



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA Y C.M.

"ENSAYOS PRIMARIOS DE MATERIALES COMPUESTOS EMPLEANDO FIBRAS NATURALES NACIONALES"

TOPICO DE GRADUACION

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO NAVAL

Presentado por:

Alejandro Chanabá Ruiz

Guissepp Ospino Isaza

Gonzalo Ruperti Sánchez

**Guayaquil - Ecuador
1998**

DEDICATORIA



BIBLIOTHECA
IAC. III.
MAGSAYSAY

Aquel que en todo momento está con nosotros:

Dios.

A esa persona sin la cual ninguna meta se hubiera podido alcanzar, su apoyo ha sido invaluable, para ellas nuestra gratitud será eterna:

Nuestras Madres.

AGRADECIMIENTO



BIBLIOTECA
D. C. 1961
MAXILIBRA

Al Dr. José Marín López., por su valiosa
colaboración.

A la Escuela Superior Politécnica por la
invalorable ayuda brindada.

A todas aquellas personas que nos
brindaron su apoyo, paciencia y amistad,
durante la elaboración del presente trabajo.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este tópico, nos corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual que contiene la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".



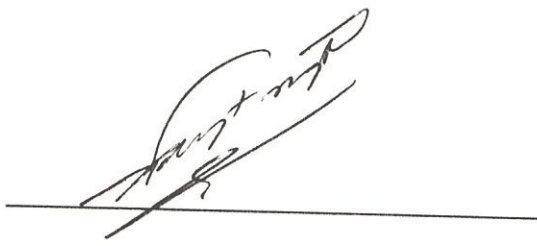
Biblioteca Central

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

Alejandro Chanabá Ruiz

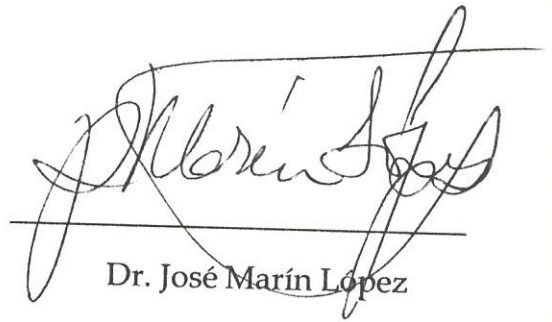
Giusepp Ospino Isaza

Gonzalo Ruperti Sánchez



Ing. Jorge Faytong Durango

Presidente del Tribunal



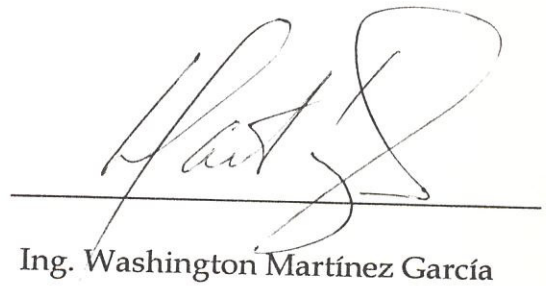
Dr. José Marín López

Director del Tópico



Ing. Raúl Coello Fernández

Miembro Principal



Ing. Washington Martínez García

Miembro Principal



Biblioteca Central



RESUMEN

BIBLIOTECA
IAC, INC.
MARITIMA

Se desarrollaron pruebas para determinar las propiedades mecánicas básicas de las siguientes fibras naturales ecuatorianas: cabuya, yute y caña guadua. Luego, se determinaron experimentalmente las propiedades mecánicas de compuestos (resina epóxica+fibra natural) que sirvieron para comprobar ciertas relaciones analíticas Micromecánicas y Macromecánicas, y de Resistencia, siguiendo el modelo de material ortotrópico.

Los primeros ensayos permitieron determinar las propiedades mecánicas básicas, Módulo de Young, y, Esfuerzo y Deformación Unitaria en la rotura, de las fibras naturales mencionadas. La más rígida es la cabuya, con módulo de Young, aproximadamente cinco veces menor que los correspondientes a fibras sintéticas tipo S-G, como se resume en la tabla 14.

Se desarrollaron luego ensayos de flexión y corte, con probetas de materiales compuestos, para determinar las propiedades mecánicas, en función de la dirección de la aplicación de la carga. Se pretendía comprobar tanto las relaciones Micromecánicas (propiedades del compuesto en función de las propiedades de los componentes individuales), como las Macromecánicas

(dependencia de las propiedades mecánicas en términos de la dirección de aplicación de las cargas). En general el módulo de Young en función de la dirección se predice adecuadamente con la ecuación (1.11), mientras que el módulo de Corte y la razón de Poisson, presentan la tendencia adecuada, pero se diferencian un poco en valor estimado.

Las pruebas de tensión permitieron comprobar un modelo sencillo de resistencia de los materiales compuestos. Se presentan dos puntos ó esfuerzos de "falla": el primero al alcanzarse el esfuerzo de rotura de la matriz (resina), y el segundo, cuando se rompe finalmente la fibra.



BIBLIOTECA
FAC. ING.
30/01/2014

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE FOTOS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS	17
1.1 Introducción.....	17
1.2 Relaciones Esfuerzo - Deformación en 2 Dimensiones.....	18
1.3 Predicción de las Constantes de Ingeniería empleando Análisis Micromecánico.....	23
1.4 Dependencia de las Propiedades Mecánicas respecto de la orientación de los ejes principales.....	28
1.5 Análisis de Resistencia de la Lámina.....	31
1.6 Resumen de las fórmulas a comprobarse.....	35
2. TRABAJO EXPERIMENTAL.....	37
2.1 Descripción de Ensayos.....	39
2.2 Preparación de Probetas.....	41
2.3 Determinación del Porcentaje Volumétrico.....	55

2.4 Prueba de las Fibras.....	60
2.5 Prueba de Tensión.....	64
2.6 Prueba de Corte.....	70
2.7 Prueba de Flexión.....	78
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	84
3.1 Introducción.....	84
3.2 Propiedades de los Componentes (Fibra y Matriz).....	87
3.3 Propiedades mecánicas del material compuesto.....	91
3.4 Módulo de Corte.....	109
3.5 Análisis de Resistencia	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
APÉNDICES	
I. Deducción de las Propiedades Mecánicas.....	123
II. Deducción de fórmulas utilizadas en las Pruebas de Flexión.....	134
III. Resultados de las Pruebas.....	142
BIBLIOGRAFÍA.....	184



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MÉRIDA

INDICE DE FIGURAS

Nº		Pág.
1	Estados de esfuerzos en dos dimensiones para la lámina ortotrópica..	19
2	Estados de esfuerzos simples de la lámina.....	22
3	Lámina ortotrópica con un sistema de coordenadas principales.....	27
4	Curva esfuerzo - deformación para la fibra, matriz, y, compuesto.....	34
5	Secuencia seguida en el desarrollo del procedimiento experimental...	38
6	Plano de las probetas para prueba de corte.....	50
7	Plano de las probetas para prueba de tensión	51
8	Esquema del equipo utilizado para medir la deformación en la fibra.	61
9	Probeta Típica para prueba de tensión de una fibra.....	62
10	Curva Esfuerzo vs Def. Unitaria fibra de yute probeta 1.....	63
11	Probeta típica para ensayo de Tensión.....	64
12	Curva carga - extensión para el compuesto resina - cabuya.....	68
13	Dimensiones principales de la probeta típica para prueba de corte.....	70
14	Plano del "Dispositivo para prueba de Corte"	72
15	Curva Carga - Extensión compuesto resina - yute.....	74
16	Dispositivo para prueba de flexión.....	79
17	Correlación Teoría - Experimento.....	86
18	Curva Esfuerzo - Deformación Unitaria (Fibra de Yute, Probeta No1)	89
19	Módulo de Elasticidad Resina + Cabuya. Probeta No 1 $\theta=90^\circ$	95
20	Comparación del Módulo de Young para Resina - Cabuya.....	98
21	Comparación del Módulo de Young para Resina - Yute.....	99
22	Comparación del Módulo de Young para al Resina - Caña.....	100

23	Comparación Teórica - Experimental de la Razón de Poisson para Resina - Cabuya.....	105
24	Comparación Teórica - Experimental de la Razón de Poisson para Resina - Yute.....	106
25	Comparación Teórica - Experimental de la Razón de Poisson para Resina - Caña.....	107
26	Comparación Teórica - Experimental del Modulo de Corte para Resina - Cabuya.....	112
27	Comparación Teórica - Experimental del Modulo de Corte para Resina - Yute.....	113
28	Curva Esfuerzo - Deformación para la fibra de cabuya.....	117
29	Curva Esfuerzo - Deformación para la fibra de yute.....	118
30	Representación de los esfuerzos que actúan en un elemento.....	125
31	Dispositivo para la prueba de flexión.....	134
32	Diagrama de cuerpo libre.....	136
33	Corte transversal de la viga de material sanduche.....	138
34	Distribución de momento flector.....	140

INDICE DE FOTOS



Pág.

Nº

1	Limpieza y delimitación de la superficie de la plancha.....	42
2	El desmoldante es aplicado sobre la superficie delimitada.....	42
3	La resina se vierte en un recipiente limpio y seco	43
4	Se agrega estireno a la resina para diluirla.....	44
5	Se esparce uniformemente la resina sobre la superficie	45
6	La tela de Yute es colocada sobre la resina.....	46
7	Aplicando una segunda mano de resina cubrir imperfecciones.....	46
8	Se cubre la plancha con el maylo y se eliminan los excesos.....	47
9	Plancha de material compuesto Cabuya - resina.....	48
10	Elaboración del material sanduche.....	49
11	Material sanduche Resina + Cabuya + Balsa.....	49
12	Corte del material tipo sanduche.....	52
13	Toma de dimensiones	53
14	Balanza analítica utilizada para registrar el peso.....	53
15	Pesaje de un espécimen de Cabuya de 10 x 10 cm de longitud.....	56
16	Probetas de caña guadua para prueba de tensión de las fibras.....	61
17	Máquina de ensayo universal utilizada en los ensayos.....	66
18	Mordazas sujetando la probeta de cabuya.....	67
19	Dispositivo para prueba de Corte.....	73
20	Máquina de ensayo universal con el dispositivo prueba de corte.....	74
21	Probeta de Yute utilizada para ensayo de corte.....	77
22	Probeta y equipo utilizado para prueba de flexión.....	78
23	Instalación de extenómetro.....	81

INDICE DE TABLAS

Nº		Pág.
1	Dependencia Propiedades Mecánicas con respecto de la orientación..	31
2	Fórmulas teóricas para determinar las propiedades del compuesto.....	36
3	Ensayos desarrollados y propiedad encontrada	39
4	Promedio para una probeta para ensayo de tensión a 0 grados.....	54
5	Valores obtenidos para el cálculo de densidad de la fibra de yute.....	57
6	Valores obtenidos para el cálculo de densidad de las fibras de Cabuya y Caña Guadua.....	58
7	Valores registrados para la fibra de yute probeta 1.....	63
8	Carga de ruptura de la fibra y matriz registrados para el hilo de yute	69
9	Carga de ruptura de la fibra y matriz para el hilo de cabuya.....	69
10	Módulo de corte obtenido para el compuesto resina - cabuya.....	76
11	Módulo de corte experimental para el compuesto resina - yute.....	76
12	Valores registrados para una probeta de Yute sometida flexión.....	82
13	Transformación de valores Carga - Despl. a Esfuerzo - Deformación (Fibra de Yute, Probeta No 1).....	88
14	Propiedades de Fibras Naturales.....	89
15	Fracciones Volumétricas de los Componentes.....	91
16	Datos Carga - Deflexión y Carga - Deformación (Probeta No 1, Resina+Cabuya).....	94
17	Módulo de Elasticidad Resina + Cabuya. Probeta No 1 $\theta = 90^\circ$	96
18	Módulo de Elasticidad Teórico y Experimental para Materiales Compuestos empleando fibras naturales como refuerzo.....	97
19	Carga - Relación de Poisson (Material Sanduche Cabuya).....	103

20	Comparación de Razón de Poisson experimental y Teórica para Materiales Compuestos.....	104
21	Valores experimentales y teóricos de Módulo de Corte para Materiales Compuestos.....	111
22	Deformación Unitaria y Esfuerzos de Rotura de la fibra de Cabuya..	116
23	Deformación Unitaria y Esfuerzos de Rotura de la fibra de Yute.....	116



BIBLIOTECA
IAC, INC
MAR 1984

INTRODUCCION

Materiales compuestos, formados por resinas plásticas y reforzadas con fibras de diferente tipo, están alcanzando gran éxito como material estructural. La razón peso a resistencia, los presentan con gran ventaja sobre otras opciones posibles. En nuestro medio, entre otros, han encontrado gran uso en la construcción de embarcaciones pesqueras artesanales, mejor conocidas como "fibras".

Existen en el medio fibras naturales que podrían reemplazar a las plásticas en la preparación de materiales compuestos. Estas fibras con un adecuado tratamiento para resistir el deterioro, sobre todo en ambientes húmedos, podrían proveer la necesaria rigidez en miembros estructurales. Este reemplazo podría significar ahorro en el costo del producto final, y también en un ahorro de divisas al evitar la importación de las fibras sintéticas. De manera que la investigación de la potencialidad de fibras naturales ecuatorianas para formar materiales compuestos, es altamente recomendable.

En el presente trabajo, se pretende determinar primero la potencialidad de ciertas fibras naturales ecuatorianas como refuerzo de materiales compuestos.

Entonces, primero ciertas propiedades elásticas como el módulo de Young y el esfuerzo de rotura de la cabuya, el yute, y la caña guadua deben ser determinados. Luego, se prepararán ensayos para determinar las propiedades elásticas de compuestos en tensión, flexión y corte, variando la dirección de aplicación de la carga. Estas propiedades son indispensables para el diseño de estructuras con materiales compuestos, y contándose con poca experiencia en el medio al respecto, su determinación y comparación con relaciones analíticas, será de mucha utilidad.



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

CAPITULO 1

PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS

1.1. INTRODUCCIÓN

Un material es llamado compuesto "si está constituido por dos o más componentes en una estructura macroscópica, con el fin de aprovechar ciertas propiedades mecánicas de cada componente", [5]. En el caso del plástico reforzado con fibras naturales se tienen dos componentes: la fibra natural, y, una resina epóxica. La fibra natural sirve de refuerzo y es la que aporta principalmente a la resistencia del compuesto; tiene elevada rigidez, pero, baja dureza. En cambio, la resina epóxica que sirve de matriz, contribuye a la dureza y ductilidad del compuesto, previene la degradación de la fibra y de daños externos, y, transfiere y distribuye las cargas a las fibras.

Los materiales compuestos poseen propiedades mecánicas diferentes en distintas direcciones. Se dice que tales materiales son *anisotrópicos* ([4] y [6]).

Para desarrollar las ecuaciones que permitan analizar los materiales compuestos, se emplea como primer modelo la lámina reforzada unidireccional, que tiene un arreglo paralelo de fibras continuas. La lámina,

como se mostrará posteriormente, tiene 3 planos mutuamente ortogonales, con propiedades diferentes y simétricas en las tres direcciones, [4], por eso, es llamado un material *ortotrópico*, o sea, anisotrópico simplificado.

La relación esfuerzo (σ)-deformación (ϵ) para la lámina ortotrópica es la base del análisis de plástico reforzado con fibras. A partir de las relaciones micromecánicas, llamadas Reglas de las Mezclas, e, Inverso de las Mezclas, se obtendrán las constantes principales de ingeniería (E_1 , E_2 , G_{12} y ν_{12}) en función de las constantes elásticas de las componentes: fibra y matriz (E_{f1} , E_{f2} , E_m , G_{f12} , G_m , ν_{f12} y ν_m). Además partiendo de las relaciones macromecánicas esfuerzo-deformación, llamada Ley de Hooke, se obtendrán las propiedades mecánicas del compuesto (E_x , E_y , G_{xy} y ν_{xy}) en función de las constantes de ingeniería (E_1 , E_2 , G_{12} y ν_{12}) y de la dirección de aplicación de los reforzamientos.

1.2. RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACIÓN EN 2-DIMENSIONES

En este caso, la lámina ortotrópica se la considera como en un estado de esfuerzos bidimensional (sistema de coordenadas 12), y es descrito por tres componentes de esfuerzos, σ_1 , σ_2 , y, τ_{12} , es decir, σ_3 , τ_{13} y τ_{23} se consideran nulos, como se muestra en la figura 1.

Acorde a la notación convencional, σ_1 y σ_2 son *esfuerzos normales* (resultan de la acción de componentes de fuerzas perpendiculares al plano de la sección transversal), y τ_{12} es un *esfuerzo cortante* (proviene de componentes paralelas al plano de la sección). Cada componente de esfuerzo tiene su correspondiente componente de deformación unitaria: ε_1 y ε_2 son *deformaciones normales* (describe el alargamiento o contracción por unidad de longitud), y γ_{12} es la *deformación angular ó por corte* (es la deformación distorsional asociada con líneas paralelas a los ejes 1 y 2).

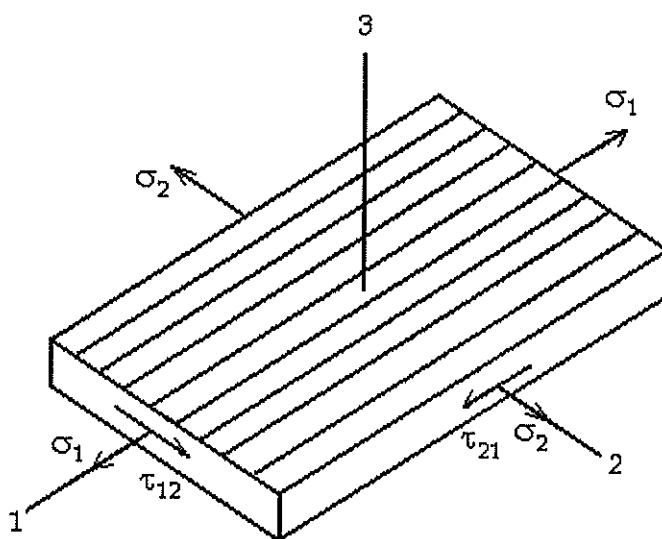


Figura 1

Estado de esfuerzos en dos dimensiones para la lámina unidireccional ortotrópica

La Ley de Hooke para un material anisotrópico linealmente elástico, que relaciona esfuerzo con deformación está dada por la siguiente ecuación, escrita en forma de matriz:



$$\{ \sigma \} = [C] \{ \varepsilon \}, \quad (1.1)$$

BIBLIOTECA
FAC. ING.
MAR 11 1969

donde: $\{ \sigma \} = [\sigma_1 \ \sigma_2 \ \tau_{12}]^T$, es el vector columna esfuerzo, $\{ \varepsilon \} = [\varepsilon_1 \ \varepsilon_2 \ \gamma_{12}]^T$, es el vector columna deformación unitaria, y, $[C]$, es la matriz rigidez ("stiffness") de 3x3 con 9 constantes. Alternativamente, la Ley de Hooke anisotrópica, ecuación (1.1), puede ser escrita como:

$$\{ \varepsilon \} = [S] \{ \sigma \}, \quad (1.2)$$

donde $[S]$ es la matriz flexibilidad ("compliance") de 3x3, que es la inversa de la matriz rigidez: $[S] = [C]^{-1}$.

La Ley de Hooke anisotrópica puede ser simplificada debido a la simetría del compuesto, entonces como resultado de la energía de deformación (véase la ecuación (2.11)-(2.14), de [4]), se deduce que $C_{ij} = C_{ji}$, entonces la matriz rigidez $[C]$ es simétrica teniendo ahora únicamente 6 constantes independientes. Como la matriz $[C]$ es de la misma forma de la matriz flexibilidad $[S]$, entonces $S_{ij} = S_{ji}$ y la matriz $[S]$ es simétrica.

Como veremos más adelante dada la simetría presente en el caso de los materiales ortotrópicos las matrices $[S]$ ó $[C]$ requieren únicamente 4 constantes independientes para su definición.

Las constantes de ingeniería: módulo de Young en las dos direcciones principales, (E_1 y E_2), módulo de corte, (G_{12}), y razón de Poisson, (ν_{12}), son definidas a partir de estados de esfuerzos y deformaciones simples, y son usadas para desarrollar la relación bidimensional esfuerzo-deformación para la lámina ortotrópica.

Consideremos una prueba de tensión uniaxial simple, que consiste en la aplicación de un esfuerzo normal longitudinal, σ_1 , a lo largo de la dirección del reforzamiento (dirección 1), mostrado en la figura 2(a), mientras que los otros esfuerzos son nulos. Los resultados experimentales observados en el rango lineal de las deformaciones en los ejes 12 pueden ser expresados en términos de las constantes de ingeniería como:

$$\begin{aligned}\epsilon_1 &= \sigma_1 / E_1 , \\ \epsilon_2 &= - \nu_{12} \epsilon_1 = - \nu_{12} \sigma_1 / E_1 , \\ \gamma_{12} &= 0 ,\end{aligned}\tag{1.3}$$

donde: E_1 = Módulo de Young asociado con la dirección 1, y,

$\nu_{12} = - \epsilon_2 / \epsilon_1$, es la razón de Poisson, que relaciona la deformación en la dirección 2 a la deformación en la dirección perpendicular 1 cuando el esfuerzo aplicado está en la dirección 1.

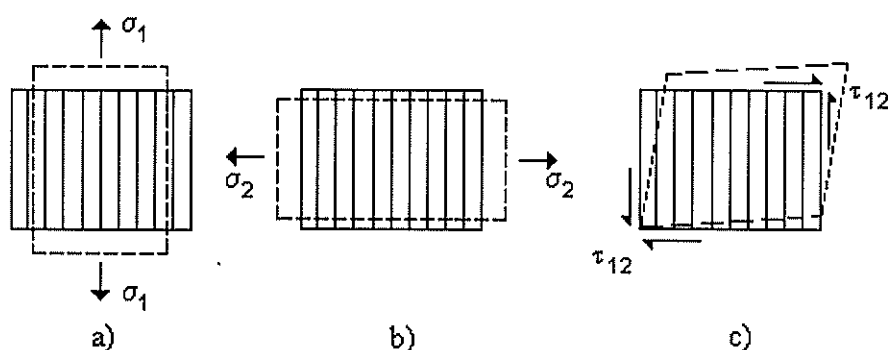


Figura 2
Estados de esfuerzos simples de la lámina

Siguiendo un procedimiento similar donde un esfuerzo transversal normal σ_2 y un esfuerzo cortante τ_{12} son aplicados, como se muestra en las figuras 2(b) y (c), se deducen las otras relaciones deformación-esfuerzo (véase la ecuación (2.20) y (2.21), de [4]). Aplicando la superposición de las deformaciones en sus correspondientes direcciones, y escribiendo estas deformaciones totales en forma de matriz, entonces la ley de Hooke, ecuación (1.2), queda como:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E_1 & -\nu_{21}/E_2 & 0 \\ -\nu_{12}/E_1 & 1/E_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/G_{12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} \quad (1.4)$$

Nótese que en general $E_1 \neq E_2$, y, $\nu_{12} \neq \nu_{21}$ (porque es un material ortotrópico), sin embargo, debido a la simetría de la matriz $-\nu_{12}/E_1 = -\nu_{21}/E_2$. Así mismo las deformaciones unitarias normales y cortantes no están acopladas entre sí, esto es, cuando se aplican esfuerzos normales a lo largo de las direcciones principales 1 ó 2, se producen solo deformaciones normales,

siendo las deformaciones cortantes iguales a cero; de la misma forma cuando se aplican esfuerzos cortantes solo producen deformaciones cortantes, siendo las deformaciones normales iguales a cero.

1.3. PREDICCIÓN DE LAS CONSTANTES DE INGENIERÍA EMPLEANDO ANÁLISIS MICROMECAÍNICO.

La determinación de las constantes de ingeniería del compuesto en términos de las propiedades mecánicas de cada componente, son llamadas relaciones micromecánicas, y son la base para predecir las constantes elásticas E_1 , E_2 , G_{12} y ν_{12} . Pruebas o datos experimentales son requeridos para conocer las propiedades de las componentes, es decir, módulo de Young de la fibra en las direcciones 1 y 2, y de la matriz, razón de Poisson de la fibra y la matriz, y, el módulo de corte de la fibra y de la matriz. Las ecuaciones micromecánicas están en función de las fracciones de volumen (ν_i) de cada componente, cuya suma debe completar el todo:

$$\sum_{i=1}^n \nu_i = 1,$$

donde $\nu_i = V_i / V_c$ = fracción de volumen de la i^{ma} componente,

V_i = volumen de la i^{ma} componente, y,



BIBLIOTECA
I.C. ING.
MAT. UBA.

V_c = volumen total del compuesto.

En el caso tratado, la ecuación se reduce a:

$$v_f + v_m + v_v = 1 , \quad (1.5)$$

donde v_f , v_m y v_v son las fracciones de volumen de la fibra, matriz y el vacío respectivamente.

Módulo Longitudinal, E_1

Si el compuesto está sujeto únicamente a un esfuerzo normal longitudinal, véase la figura 2(a), aplicando equilibrio estático en la dirección 1, entonces la fuerza resultante es igual a la suma de las fuerzas actuando sobre la fibra y la matriz. Aplicando la ley de Hooke en una dimensión y asumiendo que las deformaciones son iguales en la fibra, matriz, y, compuesto a lo largo de la dirección 1, se obtiene la regla de las mezclas para el módulo longitudinal, [4]:

$$E_1 = E_{f1} v_f + E_m v_m , \quad (1.6)$$

donde, E_{f1} es el módulo de Young de la fibra en la dirección 1, y, E_m , es el módulo de Young de la matriz. Esta ecuación predice una variación lineal del módulo longitudinal, E_1 , con la fracción de volumen de la fibra, v_f . Aunque simple en forma, la ecuación (1.6), concuerda bien con datos experimentales

(véase la figura 3.4(b) de [4]) y es una ecuación útil de diseño, como lo demuestra su uso en las Reglas de la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas, [2]. Se ha encontrado que mientras menor es el diámetro de la fibra, mejor la concordancia entre la regla de las mezclas y los resultados experimentales.

Módulo Transversal, E_2

Si el compuesto está sujeto a un esfuerzo normal transversal, entonces por la compatibilidad geométrica, el desplazamiento transversal total es igual a la suma de los desplazamientos transversales en la fibra y la matriz, véase la figura 2(b). Aplicando la ley de Hooke en una dimensión y asumiendo que los esfuerzos en la fibra, matriz y compuesto son iguales, se obtiene la regla inversa de las mezclas para el módulo transversal:

$$\frac{1}{E_2} = \frac{v_f}{E_{f2}} + \frac{v_m}{E_m}, \quad (1.7)$$

donde, E_{f2} es el módulo de Young de la fibra en la dirección 2. En la deducción de la ecuación anterior, se asume que los esfuerzos son iguales en la fibra, matriz, y, compuesto. Usando la ecuación de energía de deformación [4], se comprueba que ésta asunción no es válida, sin embargo la regla inversa de las mezclas se usa como punto de partida, porque la curva tiene la

tendencia correcta, aunque los "datos experimentales quedan por encima de la curva teórica", [4].

Razón de Poisson, ν_{12}

Una formulación para la razón de Poisson puede ser encontrada usando un procedimiento similar al empleado para el cálculo del módulo longitudinal, y, el resultado es otra regla de mezclas:

$$\nu_{12} = \nu_{f12} U_f + \nu_m U_m ,$$



donde ν_{f12} = es la razón de Poisson de la fibra, y,

ν_m = es la razón de Poisson de la matriz

BIBLIOTECA
FAC. ING.
MEXICO

Se ha encontrado que esta ecuación es razonablemente válida, como lo demuestra su uso en las Reglas de la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas, [2], porque concuerda bien con datos experimentales, [4].

Módulo de Corte, G_{12}

Una formulación para el módulo de corte puede ser derivada usando un procedimiento similar al empleado para el cálculo del módulo transversal, y, el resultado es otra regla inversa de mezclas:

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{v_f}{G_{f12}} + \frac{v_m}{G_m}, \quad (1.9)$$

donde G_{f12} = módulo de corte de la fibra en el plano 12, y,

G_m = módulo de corte de la matriz.

Esta ecuación no es completamente correcta, porque los esfuerzos cortantes no son iguales en la fibra, matriz, y, compuesto, como se analizó para el cálculo del módulo transversal, sin embargo dado su simplicidad será considerada en los cálculos desarrollados posteriormente.

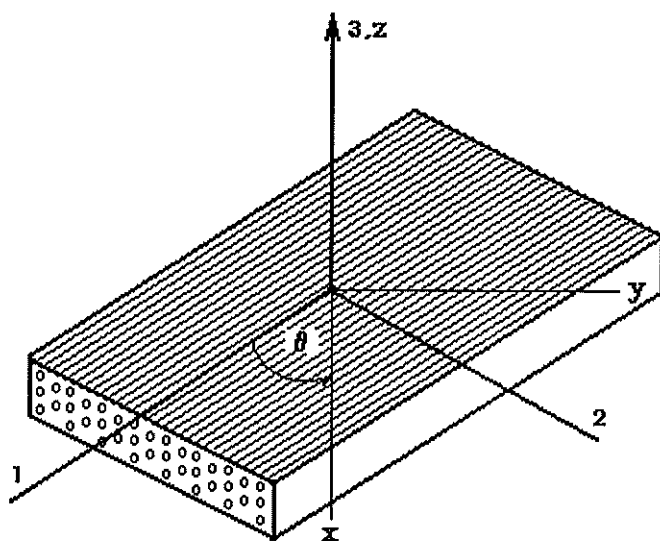


Figura 3
Lámina ortotrópica con un sistema de coordenadas principales (1,2,3) y no principales (x,y,z).

1.4. DEPENDENCIA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS RESPECTO DE LA ORIENTACIÓN DE LOS EJES PRINCIPALES.

Las constantes de ingeniería de la lámina pueden ser transformadas desde los valores referidos a los ejes principales 12 (filamentos de la fibra orientados en la dirección principal de la lámina), a las correspondientes a ejes no principales xy (filamentos orientados en cualquier dirección θ), como se muestra en la figura 3.

La deducción de las propiedades mecánicas (E_x , E_y , G_{xy} y ν_{xy}) se detallan en el Apéndice 1. Esto es, aislando una porción de la lámina orientada un ángulo θ , respecto de la orientación de la fibra y aplicando equilibrio estático, se obtiene:

$$\{\sigma\}_{12} = [T] \{\sigma\}_{xy} ,$$

donde, $[T]$ es la matriz transformación del sistema de coordenadas 12 al sistema xy. Igual procedimiento se sigue con las deformaciones, entonces:

$$\{\varepsilon\}_{xy} = [T]^{-1} \{\varepsilon\}_{12} ,$$

y, de la ecuación (1.2):

$$\{\varepsilon\}_{12} = [S] \{\sigma\}_{12} ,$$

entonces:



BIBLIOTECA
IAC, INC.
MARITIMA

$$\{\varepsilon\}_{xy} = [S^1] \{\sigma\}_{xy} , \quad (1.10)$$

que es la Ley de Hooke para un sistema de coordenadas no principales, donde, $[S^1] = [T]^{-1} [S] [T]$, es la matriz flexibilidad.

El módulo de Young, E_x , asociado con la carga uniaxial en la dirección x está definido como $E_x = \sigma_x / \varepsilon_x$, donde la deformación ε_x fue encontrada al sustituir las condiciones de esfuerzos, $\sigma_x \neq 0$, $\sigma_y = \tau_{xy} = 0$, en la ecuación (1.10), entonces, [4]:

$$E_x = \frac{1}{\frac{1}{E_1} c^4 + \frac{1}{E_2} s^4 + \left[-\frac{2\nu_{12}}{E_1} + \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2} , \quad (1.11)$$

donde E_1 y E_2 son los módulos de elasticidad en la dirección 1 y 2, G_{12} es el módulo de corte, ν_{12} es la razón de Poisson, $s = \sin \theta$, y , $c = \cos \theta$.

En el Apéndice de este trabajo se desarrolló un proceso similar y se obtuvieron las relaciones que se describen a continuación. Para el módulo de elasticidad, E_y , asociado con la carga uniaxial en la dirección y , las condiciones de esfuerzos son $\sigma_y \neq 0$, $\sigma_x = \tau_{xy} = 0$, está definido como:

$$E_y = \frac{1}{\frac{1}{E_1} s^4 + \frac{1}{E_2} c^4 + \left[-\frac{2\nu_{12}}{E_1} + \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2}, \quad (1.12)$$

El módulo de corte, G_{xy} , con las condiciones de esfuerzos, $\tau_{xy} \neq 0$, $\sigma_x = \sigma_y = 0$, está definido como:

$$G_{xy} = \frac{1}{\left[\frac{2}{E_1} + \frac{2}{E_2} + \frac{4\nu_{12}}{E_1} - \frac{1}{G_{12}} \right] 2s^2 c^2 + \frac{1}{G_{12}} (c^4 + s^4)}, \quad (1.13)$$

Y la razón de Poisson, ν_{xy} , con las condiciones de esfuerzos $\sigma_x \neq 0$, $\sigma_y = \tau_{xy} = 0$ está definido como:

$$\nu_{xy} = - \frac{\left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} - \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2 - \frac{\nu_{12}}{E_1} (c^4 + s^4)}{\frac{1}{E_1} c^4 + \frac{1}{E_2} s^4 + \left[-\frac{2\nu_{12}}{E_1} + \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2}, \quad (1.14)$$

A continuación se analizará la variación de las propiedades mecánicas: E_x , E_y , G_{xy} , ν_{xy} , cuando los filamentos de la fibra están orientados a 0° (el eje x coincide con el eje 1, y, el eje y coincide con el eje 2), y, a 90° (el eje x coincide con el eje 2, y, el eje y coincide con el eje 1). Utilizando las ecuaciones (1.11) - (1.14), se obtienen los siguientes resultados:

θ	E_x	E_y	G_{xy}	ν_{xy}
0°	E_1	E_2	G_{12}	ν_{12}
90°	E_2	E_1	G_{12}	ν_{12}

Tabla 1

Dependencia de las Propiedades Mecánicas con respecto de la orientación.

La dependencia direccional implícita en las ecuaciones (1.11)-(1.14) va a ser comprobada como parte del trabajo experimental de ésta tesis.

1.5. ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE LA LÁMINA

La resistencia es definida como “el valor del esfuerzo que causa la falla del material”. La resistencia de la lámina depende tanto del esfuerzo de rotura de la matriz como de la fibra (que actúa de refuerzo). En este trabajo solo se analizará la resistencia longitudinal de materiales compuestos, debido a limitaciones en el equipo disponible.

Resistencia Longitudinal, S_L

El análisis es desarrollado basándose en las siguientes asunciones:

- (1) igualdad de resistencia en todas las fibras,
- (2) comportamiento lineal elástico por debajo de la falla, y,
- (3) las deformaciones longitudinales son iguales en la fibra, matriz, y compuesto.

En este trabajo se considera que el compuesto falla debido a que la fibra o la matriz, alcanzan sus niveles de esfuerzos de ruptura; dichos valores pueden determinarse en forma experimental durante la prueba de los componentes en forma independiente.

En la figura 4 se presenta la relación lineal elástica entre el esfuerzo y la deformación unitaria, tanto para la resina como para la fibra, hasta el punto de rotura. La pendiente de cada recta representa el módulo de Young de dicho componente. Cuando una probeta de material compuesto es sometida a tensión simple, la relación entre esfuerzo y deformación, estará representada por una tercera recta, con pendiente igual al módulo de Young del compuesto; la "regla de las mezclas" establece que dicho parámetro estará entre los valores de cada componente del compuesto. En la figura mencionada, se ha presentado el caso en que la matriz falla con valores de esfuerzo y deformación unitaria inferiores (e_{m1} , s_{m1}) a los de la fibra (e_{f1} , s_{f1}), de manera que cuando el compuesto sometido a tensión simple alcanza una deformación unitaria e_{m1} , el nivel de esfuerzo en la matriz será s_{m1} , por tanto habrá alcanzado su límite de resistencia, y la probeta sufrirá una primera falla. Sin embargo, todavía puede incrementarse la carga sobre la probeta, debido que la fibra no ha alcanzado su esfuerzo de rotura. Esto va a suceder cuando la deformación unitaria sea e_{f1} .

La resistencia longitudinal del compuesto, S_L (esfuerzo promedio al momento de la falla), se la puede entonces analizar empleando la regla de las mezclas para esfuerzos longitudinales, la cual viene dada por la siguiente relación (ecuación (3.18), de [4]):

$$\sigma_c = \sigma_f v_f + \sigma_m v_m , \quad (1.15)$$

donde: σ_c = esfuerzo longitudinal promedio del compuesto (F/A),

σ_f = esfuerzo longitudinal desarrollado por la fibra, y,

σ_m = esfuerzo longitudinal desarrollado por la matriz.

Como se había explicado antes, el esfuerzo longitudinal en la matriz ha alcanzado el valor de rotura, S_{m1} , mientras que el esfuerzo longitudinal en la fibra ha alcanzado un valor igual al producto de la deformación unitaria (común para compuesto, fibra y matriz, de acuerdo con la asunción (3)) por el módulo de Young de la fibra $S_{fm1} = E_{f1} e_{m1}$, y, el esfuerzo longitudinal del compuesto alcanza el valor de rotura, S_L , entonces la ecuación (1.15), se convierte en:

$$S_L = S_{fm1} v_f + S_{m1} v_m \quad (1.16)$$

donde S_{fm1} es el valor del esfuerzo en la fibra bajo una deformación unitaria igual a e_{m1} .

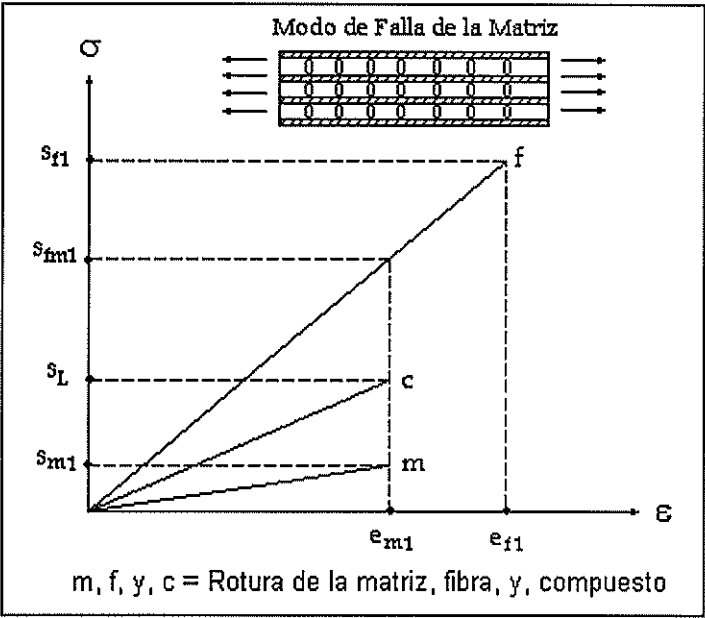


Figura 4

Curva esfuerzo-deformación para la fibra, matriz, y, compuesto cuando falla la matriz

1.6 RESUMEN DE LAS FÓRMULAS A COMPROBARSE

Un resumen de las formulaciones teóricas que sirven para analizar materiales compuestos, y que han sido presentadas en este capítulo, se detallan en la Tabla 2. La validez de estas expresiones serán analizadas y comparadas con los resultados experimentales en el Capítulo 3.



