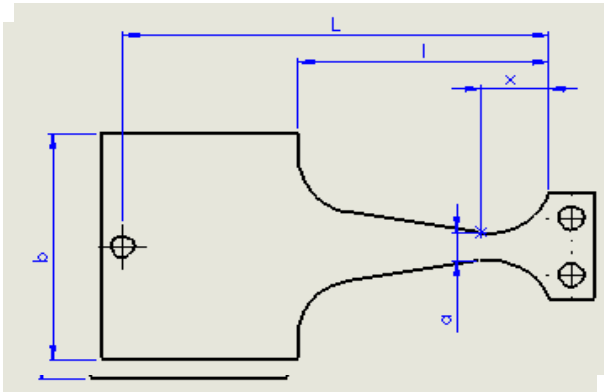
Ensayos realizados con 10% de fibra larga – 90% resina poliéster.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Nº de probeta: 5</b>			
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. / F.I.C.M.	<b>Fecha de elaboración:</b> 24/07/2014			
<b>Centro de estudio:</b>	Laboratorio Ingeniería Mecánica	Fibra larga 10% - Resina poliéster 90%			
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado por:</b> Ing. Guamanquispe			
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato				
<b>RESULTADOS</b>					
N	Numero de ciclos	espesor	X (mm)	a (mm)	desfasamiento (mm)
1	624	6	12	6,2	5
2	1805	7	13	6,4	3
3	382	6,8	11	6,1	4
4	143	6,5	7	9	3
5	5750	7	6,5	7	3
6					
7					
<b>GRAFICAS</b>					
					

Ensayos realizados con 30% de fibra corta – 70% resina poliéster.



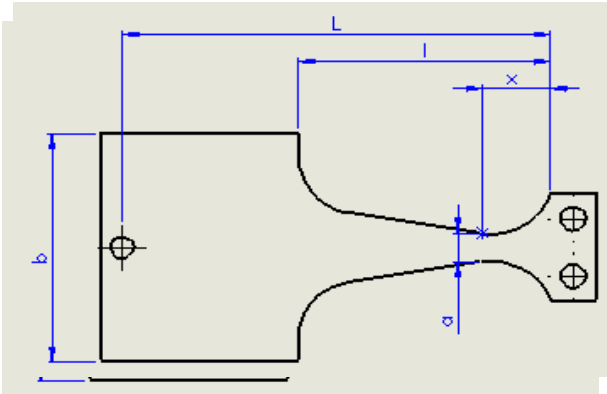
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Nº de probeta:</b> 5			
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. / F.I.C.M.	<b>Fecha de elaboración:</b> 24/07/2014			
<b>Centro de estudio:</b>	Laboratorio Ingeniería Mecánica	Fibra corta 30% - Resina poliéster 70%			
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado por:</b> Ing. Guamanquispe			
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato				
<b>RESULTADOS</b>					
N	Numero de ciclos	espesor	X (mm)	a (mm)	desfasamiento (mm)
1	2285	7,2	11	7,3	3
2	5678	7	15	6	3
3	19671	7	14	6	3
4	852	6,5	10	7,5	5
5	1532	7,6	9	7	5
6					
7					
<b>GRAFICAS</b>					
					

Ensayos realizados con 20% de fibra corta – 80% resina poliéster.



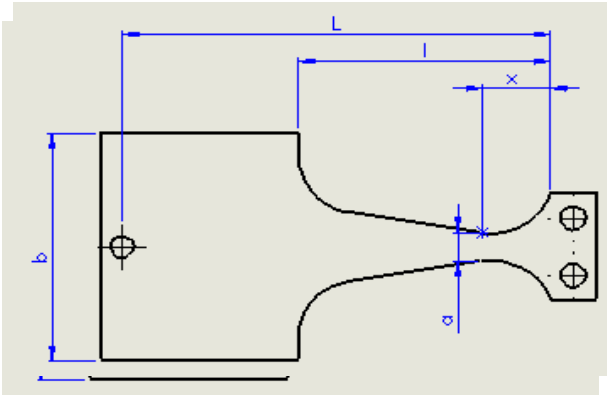
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Nº de probeta:</b> 5			
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. / F.I.C.M.	<b>Fecha de elaboración:</b> 24/07/2014			
<b>Centro de estudio:</b>	Laboratorio Ingeniería Mecánica	Fibra corta 20% - Resina poliéster 80%			
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado por:</b> Ing. Guamanquispe			
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato				
<b>RESULTADOS</b>					
N	Numero de ciclos	espesor	X (mm)	a (mm)	desfasamiento (mm)
1	358	7,1	11	7	5
2	617	7	10	7,2	5
3	6112	6,9	10	7	3
4	2230	7,1	12,1	6	3
5	1223	7	11	6,2	3
6	358	7	11	6,5	5
7	7821	6,8	15,5	6	3
<b>GRAFICAS</b>					
					