BIBLIOTECA
NAC. INC.
MEXICO

Basado en:	Variable	Fórmula
Suma de fracción de Volumen.	Fibra, Matriz y Vacío	$v_f + v_m + v_v = 1$
Pruebas experimentales fibra y matriz.	Mod. de Young, de Corte y Poisson	$\begin{matrix} E_{f1} & E_{f2} & E_m & G_{f12} & G_m \\ & v_{f12} & v_m & & \end{matrix}$
Regla de las mezclas	Módulo Longitudinal dirección 1	$E_1 = E_{f1} v_f + E_m v_m$
Regla inversa de las mezclas	Módulo Longitudinal dirección 2	$\frac{1}{E_2} = \frac{v_f}{E_{f2}} + \frac{v_m}{E_m}$
Regla de las mezclas	Razón de Poisson	$v_{12} = v_{f12} v_f + v_m v_m$
Regla inversa de las mezclas	Módulo de Corte	$\frac{1}{G_{12}} = \frac{v_f}{G_{f12}} + \frac{v_m}{G_m}$
Análisis macromecánico	Módulo Longitudinal en la dirección x	$E_x = \frac{1}{\frac{1}{E_1} c^4 + \frac{1}{E_2} s^4 + \left[-\frac{2v_{12}}{E_1} + \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2}$
Análisis macromecánico	Módulo Longitudinal en la dirección y	$E_y = \frac{1}{\frac{1}{E_1} s^4 + \frac{1}{E_2} c^4 + \left[-\frac{2v_{12}}{E_1} + \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2}$
Análisis macromecánico	Módulo de Corte en la dirección xy	$G_{xy} = \frac{1}{\left[\frac{2}{E_1} + \frac{2}{E_2} + \frac{4v_{12}}{E_1} - \frac{1}{G_{12}} \right] 2s^2 c^2 + \frac{1}{G_{12}} (c^4 + s^4)}$
Análisis macromecánico	Razón de Poisson en la dirección xy	$v_{xy} = - \frac{\left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} - \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2 - \frac{v_{12}}{E_1} (c^4 + s^4)}{\frac{1}{E_1} c^4 + \frac{1}{E_2} s^4 + \left[-\frac{2v_{12}}{E_1} + \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2}$
Regla de las mezclas	Resistencia Longitudinal	$S_L = S_{fm1} v_f + S_{m1} v_m$

Tabla 2
Resumen de las fórmulas teóricas empleadas para determinar las propiedades del compuesto.

CAPITULO 2

TRABAJO EXPERIMENTAL

En este capítulo se van a describir los métodos que se usaron para llevar a cabo las pruebas mecánicas. En el primer capítulo se puso énfasis en el desarrollo de un modelo analítico para encontrar las propiedades mecánicas básicos del material compuesto. Algunos de los aspectos del comportamiento mecánico de estos materiales son muy complejos, y es posible que la arquitectura propiamente dicha del modelo analítico sea cuestionable, de manera que un proceso experimental puede ser una solución aceptable a este comportamiento. De hecho mucho de lo que hoy conocemos sobre la especial naturaleza del comportamiento de los materiales compuestos ha sido derivado de observaciones experimentales.

La tecnología asociada con las pruebas del material compuesto requiere de sofisticados equipos para realizar los ensayos, los cuales van asociados con una metodología adecuada para las pruebas. Estos métodos están recopilados por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, "American Society For Testing and Materials" (ASTM), [1], que es el libro guía seguido en el presente trabajo. Se realizaron tres tipos de pruebas: tracción, corte, y flexión, para tres tipos de fibras naturales, ya sea como componentes

separados ó como material compuesto. Las fibras fueron caña guadua, yute y cabuya, y como matriz común una resina epóxica.

El procedimiento experimental que se siguió para la obtención de las propiedades mecánicas de cada uno de los materiales se ilustra en la siguiente figura:

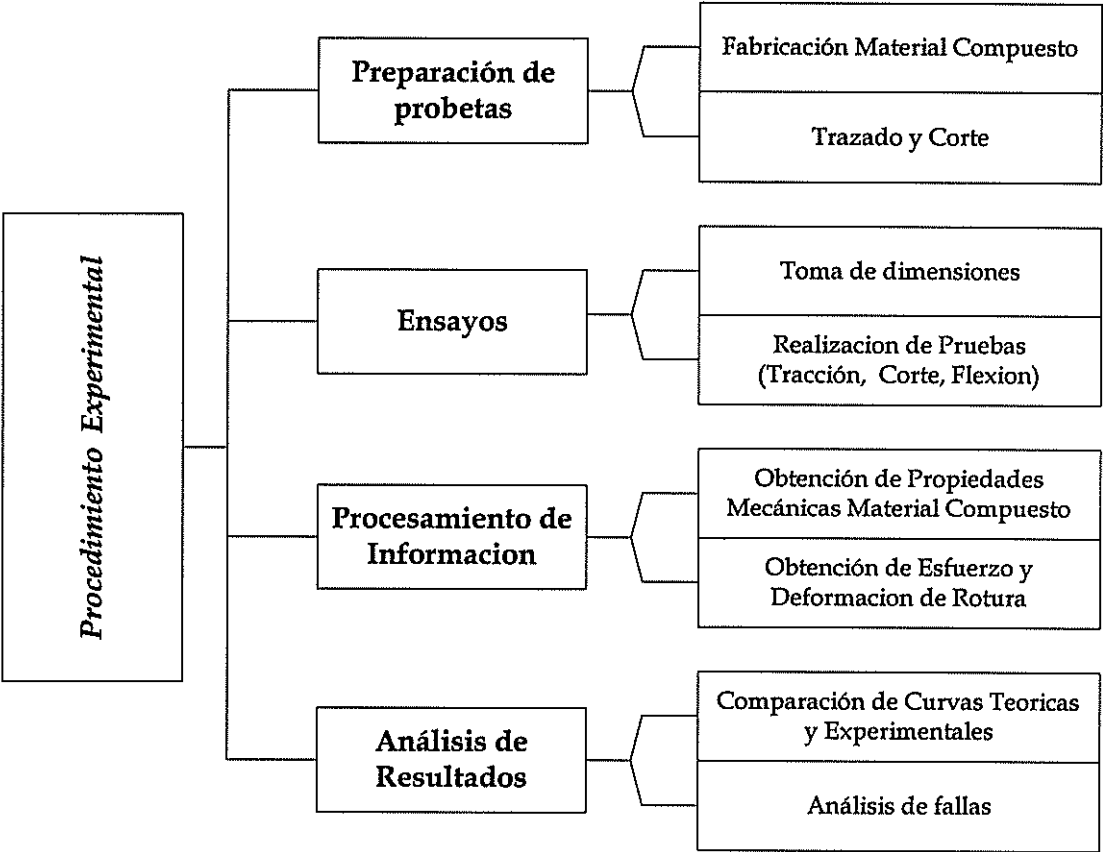


Figura 5
Secuencia seguida para el desarrollo del procedimiento experimental



2.1. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS

Se va a describir el proceso de preparación de probetas y el desarrollo de ensayos. Se incluye también un resumen de las mediciones experimentales obtenidas.

La tabla 3 muestra los ensayos desarrollados, incluyéndose además la propiedad que se pretende determinar y el equipo ó laboratorio utilizado para el efecto.

Prueba	Equipo	Unidad Académica	Propiedad que se obtuvo	Referencia de ASTM
Densidad	Balanza de precisión 0.0001 mg - 120 gr	Laboratorio de Ictiología Fac. Ing. Marítima	V_f, V_m	C 271 - 61
Fibras	Máquina de ensayo universal	Laboratorio de Sólidos Fac. Ing. Mecánica	$E_f, \sigma_T, \epsilon_u$	D 3379
Tensión	Máquina de ensayo universal	Laboratorio de Sólidos Fac. Ing. Mecánica	σ_T, ϵ_u	D 3039
Corte	Máquina de ensayo universal	Laboratorio de Sólidos Fac. Ing. Mecánica	G_{xy}	D 4255
Flexión	Dispositivo para prueba de flexión	Laboratorio de Vibraciones Fac. Ing. Marítima	v_{xy}, E_x, E_y	D 790

Tabla 3

Ensayos desarrollados, con la propiedad encontrada y lugar donde se realizó la prueba

En la tabla anterior:

E_f : Módulo de Young de la fibra

G_{xy} : Módulo de corte en dirección xy

σ_r : Esfuerzo de rotura de la fibra

ε_u : Deformación última

ν_{xy} : Relación de Poisson entre las direcciones x y y

v_f : Relación Porcentual del Volumen de la fibra

v_m : Relación Porcentual del Volumen de la matriz

Las dos primeras, esto es, la prueba de las fibras y de densidad, se refieren a los componentes que formarán parte del material compuesto, y, las tres pruebas restantes: tensión, corte y flexión, se refieren a las pruebas efectuadas al material compuesto.

Con las pruebas de los componentes se determinaron el módulo de Young y el esfuerzo de rotura de la resina, y, la densidad el módulo de Young y el esfuerzo de rotura de las fibras, indispensable para llegar a determinar la relación porcentual del volumen de fibra y de matriz presentes en la mezcla resina - fibra.

Las pruebas de corte y flexión nos permitieron determinar las constantes de ingeniería del material. Las pruebas de tensión y corte sirvieron también para realizar el análisis de la resistencia del compuesto.

2.2. PREPARACIÓN DE PROBETAS

Fabricación del Material Compuesto

Para obtener uniformidad en las probetas, se dividió el proceso en cuatro pasos: proceso previo, preparación de la resina, formación de la plancha, y por último el proceso de desmoldado.

- a) **Proceso Previo.-** Este comienza con la limpieza de la plancha de fórmica sobre la cual se fundirá la plancha; para esto se utilizó **estireno monómero**, el cual remueve las impurezas de la fórmica. Luego se procedió a lavar la fórmica con agua y detergente y se dejó secar por unos minutos. Se procedió entonces a aplicar cera sobre la superficie y colocar cinta adhesiva para delimitar los límites de la plancha a fundir. Luego se cubrió la superficie delimitada con **desmoldante** y se dejó secar por unos minutos, tal como se muestra en las fotos 1 y 2 respectivamente.



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

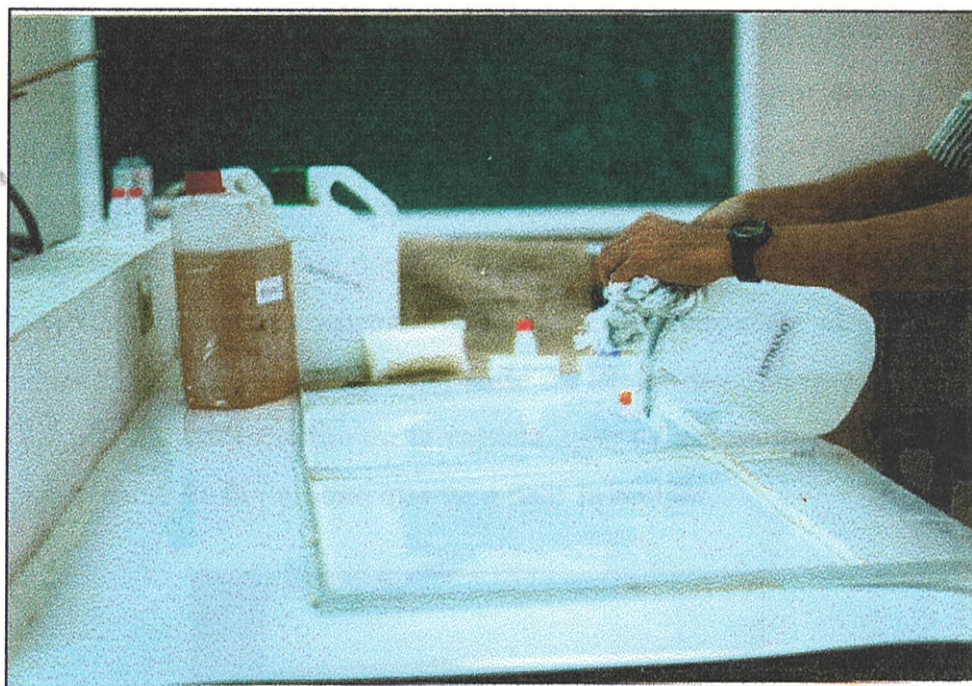


Foto 1

Limpieza y delimitación de la superficie que luego servirá para formar la plancha de material compuesto

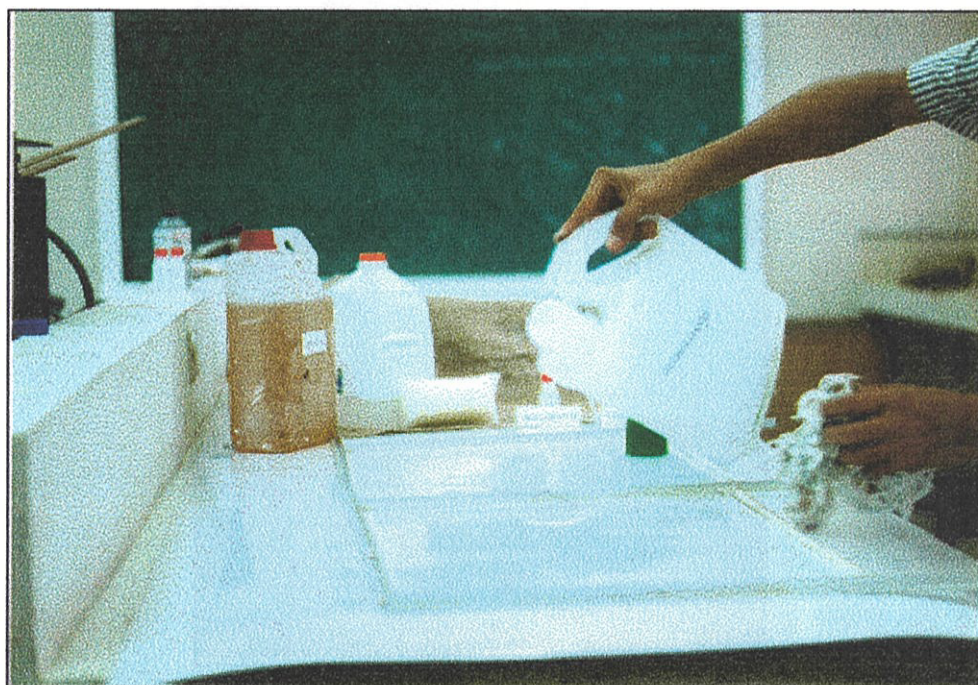


Foto 2

El desmoldante es aplicado sobre la superficie delimitada para evitar que la resina y la fórmica se adhieran entre si

b) Preparación de la Resina.- En un galón de ésta se agregaron ocho (8) gramos de **Cobalto al 10%**; se revolvió para que la mezcla sea uniforme. Luego se agregó **Estireno Monómero** para diluir la resina hasta el punto deseado. Para aplicar la resina sobre la plancha de fórmica fue necesario agregar unas gotas (de 5 a 6 gotas por litro de resina aproximadamente) de **Peróxido al 50%**. El número de gotas a agregar depende de la rapidez con que se desee que el catalizador actúe en la mezcla, esto es, está supeditado a la experiencia de la persona que va a usar la resina.

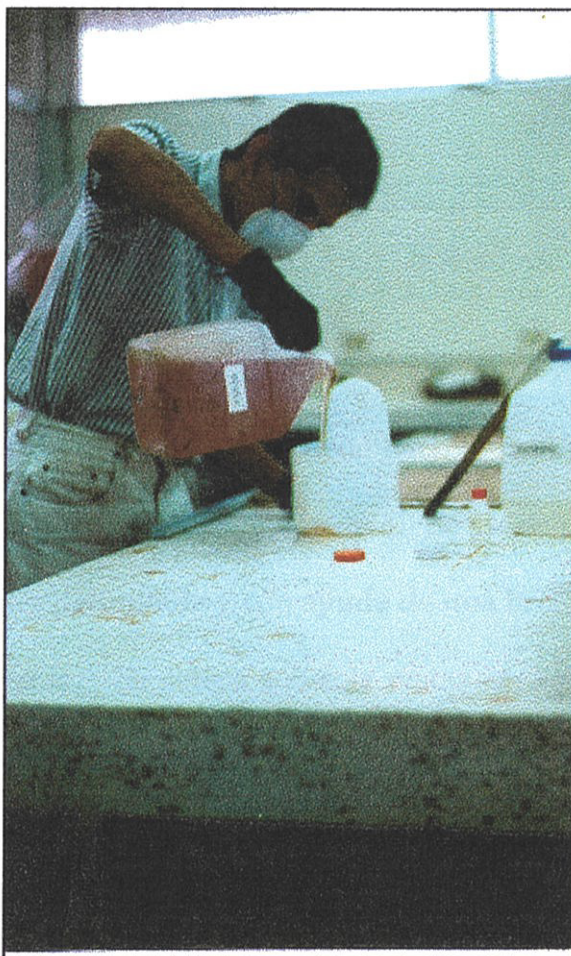


Foto 3

La resina previamente mezclada con cobalto, se vierte en un recipiente limpio y seco

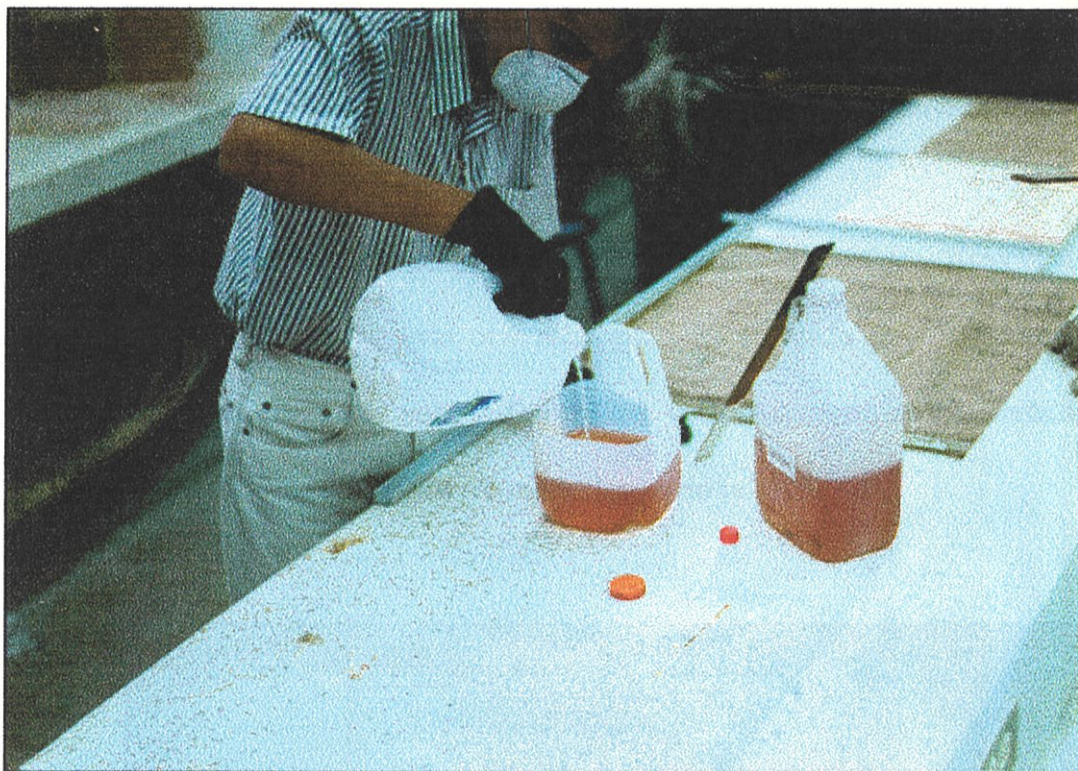


Foto 4

Se agrega estireno a la resina para diluirla, luego se le añadirá el peróxido

c) Construcción de la Plancha.- Se tiene lista ya la superficie sobre la cual se va a fundir la plancha y la resina. Se vierte la resina sobre la superficie antes delimitada y con ayuda de una brocha se esparce de manera uniforme. Se coloca sobre la resina esparcida la malla de fibra procurando que ésta se embeba completamente. Se aplica luego una segunda mano de resina para cubrir imperfecciones, se cubre la plancha fundida con el plástico **Maylo**, y con ayuda de una espátula se sacaron los excesos de resina y de aire hacia los



extremos de la plancha. Finalmente se dejó secar de 3 a 4 horas aproximadamente.

La plancha se dejó secar bajo techo, sin una exposición directa del sol, puesto que si esto ocurre la plancha fundida por efecto de la temperatura y del sol se deformará; esta distorsión se presenta en forma de ondulaciones a todo lo largo de la plancha.



Foto 5

Se esparce uniformemente la resina sobre la superficie que luego formará la plancha de material compuesto



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARÍTIMA

Foto 6

La tela de Yute es colocada sobre la resina para que se embeba completamente



Foto 7

Aplicando una segunda mano de resina para cubrir imperfecciones



Foto 8

Se cubre la plancha con el maylo y se eliminan los excesos de resina y de aire

d) Para Desmoldar la Plancha.- Transcurrido el tiempo de secado, la resina se transforma en un material rígido y relativamente fuerte, en este momento se estará en condiciones de desmoldar la plancha, primero del plástico Maylo, y luego de la fórmica. El producto es una plancha de material compuesto uniforme por ambos lados.



Foto 9

Plancha de material compuesto Cabuya - Resina

- e) **Para el Material tipo Sanduche.-** el proceso previo de preparación es el mismo, la única diferencia está en el momento de formar la plancha puesto que hay que hacerlo por ambos lados del material que se está usando como material núcleo ("core"). De no hacerlo así, al secarse se obtendrá una plancha deforme como se muestra en la foto 11.

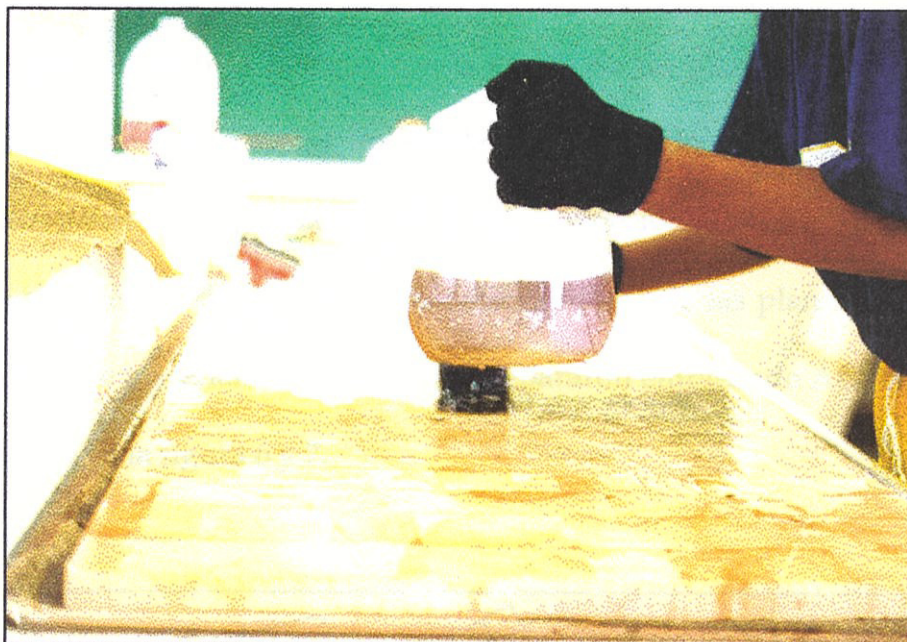


Foto 10

Elaboración del material sanduche, se puede apreciar la tela de yute en la parte inferior y sobre ella, la balsa cubierta con resina

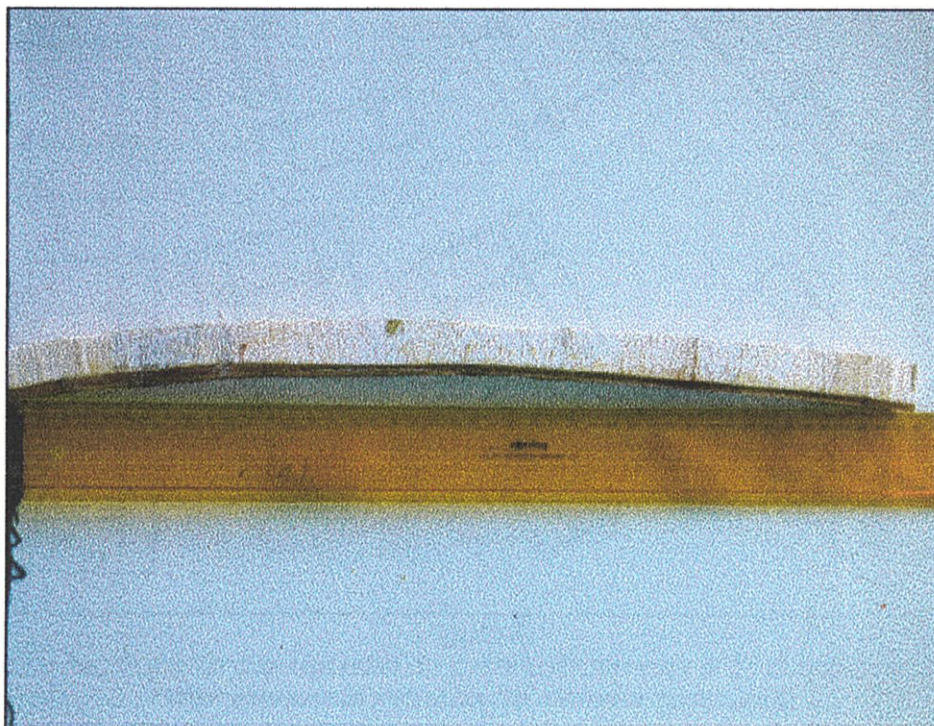


Foto 11

Material sanduche Resina + Cabuya + Balsa, se puede apreciar la deformación de la probeta respecto de la regla, esto debido a que se fundió separadamente la una capa de la otra

Corte y Trazado de probetas

Se procedió a marcar la plancha con la ayuda de un plano que contiene las dimensiones de las probetas en escala real, que fueron utilizadas en las diferentes pruebas programadas. Los planos mencionados se hicieron con la idea de aprovechar de una mejor manera cada una de las planchas, y evitar desperdicio de material. Los planos se prepararon empleando AUTOCAD, y se muestran en la figura 6 y 7.

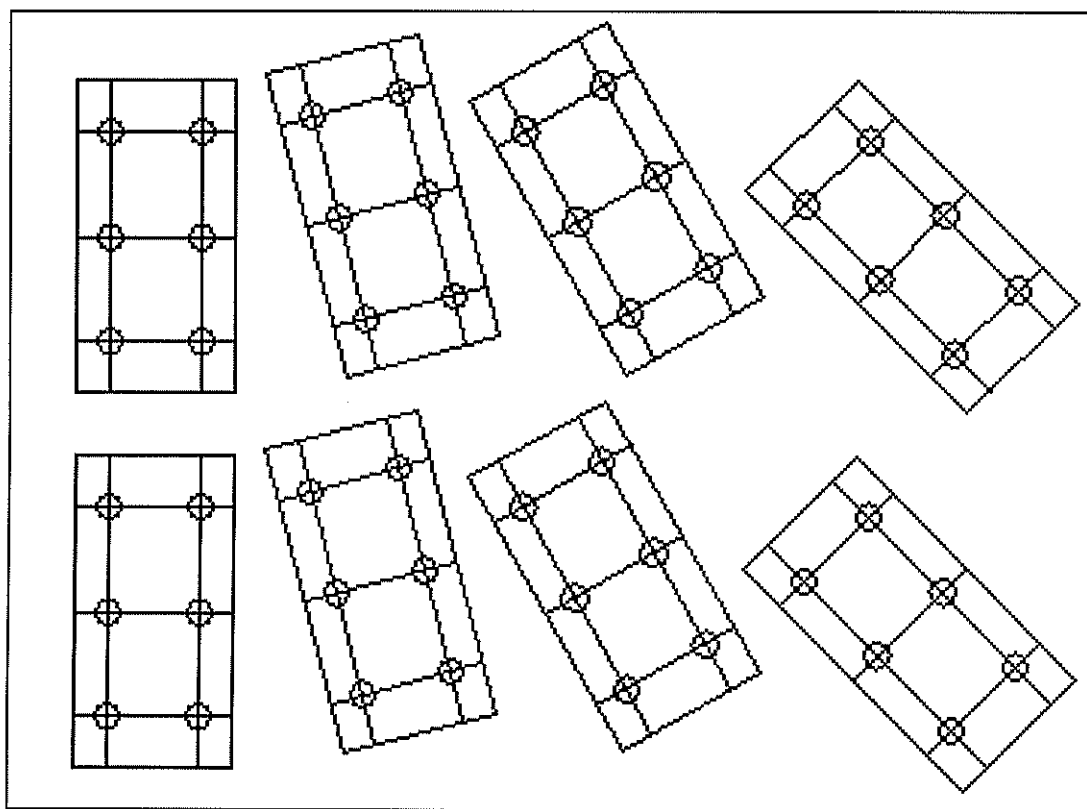


Figura 6

Plano de las probetas para prueba de corte utilizado con el fin de aprovechar de mejor manera la plancha de material compuesto

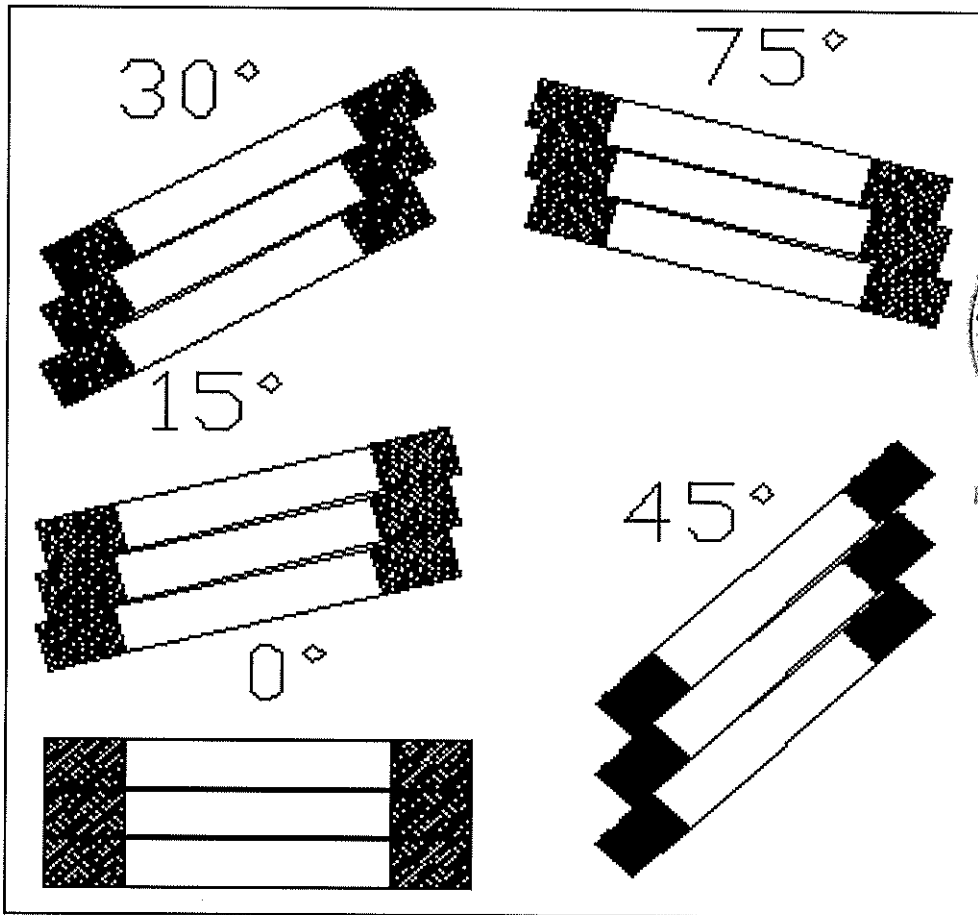


Figura 7
Plano de las probetas para prueba de tensión

En cada plancha se marcaron tres (3) probetas en cada dirección; las direcciones varían desde 0 a 90 grados, con intervalos de 15 grados cada uno. Esto es, se tuvieron un juego de veintiún (21) probetas por plancha fundida. Con ayuda de una sierra caladora, tal como se muestra en al foto 12, se procedió a cortar sobre lo marcado; el acabado final se lo da con una lija de mano para eliminar remanentes en los bordes.

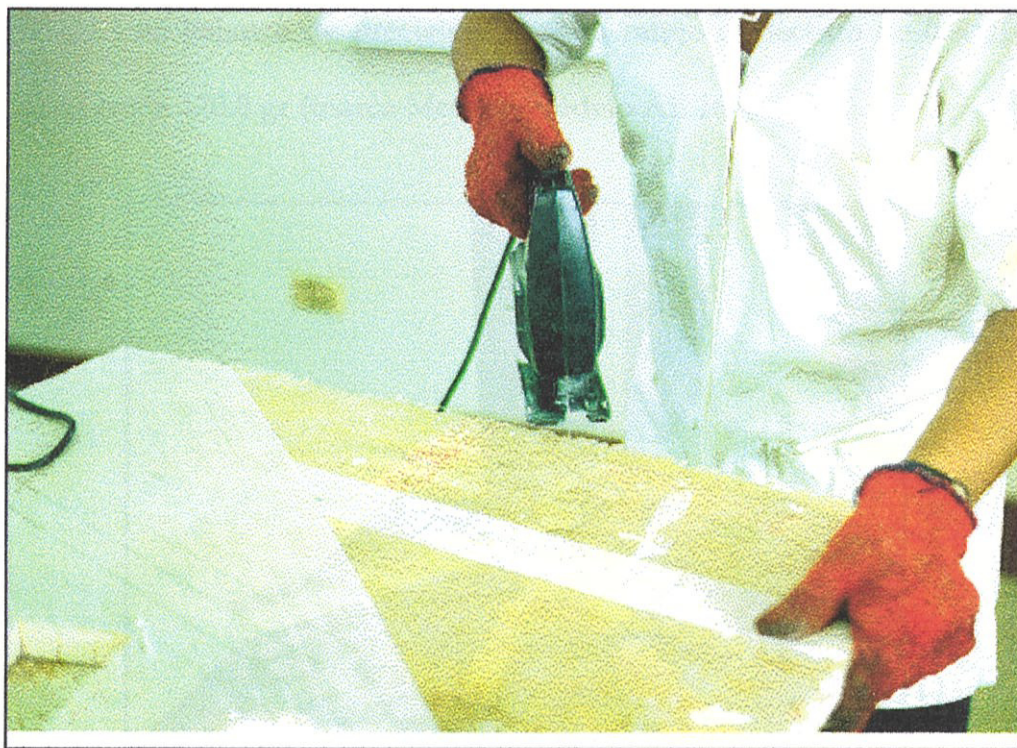


Foto 12

Corte del material tipo sanduche, nótese la demarcación previa de la plancha

Toma de Dimensiones y Pesado de Probetas

Las dimensiones principales: longitud, ancho, espesor y peso, son registradas, tal como se muestra en la fotos 13 y 14 respectivamente, para cada una de las probetas, para ello se necesitará del siguiente equipo:

- (1) Un medidor de espesores con un rango de 0 - 10 mm con precisión de 0.01 mm, provisto de un arco rígido y una superficie de medición plana micropulida para asegurar precisión (marca Mitutoyo, modelo 7301).
- (2) Un calibrador Vernier con una capacidad de medida sobre los 30.0 mm.

- (3) Una balanza de precisión con un rango de lectura de 0.0001 mg hasta 120.0 gr (marca Mettler, modelo AE 166).

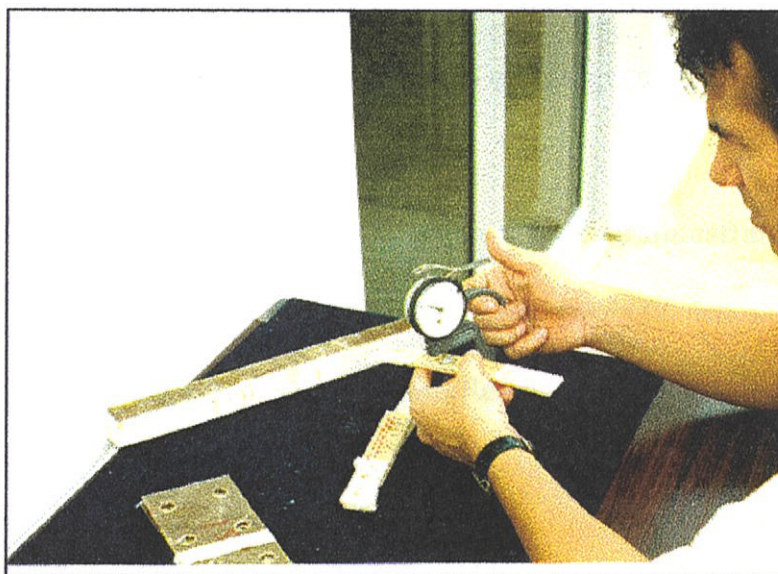


Foto 13

Toma de dimensiones con ayuda del medidor de espesores

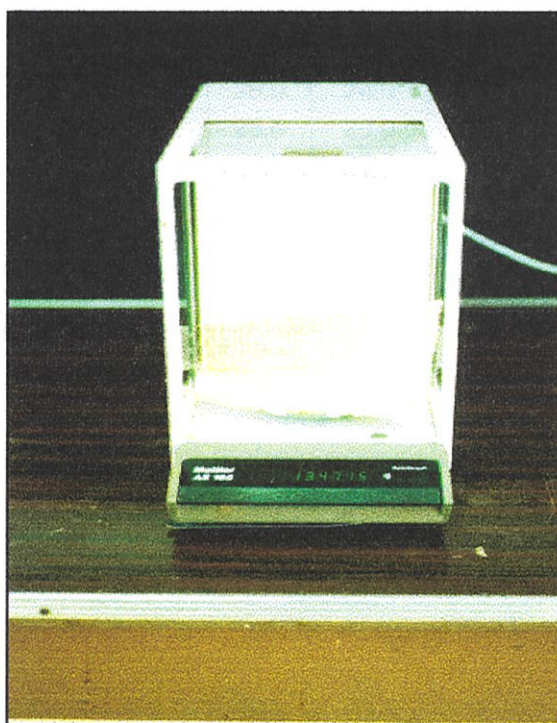


Foto 14

Balanza analítica utilizada para registrar el peso



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARÍTIMA

Por defectos de construcción, el espesor de las probetas no es uniforme, razón por la que se tomaron varias medidas y luego se promediaron, se le asigna entonces un número a la probeta para identificarla. La longitud, ancho y espesor son medidos en milímetros, y el peso en kilogramos.

Los resultados son presentados en una tabla donde se muestran los valores registrados y el promedio obtenido para cada probeta. En la tabla 4 se presentan resultados típicos del compuesto Resina - Cabuya.

0 Grados								
Longitud			Ancho			Espesor		
# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3
127.5	127.0	127.0	25.5	26.0	24.0	3.58	3.40	4.05
127.0	127.0	127.0	26.0	25.5	25.0	3.82	3.50	3.52
126.5	127.5	126.5	26.0	24.5	25.0	3.71	3.34	3.11
127.0	127.2	126.8	26.0	25.0	23.5	3.46	3.08	3.10
			26.0	25.5	23.5	3.40	3.33	3.07
			25.90	25.30	24.20	3.63	3.68	3.30
						3.600	3.388	3.358
PROM = 127.50			PROM = 25.13			PROM = 3.449		

Tabla 4
Promedio de medidas para una probeta para ensayo de tensión a 0 grados

La máxima variación en espesor se la obtuvo en la probeta de cabuya preparada para la prueba de tensión, y esta tiene un valor de 1.78 mm aproximadamente.

2.3. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE VOLUMÉTRICO

Esta prueba se realizó para determinar el porcentaje de volumen de fibra, v_f y de matriz, v_m , presentes en el material compuesto, según el método descrito por ASTM C 271 - 61 (Reapproved 1988).

Para efectuar la prueba se requirió del siguiente equipo:

- (1) Balanza de precisión con un rango de lectura de 0.0001 mg hasta 120.0 gr (marca Mettler, modelo AE 166)
- (2) Un medidor de espesores con un rango de 0 - 10 mm y precisión de 0.01 mm, provisto de un arco rígido y una superficie de medición plana micropulida para asegurar precisión, a una presión de 1.47 Nw (Marca Mitutoyo, modelo 7301).

Procedimiento Experimental:

- (a) Para la prueba se corto un espécimen de 10 x 10 cm de longitud (ver foto 15),
- (b) Su peso fue registrado,
- (c) Los componentes de la tela esto es los hilos longitudinales y transversales fueron separados,
- (d) Por separado su peso fue registrado,
- (e) Se tomó una muestra de hilos en forma aleatoria, y, se registró su longitud, peso y diámetro,

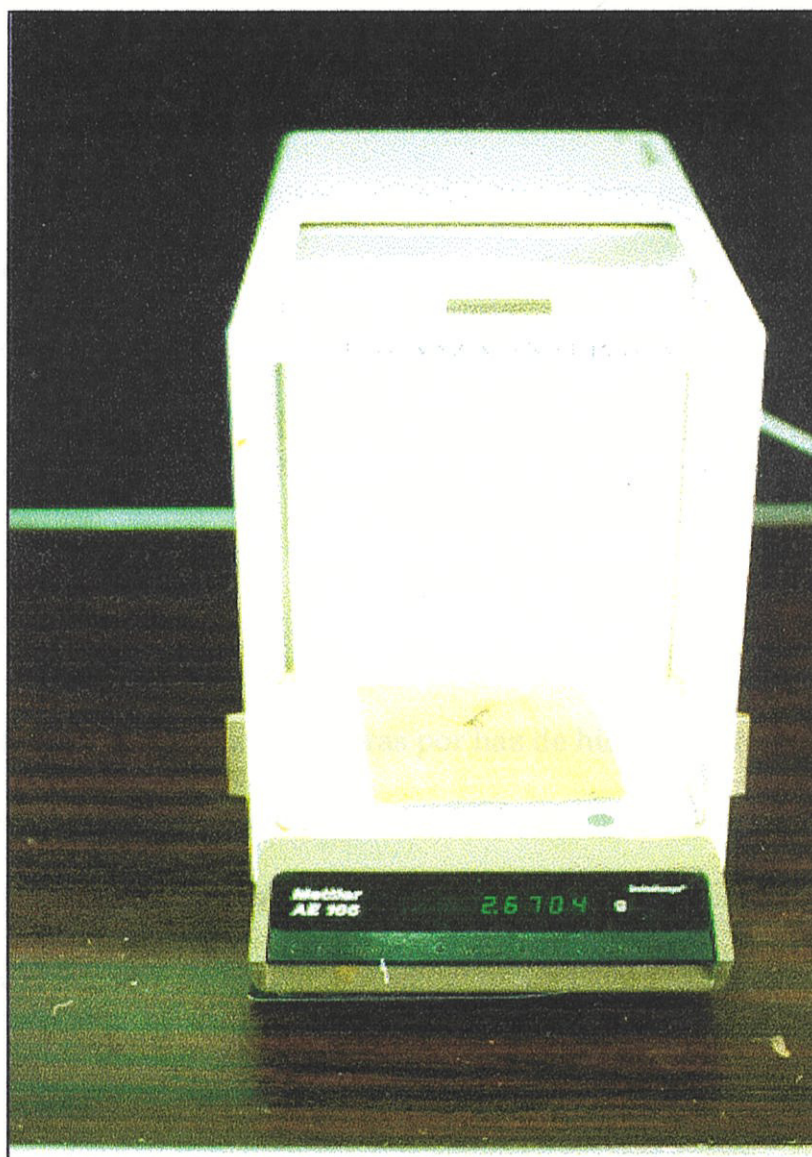


Foto 15

Pesaje de un espécimen de Cabuya de 10 x 10 cm de longitud

Con el diámetro promedio de las fibras y conociendo la longitud de estas, se obtuvo el volumen, y midiendo el peso de la fibra, la densidad de la muestra analizada se la obtiene a través del cuociente:

$$Wg^1/V.$$

Este fue el procedimiento seguido para encontrar la densidad de las fibras de cabuya y caña guadua, mientras que para las fibras de yute el procedimiento fue ligeramente diferente, puesto que las fibras del yute no son continuas esto es no poseen una longitud promedio típica, fue necesario encontrar otra forma para determinar la densidad de la fibra, a saber:

(f) Se repitieron los pasos anteriores hasta el punto (d)

(g) Se tomó un haz de hilos y, se contó el número promedio de fibras existentes en el haz,

Conocido entonces el número de fibras por haz de hilos existentes, y sabiendo el diámetro promedio de un hilo de yute, se determinó la densidad de un haz de hilo de yute. En las tablas 5 - 6 se muestran los valores típicos de densidad que se obtuvieron para la fibra del yute, cabuya, y caña guadua.

Cálculo densidad de la fibra			
Probetas de hilo de Yute			
	Probeta No 1	Probeta No 2	Probeta No 3
$\phi_{\text{Típico}}$ (mm)	0.056	0.056	0.056
L (mm)	1000	1000	1000
P (gr)	0.0281	0.0389	0.0392
No Fibras	96	149	157
Vol (mm ³)	236.45	366.98	386.69
ρ (gr/mm ³)	1.188E-04	1.060E-04	1.014E-04

Tabla 5

Tabla que muestra los valores típicos obtenidos para el cálculo de densidad de la fibra de Yute

Cálculo densidad de la fibra							
Probetas de hilo de Cabuya							
	Probeta No 1	Probeta No 2	Probeta No 3	Probeta No 4	Probeta No 5	Probeta No 6	Probeta No 7
ϕ (mm)	0.21	0.1980	0.1748	0.1357	0.1650	0.1367	0.1337
L (mm)	200	200	200	150	200	250	200
P (gr)	0.0055	0.0047	0.0035	0.0046	0.0039	0.0038	0.0025
ρ (gr/mm ³)	7.94E-04	7.63E-04	7.30E-04	2.12E-03	9.12E-04	1.04E-03	8.91E-04

Tabla 6

Valores típicos obtenidos para el cálculo de densidad de las fibras de Cabuya y Caña Guadua

De acuerdo con lo descrito en el capítulo uno, se consideró para el cálculo de la densidad de la fibra lo que denominamos direcciones 1 y 2, donde la dirección 1 corresponde a la dirección del reforzamiento principal, mostrado en la figura 2 y la dirección 2 corresponde a la dirección perpendicular de aquella.

Con el peso de la tela de fibra obtenido en ambas direcciones, obtuvimos la razón de las fibras (r) en dirección 1 y 2:

$$r = \frac{\text{Peso de la fibra en direccion 1 ó 2}}{\text{Peso de la tela}}$$

Se obtuvo un promedio del diámetro de las fibras (ϕ), de la longitud (L) y, del peso (P), con estos valores promedio la densidad de la fibra (ρ) fue encontrada a través de la relación:

$$\rho = \frac{4 * P}{\pi * \phi^2}.$$



La masa de la fibra en dirección 1 ó 2 se la obtuvo multiplicando la razón de las fibras (r) por el peso de la fibra (M_f):

$$m_f = M_f * r.$$

Se calculó el área de la fibra en dirección 1 y 2 (A_{f1}) a través del cuociente entre el peso de la fibra (M_{f1}) y, la densidad (ρ) multiplicada por el largo de la probeta (L). Para encontrar el área de la fibra en dirección 2 (A_{f2}) se multiplicó por el ancho de la probeta (B) en lugar de (L):

$$A_f = \frac{m_f}{\rho_f * L}.$$

La razón de volumen en dirección 1 o 2 (v_f) se la obtuvo dividiendo el área de la fibra en dirección 1 o 2 (A_f) para el ancho de la probeta (B) multiplicado por el espesor (T) de esta; para el calculo de v_{f2} se multiplicó por la longitud de la probeta (L) en lugar de (B):

$$v_f = \frac{A_f}{B * T}.$$

De acuerdo con la ecuación (1.5) y asumiendo que el porcentaje de volumen de vacío del compuesto es despreciable, entonces la razón de volumen en la matriz (v_m) dirección 1 o 2 se obtuvo por:

$$v_m = 1 - v_f.$$

El número de fibras existentes en el haz de hilos no es constante y difiere en mucho unos de otros, razón por la que se optó por establecer un promedio, siendo esto una posible causa de error en la estimación de la densidad.

2.4. PRUEBA DE LAS FIBRAS

El esfuerzo último de tensión y el módulo de Young de una fibra sometida a carga longitudinal, puede ser determinada mediante el método descrito por ASTM D 3379 - 75 (Reapproved 1989)⁸¹. Debido a que el equipo disponible tiene características muy diferentes a las requeridas, fue necesario adaptar un dispositivo para este efecto, el cual se muestra en la figura 8.

La figura 9 se muestra las dimensiones de una probeta típica para esta prueba y, en la foto 16 se muestran dos probetas a escala real para pruebas de tensión de la fibra de caña guadua; la fibra se fija sobre un pedazo de papel el cual tiene un agujero en la parte central, el espécimen se sujeta a los extremos del agujero con pegamento y en los extremos de esta se coloca resina, la cual sirve para fijar la probeta a las mordazas; en la figura 8 se muestra un esquema del equipo utilizado, el cual está constituido por:

- Un soporte rígido
- Porta pesos y pesos
- Reloj comparador
- Base magnética

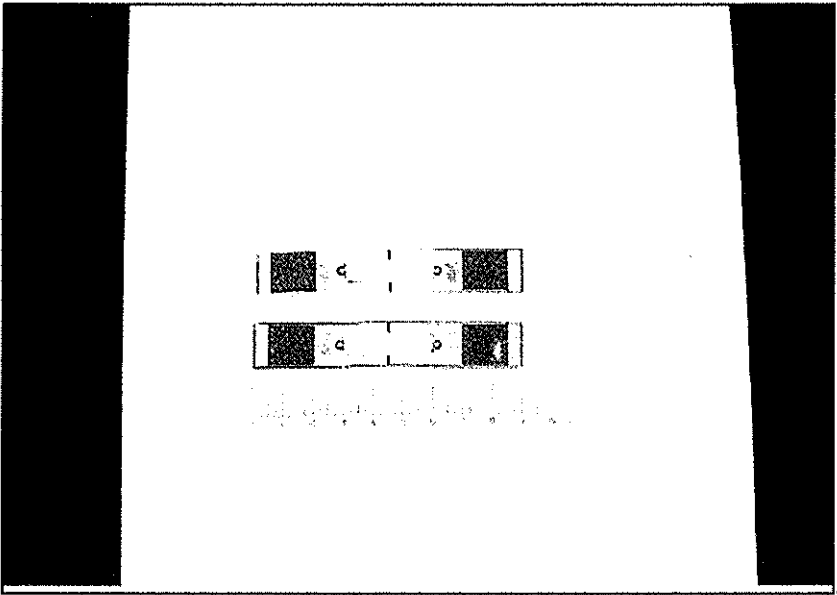


Foto 16
Probetas de caña guadua para prueba de tensión de las fibras

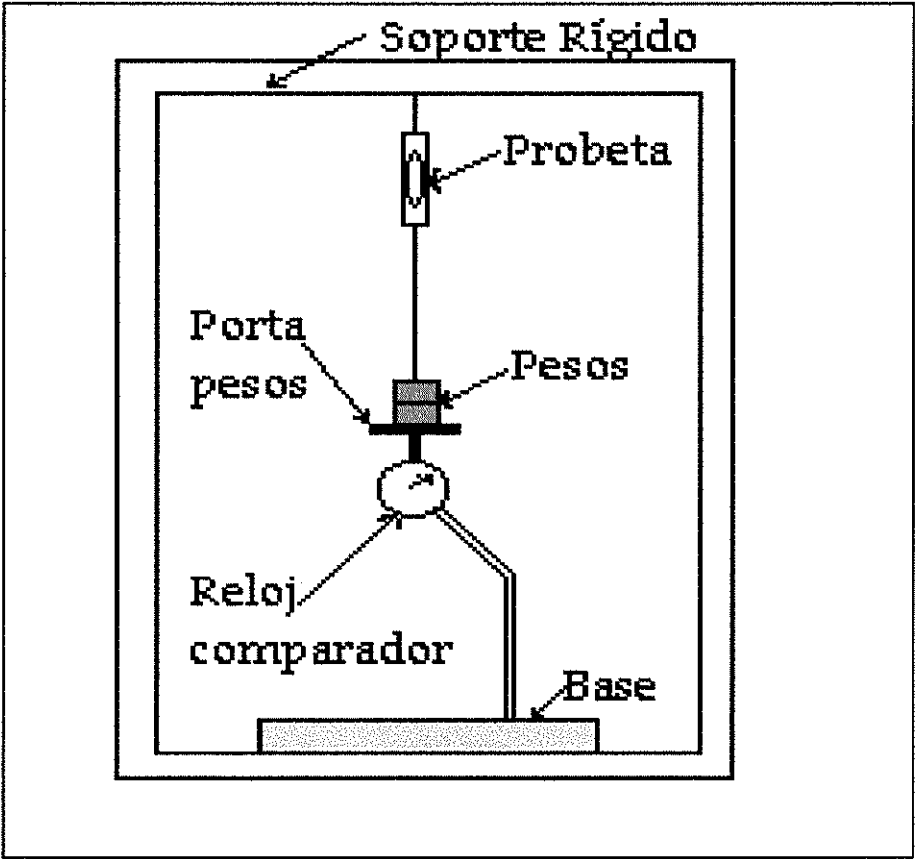


Figura 8
Esquema del equipo utilizado para medir la deformación en la fibra

Una vez que el especimen está montado en el equipo se procede a cortar el papel de la parte central, dejando la fibra lista para aplicar carga. La carga aplicada y la elongación producida en la fibra son registradas hasta que se produce la rotura del especimen. El módulo de Young es calculado encontrando la pendiente de la curva carga deformación; la figura 10 muestra una curva típica de este ensayo, junto con las lecturas tomadas para esa curva, (tabla 7).

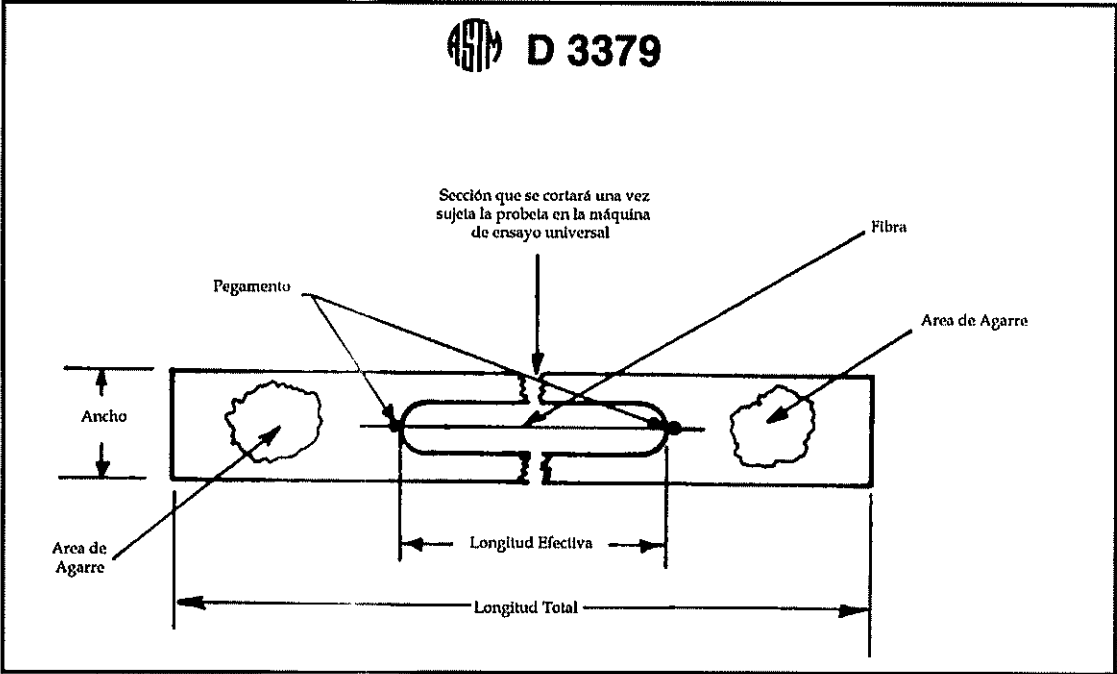


Figura 9
Probeta Típica para prueba de tensión de una fibra

Donde:

Longitud Total	90 mm
Longitud Efectiva	30 mm
Ancho	15 mm



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MAY 11 1958

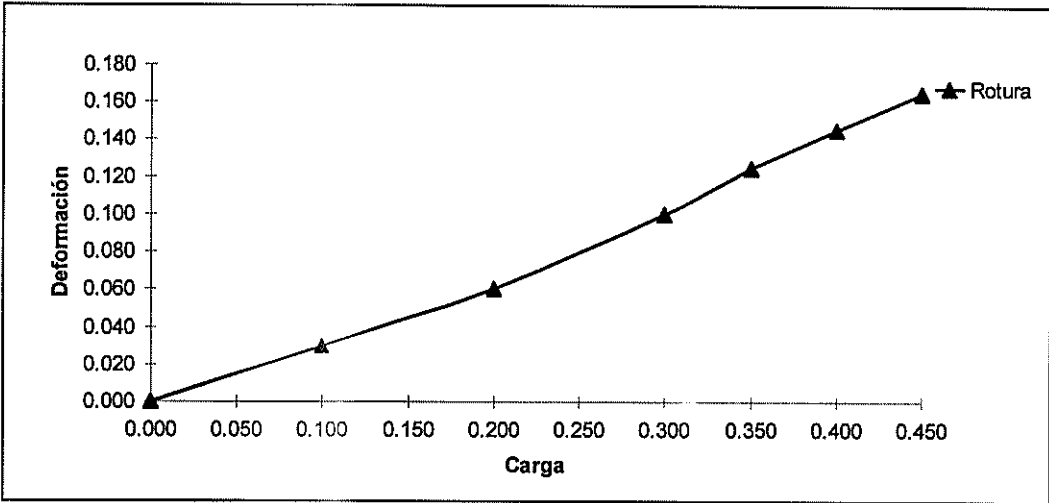


Figura 10
Curva Esfuerzo vs Def. Unitaria fibra de yute probeta 1

Probeta # 1
Longitud 30 mm
Diámetro 5.7E-02 mm
A_{Trans.} 0.160 mm²

P	d
Kg	mm
0.000	0.000
0.100	0.030
0.200	0.060
0.300	0.100
0.350	0.125
0.400	0.145
0.450*	0.165*

* Rotura
Tabla 7
Valores registrados para la fibra de yute probeta 1

2.5. PRUEBA DE TENSION

El objeto de esta prueba es determinar el esfuerzo y la carga de tensión del material compuesto. Las probetas tienen las dimensiones de acuerdo con la regla **ASTM D3039 - 76 (Reapproved 1989)⁶¹**, que se muestran en la figura 11.

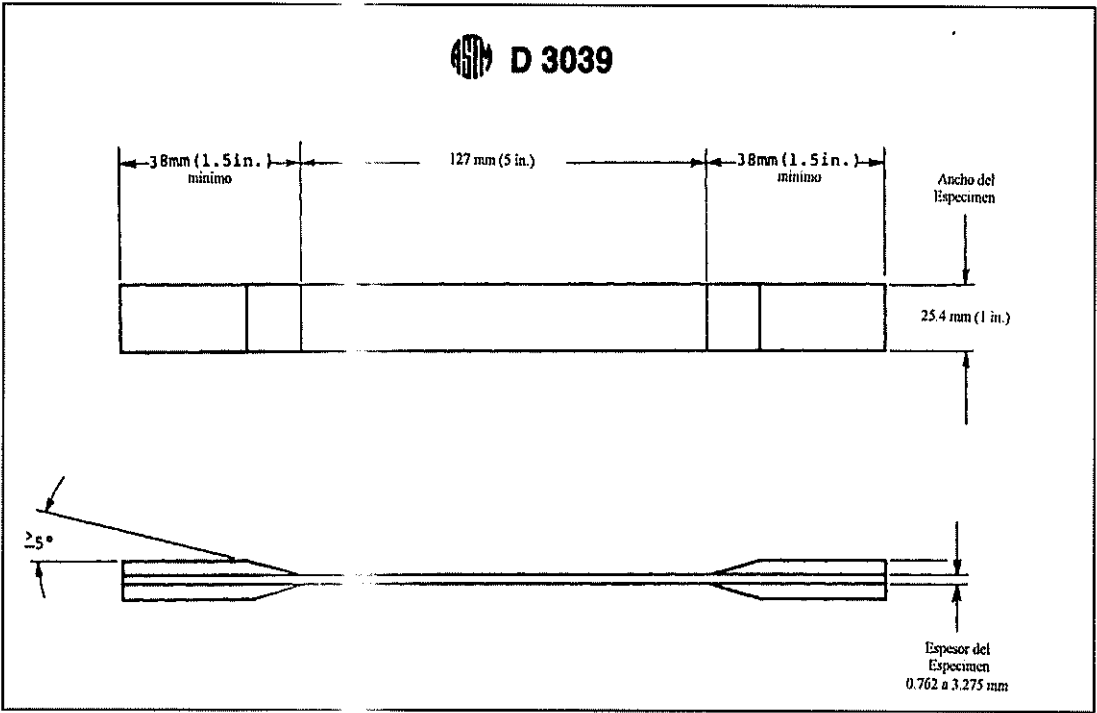


Figura 11
Probeta típica para ensayo de Tensión



BIBLIOTECA
IAS, ING.
MARIANA

a) Equipo Requerido

- (1) Máquina de ensayo universal, con las respectivas mordazas (ver foto 17),
- (2) Célula de carga: 100 kg,
- (3) Calibrador Vernier con capacidad de medida sobre los 30 mm.

b) Procedimiento Experimental

- (1) Sujete la probeta por ambos extremos empleando las mordazas (ver foto 18),
- (2) Mida y anote la longitud efectiva de la probeta,
- (3) Ponga el control de la velocidad del papel en 100 mm/min,
- (4) Ponga el control de carga en 5 kg (rango 2 a 500 kg),
- (5) Proceda a encerar el papel,
- (6) Ponga el control de la velocidad de la máquina en 5mm/min, y,
- (7) Accione el mecanismo para que la máquina empiece a tensionar al especimen hasta su rotura,
- (8) Retire la probeta de la máquina, esto se logrará abriendo las mordazas.

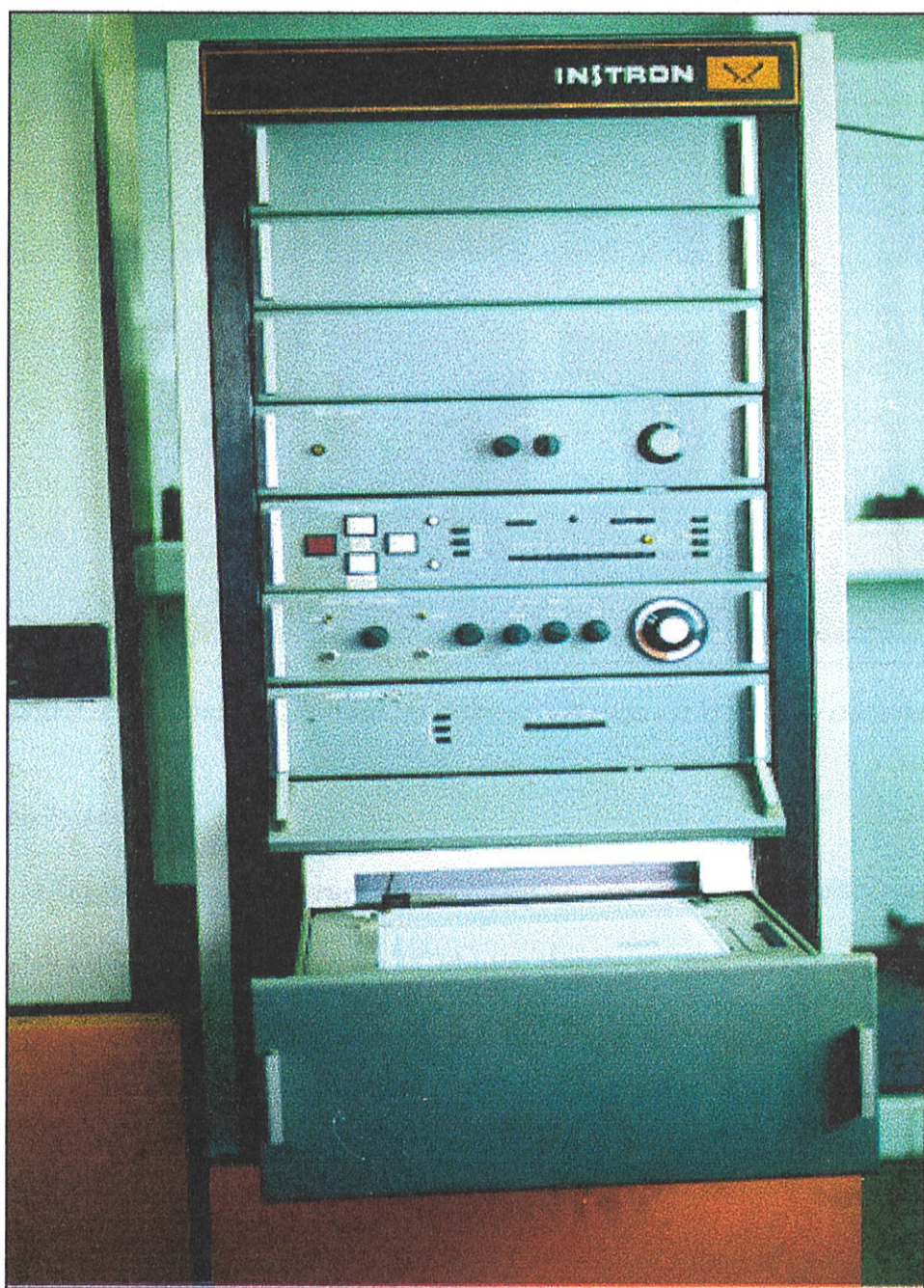


Foto 17

Controles de la máquina de ensayo universal utilizada en los ensayos de tensión y corte (FIM)

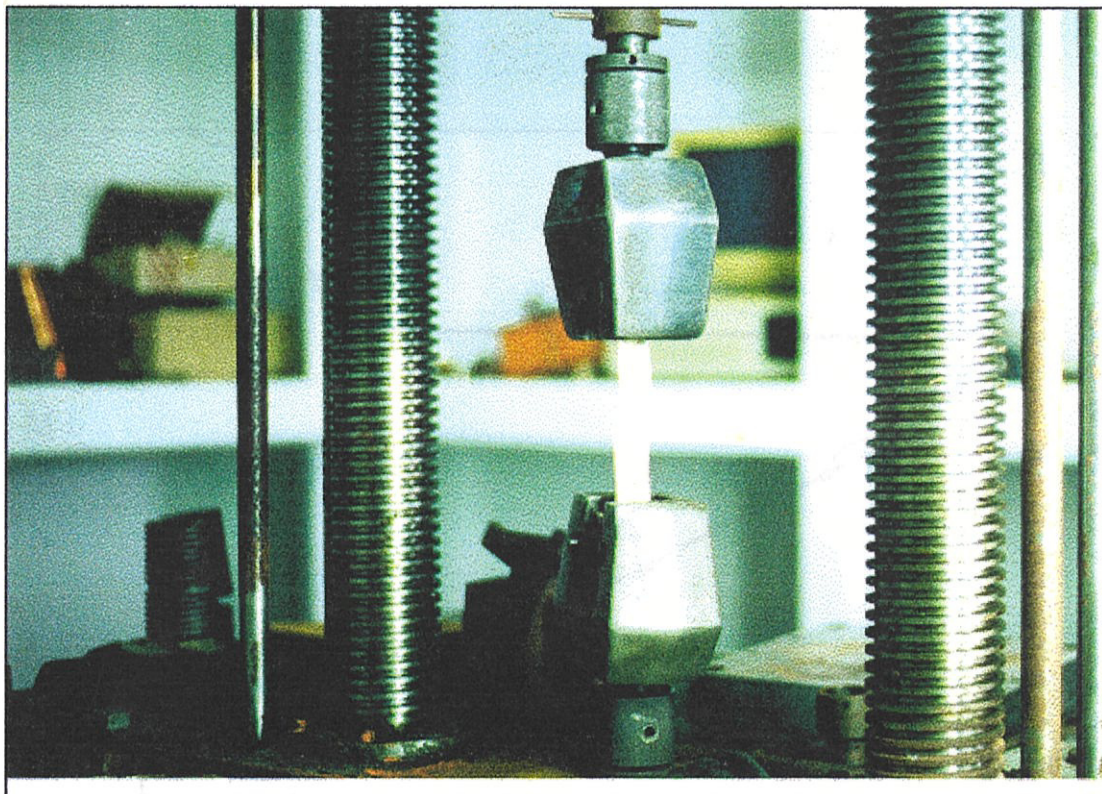


Foto 18

Mordazas sujetando la probeta de cabuya utilizada en la prueba de tensión

c) Resultados

En la figura 12 se muestra una curva típica de carga/extensión para una probeta del compuesto Resina - Cabuya, donde se muestran dos puntos de falla, que serán analizados posteriormente en el capítulo 3.

Se encontró una excesiva variación en la pendiente de las curvas registradas, por lo tuvieron que descartarse estos resultados para deducir el módulo de Young. Para ello se implementó la prueba de flexión, descrita posteriormente.

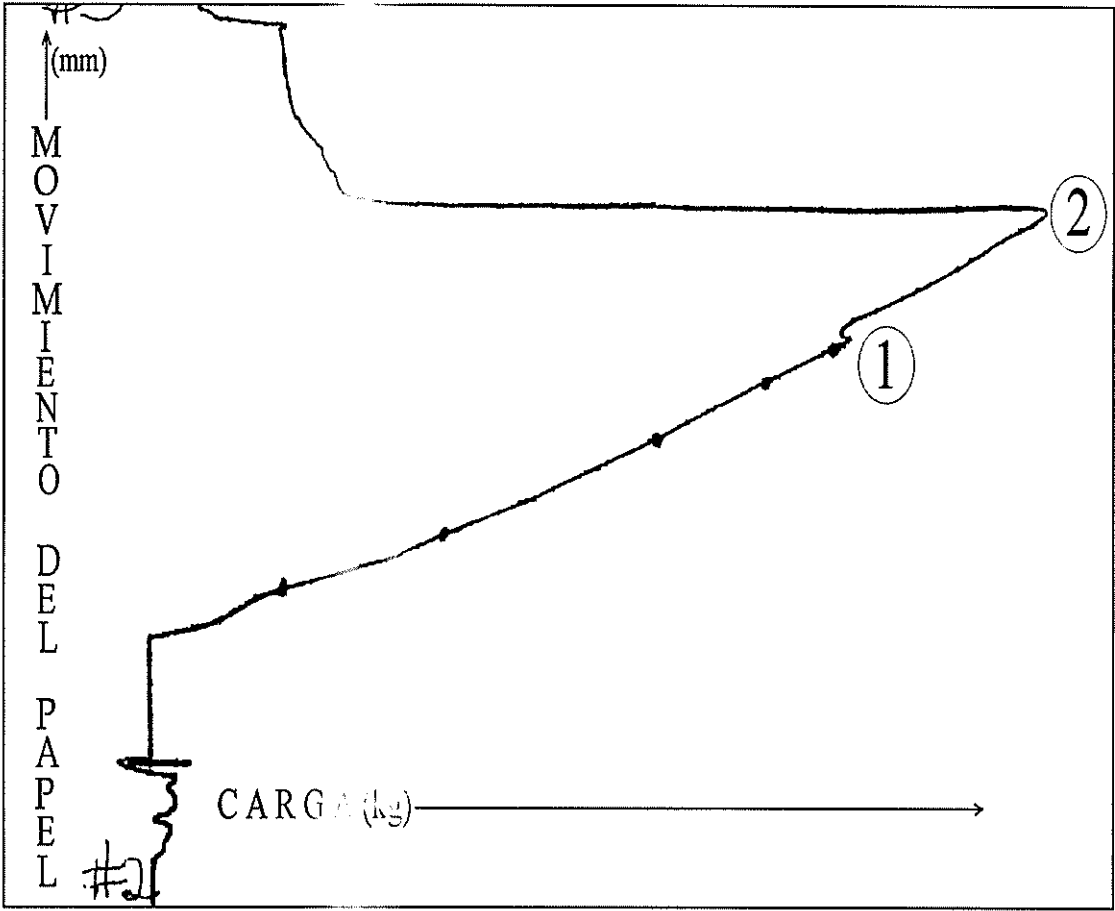


Figura 12
Curva carga - extensión para el compuesto resina - cabuya

Los valores de carga (P) y desplazamiento (d) obtenidos para los puntos 1 y 2 (véase la figura 12), se presentan en las tablas 8 - 9 para la fibra de yute y cabuya respectivamente.

Grados	YUTE			
	1		2	
	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)
0	12.5	4	-	-
15	20	2.2	51.5	8
30	25	18	35	31
45	29	5	45	10
60	8	5	72	42
75	3.5	3	19	32
90	7	7	48	42

Tabla 8
Carga de rotura de la fibra y matriz registrados para el hilo de yute

Grados	CABUYA			
	1		2	
	P (kg)	d (mm)	P (kg)	d (mm)
0	3.5	4	64	86
15	8.5	6	16	16
30	5	3	52.5	18
45	-	-	15	12
60	6	2	25	10
75	12	4	67	15
90	16	5	47	26

Tabla 9
Carga de rotura de la fibra y matriz registrados para el hilo de cabuya



2.6. PRUEBA DE CORTE

BIBLIOTECA
IAG, INC.
MARILLIMA

Esta prueba tiene por objeto determinar el módulo de corte G_{xy} del material compuesto. En la figura 13 se muestran las dimensiones de una probeta utilizada para esta prueba según ASTM D 4255 - 83.

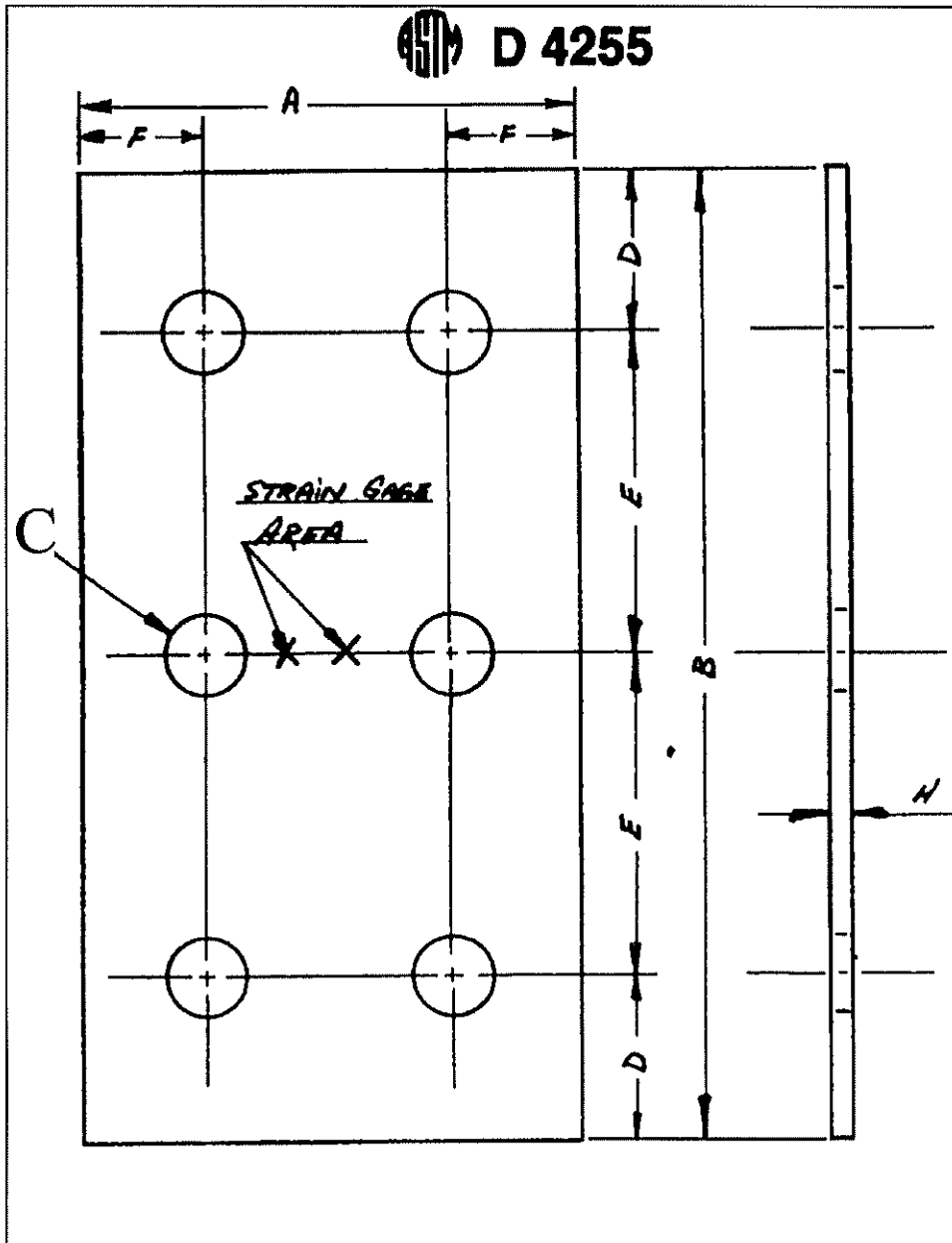


Figura 13
Dimensiones principales de la probeta típica para prueba de corte

De la anterior figura:

Dimensión	mm	in
A	760.0	3.0
F	15.9	0.625
C	12.7	0.50
D	25.0	1.0
E	51.0	2.0
B	152	6.0
H	A ser medido	

a) Equipo Requerido

- (1) Máquina de ensayo universal
- (2) Célula de carga
- (3) Para este ensayo fue necesario construir el así llamado "dispositivo para prueba de corte"; los planos para este dispositivo se muestran en la figura 14 y, en la foto 19 se puede observar el dispositivo ya construido, los que siguen la recomendación dada por la regla **ASTM D4255 - 83**.

b) Procedimiento Experimental

- (1) Coloque el dispositivo para la prueba de corte en la máquina de ensayo universal (ver foto 20),
- (2) Asegure la probeta en el dispositivo para prueba de corte,
- (3) Ponga el control de la velocidad del papel en 200 mm/min,

- (4) Ponga el control de carga en 10 kg,
- (5) Ponga el control de la velocidad de la máquina en 5 mm/min,
- (6) Retire la probeta del dispositivo para prueba de corte.