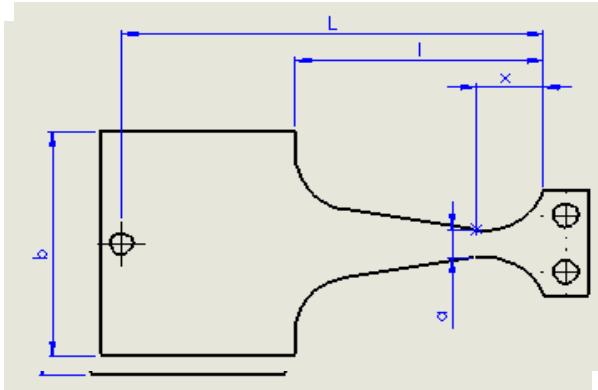
Ensayos realizados con 10% de fibra corta – 90% resina poliéster.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Nº de probeta:</b> 5			
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. / F.I.C.M.	<b>Fecha de elaboración:</b> 24/07/2014			
<b>Centro de estudio:</b>	Laboratorio Ingeniería Mecánica	Fibra corta 10% - Resina poliéster 90%			
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado por:</b> Ing. Guamanquispe			
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato				
<b>RESULTADOS</b>					
N	Numero de ciclos	espesor	X (mm)	a (mm)	desfasamiento (mm)
1	165	6	14,4	6	5
2	425	6,2	13	5,8	3
3	2808	6	12	6	3
4	3880	6,4	14,2	6,2	3
5	5890	6	14	6,1	3
6	917	6,1	12	6,3	5
7					
<b>GRAFICAS</b>					
					



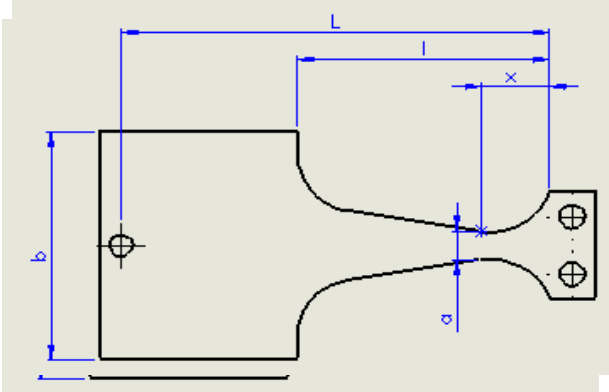
Ensayos realizados con 30% de fibra tejida – 70% resina poliéster.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>N° de probeta:</b> 5			
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. / F.I.C.M.	<b>Fecha de elaboración:</b> 24/07/2014			
<b>Centro de estudio:</b>	Laboratorio Ingeniería Mecánica	Fibra tejida 30% - Resina poliéster 70%			
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado por:</b> Ing. Guamanquispe			
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato				
<b>RESULTADOS</b>					
N	Numero de ciclos	espesor	X (mm)	a (mm)	desfasamiento (mm)
1	447	6	7,5	6,8	5
2	2713	6,3	14	6	3
3	10367	6	14	6	3
4	5186	6,4	12	6	3
5	1798	6	11	6,4	5
6					
7					
GRAFICAS					
					

Ensayos realizados con 20% de fibra tejida – 80% resina poliéster.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Nº de probeta:</b> 5			
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. / F.I.C.M.	<b>Fecha de elaboración:</b> 24/07/2014			
<b>Centro de estudio:</b>	Laboratorio Ingeniería Mecánica	Fibra tejida 20% - Rresina poliéster 80%			
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado por:</b> Ing. Guamanquispe			
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato				
<b>RESULTADOS</b>					
N	Numero de ciclos	espesor	X (mm)	a (mm)	desfasamiento (mm)
1	400	6,7	11	6,5	3
2	355	7	7,8	8	3
3	487	7,2	12	6,2	3
4	2108	6,2	15	6,1	3
5	912	7	12	6,5	3
6					
7					
<b>GRAFICAS</b>					
					

Ensayos realizados con 10% de fibra tejida – 90% resina poliéster.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>ENSAYO A FLEXIÓN (MATRIZ-FIBRA)</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Nº de probeta:</b> 5			
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. / F.I.C.M.	<b>Fecha de elaboración:</b> 24/07/2014			
<b>Centro de estudio:</b>	Laboratorio Ingeniería Mecánica	Fibra tejida 10% - Resina poliéster 90%			
<b>Realizado por:</b>	José Luis Chisaguano	<b>Supervisado por:</b> Ing. Guamanquispe			
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato				
<b>RESULTADOS</b>					
N	Numero de ciclos	espesor	X (mm)	a (mm)	desfasamiento (mm)
1	987	7	12	6,1	3
2	365	7	7,5	7	3
3	1915	6,5	14	6,5	3
4	978	6,8	11	6,3	3
5	2210	6,6	14	6,2	3
6					
7					
<b>GRAFICAS</b>					
					

## ANEXO G

### Anexo G 1. Tablas de propiedades de la Resina poliéster



# CRISTALAN 836



**Literatura Técnica**

Fecha de revisión: 03/04/07

Fecha de entrega: 31/07/12

Revisión: 3

Página 2 de 3

Dada la naturaleza química de este producto, se presentará la separación y precipitación de partículas durante el almacenamiento. Se recomienda agitar el producto antes de su utilización, tener una buena limpieza de equipos y boquillas de aspersión para evitar problemas en la aplicación.

#### Asistencia técnica

La parte primordial de cada producto de andercol s.a. es el soporte técnico que garantizamos a nuestro cliente.

Cada despacho de nuestros productos está respaldado por un laboratorio de servicio

técnico con personal altamente calificado, el cual, con un conocimiento completo de los procesos, trabaja con una gran variedad de equipos de laboratorio y planta piloto para proveer los datos necesarios y obtener así el mejor comportamiento de nuestros productos. Éste laboratorio además de servir de soporte a las aplicaciones existentes está encargado de desarrollar nuevos usos para los productos fabricados por andercol s.a. El usuario de a nuestros productos será siempre el beneficiario de ésta constante búsqueda de mejores métodos y tecnologías.

#### Datos técnicos

Propiedad	Norma	Unidad	Valores
<b>Propiedades físicas y químicas de CRISTALAN 836 líquida</b>			
Apariencia	ASTM D2090		Turbia Pardo
Viscosidad 1	ASTM D2196	cps @ 25 °C	1200 -1800
Viscosidad 2	ASTM D2196	cps @ 25 °C	350 - 550
Índice tixotrópico	ASTM D2196		2.2 - 3.8
Sólidos	ASTM D1259	% nvm	54 - 57
Peso específico	ASTM D1963	@ 25 °C	1.109-1.111
<b>Reactividad con 100 g de CRISTALAN 836 y 1.5 ml del MEK peróxido BUTANOX M-50 o NOROX 9 ( 9 % de oxígeno activo)</b>			
Tiempo de gel	ASTM D2471	min @ 25 °C	9-12
Tiempo de máxima exotermia		min @ 25 °C	15-30
Temperatura de máxima exotermia		°C	150-180
<b>Propiedades mecánicas de CRISTALAN 836 sin reforzar y postcurada a 24 horas a 20°C, 3 horas @ 80°C</b>			
Dureza	ASTM D2583	Barcol	38-42
Contracción volumétrica	ASTM D955	%	3
Resistencia a tracción	ASTM D638	MPa	55
Módulo a la tracción	ASTM D638	GPa	3.0
Elongación a tracción	ASTM D638	% @ 25 °C	4.0
Resistencia a flexión	ASTM D790	MPa	104
Módulo a la flexión	ASTM D790	GPa	3.4
<b>Propiedades mecánicas de CRISTALAN 836 reforzada y postcurada a 24 horas a 20°C, 3 horas @ 80°C</b>			
Resistencia a tracción	ASTM D638	MPa	108
Módulo a la tracción	ASTM D638	GPa	-----
Elongación a tracción	ASTM D638	% @ 25 °C	1.9

La información y recomendaciones que aparecen en esta publicación son, a nuestro entender enteramente confiables. Las sugerencias ofrecidas para usos o aplicaciones son solamente la opinión de andercol s.a. Los consumidores deberán hacer sus propias pruebas para determinar el comportamiento de estos productos en sus objetivos específicos.



# CRISTALAN 836



Literatura Técnica

Fecha de revisión: 03/04/07

Fecha de entrega: 31/07/12

Revisión: 3

Página 1 de 3

## Generalidades

La resina **CRISTALAN 836** es una resina poliéster insaturado preacelerada y tixotrópica.

Presenta rápido curado y desarrollo de la dureza que, junto con una excelente impregnación en procesos de moldeo por contacto y aspersión minimizan los requerimientos de mano de obra y permiten obtener laminados de mejor desempeño mecánico, generando beneficios en reducción de costos y tiempos de proceso.

## Campos de aplicación

Los laminados fabricados con **CRISTALAN 836** tienen muy buena resistencia al agua y excelentes propiedades mecánicas, haciéndola apropiada para fabricaciones artículos de construcción como tanques, bañeras y autopartes entre otros tipos de laminaciones generales.

## Formulación

Para curado a temperatura ambiente (Temperatura recomendada entre 20 - 25°C. No se recomienda trabajar por debajo de 15°C) se sugiere la siguiente formulación:

	Partes en peso
<b>CRISTALAN 836</b>	100
MEK peróxido (9 % oxígeno. activo)	1.0 – 2.5

Debido a que la resina es preacelerada, sólo se requiere la adición de catalizador (MEK peróxido) para realizar el curado.

## Curado

La temperatura ambiente y la cantidad de catalizador controlan el tiempo de gel de la resina **CRISTALAN 836**. El curado debe realizarse a temperaturas superiores a 15 °C, que es la temperatura mínima de activación de la reacción de reticulación. La catalización por debajo de ésta temperatura afecta notablemente las propiedades mecánicas de los laminados evitando el proceso de curado del producto.

Con el curado a temperatura ambiente (Temperatura recomendada entre 20 - 25 °C) obtienen laminados satisfactorios para muchas aplicaciones. Sin embargo, cuando se requieren óptimas propiedades y buen desempeño a largo plazo, el laminado se debe postcurar mínimo durante un período de tres horas a 80 °C o más tiempo a menor temperatura.