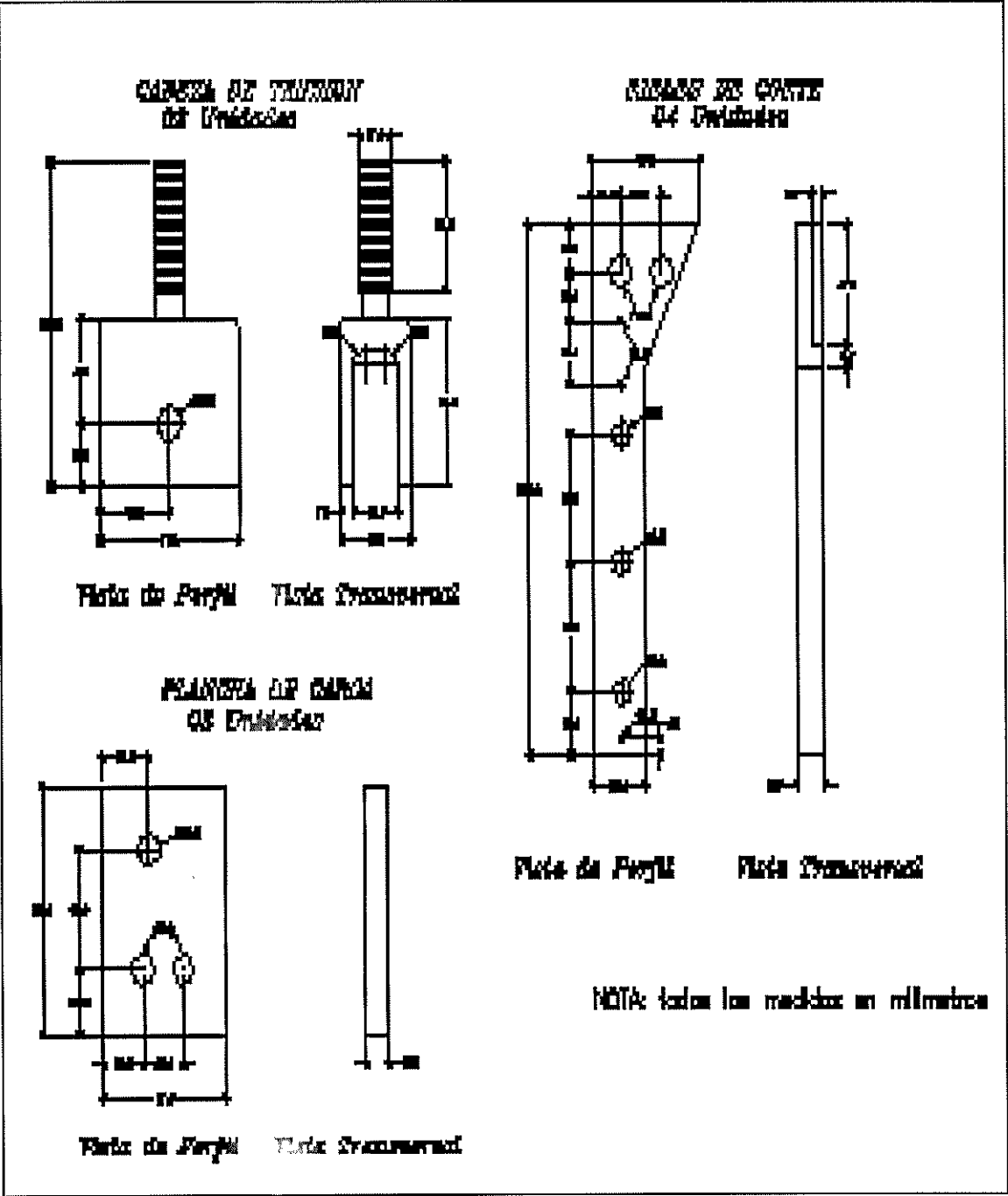


Figura 14
Plano del "Dispositivo para prueba de Corte"

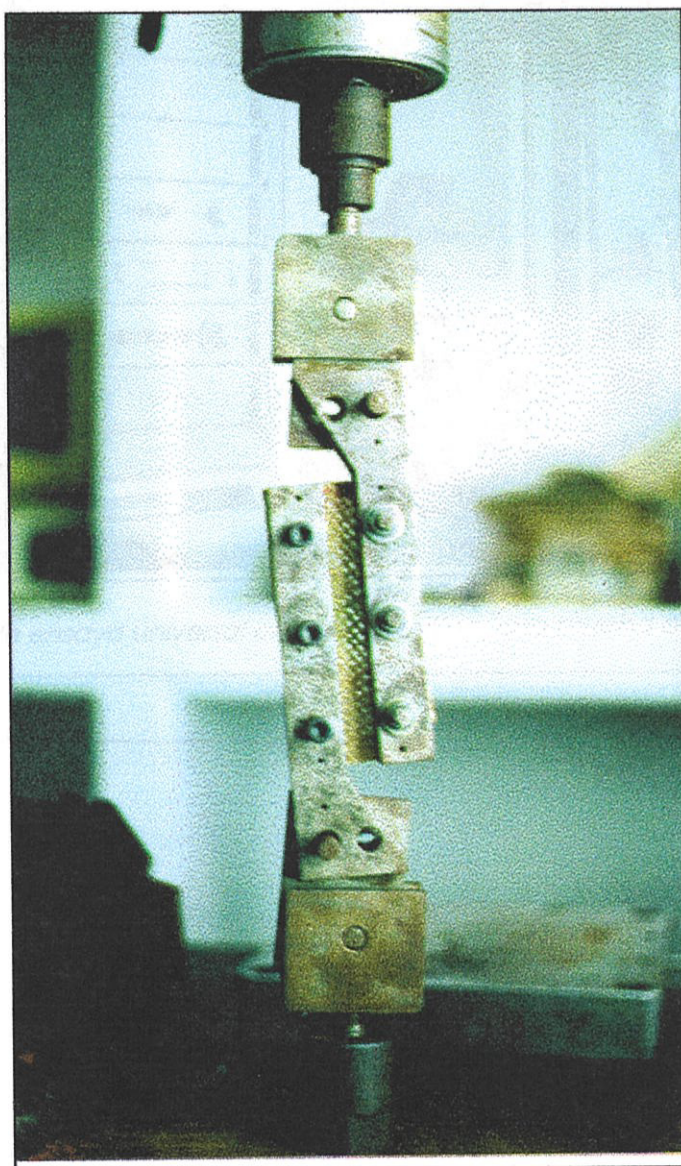


Foto 19
Dispositivo para prueba de Corte



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

En la figura 15 se muestra una curva típica de carga - extensión obtenida en el ensayo de corte para el compuesto resina - yute.

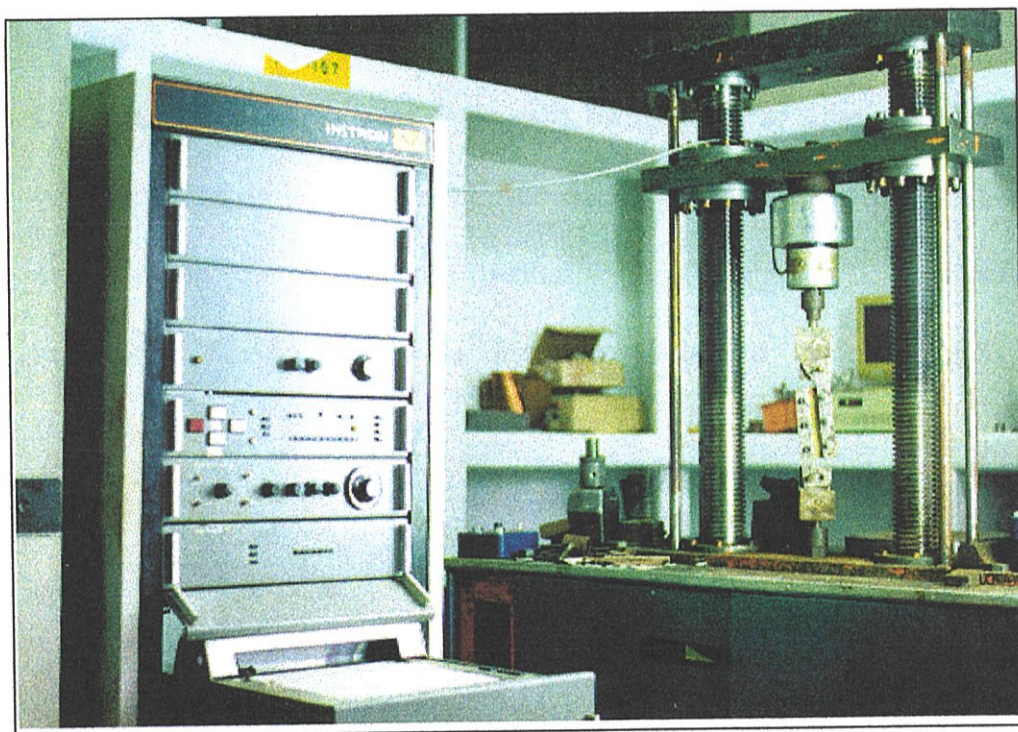


Foto 20

Máquina de ensayo universal con el dispositivo para prueba de corte instalado

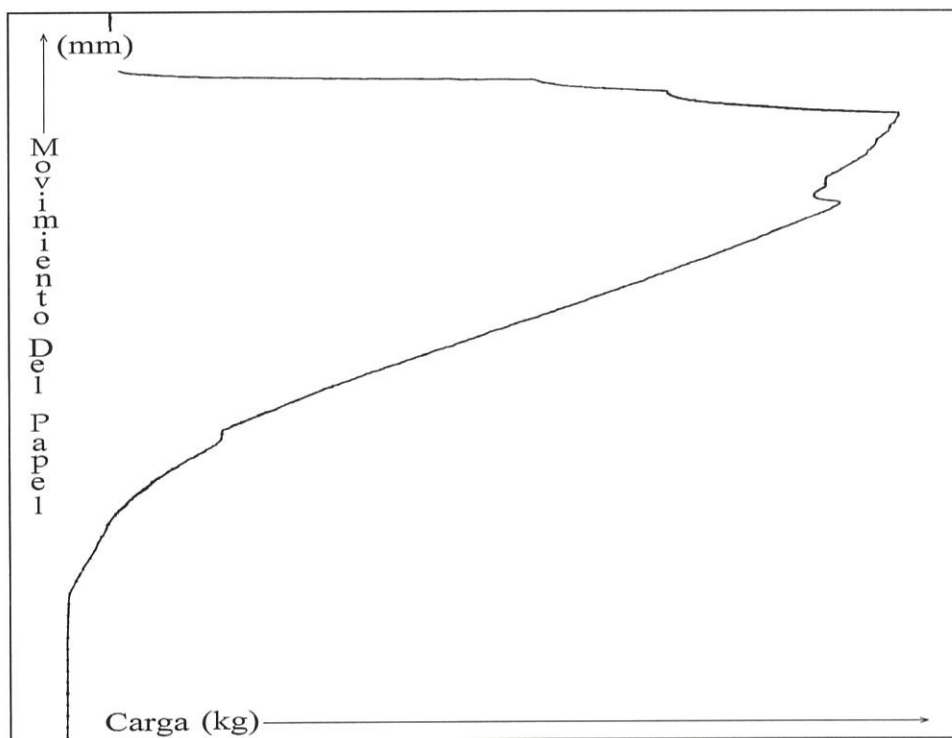


Figura 15

Curva Carga - Extensión compuesto resina - yute

c) Resultados

De igual manera que para la prueba de tensión, se determinan para varios puntos de la curva, el tiempo de la prueba y a través de este, la deformación del compuesto resina - fibra, luego la deformación unitaria y, finalmente de la fórmula dada en la regla ASTM D4255 - 83:

$$G = \frac{(\Delta P / \Delta e)}{2bh},$$



se obtiene el módulo de corte G_{xy} para el compuesto.

BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARIUBA

Donde:

G: Módulo de corte

$\Delta P / \Delta e$: Pendiente de la curva carga - deformación

b: Largo total, y,

h: Espesor del especimen

La tabla 10 - 11, muestran el módulo de corte G_{xy} para las diferentes orientaciones del compuesto, resina - cabuya, y resina - yute respectivamente.

Cabuya	
θ (grados)	Gxy (psi)
0	4.83E+04
15	4.85E+04
30	5.72E+04
45	4.53E+04
60	4.52E+04
75	2.88E+04
90	4.70E+04

Tabla 10

Módulo de corte experimental obtenido para el compuesto resina - cabuya

Yute	
θ (grados)	Gxy (psi)
0	3.48E+04
15	5.41E+04
30	4.46E+04
45	8.15E+04
60	4.13E+04
75	5.15E+04
90	5.44E+04

Tabla 11

Módulo de corte experimental obtenido para el compuesto resina - yute

La diferencia respecto de la prueba de tensión está en la forma de agarre del equipo utilizado, tal como se puede apreciar en al foto 2.21, dado que el dispositivo empleado en esta prueba permite la perfecta unión probeta - máquina de ensayo, lo que facilita el desarrollo de la prueba.

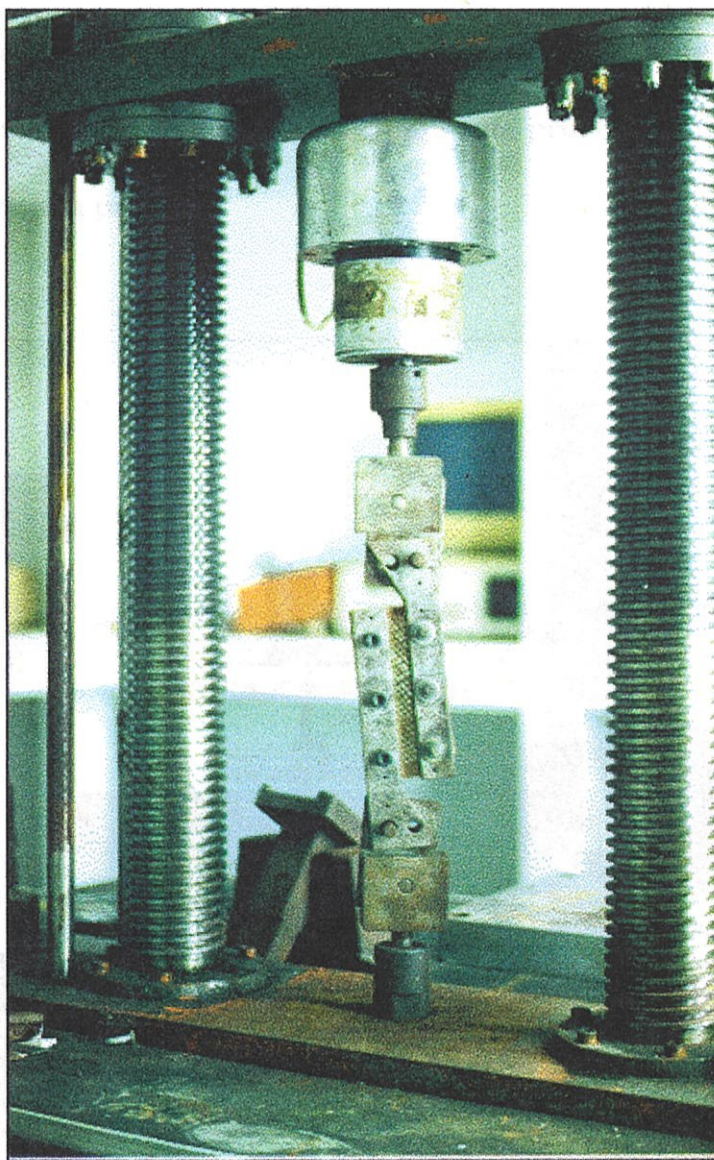


Foto 21

Probeta de Yute utilizada para ensayo de corte, nótese la unión entre la probeta y el equipo para prueba de corte

2.7. PRUEBA DE FLEXIÓN

Debido a los problemas descritos en 2.5 respecto del resbalamiento del especimen y el bajo nivel de carga desarrollado, hubo de implementarse esta prueba para determinar el módulo de Young y la razón de Poisson, siguiendo el método descrito en la regla ASTM D 790. En la figura 16 se muestra un esquema del equipo utilizado para la prueba de flexión. En la foto 22 se muestra una probeta típica para esta prueba, junto con el equipo utilizado para esta prueba.

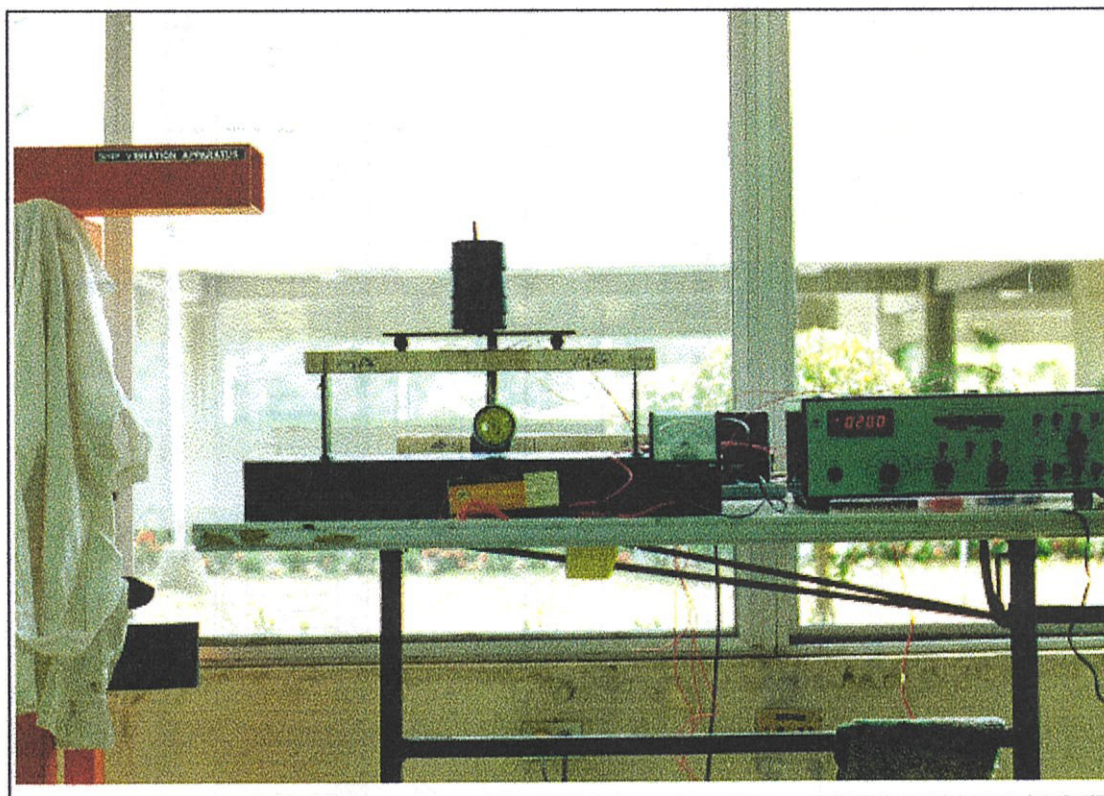


Foto 22
Probeta y equipo utilizado para prueba de flexión



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MEXICO

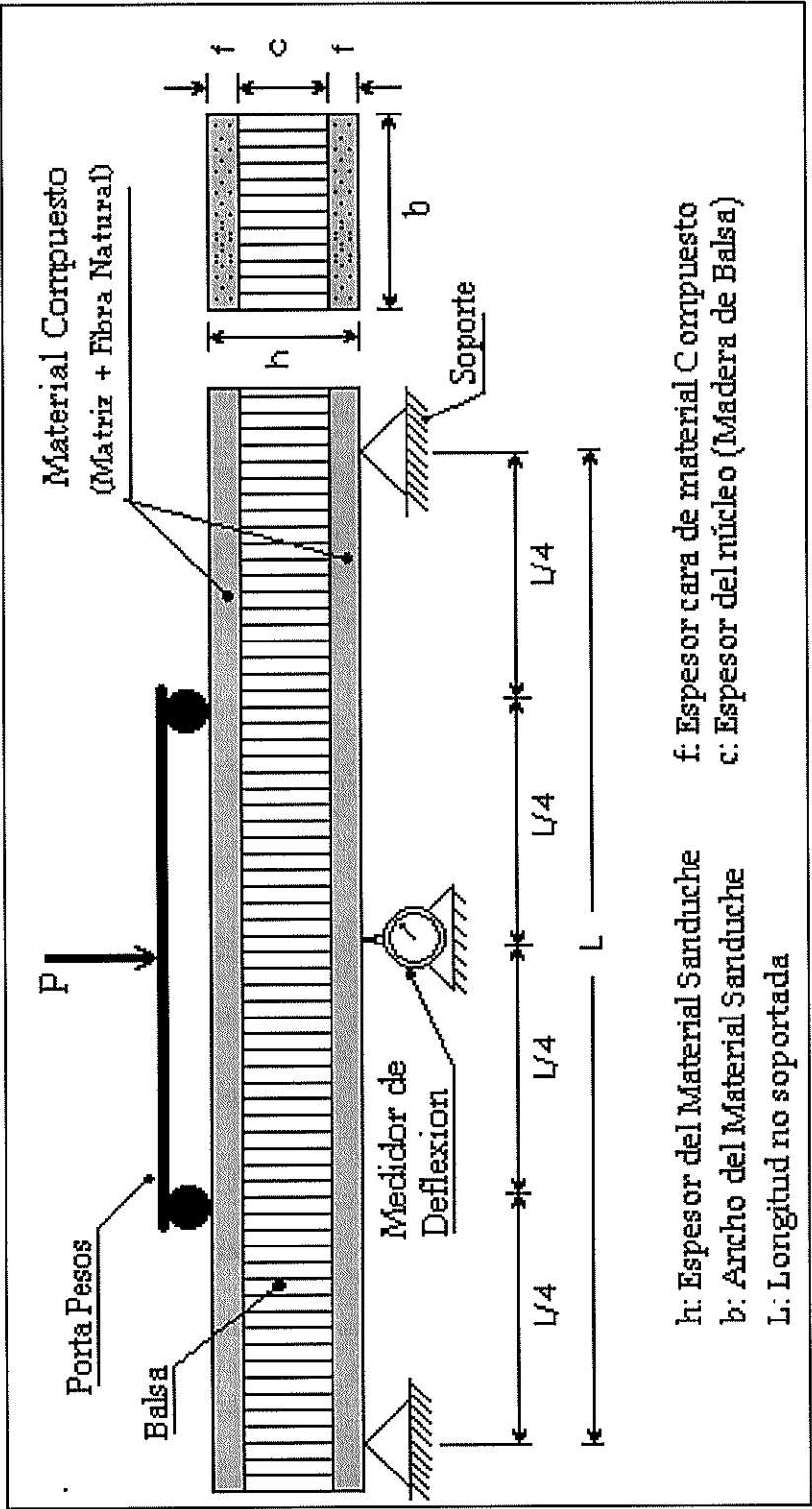


Figura 16

Dispositivo para prueba de flexión, porta pesos, reloj comparador, soportes, material sanduche

Alto

(mm) 25

Ancho

(mm) 25

Largo

(mm) 450

Separación entre soportes

(mm)

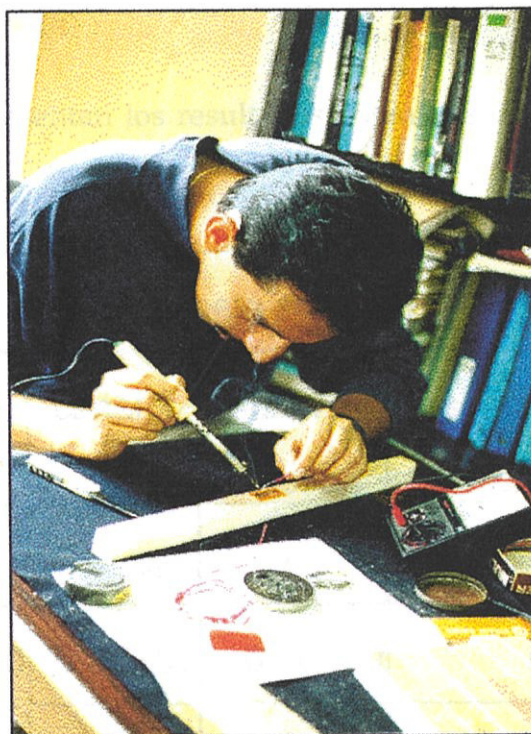
400

a) Equipo Requerido

- (1) Dispositivo para prueba de flexión,
- (2) Medidor de deformación unitaria Tipo 1526 (marca Brûel & Kjær, con un rango de lectura de 0.1 a 20000 $\mu\epsilon$),
- (3) Un medidor de carátula (reloj comparador) con un rango de 0 - 5 mm con una precisión de 0.01 mm (marca Mitutoyo, modelo 1044F) con una base magnética (marca Mitutoyo, modelo 7010S),
- (4) Porta pesos y pesos y extensómetros.

b) Procedimiento Experimental

- (1) Instalar un extensómetro en la superficie de la probeta (el extensómetro tiene la capacidad de medir la deformación unitaria en dos direcciones perpendiculares entre sí), ver foto 23,
- (2) Conectar y encender: el medidor de deformación y el reloj comparador,
- (3) Aplicar los pesos en forma gradual,
- (4) Registrar los valores de deformación conforme se incrementa el peso, ver foto 24
- (5) Descargar los pesos,
- (6) Registrar el valor de la deformación en descarga,
- (7) Repetir el proceso.



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

Foto 23

Instalación de extensómetro en una probeta tipo sanduche de fibra de cabuya, utilizada en la prueba de flexión



Foto 24

Registrando valores de la prueba de flexión

c) Resultados

En la tabla 12 se presentan los resultados obtenidos para una probeta típica de material sanduche.

0 grados-probeta # 1 Yute					G.F=2.03
	canal 2	canal 3	Razón de Poisson	Desplazamiento Vertical (mm)	
W (Kg)	$\epsilon_{y=trans}$	$\epsilon_{x=long}$	ν	ω	CARGA
0	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	
1	4.0E-05	-1.0E-04	4.0E-01	1.4E-01	
2	6.0E-05	-1.7E-04	3.5E-01	2.8E-01	
3	8.0E-05	-2.1E-04	3.8E-01	4.2E-01	
4	1.1E-04	-2.9E-04	3.8E-01	5.4E-01	
0	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	5.5E-02	DESCARGA
1	2.0E-05	-9.0E-05	2.2E-01	2.1E-01	
2	6.0E-05	-1.7E-04	3.5E-01	3.4E-01	
3	1.0E-04	-2.2E-04	4.5E-01	4.6E-01	

Tabla 12
Valores típicos registrados para una probeta de Yute sometida a carga de flexión

Los canales dos y tres a los que hace referencia la tabla 12, se trata de los canales de salida del equipo medidor de deformaciones unitarias. El canal dos mide la deformación en sentido transversal y el canal tres la deformación en sentido longitudinal. El G.F. hace referencia al valor del Gage Factor el cual varía dependiendo de las especificaciones del fabricante.

CAPITULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se realizó una descripción de los métodos experimentales que se emplearon para la determinación de las propiedades de los componentes (matriz y fibras) y de los materiales compuestos contruidos con ellos. En el presente capítulo se explica como se manejan los resultados que produce cada una de las pruebas, hasta cuantificar el objetivo perseguido, (véase Tabla 3), y se establece una interpretación de los resultados finales al compararlos con las relaciones teóricas planteadas. Los resultados parciales de cada una de las pruebas realizadas, y, la comprobación y deducción de las formulaciones empleadas se detallan en los respectivos apéndices, al final de este informe.

En la comparación teoría - experimento las relaciones volumétricas y el módulo de Young de los componentes, fibra natural y matriz, a partir de los ensayos de Tracción y Densidad, se utilizan en la determinación de las propiedades mecánicas teóricas para materiales compuestos. Dichos parámetros de diseño (E_f , ν_f , E_m y ν_m) son comentados y comparados con los de otras fibras sintéticas y resinas disponibles en la bibliografía; además, se



BIBLIOTECA
FAC. INE.
MARTELLA

realiza el respectivo análisis y comparación teórico - experimental de cada una de las propiedades mecánicas obtenidas.

Finalmente, se presenta un Análisis de Resistencia de los materiales compuestos basándose en los criterios desarrollados para un Modelo Micromecánico , que utiliza las deformaciones y esfuerzos de rotura de los componentes (fibra y matriz).

La correlación teoría - experimento realizada para la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos fabricados se describe en la figura 17. La parte enmarcada en línea punteada es la correspondiente a las relaciones teóricas planteadas en el capítulo 1, para el análisis de materiales compuestos ortotrópicos. Lo demarcado en los óvalos es lo concerniente a los ensayos descritos en el capítulo 2. Se señala de manera especial las propiedades de los componentes, rombos, las cuales pueden ser únicamente determinadas experimentalmente, los que tienen gran incidencia en la determinación de las propiedades mecánicas experimentales, como se indica en dicha figura.

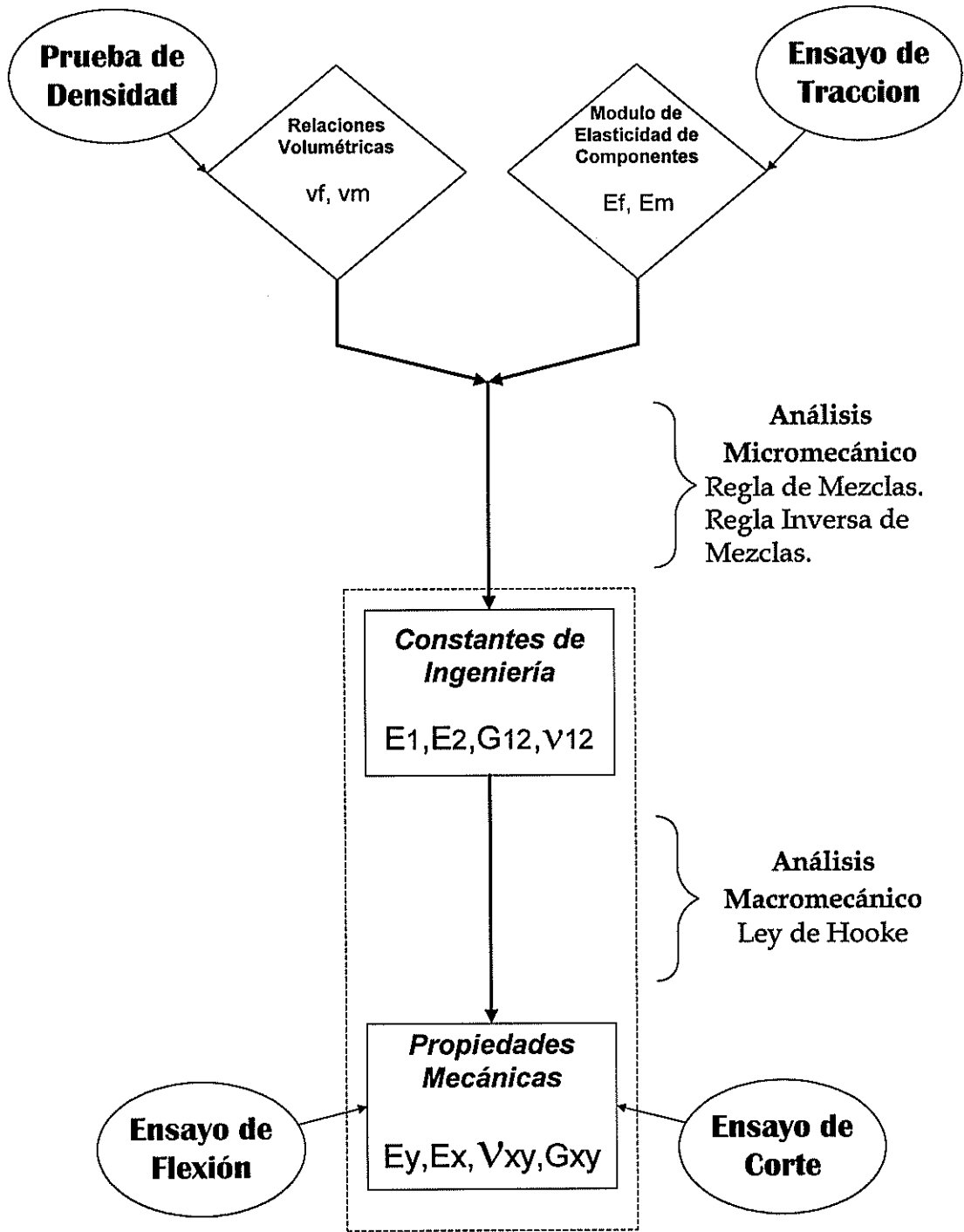


Figura 17
Correlación Teoría - Experimento

3.2. PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES (FIBRA Y MATRIZ)

Los parámetros de diseño utilizados para la construcción de materiales compuestos son el módulo de Young y fracciones volumétricas de los componentes; el conocimiento anticipado de estos parámetros es indispensable para predecir las propiedades mecánicas del futuro material a construirse. La obtención de estas propiedades se las realiza *experimentalmente*, de acuerdo a los métodos descritos en el capítulo anterior. A continuación se detallará el proceso de cálculo a partir de los datos obtenidos en la fase de experimentación.

Módulo de Young de la Fibra y Matriz

La obtención del módulo de Young de la fibra " E_f ", y, matriz, " E_m ", a partir de los datos de carga y desplazamiento (véase tabla 7), se logra por medio de un ensayo de tracción. En el caso del módulo de elasticidad de la fibra, estos valores son transformados en valores de esfuerzo y deformación unitaria, y ploteados en el plano ϵ_f - σ_f . La transformación consiste en dividir los datos de carga [Fuerza] para el área transversal del hilo de la fibra ($\sigma = P/(\pi D^2 / 4)$), y, la elongación (Longitud) para la longitud efectiva de la fibra ($\epsilon_f = \delta/L_0$), resultando valores de esfuerzo y deformación respectivamente. Luego se los relaciona con una línea de tendencia

“cuadrática” ($\sigma_f = a \cdot \epsilon_f^2 + b \cdot \epsilon_f + c$), la cual se la deriva y evalúa en el origen, de manera que la constante “a” corresponde al módulo de Young. La siguiente tabla detalla el cálculo realizado para la fibra de Yute y una curva con los valores resultantes se muestra en la figura 18 , en la que se puede observar que los valores de esfuerzo y deformación guardan entre sí una relación lineal en la zona cercana al origen.

P	δ	L_o	A	$\epsilon = \delta / L_o$	$\sigma = A / L_o$
Kg	mm	mm	mm ²	(plg/plg)	Lbs/plg ²
0.000	0.000	30	0.160	0.0E+00	0
0.100	0.030	30	0.160	1.0E-03	889
0.200	0.060	30	0.160	2.0E-03	1779
0.300	0.100	30	0.160	3.3E-03	2668
0.350	0.125	30	0.160	4.2E-03	3113
0.400	0.145	30	0.160	4.8E-03	3558
0.450	0.165	30	0.160	5.5E-03	4002

Tabla 13
Transformación de valores Carga - Desplazamiento a Esfuerzo - Deformación
(Fibra de Yute, Probeta No 1)

Se realizaron cinco pruebas de tracción por cada una de las tres fibras usadas como refuerzo, obteniéndose los valores promedio de módulo de Young y diámetro que se resumen en la tabla 14. Cabe resaltar que el valor promedio del módulo de Young que se reporta para la fibra de Yute se lo obtuvo con un haz de fibras, con un promedio de 66 hebras. Por otra parte, para tener uniformidad en el reporte, el valor del diámetro para la caña guadua es el

correspondiente a un diámetro equivalente, es decir el diámetro que hace que una área circular sea igual al área rectangular promedio de la fibra. Además, se reportan los valores de esfuerzo de rotura (σ_r) obtenidos del cociente entre la carga última y el área transversal de la fibra.