## Aditivos

La resina **CRISTALAN 836** se puede pigmentar hasta con 5 % (en peso) de nuestras pastas pigmento **Cristacolor**. Si se requieren laminados con retardancia al fuego se puede adicionar entre 10 % a 20 % (phr) de nuestra pasta retardante al fuego **Cristafuego 1**. También puede cargarse hasta con 20 % (φ de carbonato de calcio u otra carga mine. Debe tenerse en cuenta el efecto que cualquier aditivo tiene sobre las características de mano de las resinas y sobre las propiedades finales del producto terminado antes de implementar producción a nivel industrial. Si requiere alguna formulación especial debe consultar personal de Marketing Técnico en andercol s

## Manipulación y almacenamiento

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

La resina **CRISTALAN 836** está clasificada como "líquido inflamable" según código NF 30 (división 3.3.25.2), por tener un punto de inflamación de 31 °C en crisol cerrado. Debe mantenerse alejado de llamas abiertas.

Se suministra en tambores metálicos de 230

La resina **CRISTALAN 836** tiene un tiempo de vida equivalente a seis meses desde el momento de su fabricación, siempre y cuando el producto esté almacenado a condiciones de temperatura ( 25°C) y humedad (menor a 80%) adecuadas para obtener una mejor estabilidad.

La información y recomendaciones que aparecen en esta publicación son, a nuestro entender, enteramente confiables. Las sugerencias ofrecidas para usos o aplicaciones son solamente la opinión de andercol s.a. Los consumidores deberán hacer propias pruebas para determinar el comportamiento de estos productos en sus objetivos específicos.



# CRISTALAN 836



## Literatura Técnica

Fecha de revisión: 03/04/07  
Fecha de entrega: 31/07/12

Revisión: 3

Página 3 de 3

---

Resistencia a flexión	ASTM D790	MPa	244
Módulo a la flexión	ASTM D790	GPa	7.7

---

andercol s.a. no da garantías de tipo alguno exceptuando las que se ajustan a las especificaciones estándar del producto.

andercol s.a. se reserva el derecho de modificar esta literatura técnica sin previo aviso.

---

La información y recomendaciones que aparecen en esta publicación son, a nuestro entender enteramente confiables. Las sugerencias ofrecidas para usos o aplicaciones son solamente la opinión de andercol s.a. Los consumidores deberán hacer sus propias pruebas para determinar el comportamiento de estos productos en sus objetivos específicos.

## Anexo G 2. Tablas de planchas de tol.



### Plancha laminada en caliente

Recubrimiento:  
Negro  
Norma de Fabricación:  
NTE INEN 115 / ASTM A 6  
Norma de Calidad:  
ASTM A 36 / ASTM A 588 Gr. A / ASTM A 131 Gr. A /  
ASTM A 516 Gr. 70 / ASTM A 572 Gr. 50  
Observaciones:  
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1.220	2.440	1,50	35,05
1.220	2.440	2,00	46,74
1.220	2.440	3,00	70,10
1.220	2.440	4,00	93,47
1.220	2.440	5,00	116,84
1.220	2.440	6,00	140,21
1.220	2.440	8,00	186,94
1.220	2.440	9,00	210,31
1.220	2.440	10,00	233,68
1.220	2.440	12,00	280,41

**Aplicaciones**

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes).
- Fabricación de tanques.
- Estructuras de puentes.
- Estructuras de barcos.
- Camisas de pilotes.
- Encofrados.
- Placas.
- Contención de tierra.
- Plataformas.
- Calderos.

### Plancha laminada en frío

Recubrimiento:  
Negro  
Norma de Fabricación:  
NTE INEN 115  
Norma de Calidad:  
ASTM A 36 / JIS G 3141 SPPC - SD /  
SAE 1010  
Observaciones:  
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Calidad
mm	mm	mm	kg.	
1.000	2.000	0,70	10,99	Embutición
1.000	2.000	0,90	14,13	
1.000	2.000	1,10	17,27	
1.000	2.000	1,40	21,96	
1.220	2.440	0,40	9,35	Comercial
1.220	2.440	0,45	10,52	
1.220	2.440	0,50	11,68	
1.220	2.440	0,60	14,02	
1.220	2.440	0,70	16,36	
1.220	2.440	0,75	17,53	
1.220	2.440	0,90	21,03	
1.220	2.440	1,10	25,70	
1.220	2.440	1,40	32,72	
1.220	2.440	2,00	46,74	

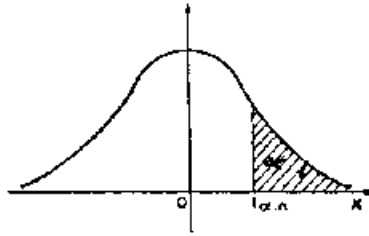
**Aplicaciones**

- Muebles metálicos en general.
- Puertas metálicas.
- Carpintería metálica.
- Tanque para almacenamiento de aceite.
- Tanques de exportación de frutas.
- Baldes para camionetas.
- Partes y piezas metálicas (abrazaderas, de línea blanca, etc).
- Rótulos.
- Señalización de tránsito.
- Cajas fúnebres.



## ANEXO H

Anexo H 1. Tablas del “t” de student.



$\alpha/2$ gl	0,40	0,30	0,20	0,10	0,050	0,025	0,010	0,005	0,001	0,0005
1	0,325	0,727	1,376	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	318,3	636,6
2	0,289	0,617	1,061	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,33	31,60
3	0,277	0,584	0,978	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,22	12,94
4	0,271	0,569	0,941	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	0,267	0,559	0,920	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,859
6	0,265	0,553	0,906	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	0,263	0,549	0,896	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,405
8	0,262	0,546	0,889	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	0,261	0,543	0,883	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	0,260	0,542	0,879	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587
11	0,260	0,540	0,876	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	0,259	0,539	0,873	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	0,259	0,538	0,870	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	0,258	0,537	0,868	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	0,258	0,536	0,866	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	0,258	0,535	0,863	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015
17	0,257	0,534	0,863	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965
18	0,257	0,534	0,862	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,611	3,922
19	0,257	0,533	0,861	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883
20	0,257	0,533	0,860	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850
21	0,257	0,532	0,859	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819
22	0,256	0,532	0,858	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792
23	0,256	0,532	0,858	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767
24	0,256	0,531	0,857	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745
25	0,256	0,531	0,856	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725
26	0,256	0,531	0,856	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707
27	0,256	0,531	0,855	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690
28	0,256	0,530	0,855	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674
29	0,256	0,530	0,854	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659
30	0,256	0,530	0,854	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646
40	0,255	0,529	0,851	1,303	1,648	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551
50	0,255	0,528	0,849	1,298	1,676	2,009	2,403	2,678	3,262	3,495
60	0,254	0,527	0,848	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460
80	0,254	0,527	0,846	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,415
100	0,254	0,526	0,845	1,290	1,660	1,984	2,365	2,626	3,174	3,389
200	0,254	0,525	0,843	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	3,131	3,339
500	0,253	0,525	0,842	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586	3,106	3,310
$\infty$	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,291

**ANEXO I**

***PLANOS***

1

2

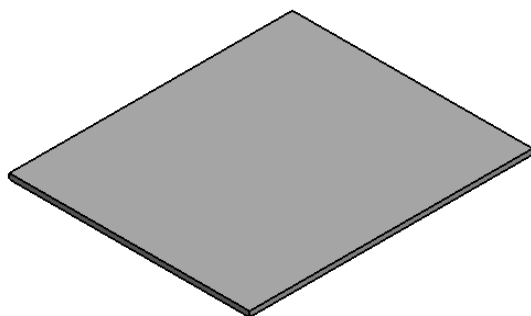
3

4

A

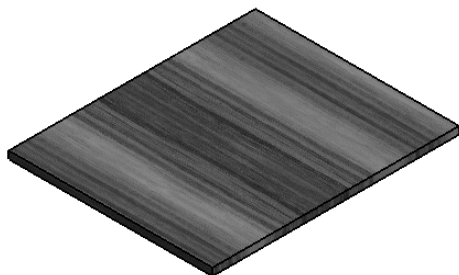
PLANO DE MOLDE PARA PREPARACIÓN DE  
LA MATRIZ RESINA POLIÉSTER FIBRA DE ABACÁ

B



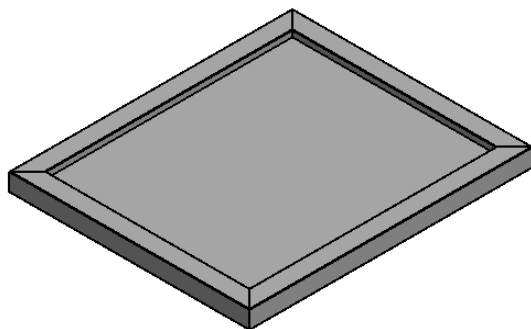
Tapa de 310x250x6mm

C



Matriz resina poliester con  
fibra de abacá.