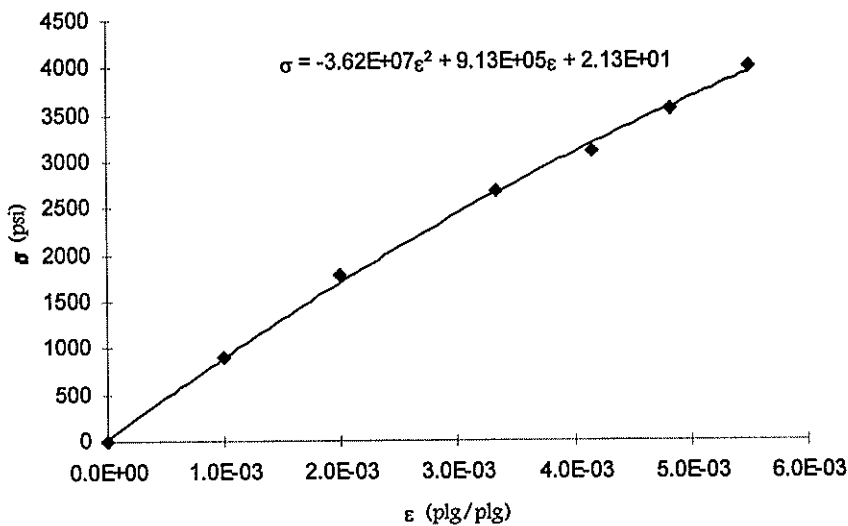


Figura 18
Curva Esfuerzo - Deformación Unitaria (Fibra de Yute, Probeta No1)

	ϕ (mm)	E_x (10 ⁶ psi)	σ_r (ksi)
Caña guadua	0.31	1.24	33.95
Yute	0.056	0.72	10.43
Cabuya	0.181	2.30	29.95

Tabla 14
Propiedades de Fibras Naturales



BIBLIOTECA
NACIONAL DE
MÉXICO

Los valores de Módulo de Young para fibras de vidrio del tipo S-G y E-G, reportados en [4], (tabla 3.1, pág. 80) , son 12.4×10^6 y 10.6×10^6 psi respectivamente. Lo anterior indica que son en promedio diez veces mayores que el módulo de las fibras naturales analizadas. Por otra parte, los valores de esfuerzo de rotura en tensión para las fibras tipo S-G y E-G son 600 y 400 ksi respectivamente, los que en promedio son 60 veces mayor que los valores reportados para las fibras naturales en la tabla anterior.

El módulo de Young de la matriz se lo obtuvo de la misma forma que el de las fibras excepto por el equipo utilizado, obteniéndose un valor promedio de 0.31×10^6 psi. De acuerdo con este valor se trataría de una matriz de bajo módulo ("Low Modulus") como la que se reporta en [GIBSON], la que tiene un módulo de Young de 0.32×10^6 psi.

Fracciones Volumétricas

La razón entre el volumen de cada uno de los componentes (fibra y matriz) y el volumen total de compuesto se denomina fracción volumétrica, y refleja la cantidad porcentual en volumen de fibra y matriz que se utiliza en la fabricación del material compuesto. La forma experimental y cálculo para la determinación de estas fracciones es expuesta en el capítulo anterior. El resumen de los valores experimentales promedio encontrados se expone en la

siguiente tabla, donde se reportan valores para la direcciones principales 1 y 2. Las fibras Yute y Cabuya se compraron en forma de tela con trenzado en ambas direcciones, mientras que la Caña Guadua solo tiene fibras en una dirección. Nótese que los valores para la dirección 1 y 2 para el material yute + matriz son iguales, debido a que se asumió el mismo espesor de hilos en la malla de tela de yute; diferente a lo que se presenta en la fibra de cabuya, como se puede observar en la foto 9.

Material Compuesto	V_m		V_f	
	<i>Dirección 1</i>	<i>Dirección 2</i>	<i>Dirección 1</i>	<i>Dirección 2</i>
Cabuya + Matriz	0.912	0.966	0.088	0.034
Yute + Matriz	0.539	0.539	0.461	0.461
Caña + Matriz	0.561	-	-	0.150

Tabla 15
Fracciones Volumétricas de los Componentes

3.3. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL COMPUUESTO

Las propiedades mecánicas, Módulo de Young (E_x) y Razón de Poisson (ν_{xy}) experimentales para diferentes orientaciones del componente que sirve como refuerzo (fibra), se determinaron a partir del ensayo de flexión practicado a una viga de material sanduche. Este ensayo nos permite obtener datos de deflexión en el centro del claro (w), y, deformación unitaria en sentido axial (ϵ_x) y transversal (ϵ_y), para una condición de carga y descarga.

Módulo de Young en sentido axial

Los valores de carga vertical aplicada y deformación unitaria axial guardan una relación lineal, de la que se obtiene un valor de pendiente (**m**). Las propiedades geométricas de la viga (**L**, **b**, **h** y **c**) son introducidas en la ecuación (3.1) conjuntamente con el valor de pendiente obteniéndose el módulo de Young en cada una de las probetas ensayadas para las diferentes orientaciones de las fibras (θ):

$$E_{\theta} = \frac{m \cdot h \cdot L}{I_f \cdot 16}, \quad (3.1)$$

donde

E_θ: Módulo de Young del material compuesto,

m: Pendiente de la curva carga - deformación,

L: Longitud no soportada,

h: Espesor de la viga, y,

I_f: Inercia transversal de las caras de material compuesto.

La expresión para el cálculo de la inercia se presenta en la ecuación (3.2); en esta no participa el efecto producido por el núcleo ("core") debido a que la rigidez flexural de la balsa se asume como despreciable.

$$I_f = \frac{b \cdot (h^3 - c^3)}{12}, \quad (3.2)$$



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MATEMÁTICAS

donde,

b: Ancho de la viga, y,

c: Espesor del núcleo.

Durante las pruebas también se registraron los desplazamientos verticales en el centro de la viga, a partir de dichos resultados se obtuvo un segundo módulo de Young, a partir de la pendiente (**m**) en la zona lineal de la curva carga - deflexión, para diferentes orientaciones de la fibra. Para ello se empleó la ecuación (3.3) sugerida en la prueba D 790M-86 de la referencia [1].

$$E_{\theta} = -0.172 \frac{m \cdot L^3}{b \cdot (h^3 - c^3)}, \quad (3.3)$$

donde los valores de *b*, *c*, *h*, y *L* corresponden a los definidos en la ecuación (3.1).

A continuación se ilustra el cálculo realizado para la determinación del módulo de Young para una orientación de la fibra de noventa grados (90°), del material compuesto Resina + Cabuya. La tabla 16 detalla las lecturas del reloj comparador, correspondientes a la deflexión en tres probetas (P-1, P-2, P-3) para la carga y descarga de pesos en el rango de 0 a 4 kg. Además se incluye la deformación unitaria, en dirección transversal y axial, registradas en los canales 2 y 3 del equipo medidor de deformaciones, correspondientes a

la probeta No 1. El valor negativo de la deformación axial indica una contracción de la viga de material sandwich consistente con el esfuerzo compresivo que soporta esta zona de la viga. En la figura 19 se ilustra la relación lineal existente entre los valores de carga y deformación unitaria axial; la pendiente de esta curva es utilizada en la evaluación de la ecuación (3.1). De igual forma las pendientes de las curvas carga vs deflexión para las tres probetas, son empleadas en la estimación del módulo de Young usando la ecuación (3.3).

W (Kg)	Deflexión w (mm)			Deformación Unitaria Probeta No 1	
	Probeta No 1	Probeta No 2	Probeta No 2	ϵ_y (mm/mm)	ϵ_x (mm/mm)
0	0.000	0.000	0.000	0.0E+00	0.00E+00
1	0.257	0.245	0.165	3.4E-05	-1.62E-04
2	0.503	0.580	0.540	5.0E-05	-2.58E-04
3	0.745	0.895	0.790	7.0E-05	-3.58E-04
4	1.010	1.240	1.050	9.9E-05	-4.60E-04
0	0.160	0.130	0.150	-1.0E-05	-1.22E-04
1	0.400	0.470	0.535	2.0E-05	-2.22E-04
2	0.620	0.800	0.850	4.8E-05	-3.14E-04
3	0.825	1.070	1.025	7.5E-05	-3.98E-04

Tabla 16
Datos Carga - Deflexión y Carga - Deformación (Probeta No 1, Resina + Cabuya)

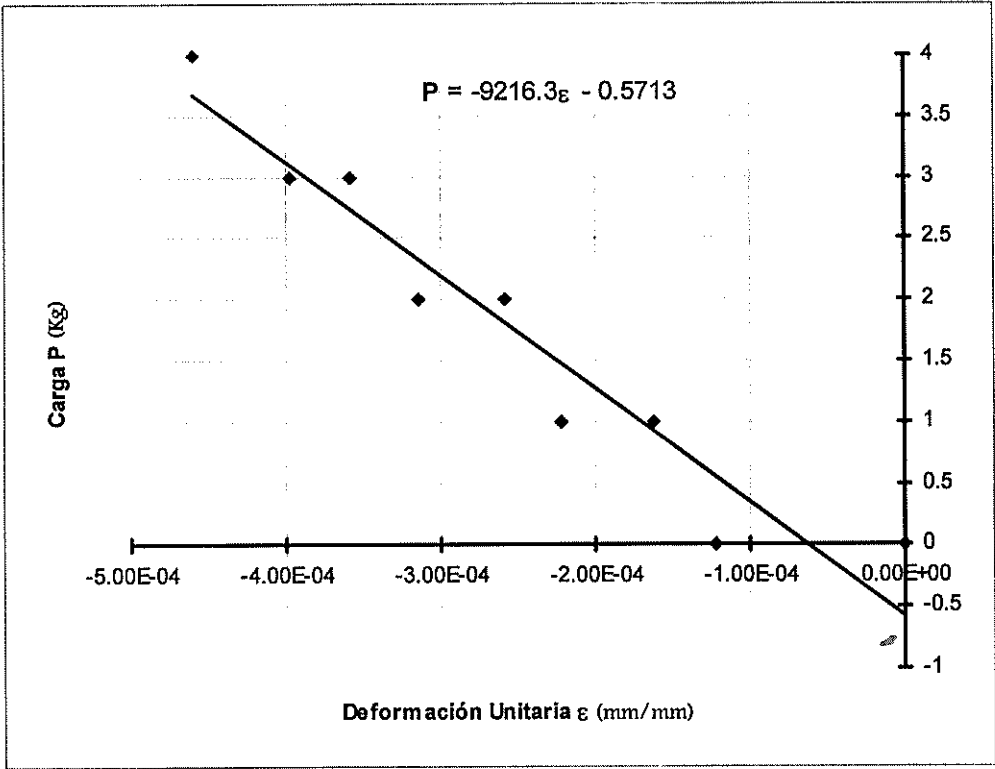


Figura 19
Curva Carga - Deformación Unitaria axial (Probeta No 1, Resina + Cabuya)

La evaluación de las ecuaciones (3.1) y (3.3) se resumen en la tabla 17, donde el valor de la pendiente para la probeta No 1 marcado con un asterisco está expresado en [lb/(plg/plg)], y corresponde al expresado en la figura anterior en unidades de [kg/(mm/mm)]. Los valores restantes, son las pendientes de las curva carga - deflexión expresados en [lb/plg].

Constantes	Probeta		Probeta	
	No 1		No 2	
Pendiente de la curva carga - deflexión, m (lb/plg)	*20321.9	231.61	176.78	184.15
Longitud no soportada, L (plg)	15.75	15.75	15.75	15.75
Ancho viga, b (plg)	0.98	0.98	0.94	0.98
Espesor viga, h (plg)	1.06	1.06	1.07	1.07
Espesor total de las caras, f (plg)	0.13	0.13	0.12	0.11
Espesor Núcleo, c (plg)	0.80	0.80	0.83	0.84
Módulo de Elasticidad, E (psi)	3.70e+5	2.24e+5	1.92e+5	1.97e+5



BIBLIOTECA
IAC. ING.
MARITIMA

Tabla 17
Módulo de Young Material Resina + Cabuya. Probeta No 1 $\theta = 90^\circ$

El resumen de todos los cálculos realizados en los tres materiales compuestos se muestran en al Apéndice 3. La sinopsis del módulo de Young experimental, empleando la ecuación (3.1), y el correspondiente valor teórico para diferentes orientaciones de la fibra usando la ecuación (1.11), en los tres materiales compuestos fabricados, se ilustra en la tabla 18. Los datos de E_1 , E_2 , G_{12} , ν_{12} para cada material se reportan en la parte superior de la tabla. Además, en las figuras 20, 21 y 22 se presentan la comparación gráfica de los datos experimentales y teóricos.

Orientación de la Fibra	E ₁ = E ₂ = G ₁₂ = ν ₁₂ =		8.8e5 psi 7.9e5 psi 1.1e5 psi 0.43		E ₁ = E ₂ = G ₁₂ = ν ₁₂ =		9.7e5 psi 9.7e5 psi 1.1e5 psi 0.43		E ₁ = E ₂ = G ₁₂ = ν ₁₂ =		7.4e5 psi 5.2e5 psi 1.1e5 psi 0.43	
	0 (Grados)	Módulo de Elasticidad Resina + Cabuya		Módulo de Elasticidad Resina + Yute		Módulo de Elasticidad Resina + Caña						
		Experimental	Teórico	Experimental	Teórico	Experimental	Teórico					
		5.2E+05	8.8E+05	7.9E+05	9.70E+05	6.33E+05	7.42E+05					
		6.1E+05	6.63E+05	6.3E+05	7.03E+05	3.81E+05	5.93E+05					
30	5.1E+05	4.42E+05	6.1E+05	4.53E+05	5.44E+05	4.18E+05						
45	3.4E+05	3.76E+05	7.0E+05	3.85E+05	3.16E+05	3.53E+05						
60	3.6E+05	4.30E+05	4.8E+05	4.53E+05	3.09E+05	3.73E+05						
75	3.0E+05	6.19E+05	5.9E+05	7.03E+05	3.69E+05	4.56E+05						
90	3.7E+05	7.95E+05	6.1E+05	9.70E+05	2.35E+05	5.18E+05						

Tabla 18
Comparación del Módulo de Elasticidad Teórico y Experimental para Materiales Compuesto empleando fibras naturales como refuerzo.

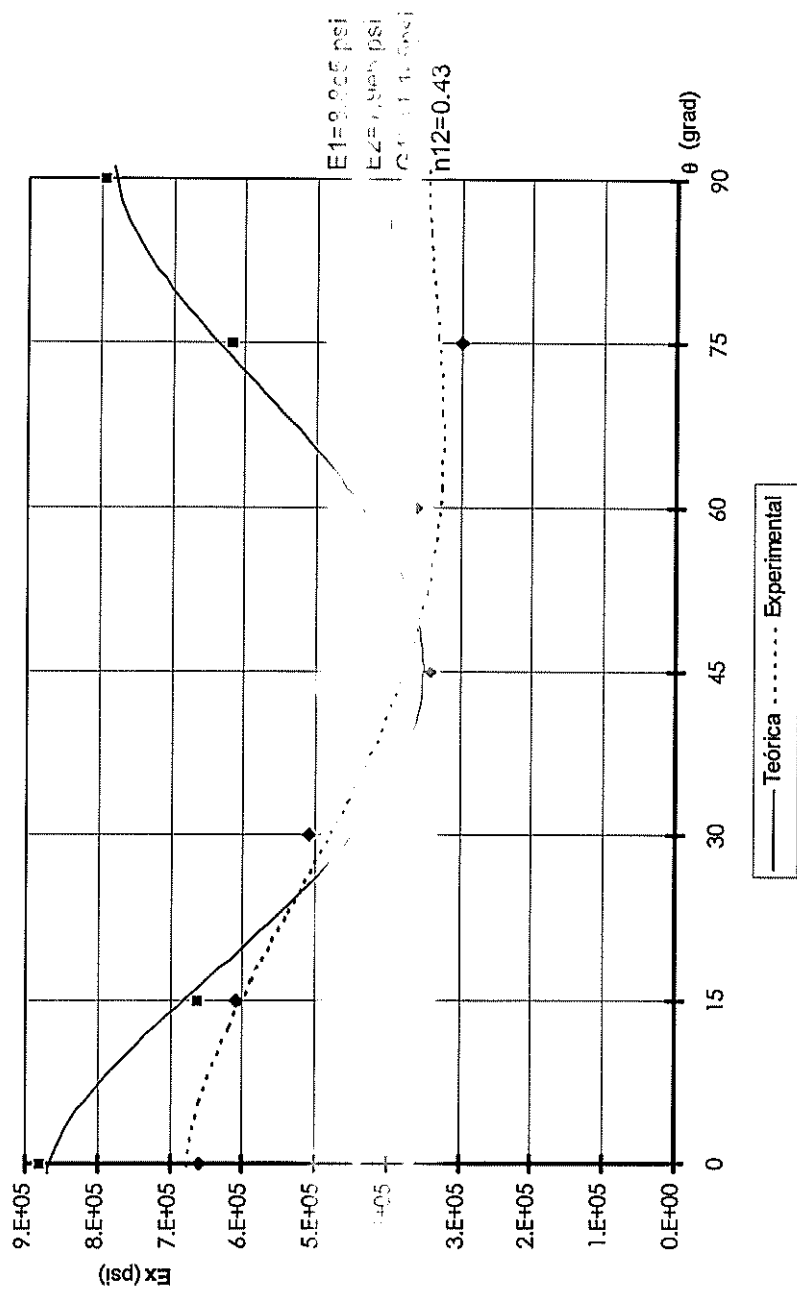


Figura 20
Comparación Gráfica Teórica - Experimental del Módulo de Young para Material Resina - Cabuya



BIBLIOTECA
D.C. INC.
MARIJUANA

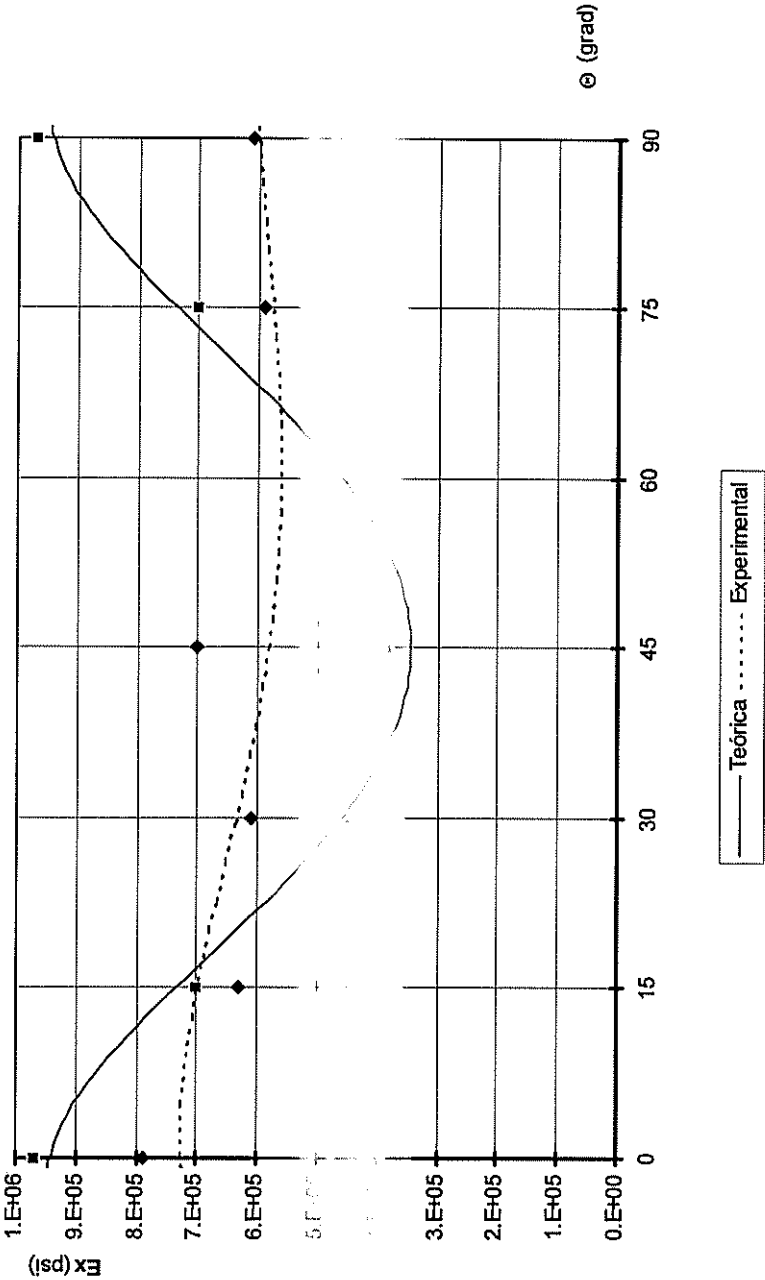


Figura 21
Comparación Gráfica Teórica - Experimental del Módulo de Young para Material Resina - Yute

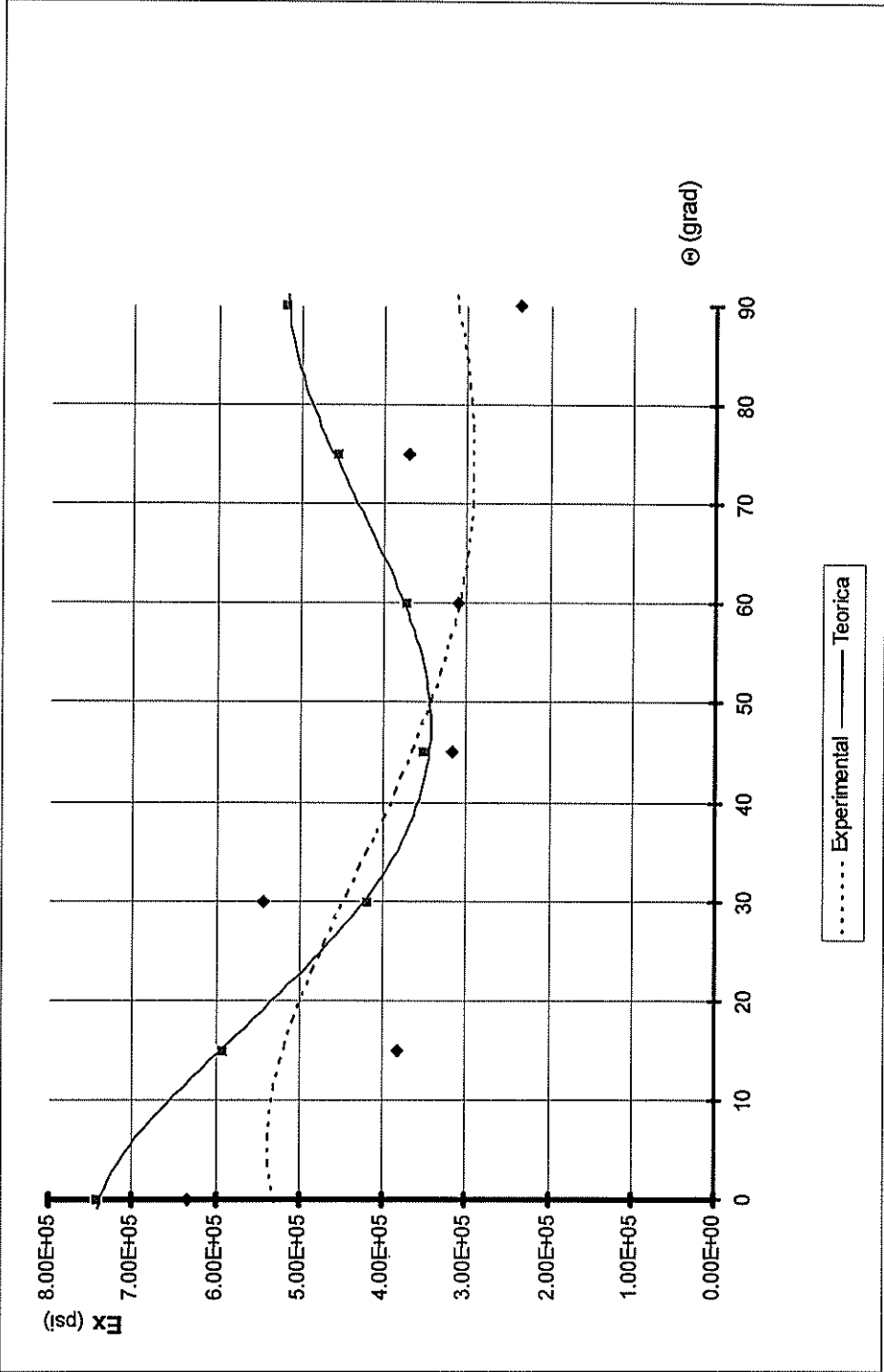


Figura 22
Comparación Gráfica Teórica - Experimental del Módulo de Young para Material Resina - Caña

La curva experimental en los gráficos anteriores es producida por una "línea de tendencia" en base a los valores experimentales, la cual muestra la variación en forma descendente del módulo de elasticidad a medida que aumenta el ángulo de orientación (θ) de las fibras y luego tiende a recuperarse para volver al valor E_2 , que incluye las fibras en sentido transversal. La variación de la curva experimental es muy acentuada para el material *Cabuya + Resina*, debido a la desigualdad en el espesor de los hilos en direcciones mutuamente ortogonales que existe en la tela de Cabuya, figura 20. Para el material *Yute + Resina*, se observa una variación menos marcada, como consecuencia de la similitud en espesor de los hilos en la tela de Yute, figura 21. Las curvas teóricas ilustran una tendencia descendente en módulo de elasticidad hasta un valor más bajo para 45 grados y luego se invierte; nótese que para el compuesto Yute + Resina los valores a 0 y 90 grados son iguales, como resultado de emplear iguales valores para el Módulo de Young en las direcciones principales 1 y 2.

Los valores experimentales, en general, se encuentran en el mismo orden de magnitud que los teóricos. Si comparamos los valores experimentales obtenidos para los tres materiales obtenidos, notamos que el material Yute + Resina presenta los mayores módulos de elasticidad en comparación con los del material Cabuya + Resina.

BIBLIOTECA
FAC. ING.
MATERIA

Relación de Poisson

En el caso de la viga de material sanduche sometido a flexión, la cara sobre la cual se aplica la carga vertical está sometida a un esfuerzo compresivo esto es contracción en sentido axial, lo cual implica una expansión lateral. En la ecuación 4.11 de la referencia [6] se incluye una descripción matemática de este fenómeno. Por ejemplo, si solo $\sigma_x \neq 0$, entonces $\varepsilon_x = \sigma_x / E$ y $\varepsilon_y = -\nu_{12} \sigma_x / E$. El signo negativo es para tener en cuenta la contracción del material en las direcciones "y" a medida que se alarga en la dirección "x". La razón del valor (con su signo) de la deformación lineal en la dirección lateral a la deformación lineal en dirección axial, es por definición la relación de Poisson, es decir,

$$\nu_{xy} = - \frac{\text{deformacion lateral}}{\text{deformacion axial}} = - \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}. \quad (3.4)$$

La medición de los valores experimentales de deformación transversal y axial se lograron a partir del uso de dos extensómetros sobre una cara de la viga sanduche de material compuesto + balsa construida. Estos valores fueron registrados en los canales 2 y 3, respectivamente, del Equipo Medidor de Deformaciones. En la tabla 16 se ilustra un ejemplo de los valores registrados, y en la siguiente tabla la evaluación de la fórmula (3.4), donde la ultima columna es el valor promedio de la relación de Poisson que se reporta finalmente.

W (kg)	0	1	2	3	4	0	1	2	3	Prom.
ν (mm/mm)	0.000	0.210	0.194	0.196	0.215	0.000	0.090	0.153	0.188	0.138

Tabla 19
Datos Carga - Relación de Poisson
(Material Sanduche Cabuya, Probeta No 1, 90 grados)

Los valores teóricos fueron calculados a partir del empleo de la ecuación (1.14) para diferentes orientaciones de los ejes principales, empleando los mismas constantes de ingeniería (E_1 , E_2 , G_{12} , ν_{12}), para cada una de los materiales compuestos, y se indican en la tabla 18. La sinopsis de los valores teóricos y experimentales, para la Razón de Poisson, encontrados en este trabajo de investigación para los tres materiales compuestos construidos, se presentan en la tabla 20.

Los valores experimentales y teóricos son plotados para cada uno de los materiales compuestos, como se ilustra en cada una de las siguientes figuras. En el eje de las abscisas se presenta la orientación de las fibras respecto de los ejes principales, o en su defecto del material de refuerzo, y en el de las ordenadas los valores de Razón de Poisson.

Orientación de la Fibra θ (Grados)	$E_1=$	8.8e5 psi	$E_1=$	9.7e5 psi	$E_1=$	7.4e5 psi
	$E_2=$	7.9e5 psi	$E_2=$	9.7e5 psi	$E_2=$	5.2e5 psi
	$G_{12}=$	1.1e5 psi	$G_{12}=$	1.1e5 psi	$G_{12}=$	1.1e5 psi
	$\nu_{12}=$	0.43	$\nu_{12}=$	0.43	$\nu_{12}=$	0.43
	Razón de Poisson Resina + Cabuya		Razón de Poisson Resina + Yute		Razón de Poisson Resina + Caña	
0	Experimental	Teórico	Experimental	Teórico	Experimental	Teórico
15	0.200	0.430	0.283	0.430	0.521	0.430
30	0.010	0.566	0.176	0.587	0.501	0.521
45	0.212	0.701	0.232	0.734	0.385	0.618
60	0.246	0.734	0.311	0.774	0.275	0.626
75	0.255	0.682	0.168	0.734	0.261	0.551
90	0.081	0.528	0.189	0.587	0.233	0.401
	0.138	0.388	0.136	0.430	0.228	0.300

Tabla 20
Comparación de Razón de Poisson experimental y Teórica para Materiales Compuesto empleando fibras naturales como refuerzo.



BIBLIOTECA
IAC, ING.
MARITIMA

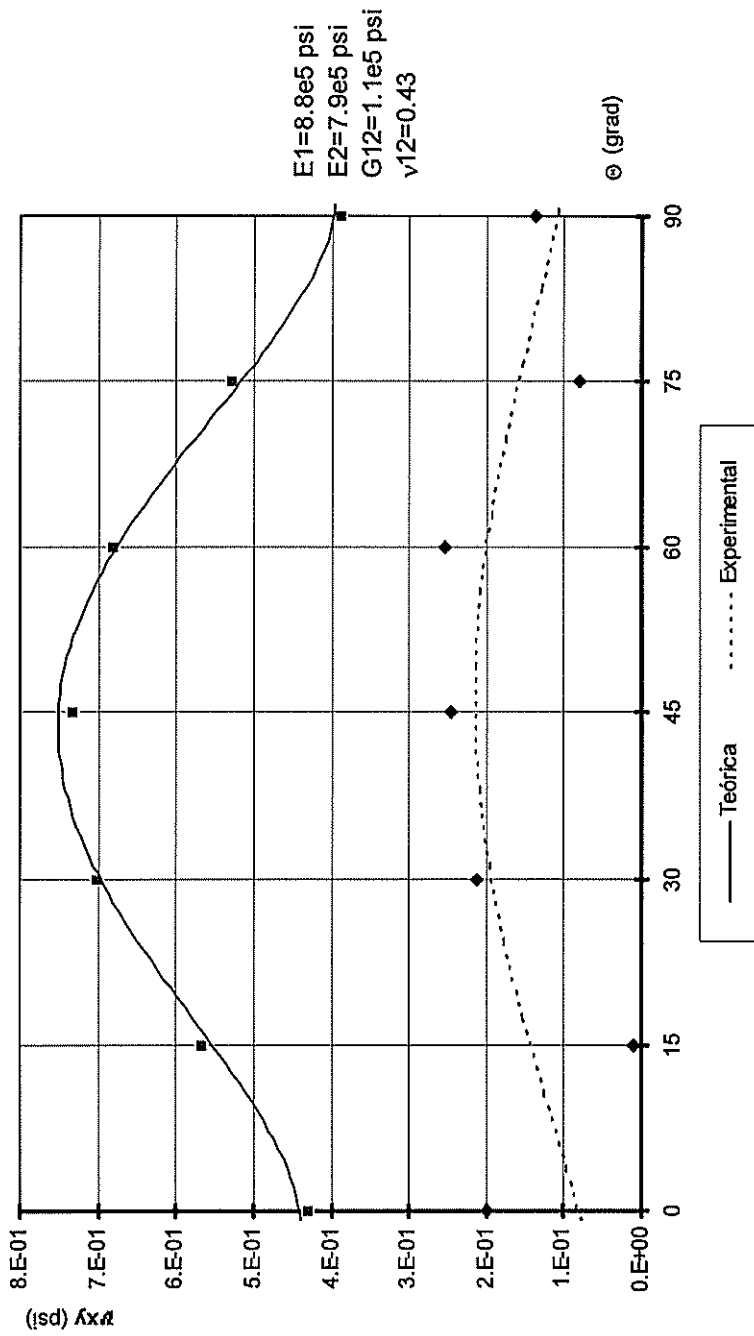


Figura 23
Comparación Gráfica Teórica - Experimental de la Razón de Poisson para Material Resina - Cabuya

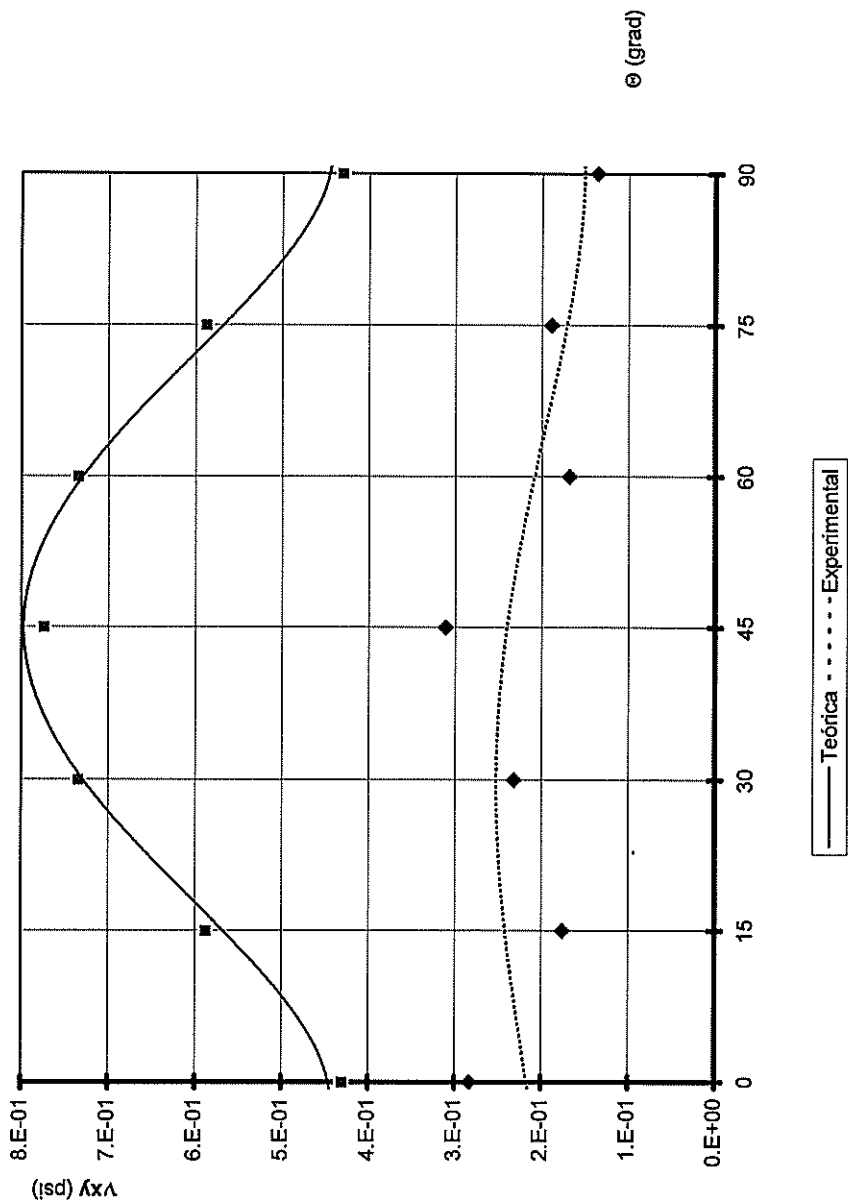


Figura 24
Comparación Gráfica Teórica - Experimental de la Razón de Poisson para Material Resina - Yute

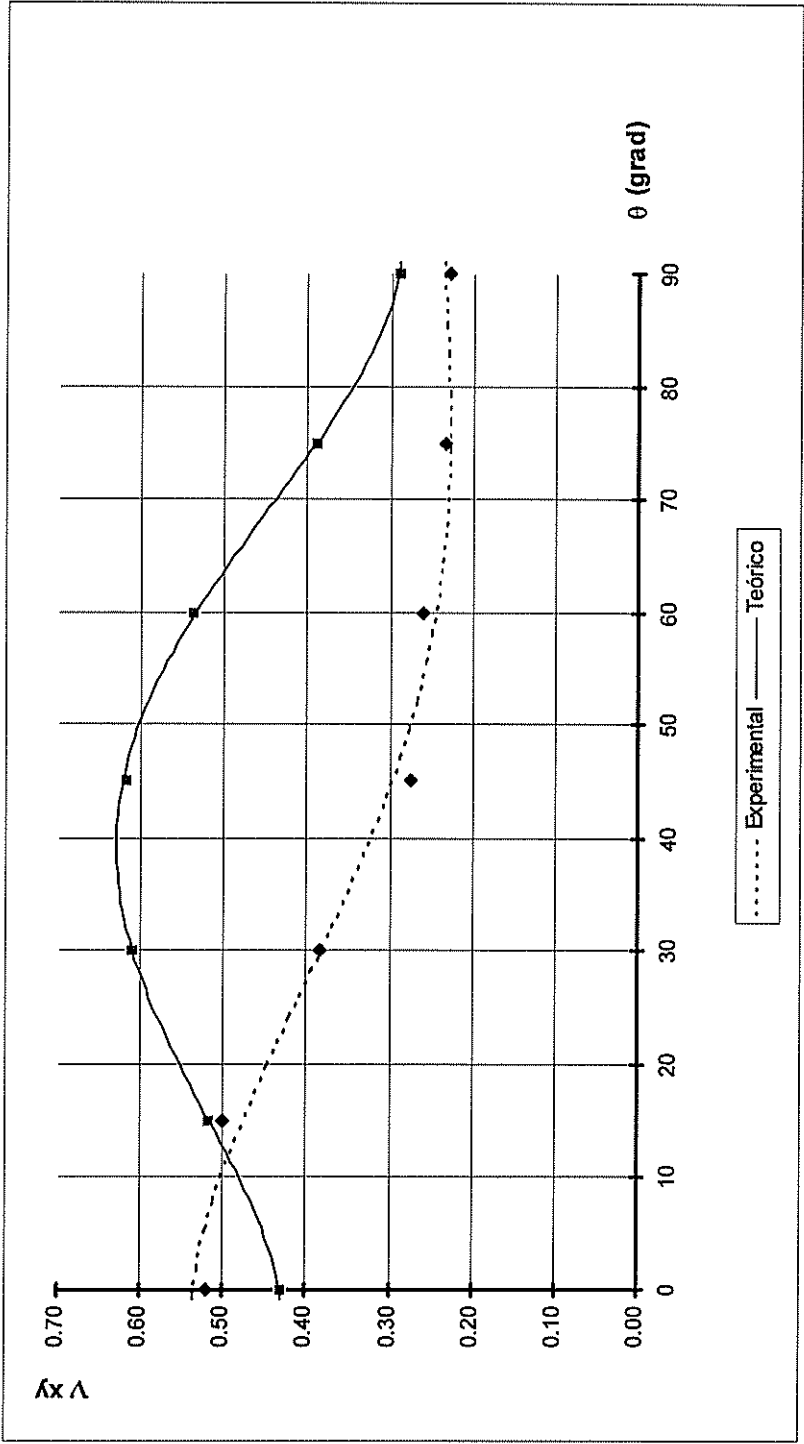


Figura 25
Comparación Gráfica Teórica - Experimental de la Razón de Poisson para Material Resina - Caña

Los valores experimentales y los teóricos muestran una tendencia muy similar: crecen a partir de la dirección principal ($\theta = 0^\circ$), alcanzando un máximo para aproximadamente 45 grados, y luego empiezan a descender. Sin embargo, los valores experimentales obtenidos son muy diferentes de los teóricos, por un factor de 3 aproximadamente.