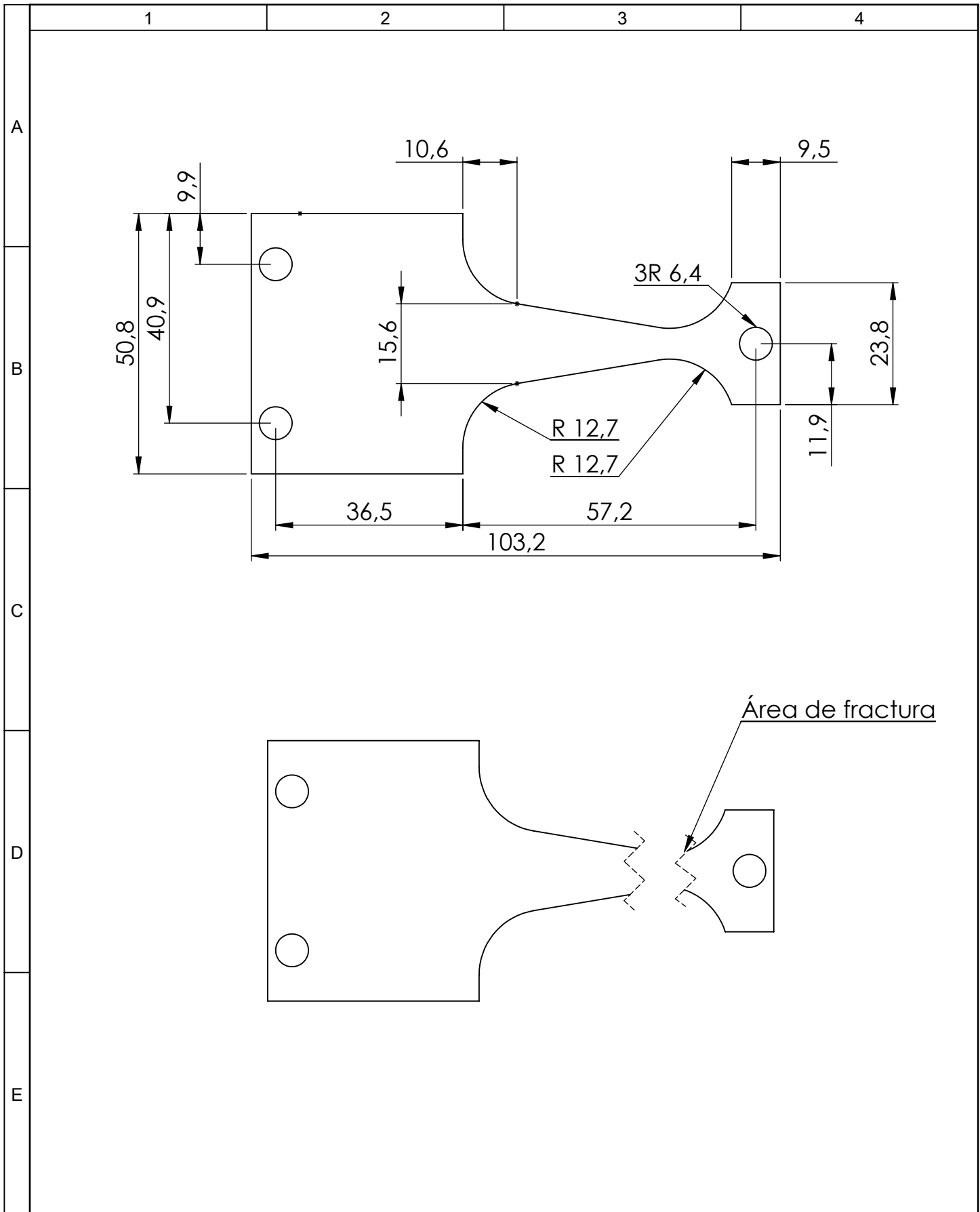
D



Molde de 290x230x7mm

E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: vidrio, madera	
				±0,1	10 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>CONSTRUCCIÓN DE MOLDE</b>	Escala: 1:5
				Dib. 23/09/10	Chisaguano J.		
				Rev. 23/11/14	Img. Guamanquispe		
				Apro. 23/11/14	Img. Guamanquispe	Número del dibujo: 01	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica			



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: Resina poliéster-Fibra de abacá	
				±0,1	24 g		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dib.	23/07/14	Chisaguano J.		
			Rev.	23/07/14	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	23/07/14	Ing. Guamanquispe	1:1
				UTA		Número del dibujo: 01	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ing. Mecánica		(Sustitución)	

1

2

3

4

A

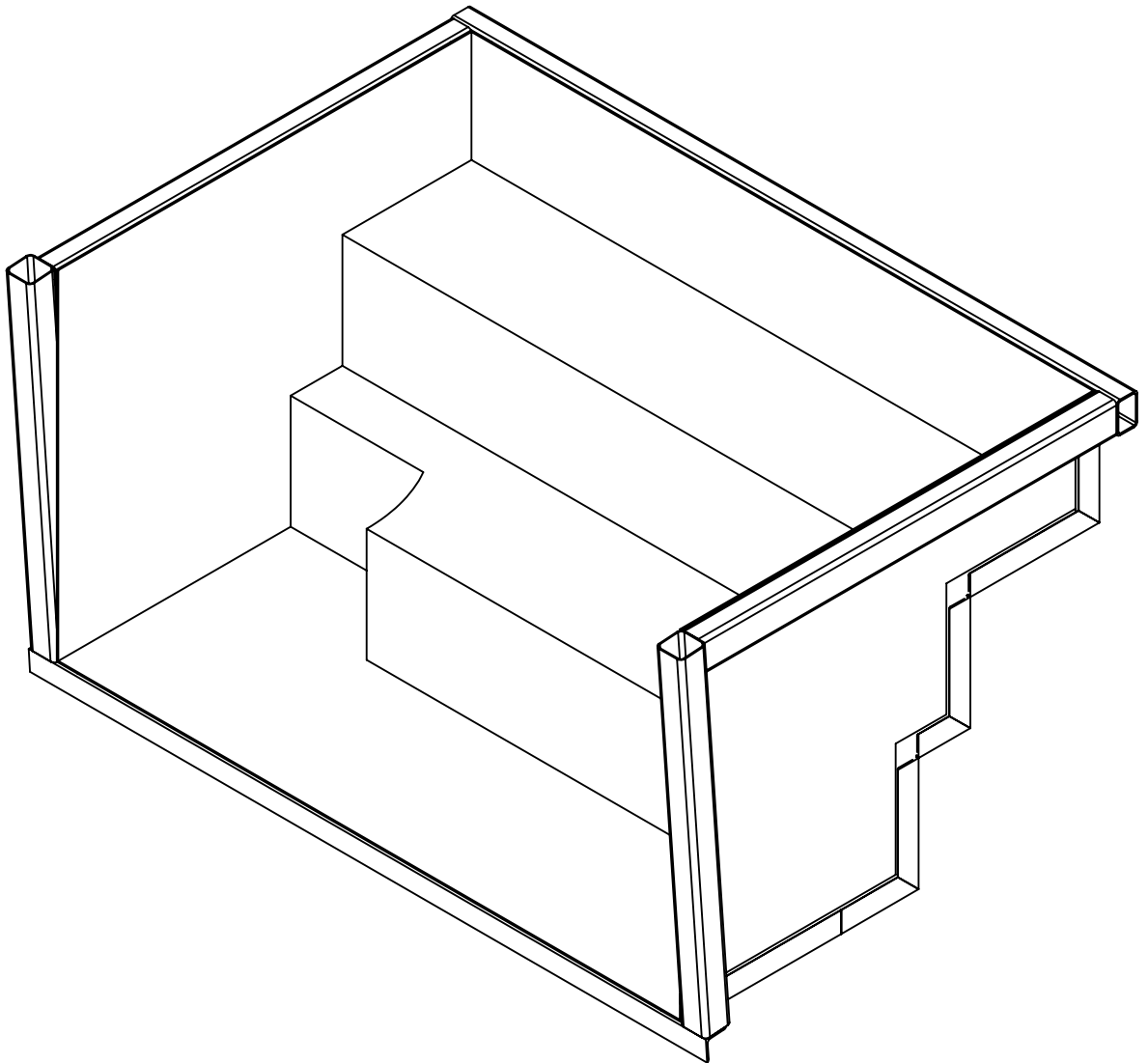
N6

B

C

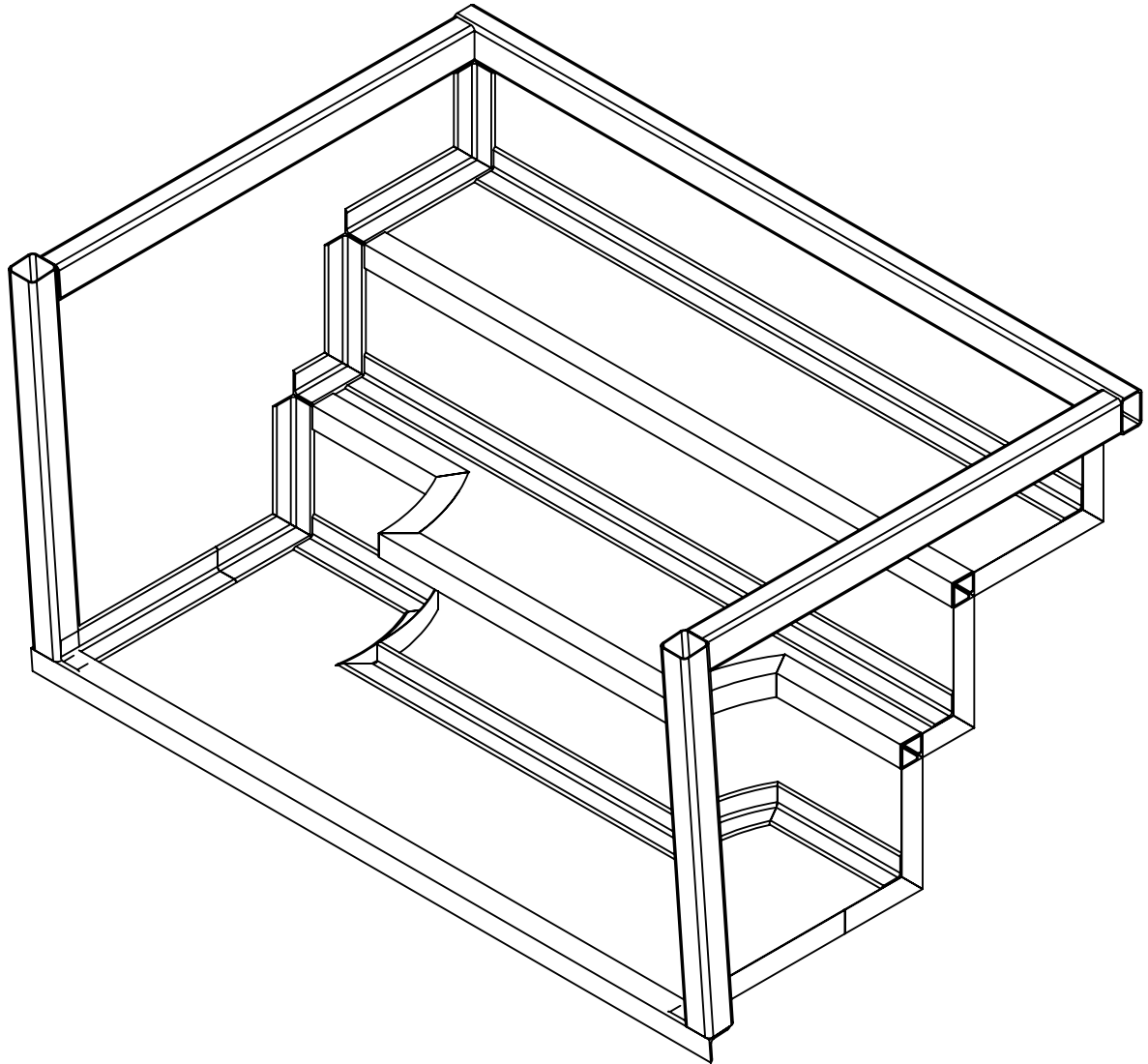
D

E



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO A36 - RESINA POLIÉSTER - 30% DE FIBRA DE ABACÁ	
				±0,2	45,29 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: GRADAESTRUCTURAL PARA BUS URBANO	Escala: 1:10
			Dib.	23/11/14	Chisaguano J.		
			Rev.	23/11/14	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	23/11/14	Ing. Guamanquispe	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 01	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