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

3.4. MÓDULO DE CORTE

El Módulo de Corte (G_{xy}), en cualquier dirección respecto de los ejes principales 12, es determinada por la imposición de cargas cortantes sobre un espécimen de material compuesto. Los valores de desplazamiento producidos por este efecto son transformados en deformaciones angulares y las cargas aplicadas, en esfuerzo de corte. La transformación de estos valores se obtiene al dividir los valores de desplazamiento para el ancho de la probeta, obteniéndose de esta forma la deformación angular del espécimen ($\gamma_{xy} = \delta/a$), y al dividir los datos de carga para el producto (largo * espesor), resultan valores de esfuerzo cortante ($\tau_{xy}=P/bh$). La pendiente en la porción lineal de la curva τ_{xy} vs γ_{xy} es por definición el Módulo de Corte experimental:

$$G_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{\gamma_{xy}} = \frac{P \cdot a}{\delta \cdot b \cdot h} \quad , \quad (3.5)$$

donde:

P: carga lateral aplicada a la probeta de Material Compuesto,

d: desplazamiento,y,

a, b, y, h: Ancho, Largo, Espesor de la probeta respectivamente.

Debido a daños en la máquina de Ensayo Universal, no pudieron desarrollarse los ensayos de corte para el compuesto resina - caña guadua. Los valores experimentales obtenidos en cada uno de los otros dos materiales compuestos tratados son comparados con los correspondientes valores teóricos, obtenidos a través de la evaluación de la ecuación (1.13) para diferentes orientaciones con las correspondientes constantes de ingeniería para cada uno de los materiales fabricados. La tabla 21 recoge esta comparación.

Los valores de la tabla anterior son plotados en las figuras 26 y 27.

Orientación de la Fibra θ (Grados)	$E_1=$	8.8e5 psi	$E_1=$	9.7e5 psi
	$E_2=$	7.9e5 psi	$E_2=$	9.7e5 psi
	$G_{12}=$	1.1e5 psi	$G_{12}=$	1.1e5 psi
	$\nu_{12}=$	0.43	$\nu_{12}=$	0.43
	Módulo de Corte Resina + Cabuya		Módulo de Corte Resina + Yute	
	Experimental	Teórico	Experimental	Teórico
0	9.98E+04	1.08E+05	1.09E+05	1.08E+05
15	1.07E+05	1.12E+05	1.03E+05	1.14E+05
30	1.20E+05	1.21E+05	9.24E+04	1.25E+05
45	9.59E+04	1.25E+05	1.63E+05	1.32E+05
60	1.05E+05	1.21E+05	9.85E+04	1.25E+05
75	2.88E+04	1.12E+05	1.08E+05	1.14E+05
90	4.70E+04	1.08E+05	7.74E+04	1.08E+05

Tabla 21
Valores experimentales y teóricos de Modulo de Corte para Materiales Compuesto empleando fibras naturales como refuerzo.

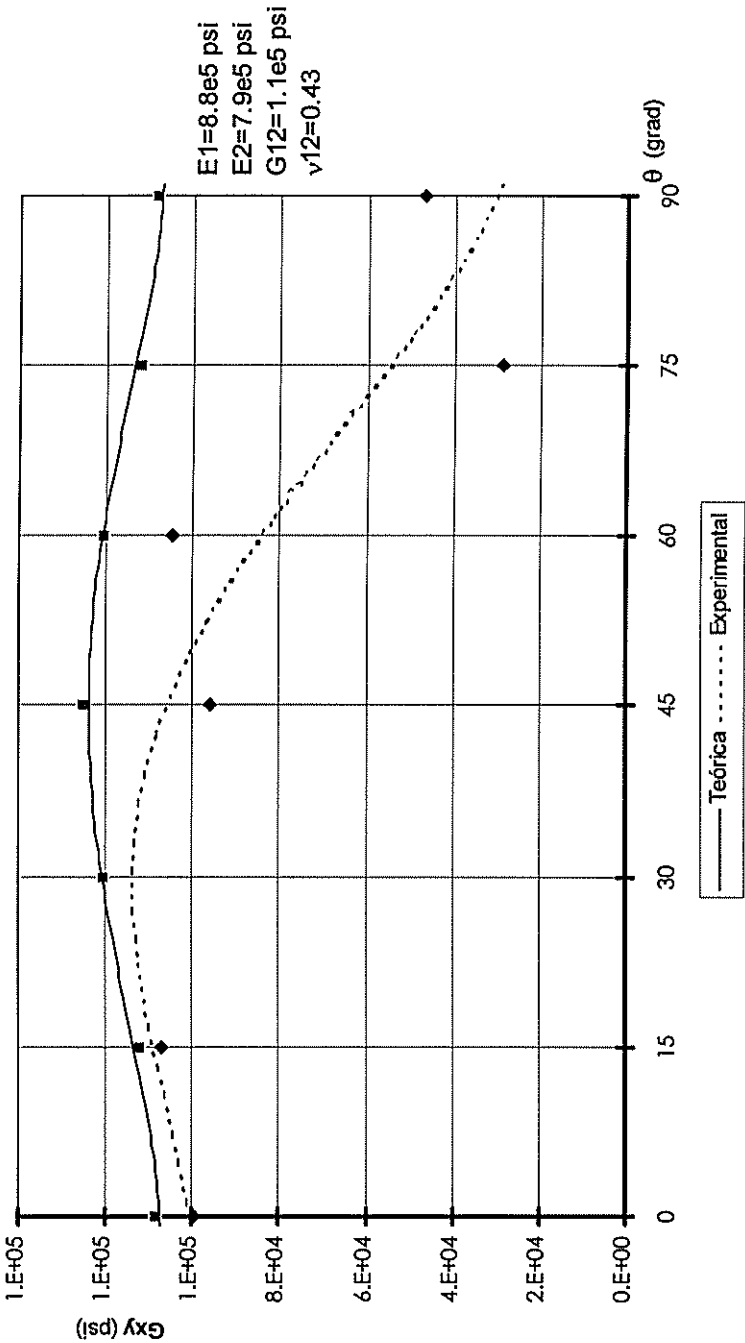


Figura 26
Comparación Gráfica Teórica - Experimental del Modulo de Corte para Material Resina - Cabuya

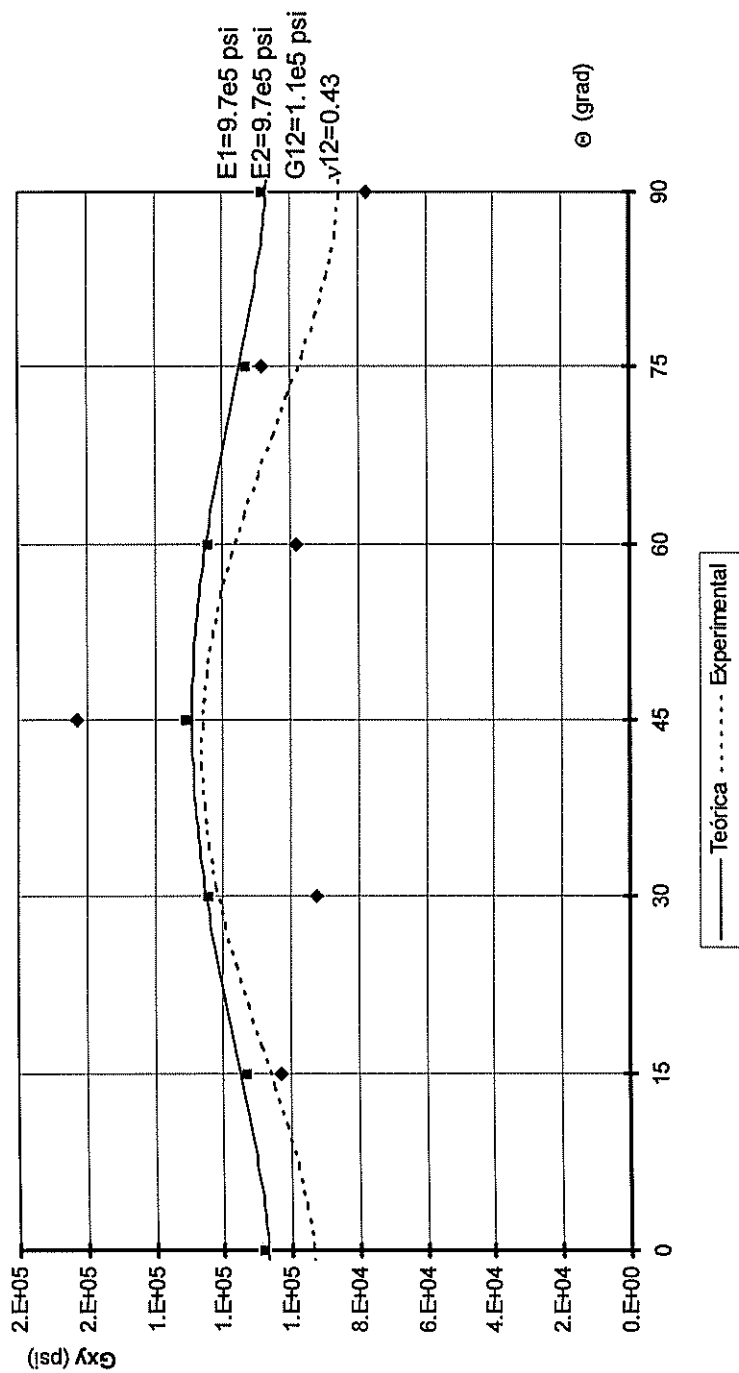


Figura 27
Comparación Gráfica Teórica - Experimental del Modulo de Corte para Material Resina - Yute

Los resultados experimentales para el compuesto resina-yute muestran excelentes concordancia con los resultados analíticos empleando la ecuación (1.13), figura 27. A diferencia de ello, en el caso del compuesto empleando fibras de cabuya, las curvas teóricas y experimentales para bajos ángulos muestran muy buena concordancia, pero se separan conforme crece el ángulo de la aplicación de la carga, véase la figura 26.



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

3.5. ANÁLISIS DE RESISTENCIA

Para este análisis se registraron los valores de los dos puntos de falla que se obtuvieron en los ensayos de tracción, véase la figura 11, y que se transforman a valores de esfuerzo y deformación unitaria en la tabla 22 y 23. De acuerdo a lo descrito en el subcapítulo 1.5, para analizar la resistencia del compuesto se preparó un gráfico deformación unitaria vs esfuerzo, y se incluyeron las curvas simplificadas de falla de los dos componentes: matriz y fibra. En esta figura se incorporaron los valores correspondientes a los dos puntos de falla, tomados de los ensayos, véase las figuras 28 y 29, para la Cabuya y el Yute, respectivamente.

Se puede notar en las figuras 28 y 29, que el primer punto de falla ① se concentra alrededor de las condiciones de ruptura de la matriz (resina epóxica). Sin embargo, el espécimen podía, luego de superar este primer salto, seguir incrementando la carga soportada. Finalmente el segundo punto de falla ② parece acercarse a las condiciones de rotura de la fibra.

$\epsilon_{rotura} \cdot 10^{-3}$ (adimensional)	σ_{rotura} (ksi)		
	<i>fibra</i>	<i>fibra + resina</i>	<i>resina</i>
0	0	0	0
6.64			2.27
7.80 ^º		1.63 ^º	
10.50 ^º		1.91 ^º	
13.00	29.95		

º punto de falla de la resina en el compuesto

º punto de falla de la fibra en el compuesto

Tabla 3.10
Deformación Unitaria y Esfuerzos de Rotura de la fibra , resina y Material
Resina + Cabuya

$\epsilon_{rotura} \cdot 10^{-3}$ (adimensional)	σ_{rotura} (ksi)		
	<i>fibra</i>	<i>fibra + resina</i>	<i>resina</i>
0	0	0	0
1.28 ^º		0.84 ^º	
5.40 ^º		1.10 ^º	
6.64			2.27
15.00	50.43		

º punto de falla de la resina en el compuesto

º punto de falla de la fibra en el compuesto

Tabla 3.11
Deformación Unitaria y Esfuerzos de Rotura de la fibra , resina y Material
Resina + Yute

RESISTENCIA LONGITUDINAL (CABUYA)

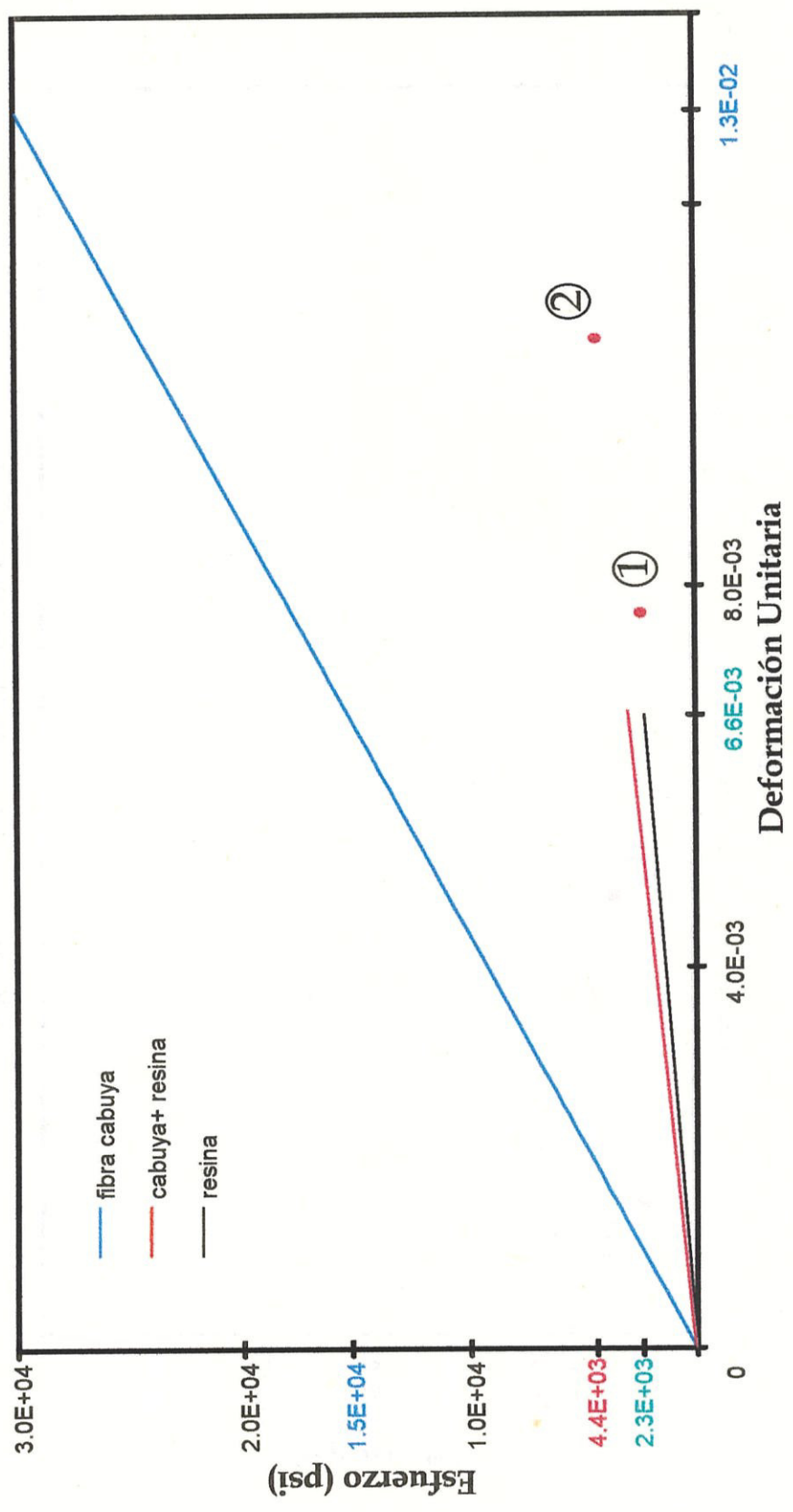


Figura 28
Curva Esfuerzo - Deformación para la fibra de cabuya, matriz y, compuesto



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

RESISTENCIA LONGITUDINAL (YUTE)

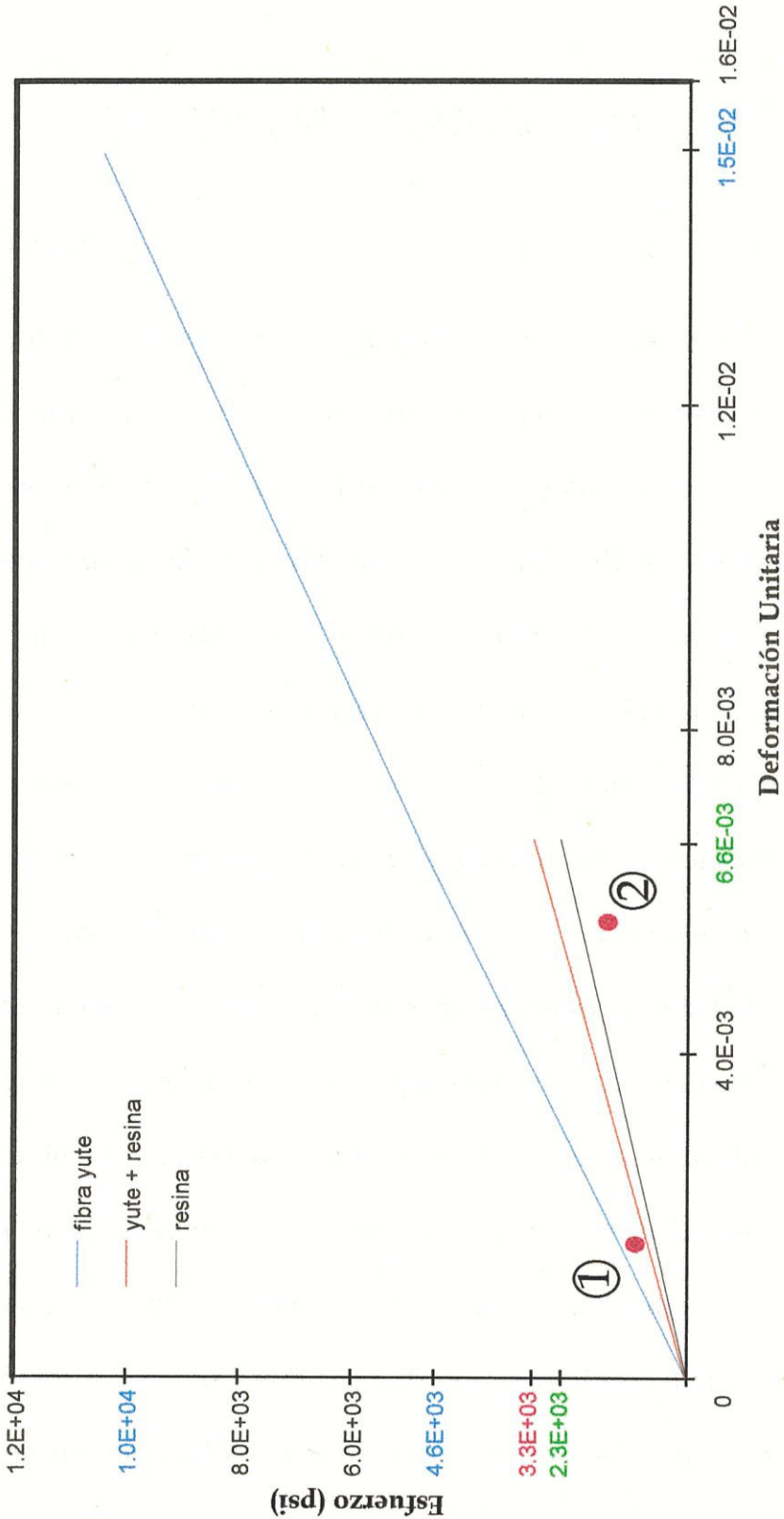


Figura 29
Curva Esfuerzo - Deformación para la fibra de yute, matriz y, compuesto

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El trabajar con materiales compuestos significa un notorio incremento en complejidad, tanto en el análisis como en la parte de construcción en sí. El tratar con materiales ortotrópicos, implica entre otras dificultades, una dependencia de las propiedades elásticas, respecto de la dirección de análisis, lo que va a complicar el proceso de diseño; además, las propiedades individuales y la proporción de los componentes incide en el comportamiento del compuesto resultante. Sin embargo, el problema no termina ahí; el tener que “construir el material”, implica la posibilidad de cometer errores con resultados como excesiva porosidad porque la resina no se embebe adecuadamente en la fibra, presencia de excesiva cantidad de burbujas de aire, proporción inadecuada de componentes para la resina que dificulta su endurecimiento, mal estado ó presencia de excesiva humedad en la fibra, defectos en construcción que llevan a un irregular espesor de la plancha de compuesto, ó, deficiente “agarre” del compuesto al material del núcleo, en el caso del esquema tipo sanduche. Todos estos inconvenientes se pueden evitar con un riguroso plan de Control de Calidad durante el proceso de construcción.

Aún cuando los valores determinados experimentalmente para el módulo de Young y el esfuerzo de rotura de las fibras naturales, son inferiores a los de las fibras sintéticas, su costo muchas veces menor, las hace muy atractivas como material de refuerzo.

Las relaciones analíticas resumidas en la tabla 2, y que son las mínimas necesarias para proceder en un diseño básico empleando materiales compuestos, han sido comprobadas experimentalmente. La regla de las mezclas, fórmula práctica empleada por ejemplo en sus normas por la sociedad de clasificación Bureau Veritas, es extremadamente útil para determinar la cantidad de fibra requerida, conociendo la resistencia mínima que debe tener un elemento. Además, las relaciones Macromecánicas, que establecen las propiedades elásticas en función de los parámetros principales y la dirección de análisis, parecen proveer buena predicción de dichos valores, a excepción de la razón de Poisson.

Finalmente se pudo comprobar en forma directa la gran ventaja de los materiales compuestos, esto es, la baja relación peso/resistencia. En los ensayos de flexión, se había asumido que los especímenes tipo sanduche con núcleo de balsa, podrían llevarse hasta la "falla", con razonables niveles de

carga aplicada. Sin embargo, aún apilando gran cantidad de pesos, véase la foto 22, no se pudo lograr la falla de los especímenes.

RECOMENDACIONES

Es indudable la utilidad de los resultados de estos ensayos primarios, sin embargo, en algunos casos, no se pudo mantener la rigurosidad en las pruebas por falta de los equipos adecuados. En otros casos, el material ó los especímenes mostraban altísima variación, de manera que un plan más amplio en términos del número de probetas por cada prueba, y más riguroso en términos de los equipos empleados, debe seguir a esta primera experiencia en el área de Materiales Compuestos.

El éxito de la combinación matriz y fibra está en proveer suficiente área en la segunda para agarrarse a la primera. En el caso de las fibras de cabuya y yute, dado que se disponían en forma de hilos, este agarre fue adecuado. En el caso de la caña guadua, se prepararon unas primeras probetas, utilizando caña picada pasada por la máquina denominada “cepillo”, lo que produjo una especie de plancha de caña muy fina. Sin embargo, al formarse el compuesto con la resina, muy fácilmente se “delaminaba”. Habría que tratar de encontrar algún proceso mecánico para preparar esta fibra antes de ser

combinada con la matriz, dado que la caña es comúnmente empleada como material estructural en nuestro medio.

Existen otras fibras naturales que también podrían ser analizadas para formar la parte resistente de materiales compuestos. Específicamente se tiene conocimiento que la fibra Abacá está siendo incluida en la elaboración de cabos. Desafortunadamente, no se pudo conseguir dicha fibra en forma de "tela", requisito indispensable para formar un material compuesto razonablemente uniforme.



BIBLIOTECA
NACIONAL
GUATEMALA

APÉNDICE 1

DEDUCCIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS E_x , E_y , G_{xy} Y ν_{xy}

A partir de las relaciones dadas en el Capítulo 2 de Gibson, [4], en cuanto a la relación esfuerzo-deformación (σ - ϵ), se obtendrán las fórmulas de las 4 constantes de ingeniería: E_x , E_y , G_{xy} y ν_{xy} en direcciones no principales, para una lámina compuesta con sus filamentos orientados en cualquier dirección θ . Aunque el término E_x es deducido por Gibson, en dicha referencia no se deducen los otros términos de la matriz S_{ij} , que están en relación con las 4 constantes. En este Apéndice se incluirá la deducción detallada de las restantes constantes.

Donde:

E_x = módulo de elasticidad longitudinal asociado con la dirección x ,

E_y = módulo de elasticidad longitudinal asociado con la dirección y ,

G_{xy} = módulo de corte asociado con la dirección xy , y,

ν_{xy} = razón de Poisson.

La Ley de Hooke para una lámina ortotrópica, ecuación (1.4), e introduciendo un factor 2 en el término S_{66} (o sea $1 / 2G_{12}$) para compensar por el uso de la deformación de corte en lugar del tensor ε_{12} , (o sea $\gamma_{12} / 2$) queda como:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12}/2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E_1 & -\nu_{21}/E_2 & 0 \\ -\nu_{12}/E_1 & 1/E_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2G_{12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = [S] \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} \quad (01)$$

donde $[S]$ es la matriz flexibilidad, y los S_{ij} están definidos por:

$$S_{11} = 1/E_1, \quad S_{22} = 1/E_2, \quad S_{12} = S_{21} = -\nu_{21}/E_2 = -\nu_{12}/E_1, \quad S_{66} = 1/G_{12} \quad (02)$$

LÁMINA GENERAL ORTOTRÓPICA

En el análisis de la lamina ortotrópica que tiene múltiples filamentos es necesario mostrar la relación deformación-esfuerzo en las coordenadas no principales x y y como se muestra en la figura 3.

La manera de resolver el problema de combinar esfuerzos normales con esfuerzos cortantes, es multiplicar los esfuerzos por las respectivas áreas en que actúan para obtener fuerzas, los cuales son vectores y en consecuencia se pueden sumar y restar vectorialmente.

El procedimiento para determinar los esfuerzos en ejes no principales es aislar una cuña P ó Q (véase la figura 30(a)) y aplicar las ecuaciones de equilibrio estático a las fuerzas que actúan en la cuña (véase la figura 30(b) y (c)).

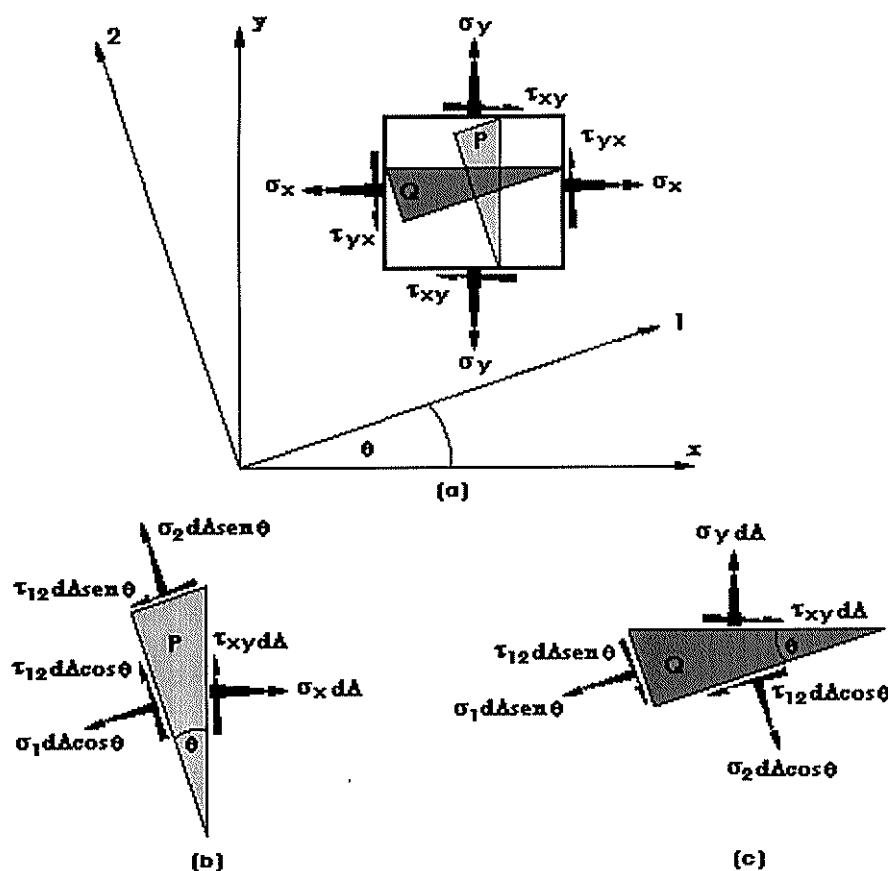


Figura 30

(a) Representación de los esfuerzos que actúan en un elemento de plancha; (b) y (c) cuñas o elementos para deducir las fórmulas de los esfuerzos en un sistema de ejes de coordenadas no principales



BIBLIOTECA
UNAM, D.F.
153

Para determinar σ_x y τ_{xy} aplicamos equilibrio estático a la cuña P en la dirección x y en y , entonces:

i) en x :

$$\sum F_x = \sigma_x dA - \sigma_1 dA \cos^2 \theta - \sigma_2 dA \sin^2 \theta + 2 \tau_{12} dA \sin \theta \cos \theta = 0 ,$$

y dividiendo para dA , y despejando σ_x queda como:

$$\sigma_x = \sigma_1 \cos^2 \theta + \sigma_2 \sin^2 \theta - 2 \tau_{12} \sin \theta \cos \theta \quad (03)$$

ii) en y :

$$\sum F_y = \tau_{xy} dA - \sigma_1 dA \sin \theta \cos \theta + \sigma_2 dA \sin \theta \cos \theta - \tau_{12} dA (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) = 0 ,$$

y dividiendo para dA , y despejando τ_{xy} queda como:

$$\tau_{xy} = \sigma_1 \sin \theta \cos \theta - \sigma_2 \sin \theta \cos \theta + \tau_{12} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (04)$$

Y para determinar σ_y aplicamos equilibrio estático a la cuña Q en la dirección y , entonces:

$$\Sigma F_y = \sigma_y dA - \sigma_1 dA \sin^2 \theta - \sigma_2 dA \cos^2 \theta - 2 \tau_{12} dA \sin \theta \cos \theta = 0 ,$$

y dividiendo para dA , y despejando σ_y queda como:

$$\sigma_y = \sigma_1 \sin^2 \theta + \sigma_2 \cos^2 \theta + 2 \tau_{12} \sin \theta \cos \theta \quad (05)$$

Entonces los esfuerzos en el sistema de coordenadas xy (ecuación (03), (04) y (05)) pueden ser desarrollados y escritos en forma de matriz, como:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & -2cs \\ s^2 & c^2 & 2cs \\ cs & -cs & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = [T]^{-1} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}$$

y los esfuerzos en el sistema 12 pueden ser escritos como:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = [T] \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad (06)$$

Donde $c = \cos \theta$, $s = \sin \theta$, y la matriz transformación $[T]$ puede ser calculada encontrando la inversa de la matriz transformación del sistema de esfuerzos xy al sistema de esfuerzos 12 , o sea:

$$[T] = [[T]^{-1}]^{-1} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2cs \\ s^2 & c^2 & -2cs \\ -cs & -cs & c^2 - s^2 \end{bmatrix}$$



BIBLIOTECA
NACIONAL
MEXICO

y la deformación es calculada de la misma manera como los esfuerzos, entonces:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12}/2 \end{Bmatrix} = [T] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy}/2 \end{Bmatrix} \quad (07)$$

sustituyendo la ecuación (06) y (07) en la ecuación (01) nos queda:

$$[T] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy}/2 \end{Bmatrix} = [S] [T] \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

despejando, queda como:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy}/2 \end{Bmatrix} = [T]^{-1} [S] [T] \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

multiplicando matrices y eliminando el 2 en el denominador , nos queda que:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_{11} & \bar{S}_{12} & \bar{S}_{16} \\ \bar{S}_{12} & \bar{S}_{22} & \bar{S}_{26} \\ \bar{S}_{16} & \bar{S}_{26} & \bar{S}_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad (08)$$

donde los \bar{S}_{ij} son las componentes de la matriz transformación flexibilidad de la lámina, definidas como:

$$\bar{S}_{11} = S_{11} \cos^4 \theta + S_{22} \sin^4 \theta + (2S_{12} + S_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta$$

$$\bar{S}_{12} = (S_{11} + S_{22} - S_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + S_{12} (\cos^4 \theta + \sin^4 \theta)$$

$$\bar{S}_{22} = S_{11} \sin^4 \theta + S_{22} \cos^4 \theta + (2S_{12} + S_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta$$

$$\bar{S}_{16} = (2S_{11} - 2S_{12} - S_{66})\cos^3 \theta \sin \theta - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{66})\cos \theta \sin^3 \theta$$

$$\bar{S}_{26} = (2S_{11} - 2S_{12} - S_{66})\cos \theta \sin^3 \theta - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{66})\cos^3 \theta \sin \theta$$

$$\bar{S}_{66} = (2S_{11} + 2S_{22} - 4S_{12} - S_{66})2\sin^2 \theta \cos^2 \theta + S_{66} (\cos^4 \theta + \sin^4 \theta)$$

Las constantes de ingeniería de la lámina pueden ser también transformadas desde los ejes del material principal a las coordenadas de los ejes no principales. Por ejemplo, el módulo de elasticidad asociado con la carga uniaxial en la dirección x está definido como:

$$E_x = \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x} = \frac{\sigma_x}{\bar{S}_{11}\sigma_x} = \frac{1}{\bar{S}_{11}}, \quad (09)$$

donde la deformación ε_x en el denominador fue encontrada por sustituir las condiciones de esfuerzos $\sigma_x \neq 0$, $\sigma_y = \tau_{xy} = 0$, en la ecuación (08) y reemplazando \bar{S}_{11} en la ecuación (09), encontramos que:

$$E_x = \frac{1}{\frac{1}{E_1}c^4 + \frac{1}{E_2}s^4 + \left[-\frac{2\nu_{12}}{E_1} + \frac{1}{G_{12}} \right] s^2c^2}, \quad (10)$$

que corresponde a la ecuación (2.39) de Gibson, [4], y, a la ecuación (11-022-13) de Bureau Veritas, [2].

El módulo de elasticidad asociado con la carga uniaxial en la dirección y está definido como:

$$E_y = \frac{\sigma_y}{\varepsilon_y} = \frac{\sigma_y}{\bar{S}_{22}\sigma_y} = \frac{1}{\bar{S}_{22}}, \quad (11)$$

donde la deformación ε_y en el denominador fue encontrada por sustituir las condiciones de esfuerzos $\sigma_y \neq 0$, $\sigma_x = \tau_{xy} = 0$, en la ecuación (08) y reemplazando \bar{S}_{22} en la ecuación (11), encontramos que:

$$E_y = \frac{1}{\frac{1}{E_1}s^4 + \frac{1}{E_2}c^4 + \left[-\frac{2\nu_{12}}{E_1} + \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2} \quad (12)$$

El módulo de corte asociado con la carga uniaxial en la dirección xy está definido como:



$$G_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{\gamma_{xy}} = \frac{\tau_{xy}}{\bar{S}_{66} \tau_{xy}} = \frac{1}{\bar{S}_{66}}, \quad (13)$$

BIENOTER
IAC, INO.
HABANA

donde la deformación γ_{xy} en el denominador fue encontrada al sustituir las condiciones de esfuerzos $\tau_{xy} \neq 0$, $\sigma_x = \sigma_y = 0$, en la ecuación (08) y reemplazando \bar{S}_{66} en la ecuación (13), encontramos que:

$$G_{xy} = \frac{1}{\left[\frac{2}{E_1} + \frac{2}{E_2} + \frac{4\nu_{12}}{E_1} - \frac{1}{G_{12}} \right] 2s^2 c^2 + \frac{1}{G_{12}} (c^4 + s^4)} \quad (14)$$

Y la razón de Poisson está definida como:

$$\nu_{xy} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = -\frac{\bar{S}_{12} \sigma_x}{\bar{S}_{11} \sigma_x} = -\frac{\bar{S}_{12}}{\bar{S}_{11}}, \quad (15)$$

donde las deformaciones, ε_y en el numerador, y, ε_x en el denominador fueron encontradas al sustituir las condiciones de esfuerzos $\sigma_x \neq 0$, $\sigma_y = \tau_{xy} = 0$, en la ecuación (08), reemplazando \bar{S}_{12} y \bar{S}_{11} en la ecuación (15), encontramos que:

$$v_{xy} = - \frac{\left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} - \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2 - \frac{\nu_{12}}{E_1} (c^4 + s^4)}{\frac{1}{E_1} c^4 + \frac{1}{E_2} s^4 + \left[-\frac{2\nu_{12}}{E_1} + \frac{1}{G_{12}} \right] s^2 c^2} \quad (16)$$

APÉNDICE 2

DEDUCCIÓN DE FÓRMULAS UTILIZADAS EN LAS PRUEBAS DE FLEXIÓN

A continuación se desarrolla la deducción de las fórmulas usadas en el análisis de las vigas de material sanduche; dichas expresiones son empleadas en la determinación del módulo de elasticidad para diferentes direcciones de alineamiento de las fibras del material. La disposición de los elementos empleados se ilustra en la siguiente figura.