N6



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO A36	
				±0,2	33,76 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>ESTRUTURA</b>	Escala: 1:10
			Dib.	23/11/14	Chisaguano J.		
			Rev.	23/11/14	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	23/11/14	Ing. Guamanquispe	
				UTA		Número del dibujo: 02	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ing. Mecánica		(Sustitución)	

N6

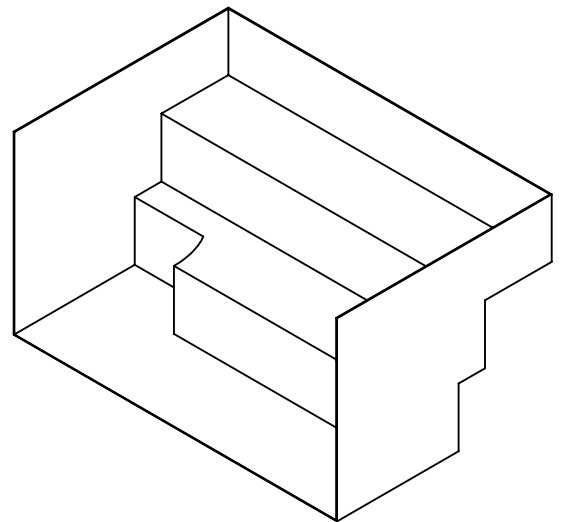
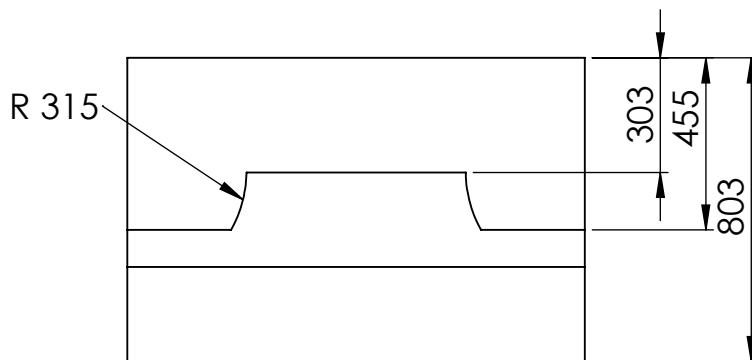
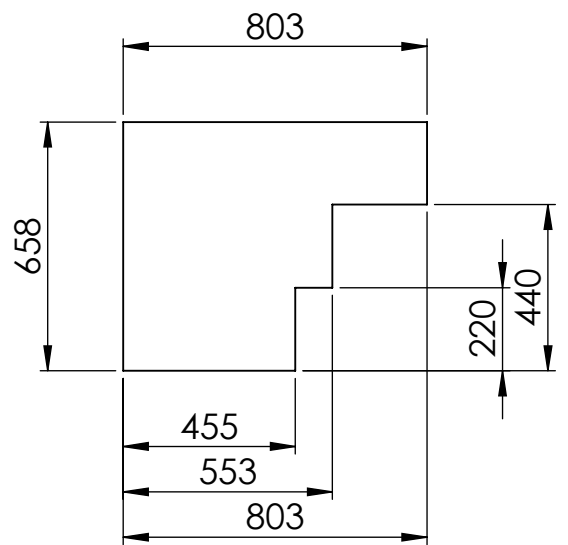
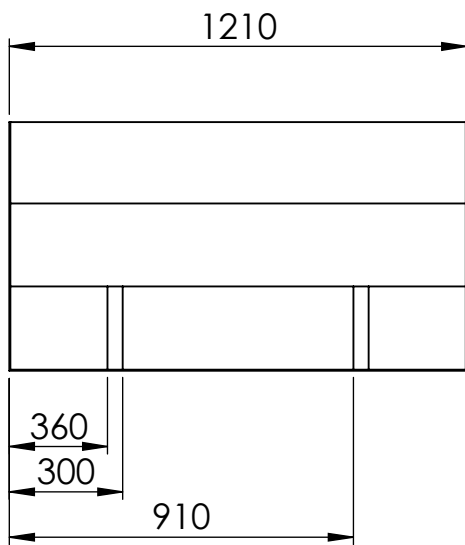
A

B

C

D

E



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: Matriz poliester con 30% de fibra de abacá	
				±0,2	11,53 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>MATRIZ DE GRADA</b>	Escala: 1:20
			Dib.	23/11/14	Chisaguano J.		
			Rev.	23/11/14	Ing. Guamanquispe		
			Apro.	23/11/14	Ing. Guamanquispe		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 03	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	