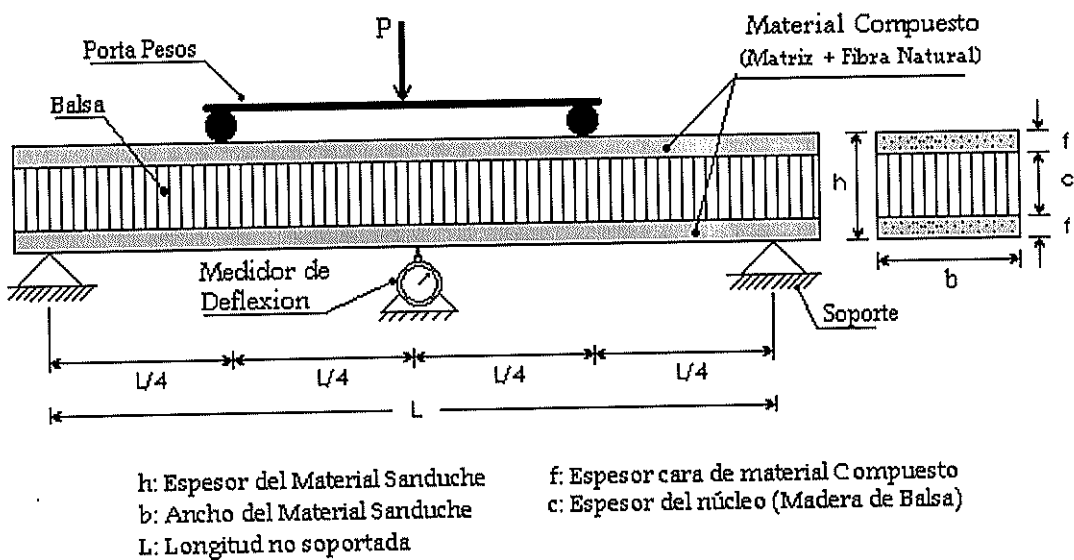


Figura 31
Dispositivo para prueba de flexión

Recordemos la ecuación diferencial para la deformación de vigas elásticas, en el caso estáticamente determinado, [6]:

$$EI w_{xx} = M(x), \quad (01)$$

donde: EI = Rigidez flexural,

$M(x)$ = Momento flector, y,

w = Deflexión de la elástica.



BIBLIOTECA
IAC. MIG.
MARTELL

Una expresión analítica para el momento flector de una viga cargada discontinuamente, figura 31, se puede hallar resolviendo la ecuación diferencial $d^2M/dx^2=p(x)$. Empleando la notación del calculo operacional tenemos que:

$$M(x) = -\frac{P}{2} \left(x - \frac{L}{4} \right) E \left[x - \frac{L}{4} \right] - \frac{P}{2} \left(x - \frac{3L}{4} \right) E \left[x - \frac{3L}{4} \right] + C_1 x + C_2 \quad (02)$$

En esta ecuación se emplea la función escalón $E[x - a]$, que es igual a 0 para $x < a$, e, igual a 1 para $x > a$.

Evaluemos la expresión anterior en las condiciones de frontera que se ilustran en la figura 32, con el fin de determinar las constantes C_1 y C_2 .

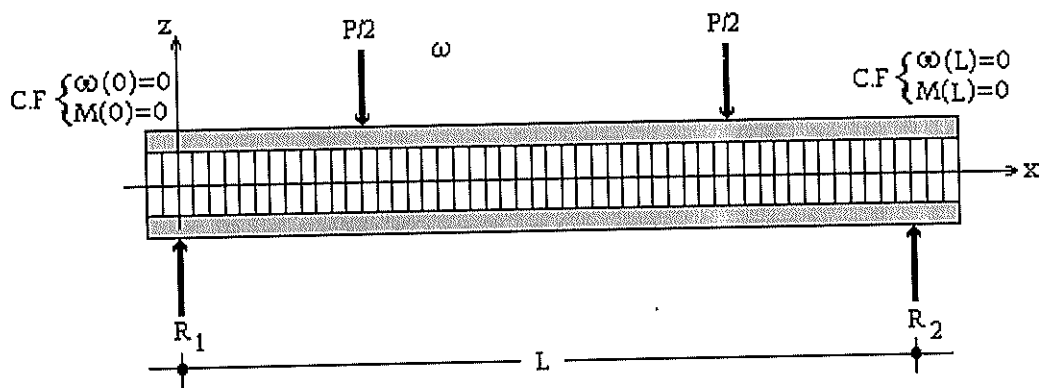


Figura 32
Diagrama del cuerpo libre

Para satisfacer las condiciones de frontera,

$$M(0) = -\frac{P}{2}\left(0 - \frac{L}{4}\right) E\left[0 - \frac{L}{4}\right] - \frac{P}{2}\left(0 - \frac{3L}{4}\right) E\left[0 - \frac{3L}{4}\right] + C_1 \cdot 0 + C_2 ;$$

de tal manera que $C_2=0$, y,

$$M(L) = -\frac{P}{2}\left(L - \frac{L}{4}\right) E\left[L - \frac{L}{4}\right] - \frac{P}{2}\left(L - \frac{3L}{4}\right) E\left[L - \frac{3L}{4}\right] + C_1(L) ;$$

entonces, $C_1 = P/2$.

Reemplazando los valores de C_1 y C_2 en la ecuación (02), se obtiene la expresión para evaluar M :

$$M(x) = -\frac{P}{2}\left(x - \frac{L}{4}\right) E\left[x - \frac{L}{4}\right] - \frac{P}{2}\left(x - \frac{3L}{4}\right) E\left[x - \frac{3L}{4}\right] + \frac{P}{2} x \quad (03)$$

Sustituyendo la expresión anterior en la ecuación (01) e integrando dos veces la expresión resultante (recuérdese que EI permanece constante a lo largo de la viga), se encuentra una expresión para la curva de la elástica $w(x)$.

$$EI w(x) = -\frac{P}{12} \left(x - \frac{L}{4}\right)^3 E \left[x - \frac{L}{4}\right] - \frac{P}{2} \left(x - \frac{3L}{4}\right)^3 E \left[x - \frac{3L}{4}\right] + \frac{P}{12} x^3 + A x + B \quad (04)$$

Y las constantes de integración A y B, se encuentran de la evaluación de w en las condiciones de frontera descritas en la figura 32. Entonces:

$$EI w(0) = -\frac{P}{12} \left(0 - \frac{L}{4}\right)^3 E \left[0 - \frac{L}{4}\right] - \frac{P}{2} \left(0 - \frac{3L}{4}\right)^3 E \left[0 - \frac{3L}{4}\right] + \frac{P}{12} (0)^3 + A(0) + B = 0 ,$$

luego, $B = 0$.

$$EI w(L) = -\frac{27}{768} P L^3 - \frac{PL^3}{768} + \frac{PL^3}{12} + A(L) = 0$$

luego,

$$A = -\frac{3}{64} P L^2$$

Reemplazando, los valores de A y B, en la ecuación (04) y despejando $w(x)$, obtenemos:

$$w(x) = \frac{-\frac{P}{12} \left(x - \frac{L}{4}\right)^3 E \left[x - \frac{L}{4}\right] - \frac{P}{12} \left(x - \frac{3L}{4}\right)^3 E \left[x - \frac{3L}{4}\right] + \frac{P}{12} x^3 - \frac{3}{64} P L^2 x}{EI} \quad (05)$$

Recordemos que de los ensayos de flexión se han determinado valores de la deflexión de la elástica en la mitad de longitud no soportada ($w(L/2)$), para

diferentes condiciones de carga. Esto nos permite evaluar la ecuación (05) en $L/2$, con la finalidad de hallar una ecuación para el módulo de elasticidad.

Así tenemos que:

$$w_{L/2} = \frac{-\frac{P}{768}L^3 + \frac{P}{96}L^3 - \frac{3}{128}PL^3}{EI} = -\frac{11PL^3}{768EI}$$



BIBLIOTECA
TAC, INC.
MARINER

De manera que:

$$E = -\frac{11PL^3}{768 I w_{L/2}} \quad (06)$$

Y la Inercia transversal está dada por la expresión $I = \iint z^2 dA$, siendo $dA = b dz$, en el caso de una sección rectangular.

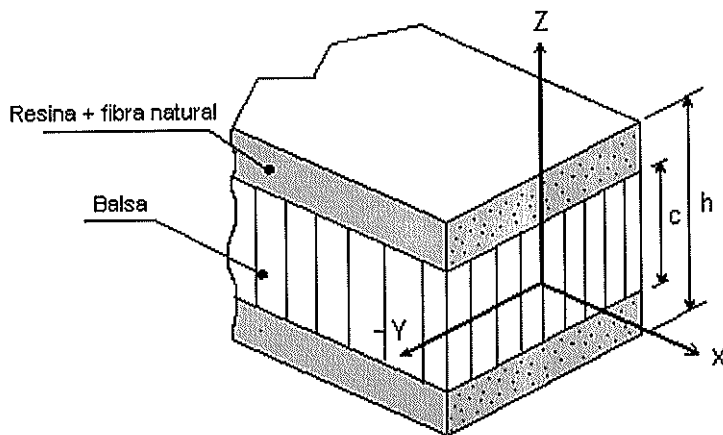


Figura 33
Corte transversal de la viga de material Sanduche

Definiendo los límites de integración de acuerdo a la sección transversal

mostrada en la figura 33, $I = 2b \int_{c/2}^{h/2} z^2 dz$, y despreciando la contribución del

material del núcleo, esto es balsa, hallamos una expresión para la inercia transversal de una viga de material sanduche:

$$I = 2b \left(\frac{h^3}{24} - \frac{c^3}{24} \right) = \frac{b}{12} (h^3 - c^3) \quad (07)$$

Reemplazando ecuación (07) en (06), hallamos la expresión que se utiliza en las pruebas de flexión:

$$E = -0.172 \frac{mL^3}{b(h^3 - c^3)} \quad (08)$$

Donde m , es la pendiente en el inicio de la curva P vs W , obtenida en la prueba de flexión.

Esta fórmula es igual a la 5b de la página 303 de la referencia [ASTM D790] excepto en la expresión para la inercia, que en nuestro caso no considera el efecto realizado por el núcleo.

Por otra parte, si evaluamos la ecuación (03) en los puntos de la viga donde se aplica la carga ($x=L/4$ y $x=3L/4$) y en los extremos de la misma, hallamos el gráfico de distribución de momento flector a lo largo de la luz no soportada de la viga de material sandwich, figura 34.

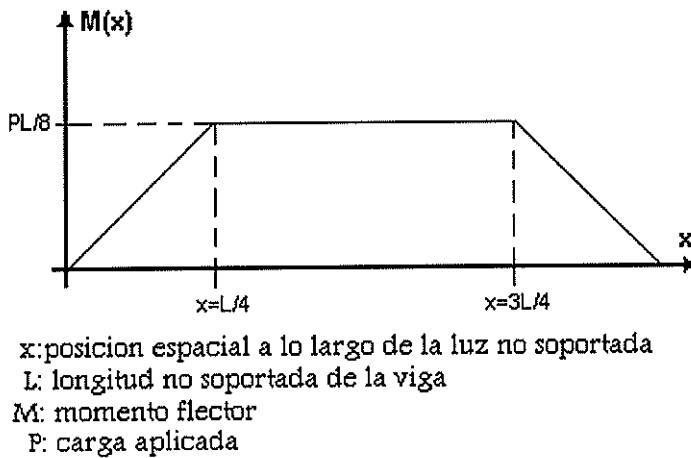


Figura 34
Distribución de Momento Flector

Expresemos el modulo de Young, en función del esfuerzo (σ_x) y deformación unitaria (ϵ_x) en sentido axial (Ley de Hooke para un material isotrópico que está soportando esfuerzo en sentido axial).

$$E = \sigma_x / \epsilon_x, \quad (09)$$

y recordemos la fórmula de la flexión elástica para una viga [6]:

$$\sigma_x = -My/I \quad (10)$$

Reemplazando la ecuación (10) en (09), obtenemos la siguiente expresión

$$E = -My / I \epsilon_x,$$

donde el valor de M en el centro de la viga $x=L/2$ es $PL/8$ (véase figura 34) y el valor de " y " es el correspondiente a la mitad de espesor de la viga ($y=h/2$), como se puede observar en el corte transversal de la viga de material sandwich presentado en la figura 33. La expresión final del Modulo de Elasticidad que se utiliza en las pruebas de flexión será de la siguiente forma:

$$E = - \frac{mLh}{16I} \quad (11)$$

Donde m , es la pendiente en el inicio de la curva P vs ϵ_x obtenida en la prueba de flexión, e I corresponde a la ecuación (07)



APENDICE 3

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

(Resumen)

PRUEBA DE TENSION HILOS DE CABUYA

BIBLIOTECA
IAG, ING.
MARILLAS

Probeta # 1

Longitud 30 mm

Diámetro 0.180 mm

P Kg	δ mm	L_o mm	A_{Trans} mm^2	ϵ	σ lbs/plg ²
0	0.000	30	0.026	0.000E+00	0
0.05	0.125	30	0.026	4.167E-03	2788
0.1	0.260	30	0.026	8.667E-03	5576
0.15	0.600	30	0.026	2.000E-02	8364

Eexp= 8.04E+05 psi

Probeta # 2

Longitud 30 mm

Diámetro 0.148 mm

P Kg	δ mm	L_o mm	A_{Trans} mm^2	ϵ	σ lbs/plg ²
0	0.00	30	0.02	0.000E+00	0
0.1	0.10	30	0.02	3.333E-03	8322
0.15	0.21	30	0.02	7.000E-03	12483
0.2	0.45	30	0.02	1.500E-02	16644
0.25	0.63	30	0.02	2.100E-02	20805

Eexp= 1.79E+06 psi

Probeta # 3

Longitud 30 mm

Diámetro 0.236 mm

P Kg	δ mm	L_o mm	A_{Trans} mm^2	ϵ	σ lbs/plg ²
0.000	0.000	30	0.044	0.000	0
0.100	0.070	30	0.044	0.002	3244
0.200	0.155	30	0.044	0.005	6488
0.250	0.200	30	0.044	0.007	8110
0.300	0.265	30	0.044	0.009	9732
0.350	0.330	30	0.044	0.011	11354
0.450	0.330	30	0.044	0.011	14598

Eexp= 1.47E+06 psi

Probeta # 4

Longitud 30 mm

Diámetro 0.133 mm

P Kg	δ mm	L _o mm	A _{Trans} mm ²	ε	σ lbs/plg ²
0.000	0.000	30	0.044	0.000E+00	0
0.100	0.055	30	0.044	1.833E-03	3244
0.200	0.120	30	0.044	4.000E-03	6488
0.250	0.185	30	0.044	6.167E-03	8110
0.300	0.240	30	0.044	8.000E-03	9732
0.350	0.300	30	0.044	1.000E-02	11354
0.450	0.470	30	0.044	1.567E-02	14598

Eexp= 4.75E+06 psi

Probeta # 5

Longitud 30 mm

Diámetro 0.206 mm

P Kg	δ mm	L _o mm	A _{Trans} mm ²	ε	σ lbs/plg ²
0.000	0.000	30	0.033	0.000E+00	0
0.250	0.120	30	0.033	4.000E-03	10640
0.350	0.180	30	0.033	6.000E-03	14897
0.450	0.250	30	0.033	8.333E-03	19153
0.550	0.330	30	0.033	1.100E-02	23409
0.600	0.410	30	0.033	1.367E-02	25537
0.650	0.490	30	0.033	1.633E-02	27665
0.700	0.770	30	0.033	2.567E-02	29793

Eexp= 2.71E+06 psi

Probetas de tela de CABUYA

	Probeta No 3	Probeta No 4	Probeta No 5	Promedio
Peso de la tela, P_T (gr)	4.6779	4.798	5.4847	4.98686667
Peso de las fibras en la direccion 1 (Hilos Gruesos) P_1 (gr)	3.39	3.2646	3.7831	3.47923333
Peso de las fibras en la direccion 2 (Hilos Finos) P_2 (gr)	1.253	1.3538	1.4357	1.3475
Area A (mm ²)	1.E+04	1.E+04	1.E+04	10000
Peso por unidad de area M_f (gr/mm ²)	4.68E-04	4.80E-04	5.48E-04	4.99E-04
Razon de las fibras en direccion 1 y 2 r	0.730	0.707	0.725	0.721



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

Cálculo de V_f (hilos de cabuya)				
	Probeta No 1	Probeta No 2	Probeta No 3	Promedio
Area=LxB	4899.9711	4853.1	4946.985	
Largo	70.17	70	70.5	
Ancho	69.83	69.33	70.17	
Espesor	4	4.68	3.38	
Densidad de la fibra	1.035E-03	1.035E-03	1.035E-03	
Peso por unidad de area	4.99E-04	4.99E-04	4.99E-04	
Peso de la fibra	2.444	2.420	2.467	
Razón de las fibras en dirección 1 y 2	0.721	0.721	0.721	
Peso de la fibra dirección 1	1.761	1.744	1.778	
Peso de la fibra dirección 2	0.683	0.676	0.689	
Area de la fibra en la sección 1	24.240	24.067	24.358	
Area de la fibra en la sección 2	9.443	9.420	9.487	
Razón de volúmen en dirección 1	0.087	0.074	0.103	0.088
Razón de volúmen en dirección 2	0.034	0.029	0.040	0.034
Razón de volúmen en matriz 1	0.913	0.926	0.897	0.912
Razón de volúmen en matriz 2	0.966	0.971	0.960	0.966

Calculo del E1 y E2

Modulo de Young de la matriz	E_m	3.50E+05	3.50E+05	
Modulo de Young de la fibra	E_f	2.30E+06	2.30E+06	
Modulo de Young direccion 1	E_1 (psi)	8.80E+05	8.53E+05	8.818E+05
Modulo de Young direccion 2	E_2 (psi)	7.93E+05	7.80E+05	7.947E+05

Calculo densidad de la fibra
 Probetas de hilo de Cabuya

	Probeta No 1	Probeta No 2	Probeta No 3	Probeta No 4	Probeta No 5	Probeta No 6	Probeta No 7	Promedio
ϕ (mm)	20.5	20.05	20.05	18.5	17	12	14	
L (mm)	22	23	18	18	17.5	12.5	11.5	
P (gr)	21	21.5	20.05	14.5	18	13.5	13	
ρ (gr/mm ³)	20	22	22	15	16	11.5	13	
	18	23	17.5	13.5	15	13	14.5	
	21	18	17	12	16	13.5	15	
	21	19.5	18	14	15	14.5	13	
	21.5	20	17	11	15	14	14	
	23.5	16.5	16.5	13	16.5	14	14	
	24.5	19.5	17	13	16.5	16.5	12	
	23	18.5	15	12	16	16	15	
	23	18	15	12	19.5	14	13.5	
	20	19.5	16	12	17.5	13.5	13	
	18	20	13	11.5	16	13	14	
	18	18	20.05	13.5	16	13.5	11	
	21.00	19.80	17.48	13.57	16.50	13.67	13.37	16.483
	200	200	200	150	200	250	200	
	0.0055	0.0047	0.0035	0.0046	0.0039	0.0038	0.0025	0.004
	0.00079397	0.00076296	0.00072951	0.00212144	0.00091196	0.00103616	0.00089079	1.035E-03



**PRUEBAS DE FLEXIÓN
MATERIAL SANDUCHE : CABUYA + Balsa**

FOLIO # 100

FOLIO # 100
FOLIO # 100

90 grados

	probeta #1	probeta #2	probeta #3
W (Kg)	ω mm	ω mm	ω mm
0	0.000	0.000	0.000
1	0.257	0.245	0.165
2	0.503	0.580	0.540
3	0.745	0.895	0.790
4	1.010	1.240	1.050
0	0.160	0.130	0.150
1	0.400	0.470	0.535
2	0.620	0.800	0.850
3	0.825	1.070	1.025
m (Lb/pl)	231.608	176.780	184.148

G.F=2.04
CARGA

DESCARGA

75. grados

	probeta #1	probeta #2	probeta #3
W (Kg)	ω mm	ω mm	ω mm
0	0.000	0.000	0.000
1	0.295	0.220	
2	0.575	0.460	
3	0.860	0.680	
4	1.160	0.961	
0	0.260	0.180	
1	0.550	0.432	
2	0.800	0.670	
3	1.020	0.840	
m (Lb/pl)	194.803	231.689	

G.F=2.07
CARGA

DESCARGA

60 grados

	probeta #1	probeta #2	probeta #3
W (Kg)	ω mm	ω mm	ω mm
0	0.000	0.000	0.000
1	0.210	0.355	0.220
2	0.480	0.690	0.482
3	0.770	0.975	0.680
4	1.150	1.330	0.950
0	0.110	0.215	0.045
1	0.410	0.630	0.440
2	0.720	0.935	0.685
3		1.170	0.890
m (Lb/pl)	198.666	167.891	215.789

G.F=2.04
CARGA

DESCARGA

45. grados

	probeta #1	probeta #2	probeta #3
W (Kg)	ω mm	ω mm	ω mm
0	0.00E+00	0.000	0.00E+00
1	0.170		
2	0.360		
3	0.560		
4	0.710		
0	0.070		
1	0.290		
2	0.470		
3	0.6		
m (Lb/pl)	306.836		

G.F=2.07
CARGA

DESCARGA

30 grados

	probeta #1	probeta #2	probeta #3
W (Kg)	ω mm	ω mm	ω mm
0	0.000	0.000	0.000
1	0.170		
2	0.310		
3	0.440		
4	0.660		
0	0.110		
1	0.280		
2	0.410		
3	0.560		
m (Lb/pl)	352.467		

G.F=2.07
CARGA

DESCARGA

15. grados

	probeta #1	probeta #2	probeta #3
W (Kg)	ω mm	ω mm	ω mm
0	0.000	0.000	0.000
1	0.135	0.160	
2	0.270	0.320	
3	0.420	0.480	
4	0.570	0.600	
0	0.110	0.200	
1	0.265	0.350	
2	0.390	0.500	
3	0.500	0.630	
m (Lb/pl)	391.356	315.532	

G.F=2.07
CARGA

DESCARGA

0 grados

	probeta #1	probeta #2	probeta #3
W (Kg)	$\omega \times 10^{-2}$ mm	$\omega \times 10^{-2}$ mm	$\omega \times 10^{-2}$ mm
0	0.000	0.000	0
1	0.080	0.230	
2	0.190	0.385	
3	0.300	0.528	
4	0.410	0.665	
0	0.040	0.295	
1	0.160	0.420	
2	0.260	0.525	
3	0.360	0.620	
m (Lb/pl)	529.521	327.911	

G.F=2.07
CARGA

DESCARGA

**CALCULO EXPERIMENTAL DEL MODULO DE ELASTICIDAD
PRUEBAS DE FLEXION - MATERIAL SANDUCHE : CABUYA + BALSA**

		Orientacion 0= 90 grados			
Constants		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	231.61	176.78	184.15	20321.9 **
Support span	L (plg)	15.75	15.75	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.98	0.94	0.98	0.98
Sandwich thickness	h (plg)	1.06	1.07	1.07	1.06
Facing thickness	f (plg)	0.13	0.12	0.11	0.13
Core thickness	c (plg)	0.80	0.83	0.84	0.80
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	2.24E+05	1.92E+05	1.97E+05	3.7E+05

		Orientacion 0= 75 grados			
Constants		P-1	P-2	P-3	P-1 **
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	194.80	231.69	dañada	16930.03
Support span	L (plg)	15.75	15.75	"	15.75
Sandwich width	b (plg)	1.02	1.02	"	1.02
Sandwich thickness	h (plg)	1.07	1.06	"	1.07
Facing thickness	f (plg)	0.13	0.11	"	0.13
Core thickness	c (plg)	0.82	0.83	"	0.82
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	1.81E+05	2.43E+05		3.0E+05

		Orientacion 0= 60 grados			
Constants		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	198.67	167.89	215.79	18339.04 **
Support span	L (plg)	15.75	15.75	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.96	1.00	0.98	0.96
Sandwich thickness	h (plg)	1.07	1.06	1.06	1.07
Facing thickness	f (plg)	0.12	0.12	0.12	0.12
Core thickness	c (plg)	0.83	0.83	0.83	0.83
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	2.06E+05	1.78E+05	2.32E+05	3.6E+05

		Orientacion 0= 45 grados			
Constants		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	306.84	dañada	dañada	20398.24 **
Support span	L (plg)	15.75	"	"	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.98	"	"	0.98
Sandwich thickness	h (plg)	1.06	"	"	1.06
Facing thickness	f (plg)	0.15	"	"	0.15
Core thickness	c (plg)	0.75	"	"	0.75
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	2.68E+05			3.4E+05

		Orientacion 0= 30 grados			
Constants		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	352.47	dañada	dañada	25090.22 **
Support span	L (plg)	15.75	"	"	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.98	"	"	0.98
Sandwich thickness	h (plg)	1.02	"	"	1.02
Facing thickness	f (plg)	0.12	"	"	0.12
Core thickness	c (plg)	0.78	"	"	0.78
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	3.92E+05			5.1E+05

		Orientacion 0= 15 grados			
Constants		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	298.07	313.37		31978.71 **
Support span	L (plg)	15.75	15.75		15.75
Sandwich width	b (plg)	0.98	0.98		0.98
Sandwich thickness	h (plg)	1.06	1.02		1.06
Facing thickness	f (plg)	0.13	0.12		0.13
Core thickness	c (plg)	0.80	0.79		0.80
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	3.91E+02	3.16E+02		6.1E+05

		Orientacion 0= 0 grados			
Constants		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	355.71	299.39	dañada	38695.91 *
Support span	L (plg)	15.75	15.75	"	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.99	0.98	"	0.99
Sandwich thickness	h (plg)	1.10	1.13	"	1.10
Facing thickness	f (plg)	0.14	0.14	"	0.14
Core thickness	c (plg)	0.82	0.85	"	0.82
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	5.30E+02	3.28E+02		6.6E+05



CALCULO EXPERIMENTAL DEL MODULO DE CORTE: CABUYA + RESINA

Orientacion 0 grados

BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

Probeta # 1

Espesor 3.14 mm
Ancho 76.8 mm
Largo 152 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	477.28	0.00
200	8	0.04	5	0.0026	80	477.28	238.35
200	14	0.07	5	0.0046	150	477.28	446.91
200	20	0.10	5	0.0065	220	477.28	655.46
200	28	0.14	5	0.0091	310	477.28	923.61
200	32	0.16	5	0.0104	350	477.28	1042.78

G_{xy exp} = 1.016E+05 psi

Probeta # 2

Espesor 3.02 mm
Ancho 76.7 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	462.06	0.00
200	4	0.02	5	0.0013	40	462.06	123.10
200	6	0.03	5	0.0020	60	462.06	184.65
200	12	0.06	5	0.0039	115	462.06	353.92
200	18	0.09	5	0.0059	180	462.06	553.95
200	26	0.13	5	0.0085	250	462.06	769.38

G_{xy exp} = 9.130E+04 psi

Probeta # 3

Espesor 3.06 mm
Ancho 76.3 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	468.18	0.00
200	10	0.05	5	0.0033	140	468.18	425.22
200	16	0.08	5	0.0052	210	468.18	637.83
200	20	0.10	5	0.0066	270	468.18	820.07
200	28	0.14	5	0.0092	340	468.18	1032.68
200	34	0.17	5	0.0111	390	468.18	1184.54

G_{xy exp} = 1.065E+05 psi

Probeta # 4

Espesor 3.27 mm
Ancho 76.8 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	500.31	0.00
200	4	0.02	5	0.0013	40	500.31	113.69
200	8	0.04	5	0.0026	80	500.31	227.38
200	16	0.08	5	0.0052	160	500.31	454.76
200	22	0.11	5	0.0072	220	500.31	625.29
200	28	0.14	5	0.0091	280	500.31	795.83

G_{xy exp} = 8.731E+04 psi

Orientacion 15 grados

Probeta # 1
Espesor 3.88 mm
Ancho 75.7 mm
Largo 152 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	V _{maq} mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	589.76	0.00
200	8	0.04	5	0.0026	100	589.76	241.12
200	16	0.08	5	0.0053	210	589.76	506.34
200	20	0.10	5	0.0066	270	589.76	651.01
200	26	0.13	5	0.0086	340	589.76	819.79
200	34	0.17	5	0.0112	420	589.76	1012.68

$G_{xy\text{ exp}} = 9.211\text{E}+04 \text{ psi}$

Probeta # 2
Espesor 3.31 mm
Ancho 76.8 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	V _{maq} mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	506.43	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	60	506.43	168.47
200	12	0.06	5	0.0039	120	506.43	336.95
200	18	0.09	5	0.0059	200	506.43	561.58
200	26	0.13	5	0.0085	320	506.43	898.52
200	34	0.17	5	0.0111	410	506.43	1151.24

$G_{xy\text{ exp}} = 1.067\text{E}+05 \text{ psi}$

Probeta # 3
Espesor 4.24 mm
Ancho 76.7 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	V _{maq} mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	648.72	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	50	648.72	109.60
200	14	0.07	5	0.0046	140	648.72	306.88
200	18	0.09	5	0.0059	180	648.72	394.56
200	22	0.11	5	0.0072	220	648.72	482.24
200	28	0.14	5	0.0091	270	648.72	591.84

$G_{xy\text{ exp}} = 6.666\text{E}+04 \text{ psi}$

Probeta # 4
Espesor 3.17 mm
Ancho 77.2 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	V _{maq} mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	485.01	0.00
200	8	0.04	5	0.0026	80	485.01	234.55
200	14	0.07	5	0.0045	150	485.01	439.78
200	18	0.09	5	0.0058	230	485.01	674.34
200	20	0.10	5	0.0065	260	485.01	762.29
200	24	0.12	5	0.0078	320	485.01	938.21

$G_{xy\text{ exp}} = 1.226\text{E}+05 \text{ psi}$

Orientacion 30 grados

Probeta # 1

Espesor 3.23 mm
Ancho 76.3 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	494.19	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	100	494.19	287.74
200	12	0.06	5	0.0039	190	494.19	546.71
200	16	0.08	5	0.0052	260	494.19	748.13
200	20	0.10	5	0.0066	330	494.19	949.55
200	24	0.12	5	0.0079	390	494.19	1122.20

$G_{xy\text{ exp}} = 1.432E+05 \text{ psi}$

Probeta # 2

Espesor 2.64 mm
Ancho 77 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	403.92	0.00
200	10	0.05	5	0.0032	90	403.92	316.84
200	14	0.07	5	0.0045	130	403.92	457.66
200	22	0.11	5	0.0071	220	403.92	774.51
200	32	0.16	5	0.0104	310	403.92	1091.35
200	38	0.19	5	0.0123	360	403.92	1267.38

$G_{xy\text{ exp}} = 1.046E+05 \text{ psi}$

Probeta # 3

Espesor 3.19 mm
Ancho 76.9 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	488.07	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	60	488.07	174.81
200	10	0.05	5	0.0033	110	488.07	320.49
200	14	0.07	5	0.0046	160	488.07	466.16
200	18	0.09	5	0.0059	220	488.07	640.97
200	24	0.12	5	0.0078	300	488.07	874.05

$G_{xy\text{ exp}} = 1.135E+05 \text{ psi}$

Probeta # 4

Espesor 3.6 mm
Ancho 77 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	550.80	0.00
200	8	0.04	5	0.0026	90	550.80	232.35
200	12	0.06	5	0.0039	140	550.80	361.44
200	16	0.08	5	0.0052	190	550.80	490.52
200	18	0.09	5	0.0058	220	550.80	567.97
200	20	0.10	5	0.0065	240	550.80	619.61

$G_{xy\text{ exp}} = 9.665E+04 \text{ psi}$



Orientacion 45 grados

BIBLIOTECA
I.T.E.S.O.
MARITIMA

Probeta # 1

Espesor 3.37 mm
Ancho 76.7 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	V _{maq} mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	515.61	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	60	515.61	165.47
200	16	0.08	5	0.0052	170	515.61	468.84
200	22	0.11	5	0.0072	230	515.61	634.32
200	28	0.14	5	0.0091	290	515.61	799.79
200	32	0.16	5	0.0104	330	515.61	910.11

$G_{xy\text{ exp}} = 8.772E+04 \text{ psi}$

Probeta # 2

Espesor 4.59 mm
Ancho 76.3 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	V _{maq} mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	702.27	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	100	702.27	202.49
200	10	0.05	5	0.0033	160	702.27	323.98
200	14	0.07	5	0.0046	220	702.27	445.47
200	24	0.12	5	0.0079	340	702.27	688.45
200	28	0.14	5	0.0092	380	702.27	769.45

$G_{xy\text{ exp}} = 8.307E+04 \text{ psi}$

Probeta # 3

Espesor 3.55 mm
Ancho 76.7 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	V _{maq} mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	543.15	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	60	543.15	157.08
200	12	0.06	5	0.0039	140	543.15	366.53
200	20	0.10	5	0.0065	240	543.15	628.33
200	26	0.13	5	0.0085	320	543.15	837.78
200	28	0.14	5	0.0091	330	543.15	863.96

$G_{xy\text{ exp}} = 9.811E+04 \text{ psi}$

Probeta # 4

Espesor 3.96 mm
Ancho 77 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	V _{maq} mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	605.88	0.00
200	6	0.03	5	0.0019	75	605.88	176.02
200	10	0.05	5	0.0032	125	605.88	293.37
200	20	0.10	5	0.0065	250	605.88	586.75
200	26	0.13	5	0.0084	335	605.88	786.24
200	30	0.15	5	0.0097	390	605.88	915.33

$G_{xy\text{ exp}} = 9.373E+04 \text{ psi}$

Orientacion 60 grados

Probeta # 1

Espesor 3.41 mm
Ancho 76.8 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	521.73	0.00
200	4	0.02	5	0.0013	55	521.73	149.91
200	8	0.04	5	0.0026	110	521.73	299.81
200	10	0.05	5	0.0033	140	521.73	381.58
200	12	0.06	5	0.0039	170	521.73	463.34
200	16	0.08	5	0.0052	220	521.73	599.62

$G_{xy \text{ exp}} = 1.163E+05 \text{ psi}$

Probeta # 2

Espesor 3.8 mm
Ancho 77 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	581.40	0.00
200	6	0.03	5	0.0019	80	581.40	195.67
200	10	0.05	5	0.0032	110	581.40	269.04
200	14	0.07	5	0.0045	170	581.40	415.79
200	20	0.10	5	0.0065	250	581.40	611.46
200	26	0.13	5	0.0084	320	581.40	782.66

$G_{xy \text{ exp}} = 9.304E+04 \text{ psi}$

Probeta # 3

Espesor 3.94 mm
Ancho 77.3 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	602.82	0.00
200	8	0.04	5	0.0026	60	602.82	141.53
200	12	0.06	5	0.0039	100	602.82	235.89
200	20	0.10	5	0.0065	160	602.82	377.43
200	30	0.15	5	0.0097	250	602.82	589.73
200	38	0.19	5	0.0123	320	602.82	754.85

$G_{xy \text{ exp}} = 6.165E+04 \text{ psi}$

Orientacion 75 grados

Probeta # 1

Espesor 3.78 mm
Ancho 76.8 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	290.30	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	40	290.30	195.93
200	20	0.10	5	0.0065	140	290.30	685.76
200	24	0.12	5	0.0078	170	290.30	832.71
200	28	0.14	5	0.0091	210	290.30	1028.65
200	36	0.18	5	0.0117	270	290.30	1322.54

$G_{xy\text{ exp}} = 2.835E+04 \text{ psi}$

Probeta # 2

Espesor 3.58 mm
Ancho 77.7 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	278.17	0.00
200	10	0.05	5	0.0032	70	278.17	357.84
200	14	0.07	5	0.0045	100	278.17	511.21
200	18	0.09	5	0.0058	130	278.17	664.57
200	22	0.11	5	0.0071	160	278.17	817.93
200	28	0.14	5	0.0090	200	278.17	1022.41

$G_{xy\text{ exp}} = 2.907E+04 \text{ psi}$

Probeta # 3

Espesor 3.66 mm
Ancho 76.7 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	280.72	0.00
200	4	0.02	5	0.0013	30	280.72	151.97
200	10	0.05	5	0.0033	70	280.72	354.59
200	14	0.07	5	0.0046	100	280.72	506.55
200	18	0.09	5	0.0059	135	280.72	683.84
200	20	0.10	5	0.0065	150	280.72	759.83

$G_{xy\text{ exp}} = 2.909E+04 \text{ psi}$



Orientacion 90 grados

BIBLIOTECA
IAC, IAG,
MARITIMA

Probeta # 1

Espesor 3.21 mm
Ancho 77 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ_{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ_{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	247.17	0.00
200	8	0.04	5	0.0026	80	247.17	460.25
200	18	0.09	5	0.0058	200	247.17	1150.63
200	22	0.11	5	0.0071	250	247.17	1438.28
200	28	0.14	5	0.0091	330	247.17	1898.53
200	34	0.17	5	0.0110	390	247.17	2243.72

$G_{xy \text{ exp}} = 5.227\text{E}+04 \text{ psi}$

Probeta # 2

Espesor 3.73 mm
Ancho 76.8 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ_{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ_{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	286.46	0.00
200	14	0.07	5	0.0046	125	286.46	620.50
200	20	0.10	5	0.0065	190	286.46	943.16
200	24	0.12	5	0.0078	250	286.46	1240.99
200	28	0.14	5	0.0091	310	286.46	1538.83
200	32	0.16	5	0.0104	360	286.46	1787.03

$G_{xy \text{ exp}} = 4.331\text{E}+04 \text{ psi}$

Probeta # 3

Espesor 3.36 mm
Ancho 76.7 mm
Largo 154 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ_{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ_{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	257.71	0.00
200	8	0.04	5	0.0026	70	257.71	386.25
200	16	0.08	5	0.0052	160	257.71	882.85
200	22	0.11	5	0.0072	240	257.71	1324.27
200	26	0.13	5	0.0085	290	257.71	1600.16
200	36	0.18	5	0.0117	390	257.71	2151.94

$G_{xy \text{ exp}} = 4.702\text{E}+04 \text{ psi}$

Probeta # 4

Espesor 2.98 mm
Ancho 76.2 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ_{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ_{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	227.08	0.00
200	12	0.06	5	0.0039	90	227.08	563.60
200	20	0.10	5	0.0066	180	227.08	1127.20
200	26	0.13	5	0.0085	240	227.08	1502.93
200	30	0.15	5	0.0098	280	227.08	1753.42
200	32	0.16	5	0.0105	300	227.08	1878.67

$G_{xy \text{ exp}} = 4.549\text{E}+04 \text{ psi}$

CALCULO DEL MODULO DE CORTE PROMEDIO PARA EL COMPUESTO: CABUYA + RESINA

Gxy experimental (psi)

Probeta #	0 grados	15 grados	30 grados	45 grados	60 grados	75 grados	90 grados
1	1.016E+05	9.211E+04	1.432E+05		1.163E+05	2.835E+04	5.227E+04
2	9.130E+04	1.067E+05	1.046E+05		9.304E+04	2.907E+04	4.331E+04
3	1.065E+05		1.135E+05	9.811E+04		2.909E+04	4.702E+04
4		1.226E+05		9.373E+04			4.549E+04
PROM =	9.981E+04	1.072E+05	1.204E+05	9.592E+04	1.047E+05	2.884E+04	4.702E+04



PRUEBA DE TENSION HILOS DE CAÑA GUADUA

BIBLIOTECA
IAC, INC.
MARILLANA

Probeta # 1

Long. efectiva 30 mm
Ancho promedio 0.365 mm
Espesor prom. 0.102 mm

P Kg	δ mm	L_o mm	A_{Trans} mm ²	ϵ	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.0372	0	0
0.10	0.020	30	0.0372	0.0007	3820
0.20	0.055	30	0.0372	0.0018	7639
0.30	0.090	30	0.0372	0.0030	11459
0.40	0.130	30	0.0372	0.0043	15278
1.10	0.350	30	0.0372	0.0117	42015
Eexp= 3.43E+06 psi					σ_{rotura}

Probeta # 2

Long. efectiva 30 mm
Ancho promedio 0.352 mm
Espesor prom. 0.236 mm

P Kg	δ mm	L_o mm	A_{Trans} mm ²	ϵ	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.0831	0	0
0.10	0.050	30	0.0831	0.0017	1712
0.20	0.110	30	0.0831	0.0037	3424
0.30	0.155	30	0.0831	0.0052	5135
0.40	0.200	30	0.0831	0.0067	6847
0.85	0.410	30	0.0831	0.0137	14550
Eexp= 1.01E+06 psi					σ_{rotura}

Probeta # 3

Long. efectiva 30 mm
Ancho promedio 0.356 mm
Espesor prom. 0.174 mm

P Kg	δ mm	L_o mm	A_{Trans} mm ²	ϵ	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.0619	0	0
0.10	0.040	30	0.0619	0.0013	2296
0.20	0.130	30	0.0619	0.0043	4591
0.30	0.185	30	0.0619	0.0062	6887
0.40	0.245	30	0.0619	0.0082	9182
1.45	0.620	30	0.0619	0.0207	33287
Eexp= 1.07E+06 psi					σ_{rotura}

Probeta # 4

Long. efectiva 30 mm
Ancho promedio 0.402 mm
Espesor prom. 0.259 mm

P Kg	δ mm	L_o mm	A_{Trans} mm ²	ϵ	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.1040	0	0
0.10	0.030	30	0.1040	0.0010	1367
0.20	0.060	30	0.1040	0.0020	2734
0.30	0.100	30	0.1040	0.0033	4100
0.40	0.130	30	0.1040	0.0043	5467
Eexp= 1.24E+06 psi					

Probeta # 5

Long. efectiva 30 mm
Ancho promedio 0.427 mm
Espesor prom. 0.344 mm

P Kg	δ mm	L_o mm	A_{Trans} mm ²	ϵ	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.1468	0	0
0.10	0.035	30	0.1468	0.0012	969
0.20	0.070	30	0.1468	0.0023	1938
0.30	0.110	30	0.1468	0.0037	2906
0.40	0.140	30	0.1468	0.0047	3875
Eexp= 8.18E+05 psi					

Probeta # 6

Long. efectiva 30 mm
Ancho promedio 0.367 mm
Espesor prom. 0.152 mm

P Kg	δ	L_o mm	A_{Trans} mm ²	ϵ	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.0557	0	0
0.10	0.110	30	0.0557	0.0037	2551
0.20	0.190	30	0.0557	0.0063	5102
0.30	0.240	30	0.0557	0.0080	7654
0.40	0.310	30	0.0557	0.0103	10205
Eexp= 1.00E+06 psi					

Probeta # 7

Long. efectiva 30 mm
Ancho promedio 0.395 mm
Espesor prom. 0.199 mm

P Kg	δ mm	L _o mm	A _{Trans} mm ²	ε	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.0786	0	0
0.10	0.070	30	0.0786	0.0023	1809
0.20	0.140	30	0.0786	0.0047	3618
0.30	0.210	30	0.0786	0.0070	5427
0.40	0.260	30	0.0786	0.0087	7236
Eexp= 8.19E+05			psi		

Probeta # 8

Long. efectiva 30 mm
Ancho promedio 0.406 mm
Espesor prom. 0.216 mm

P Kg	δ mm	L _o mm	A _{Trans} mm ²	ε	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.0877	0	0
0.10	0.100	30	0.0877	0.0033	1622
0.20	0.200	30	0.0877	0.0067	3243
0.30	0.300	30	0.0877	0.0100	4865
0.40	0.370	30	0.0877	0.0123	6486
Eexp= 5.15E+05			psi		

MODULO DE YOUNG Y ESFUERZO DE ROTURA PROMEDIO
HILOS DE CAÑA

Probeta #	E (psi)	σ _{rotura} (psi)
1	3.431E+06	42015
2	1.014E+06	14550
3	1.073E+06	33287
4	1.239E+06	
5	8.175E+05	
6	1.000E+06	
7	8.193E+05	
8	5.154E+05	
promedio =	1.239E+06	29950

DIMENSIONES PROMEDIOS DE LOS HILOS DE CAÑA

ANCHO (mm)

fibra 1	fibra 2	fibra 3	fibra 4	fibra 5	fibra 6	fibra 7	fibra 8	fibra 9	fibra 10	fibra 11	fibra 12
2.53	1.73	1.78	2.37	2.15	2.09	2.04	2.62	2.37	2.12	1.82	2.62
2.43	1.49	2.04	2.43	2.32	2.02	1.97	2.48	2.24	2.25	2.06	2.39
2.41	1.79	2.08	2.7	2.45	1.86	1.96	2.47	2.26	2.15	1.66	2.38
2.46	1.67	1.97	2.50	2.31	1.99	1.99	2.52	2.29	2.17	1.85	2.46

ESPESOR(mm)

fibra 1	fibra 2	fibra 3	fibra 4	fibra 5	fibra 6	fibra 7	fibra 8	fibra 9	fibra 10	fibra 11	fibra 12
2.09	1.57	1.60	1.74	1.7	1.83	1.7	1.86	1.37	1.65	1.71	1.53
1.86	1.62	1.69	1.75	1.63	1.96	1.78	1.84	1.35	1.69	1.7	1.71
1.7	1.49	1.81	1.74	1.62	2.02	1.94	1.94	1.5	1.67	1.79	1.63
1.88	1.56	1.70	1.74	1.65	1.94	1.81	1.88	1.41	1.67	1.73	1.62



BIBLIOTECA
NACIONAL
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ecuador
1959

CALCULO DE LA DENSIDAD PROMEDIO DE LA CAÑA GUADUA

fibra #	masa(gr)	L (mm)	ancho(mm)	espesor(mm)	V (mm ³)	ρ (gr/cm ³)
1	0.3320	50	2.46	1.88	231.2	1.436
2	0.1468	50	1.67	1.56	130.3	1.127
3	0.1847	50	1.97	1.7	167.5	1.103
4	0.3488	50	2.5	1.74	217.5	1.604
5	0.2831	50	2.31	1.65	190.6	1.486
6	0.1667	50	1.99	1.94	193.0	0.864
7	0.3279	50	1.99	1.81	180.1	1.821
8	0.2972	50	2.52	1.88	236.9	1.255
9	0.2328	50	2.29	1.41	161.4	1.442
10	0.3257	50	2.17	1.67	181.2	1.798
11	0.2239	50	1.85	1.73	160.0	1.399
12	0.3208	50	2.46	1.62	199.3	1.610
m total =	3.1904				promedio =	1.412

PRUEBAS DE FLEXIÓN
MATERIAL SANDUCHE : CAÑA GUADUA + Balsa

0 grados					G.F=2.07
	canal 2	canal 3	polsson	reloj	
W (kg)	$\epsilon_{y=transv}$	$\epsilon_{x=long}$	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA
1	0	-9.0E-05	0.000	0.03	
2	7.0E-05	-1.3E-04	0.538	0.09	
3	9.0E-05	-1.6E-04	0.563	0.20	
4	1.2E-04	-1.9E-04	0.632	0.30	DESCARGA
0	8.0E-05	-9.0E-05	0.889	0.17	
1	9.0E-05	-1.2E-04	0.750	0.23	
2	1.0E-04	-1.5E-04	0.667	0.29	
3	1.1E-04	-1.7E-04	0.647	0.30	
m=W / u (lb)	4.76E+04	-4.76E+04	0.521	449.45	
				m(lb/pulg)	

15 grados					G.F=2.11
	canal 2	canal 3	polsson	reloj	
W (kg)	$\epsilon_{y=transv}$	$\epsilon_{x=long}$	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA
1	0	-7.0E-05	0	0.03	
2	7.00E-05	-1.5E-04	0.467	0.10	
3	1.20E-04	-2.2E-04	0.545	0.22	
4	1.70E-04	-2.9E-04	0.586	0.33	DESCARGA
0	3.00E-05	-4.0E-05	0.750	0	
1	6.00E-05	-9.0E-05	0.667	0.11	
2	1.00E-04	-1.6E-04	0.625	0.24	
3	1.30E-04	-1.5E-04	0.867	0.25	
m=W / u (lb)	4.85E+04	-3.26E+04	0.501	601.42	
				m(lb/pulg)	

30 grados					G.F=2.045
	canal 2	canal 3	polsson	reloj	
W (kg)	$\epsilon_{y=transv}$	$\epsilon_{x=long}$	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA
1	2.00E-05	-4.00E-05	0.500	0.02	
2	4.00E-05	-9.00E-05	0.444	0.19	
3	7.00E-05	-1.40E-04	0.500	0.51	
4	9.00E-05	-1.90E-04	0.474	0.84	DESCARGA
0	0	0	0	0.24	
1	3.00E-05	-6.00E-05	0.500	0.54	
2	6.00E-05	-1.10E-04	0.545	0.76	
3	8.00E-05	-1.60E-04	0.500	0.84	
m=W / u (lb)	8.98E+04	-4.46E+04	0.385	175.84	
				m(lb/pulg)	

45 grados					G.F=2.045
	canal 2	canal 3	polsson	reloj	
W (kg)	$\epsilon_{y=transv}$	$\epsilon_{x=long}$	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA
1	4.00E-05	-7.00E-05	0.571	0.28	
2	6.00E-05	-1.60E-04	0.375	0.60	
3	1.00E-04	-2.50E-04	0.400	0.91	
4	1.20E-04	-3.20E-04	0.375	1.19	DESCARGA
0	0	-2.00E-05	0	0.29	
1	2.00E-05	-1.00E-04	0	0.66	
2	7.00E-05	-1.90E-04	0.368	0.92	
3	1.00E-04	-2.60E-04	0.385	1.13	
m=W / u (lb)	6.80E+04	-2.72E+04	0.275	175.02	
				m(lb/pulg)	

60 grados					G.F=2.045
	canal 2	canal 3	polsson	reloj	
W (kg)	$\epsilon_{y=transv}$	$\epsilon_{x=long}$	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA
1	2.00E-05	-7.00E-05	0.286	0.49	
2	5.00E-05	-1.70E-04	0.294	1.03	
3	9.00E-05	-2.80E-04	0.321	1.63	
4	1.30E-04	-3.70E-04	0.351	2.24	DESCARGA
0	0.00E+00	-4.00E-05	0.000	0.31	
1	5.00E-05	-1.30E-04	0.385	0.98	
2	9.00E-05	-2.40E-04	0.375	1.57	
3	1.10E-04	-3.30E-04	0.333	2.02	
m=W / u (lb)	6.18E+04	-2.27E+04	0.261	95.89	
				m(lb/pulg)	

75 grados					G.F=2.045
	canal 2	canal 3	polsson	reloj	
W (kg)	$\epsilon_{y=transv}$	$\epsilon_{x=long}$	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA
1	1.00E-05	-5.00E-05	0.200	0.65	
2	3.00E-05	-1.00E-04	0.300	1.78	
3	6.00E-05	-2.00E-04	0.300	3.04	
4	8.00E-05	-3.00E-04	0.267	4.85	DESCARGA
0	1.00E-05	-4.00E-05	0.250	1.80	
1	3.00E-05	-1.00E-04	0.300	3.54	
2	5.00E-05	-2.00E-04	0.250	4.16	
3	7.00E-05	-3.00E-04	0.233	4.73	
m=W / u (lb)	1.03E+05	-2.57E+04	0.233	34.13	
				m(lb/pulg)	

90 grados					G.F=2.045
	canal 2	canal 3	polsson	reloj	
W (kg)	$\epsilon_{y=transv}$	$\epsilon_{x=long}$	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA
1	2.00E-05	-6.00E-05	0.333	0.48	
2	6.00E-05	-1.50E-04	0.400	1.34	
3	9.00E-05	-3.20E-04	0.281	2.38	
4	1.20E-04	-5.20E-04	0.231	3.42	DESCARGA
0	0.00E+00	-1.10E-04	0.000	0.00	
1	7.00E-05	-2.56E-04	0.273	1.15	
2	1.00E-04	-3.70E-04	0.270	2.05	
3	1.20E-04	-4.60E-04	0.261	2.43	
m=W / u (lb)	5.85E+04	-1.49E+04	0.228	64.20	
				m(lb/pulg)	

**CALCULO EXPERIMENTAL DEL MODULO DE ELASTICIDAD
PRUEBAS DE FLEXION - MATERIAL SANDUCHE : CAÑA + Balsa**

Orientación $\theta = 0$ grados

Constants	Units	Ex (w)	Ex (ϵ_x)
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	449.45	47584.5
Support span	L (plg)	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.91	0.91
Sandwich thickness	h (plg)	1.06	1.06
Facing thickness	f (plg)	0.26	0.26
Core thickness	c (plg)	0.54	0.54
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	3.17E+05	6.33E+05



BIBLIOTECA
IAC, INC.
KAGUAAA

Orientación $\theta = 15$ grados

Constants	Units	Ex (w)	Ex (ϵ_x)
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	601.42	32604.42
Support span	L (plg)	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.98	0.98
Sandwich thickness	h (plg)	1.10	1.10
Facing thickness	f (plg)	0.26	0.26
Core thickness	c (plg)	0.58	0.58
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	3.59E+05	3.81E+05

Orientación $\theta = 30$ grados

Constants	Units	Ex (w)	Ex (ϵ_x)
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	175.84	44598.45
Support span	L (plg)	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	1.02	1.02
Sandwich thickness	h (plg)	1.10	1.10
Facing thickness	f (plg)	0.22	0.22
Core thickness	c (plg)	0.66	0.66
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	1.10E+05	5.44E+05

Orientación $\theta = 45$ grados

Constants	Units	Ex (w)	Ex (ϵ_x)
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	175.02	27180.28
Support span	L (plg)	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.98	0.98
Sandwich thickness	h (plg)	1.10	1.10
Facing thickness	f (plg)	0.26	0.26
Core thickness	c (plg)	0.58	0.58
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	1.04E+05	3.16E+05

Orientación $\theta=60$ grados

Constants	Units	Ex (w)	Ex (ϵ_x)
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	95.89	22737.96
Support span	L (plg)	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.98	0.98
Sandwich thickness	h (plg)	1.02	1.02
Facing thickness	f (plg)	0.24	0.24
Core thickness	c (plg)	0.54	0.54
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	7.19E+04	3.09E+05

Orientación $\theta=75$ grados

Constants	Units	Ex (w)	Ex (ϵ_x)
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	34.13	25710.18
Support span	L (plg)	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	1.02	1.02
Sandwich thickness	h (plg)	1.02	1.02
Facing thickness	f (plg)	0.20	0.20
Core thickness	c (plg)	0.62	0.62
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	2.70E+04	3.69E+05

Orientación $\theta=90$ grados

Constants	Units	Ex (w)	Ex (ϵ_x)
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	64.20	14862.95
Support span	L (plg)	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.98	0.98
Sandwich thickness	h (plg)	0.98	0.98
Facing thickness	f (plg)	0.20	0.20
Core thickness	c (plg)	0.58	0.58
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	5.83E+04	2.35E+05

Calculo densidad de la fibra				
Probetas de hilo de Yute				
	Probeta No 1	Probeta No 2	Probeta No 3	Promedio
$\phi_{\text{típico}}$ (mm)	0.056	0.056	0.056	
L (mm)	1000	1000	1000	
P (gr)	0.0281	0.0389	0.0392	
No Fibras	96	149	157	
Vol (mm ³)	236.448829	366.988287	386.692357	
ρ (gr/mm ³)	1.188E-04	1.060E-04	1.014E-04	1.087E-04



BIBLIOTECA
IAC, ING.
MARITIMA

Cálculo de V_f (HILOS DE YUTE)

	Probeta No 1	Probeta No 2	Probeta No 3	Probeta No 4	Probeta No 5
Area=LxB	4830.2211	4851.1221	4865.0561	4865.0561	4807.23
Largo	69.33	69.67	69.67	69.67	69.67
Ancho	69.67	69.63	69.83	69.83	69
Espesor	3.874	2.728	2.04	2.07	2.974
Densidad de la fibra	1.087E-04	1.087E-04	1.087E-04	1.087E-04	1.087E-04
Peso por unidad de area	2.59E-04	2.59E-04	2.59E-04	2.59E-04	2.59E-04
Peso de la fibra	1.252	1.257	1.261	1.261	1.246
Razón de las fibras en dirección 1 y 2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Peso de la fibra dirección 1	0.626	0.628	0.630	0.630	0.623
Peso de la fibra dirección 2	0.626	0.628	0.630	0.630	0.623
Area de la fibra en la sección 1	83.008	82.960	83.198	83.198	82.209
Area de la fibra en la sección 2	82.603	83.008	83.008	83.008	83.008
Razón de volúmen en dirección 1	0.308	0.437	0.584	0.576	0.401
Razón de volúmen en dirección 2	0.308	0.437	0.584	0.576	0.401
Razón de volúmen en matriz 1	0.692	0.563	0.416	0.424	0.599
Razón de volúmen en matriz 2	0.692	0.563	0.416	0.424	0.599

Calculo del E1 y E2

Modulo de Young de la matriz	E_m	3.42E+05	3.42E+05	3.42E+05	3.42E+05
Modulo de Young de la fibra	E_f	9.30E+05	8.10E+05	6.80E+05	6.90E+05
Modulo de Young direccion 1	E_1 (psi)	9.48E+05	1.00E+06	1.02E+06	9.10E+05
Modulo de Young direccion 2	E_2 (psi)	9.48E+05	1.00E+06	1.02E+06	9.10E+05

Probetas de tela de YUTE

	Probeta No 1	Probeta No 2	Probeta No 3	Probeta No 4	Promedio
Peso de la tela. P_T (gr)	2.6652	2.649	2.5424	2.43	2.5717
Peso de las fibras en la direccion 1 (Hilos Gruesos) P_1 (gr)	1.3326	1.3245	1.2712	1.215	1.2858
Peso de las fibras en la direccion 2 (Hilos Finos) P_2 (gr)	1.3326	1.3245	1.2712	1.215	1.2858
Area A (mm ²)	1.E+04	1.E+04	1.E+04	1.E+04	9.9E+03
Peso por unidad de area M_f (gr/mm ²)	2.67E-04	2.65E-04	2.54E-04	2.51E-04	2.59E-04
Razon de las fibras en direccion 1 y 2 r	0.500	0.500	0.500	0.500	0.5000

**Probeta # 4**

Longitud 30 mm
mecha 67 hilos
Diámetro 1 hilo 5.6E-02 mm

BIBLIOTECA
140. 140.
MATERIA

P Kg	δ mm	L_o mm	A_{Trans} mm^2	ϵ	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.162	0	0
0.250	0.120	30	0.162	4.0E-03	2193
0.350	0.150	30	0.162	5.0E-03	3071
0.450	0.180	30	0.162	6.0E-03	3948
0.550	0.210	30	0.162	7.0E-03	4825
0.600	0.230	30	0.162	7.7E-03	5264
0.650	0.250	30	0.162	8.3E-03	5702
1.5			0.137		15569
Eexp= 5.00E+05 psi					σ_{rotura}

Probeta # 5

Longitud 30 mm
mecha 64 hilos
Diámetro 1 hilo 5.5E-02 mm

P Kg	δ mm	L_o mm	A_{Trans} mm^2	ϵ	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.162	0.0E+00	0
0.100	0.040	30	0.162	1.3E-03	879
0.200	0.080	30	0.162	2.7E-03	1757
0.300	0.120	30	0.162	4.0E-03	2636
0.350	0.140	30	0.162	4.7E-03	3076
0.400	0.160	30	0.162	5.3E-03	3515
0.450	0.185	30	0.162	6.2E-03	3954
1.1			0.137		11418
Eexp= 6.90E+05 psi					σ_{rotura}

**MODULO DE YOUNG Y ESFUERZO DE ROTURA PROMEDIO
HILOS DE YUTE**

Probeta #	E (psi)	σ_{rotura} (psi)	ϵ_{rotura}
1	9.30E+05	1.29E+04	1.387E-02
2	8.10E+05	1.24E+04	1.535E-02
3	6.80E+05	3.52E+03	5.169E-03
4	5.00E+05	1.32E+04	2.632E-02
5	6.90E+05	1.01E+04	1.469E-02
promedio =	7.220E+05	1.043E+04	1.445E-02

PRUEBA DE TENSION HILOS DE YUTE

Probeta # 1

Longitud 30 mm
mecha 62 hilos
Diámetro 1 hilo 5.7E-02 mm

P Kg	δ mm	L _o mm	A _{Trans} mm ²	ε	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.160	0	0
0.100	0.030	30	0.160	1.00E-03	889
0.200	0.060	30	0.160	2.00E-03	1779
0.300	0.100	30	0.160	3.33E-03	2668
0.350	0.125	30	0.160	4.17E-03	3113
0.400	0.145	30	0.160	4.83E-03	3558
0.450	0.165	30	0.160	5.50E-03	4002
1.45			0.160		12897
Eexp= 9.30E+05 psi					σ _{rotura}

Probeta # 2

Longitud 30 mm
mecha 63 hilos
Diámetro 1 hilo 5.3E-02 mm

P Kg	δ mm	L _o mm	A _{Trans} mm ²	ε	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.137	0	0
0.250	0.100	30	0.137	3.3E-03	2591
0.350	0.135	30	0.137	4.5E-03	3627
0.450	0.170	30	0.137	5.7E-03	4664
0.500	0.185	30	0.137	6.2E-03	5182
0.550	0.210	30	0.137	7.0E-03	5700
0.600	0.230	30	0.137	7.7E-03	6218
1.2			0.137		12455
Eexp= 8.10E+05 psi					σ _{rotura}

Probeta # 3

Longitud 30 mm
mecha 72 hilos
Diámetro 1 hilo 5.7E-02 mm

P Kg	δ mm	L _o mm	A _{Trans} mm ²	ε	σ lbs/plg ²
0	0	30	0.182	0	0
0.050	0.025	30	0.182	8.3E-04	391
0.100	0.035	30	0.182	1.2E-03	781
0.150	0.050	30	0.182	1.7E-03	1172
0.250	0.090	30	0.182	3.0E-03	1953
0.350	0.150	30	0.182	5.0E-03	2734
0.450	0.170	30	0.182	5.7E-03	3515
1.45			0.137		15050
Eexp= 6.80E+05 psi					σ _{rotura}



PRUEBAS DE FLEXIÓN
MATERIAL SANDUCHE : YUTE + Balsa

BIBLIOTECA
NAC. IND.
MARITIMA

0 grados					G.F=2.03	15 grados					G.F=2.04
canal 2	canal 3	poisson	reloj			canal 2	canal 3	poisson	reloj		
W (kg)	$\epsilon_{y-transv}$	ϵ_{x-long}	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)		W (kg)	$\epsilon_{y-transv}$	ϵ_{x-long}	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA	0	0	0	0	0	CARGA
1	4.0E-05	-1.0E-04	4.0E-01	1.4E-01		1	3.0E-05	-1.4E-04	2.1E-01	2.0E-01	
2	6.0E-05	-1.7E-04	3.5E-01	2.8E-01		2	6.0E-05	-2.5E-04	2.4E-01	4.0E-01	
3	8.0E-05	-2.1E-04	3.8E-01	4.2E-01		3	8.2E-05	-3.6E-04	2.3E-01	5.8E-01	
4	1.1E-04	-2.9E-04	3.8E-01	5.4E-01	DESCARGA	4	1.2E-04	-4.7E-04	2.5E-01	7.5E-01	DESCARGA
0	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	5.5E-02		0	0.0E+00	-5.2E-05	0.0E+00	1.6E-01	
1	2.0E-05	-9.0E-05	2.2E-01	2.1E-01		1	3.4E-05	-1.8E-04	1.9E-01	3.4E-01	
2	6.0E-05	-1.7E-04	3.5E-01	3.4E-01		2	6.6E-05	-3.0E-04	2.2E-01	5.0E-01	
3	1.0E-04	-2.2E-04	4.5E-01	4.6E-01		3	9.8E-05	-4.1E-04	2.4E-01	6.5E-01	
m=W / ω (lb)	7.45E+04	-3.07E+04	0.283	415.24		m=W / ω (lb)	7.45E+04	-1.90E+04	0.176	306.88	
				m(lb/pulg)						m(lb/pulg)	

30 grados					G.F=2.03	45 grados					G.F=2.05
canal 2	canal 3	poisson	reloj			canal 2	canal 3	poisson	reloj		
W (kg)	$\epsilon_{y-transv}$	ϵ_{x-long}	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)		W (kg)	$\epsilon_{y-transv}$	ϵ_{x-long}	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA	0	0	0	0	0	CARGA
1	3.0E-05	-7.0E-05	4.3E-01	1.6E-01		1	6.0E-05	-1.0E-04	6.0E-01	1.6E-01	
2	4.0E-05	-1.5E-04	2.7E-01	1.9E-01		2	9.0E-05	-2.0E-04	4.5E-01	3.5E-01	
3	5.0E-05	-2.1E-04	2.4E-01	4.5E-01		3	1.1E-04	-3.2E-04	3.4E-01	5.8E-01	
4	8.0E-05	-3.5E-04	2.3E-01	6.1E-01	DESCARGA	4	1.4E-04	-4.0E-04	3.5E-01	7.8E-01	DESCARGA
0	0.0E+00	9.0E-05	0.0E+00	5.5E-02		0	0.0E+00	-4.0E-05	0.0E+00	6.0E-02	
1	2.0E-05	0.0E+00		2.1E-01		1	5.0E-05	-1.5E-04	3.3E-01	2.7E-01	
2	4.0E-05	-1.2E-04	3.3E-01	3.4E-01		2	8.0E-05	-2.5E-04	3.2E-01	4.6E-01	
3	9.0E-05	-2.5E-04	3.6E-01	4.6E-01		3	1.2E-04	-3.0E-04	4.0E-01		
m=W / ω (lb)	9.16E+04	-2.15E+04	0.232	374.65		m=W / ω (lb)	6.08E+04	-2.26E+04	0.311	291.85	
				m(lb/pulg)						m(lb/pulg)	

60 grados					G.F=2.04	75 grados					G.F=2.04
canal 2	canal 3	poisson	reloj			canal 2	canal 3	poisson	reloj		
W (kg)	$\epsilon_{y-transv}$	ϵ_{x-long}	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)		W (kg)	$\epsilon_{y-transv}$	ϵ_{x-long}	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA	0	0	0	0	0	CARGA
1	4.00E-05	-1.30E-04	3.1E-01	1.0E-01		1	3.00E-05	-1.30E-04	2.3E-01	1.18E-01	
2	7.00E-05	-2.50E-04	2.8E-01	2.7E-01		2	4.00E-05	-2.20E-04	1.8E-01	2.80E-01	
3	1.10E-04	-3.80E-04	2.9E-01	4.4E-01		3	7.00E-05	-3.20E-04	2.2E-01	5.20E-01	
4	1.40E-04	-5.10E-04	2.7E-01	6.6E-01	DESCARGA	4	1.10E-04	-4.20E-04	2.6E-01	6.97E-01	DESCARGA
0	-2.00E-05	-8.00E-05	-2.5E-01	1.2E-01		0	1.00E-05	-1.00E-04	1.0E-01	1.30E-01	
1	3.00E-05	-2.20E-04	1.4E-01	2.9E-01		1	4.00E-05	-2.00E-04	2.0E-01	3.00E-01	
2	7.00E-05	-3.40E-04	2.1E-01	4.2E-01		2	7.00E-05	-2.90E-04	2.4E-01	4.90E-01	
3	1.20E-04	-4.50E-04	2.7E-01	5.9E-01		3	1.00E-04	-3.80E-04	2.6E-01	6.40E-01	
m=W / ω (lb)	5.56E+04	-1.73E+04	0.168	324.74		m=W / ω (lb)	7.72E+04	-2.14E+04	0.189	298.07	
				m(lb/pulg)						m(lb/pulg)	

90 grados					G.F=2.04
canal 2	canal 3	poisson	reloj		
W (kg)	$\epsilon_{y-transv}$	ϵ_{x-long}	$\nu = -\epsilon_y/\epsilon_x$	ω (mm)	
0	0	0	0	0	CARGA
1	4.00E-05	-1.20E-04	3.3E-01	1.5E-01	
2	5.00E-05	-2.20E-04	2.3E-01	3.1E-01	
3	8.00E-05	-3.30E-04	2.4E-01	4.7E-01	
4	1.10E-04	-4.30E-04	2.6E-01	6.3E-01	DESCARGA
0	-2.00E-05	-5.00E-05	-4.0E-01	9.0E-02	
1	2.00E-05	-1.70E-04	1.2E-01	2.6E-01	
2	6.00E-05	-2.90E-04	2.1E-01	4.2E-01	
3	9.00E-05	-3.80E-04	2.4E-01	5.5E-01	
m=W / ω (lb)	7.05E+04	-2.03E+04	0.136	355.71	
				m(lb/pulg)	

**CALCULO EXPERIMENTAL DEL MODULO DE ELASTICIDAD
PRUEBAS DE FLEXION - MATERIAL SANDUCHE : YUTE + Balsa**

Constants		Orientacion 0= 0 grados			
		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	415.24	376.63	389.88	30683.7 **
Support span	L (plg)	15.75	15.75	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	1.00	0.98	0.98	1.00
Sandwich thickness	h (plg)	1.16	1.18	1.18	1.16
Facing thickness	f (plg)	0.07	0.09	0.09	0.07
Core thickness	c (plg)	1.01	1.00	1.00	1.01
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	5.19E+05	4.00E+05	4.14E+05	7.9E+05

Constants		Orientacion 0= 15 grados			
		P-1	P-2	P-3	P-3 **
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	334.25	319.58	306.88	18975.86
Support span	L (plg)	15.75	15.75	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	1.00	0.98	0.94	0.94
Sandwich thickness	h (plg)	1.11	1.10	1.14	1.14
Facing thickness	f (plg)	0.05	0.06	0.06	0.06
Core thickness	c (plg)	1.01	0.99	1.02	1.02
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	6.65E+05	5.94E+05	5.04E+05	6.3E+05

Constants		Orientacion 0= 30 grados			
		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	374.65	309.42	303.61	21535.07 **
Support span	L (plg)	15.75	15.75	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	1.00	1.00	0.98	1.00
Sandwich thickness	h (plg)	1.14	1.13	1.11	1.14
Facing thickness	f (plg)	0.07	0.06	0.06	0.07
Core thickness	c (plg)	1.00	1.01	0.99	1.00
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	5.22E+05	4.85E+05	5.23E+05	6.1E+05

Constants		Orientacion 0= 45 grados			
		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	291.85	314.73	303.79	22550.75 **
Support span	L (plg)	15.75	15.75	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.98	0.98	0.98	0.98
Sandwich thickness	h (plg)	1.14	1.14	1.14	1.14
Facing thickness	f (plg)	0.06	0.06	0.07	0.06
Core thickness	c (plg)	1.02	1.02	1.00	1.02
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	4.47E+05	5.16E+05	4.32E+05	7.0E+05



BIBLIOTECA
141.180.
10/01/1988

Constants		Orientacion $\theta=60$ grados			
		P-1	P-2	P-3	P-2
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	461.29	324.74	278.47	17276.76 **
Support span	L (plg)	15.75	15.75	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.96	1.02	0.95	1.02
Sandwich thickness	h (plg)	1.13	1.14	1.13	1.14
Facing thickness	f (plg)	0.06	0.07	0.07	0.07
Core thickness	c (plg)	1.00	1.00	0.98	1.00
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	7.43E+05	4.42E+05	3.85E+05	4.8E+05

Constants		Orientacion $\theta=75$ grados			
		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	298.07	313.37	397.96	21420.83 **
Support span	L (plg)	15.75	15.75	15.75	15.75
Sandwich width	b (plg)	0.96	0.98	0.98	0.96
Sandwich thickness	h (plg)	1.14	1.14	1.14	1.14
Facing thickness	f (plg)	0.07	0.06	0.06	0.07
Core thickness	c (plg)	0.99	1.02	1.02	0.99
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	4.01E+05	4.94E+05	6.46E+05	5.9E+05

Constants		Orientacion $\theta=90$ grados			
		P-1	P-2	P-3	P-1
Slope of the load - deflection curve	m (lb/plg)	355.71	299.39		20267.56 *
Support span	L (plg)	15.75	15.75		15.75
Sandwich width	b (plg)	0.94	0.98	dañada	0.94
Sandwich thickness	h (plg)	1.13	1.13		1.13
Facing thickness	f (plg)	0.07	0.06		0.07
Core thickness	c (plg)	1.00	1.01		1.00
Modulus of elasticity in bending	E (psi)	5.32E+05	4.79E+05		6.1E+05

CALCULO EXPERIMENTAL DEL MODULO DE CORTE: YUTE + RESINA

Orientacion 0 grados

Probeta # 1

Espesor 3.112 mm
Ancho 76.33 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	476.14	0.00
200	12	0.06	5	0.0039	120	476.14	358.38
200	16	0.08	5	0.0052	170	476.14	507.71
200	20	0.10	5	0.0066	220	476.14	657.04
200	24	0.12	5	0.0079	270	476.14	806.37
200	28	0.14	5	0.0092	320	476.14	955.69

G_{xy}_{exp}= 1.047E+05 psi

Probeta # 2

Espesor 3.108 mm
Ancho 76.5 mm
Largo 152.3 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	473.35	0.00
200	4	0.02	5	0.0013	50	473.35	150.21
200	8	0.04	5	0.0026	110	473.35	330.45
200	12	0.06	5	0.0039	170	473.35	510.70
200	14	0.07	5	0.0046	210	473.35	630.87
200	18	0.09	5	0.0059	275	473.35	826.14

G_{xy}_{exp}= 1.414E+05 psi

Probeta # 3

Espesor 2.512 mm
Ancho 76.83 mm
Largo 152.3 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	382.58	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	55	382.58	204.43
200	12	0.06	5	0.0039	120	382.58	446.03
200	16	0.08	5	0.0052	150	382.58	557.53
200	20	0.10	5	0.0065	180	382.58	669.04
200	26	0.13	5	0.0085	215	382.58	799.13

G_{xy}_{exp}= 9.644E+04 psi

Probeta # 4

Espesor 2.453 mm
Ancho 76.83 mm
Largo 152.7 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	374.57	0.00
200	4	0.02	5	0.0013	30	374.57	113.89
200	8	0.04	5	0.0026	60	374.57	227.78
200	12	0.06	5	0.0039	90	374.57	341.67
200	18	0.09	5	0.0059	140	374.57	531.49
200	20	0.10	5	0.0065	160	374.57	607.41

G_{xy}_{exp}= 9.263E+04 psi



Orientacion 16 grados

Probeta # 1

Espesor 2.925 mm
Ancho 76.17 mm
Largo 152.3 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	445.48	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	50	445.48	159.60
200	16	0.08	5	0.0053	150	445.48	478.81
200	20	0.10	5	0.0066	210	445.48	670.34
200	22	0.11	5	0.0072	240	445.48	766.10
200	24	0.12	5	0.0079	270	445.48	861.86

Gxy_{exp} = 1.089E+05 psi

Probeta # 2

Espesor 3.135 mm
Ancho 77 mm
Largo 152.3 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	477.46	0.00
200	8	0.04	5	0.0026	70	477.46	208.48
200	14	0.07	5	0.0045	130	477.46	387.17
200	18	0.09	5	0.0058	170	477.46	506.30
200	24	0.12	5	0.0078	240	477.46	714.78
200	30	0.15	5	0.0097	310	477.46	923.26

Gxy_{exp} = 9.506E+04 psi

Probeta # 3

Espesor 2.925 mm
Ancho 75.83 mm
Largo 152.3 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	445.48	0.00
200	2	0.01	5	0.0007	20	445.48	63.84
200	6	0.03	5	0.0020	60	445.48	191.52
200	10	0.05	5	0.0033	100	445.48	319.21
200	14	0.07	5	0.0046	150	445.48	478.81
200	18	0.09	5	0.0059	200	445.48	638.42

Gxy_{exp} = 1.068E+05 psi

Probeta # 4

Espesor 2.662 mm
Ancho 76.17 mm
Largo 152.2 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	405.16	0.00
200	4	0.02	5	0.0013	30	405.16	105.29
200	10	0.05	5	0.0033	80	405.16	280.78
200	14	0.07	5	0.0046	120	405.16	421.17
200	20	0.10	5	0.0066	185	405.16	649.30
200	28	0.14	5	0.0092	260	405.16	912.54

Gxy_{exp} = 1.009E+05 psi

Orientacion 30 grados

Probeta # 1

Espesor 2.318 mm
Ancho 77 mm
Largo 152.8 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	354.19	0.00
200	4	0.02	5	0.0013	17.5	354.19	70.26
200	12	0.06	5	0.0039	52.5	354.19	210.78
200	18	0.09	5	0.0058	77.5	354.19	311.15
200	24	0.12	5	0.0078	102.5	354.19	411.52
200	26	0.13	5	0.0084	112.5	354.19	451.66

$G_{xy\text{ exp}} = 5.311E+04 \text{ psi}$

Probeta # 2

Espesor 3.523 mm
Ancho 77 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	539.02	0.00
200	6	0.03	5	0.0019	55	539.02	145.10
200	12	0.06	5	0.0039	115	539.02	303.38
200	20	0.10	5	0.0065	200	539.02	527.63
200	26	0.13	5	0.0084	260	539.02	685.91
200	32	0.16	5	0.0104	320	539.02	844.20

$G_{xy\text{ exp}} = 8.202E+04 \text{ psi}$

Probeta # 3

Espesor 2.707 mm
Ancho 76 mm
Largo 152.3 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	412.28	0.00
200	8	0.04	5	0.0026	60	412.28	206.95
200	14	0.07	5	0.0046	115	412.28	396.65
200	22	0.11	5	0.0072	220	412.28	758.81
200	32	0.16	5	0.0105	320	412.28	1103.73
200	42	0.21	5	0.0138	400	412.28	1379.66

$G_{xy\text{ exp}} = 1.042E+05 \text{ psi}$

Probeta # 4

Espesor 2.603 mm
Ancho 76.33 mm
Largo 153 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	398.26	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	50	398.26	178.53
200	12	0.06	5	0.0039	100	398.26	357.05
200	18	0.09	5	0.0059	150	398.26	535.58
200	24	0.12	5	0.0079	200	398.26	714.11
200	30	0.15	5	0.0098	250	398.26	892.64

$G_{xy\text{ exp}} = 9.085E+04 \text{ psi}$



Orientacion 45 grados

BIBLIOTECA
FAC. INGENIERIA
MEXICO

Probeta # 1

Espesor 2.62 mm
Ancho 76.33 mm
Largo 153 mm

V_{papel} mm/min	D_{papel} mm	t_{prueba} min	V_{maq} mm/min	γ_{xy}	P Kg	A_{Trans} mm ²	τ_{xy} lbs/plg ²
200	26	0.13	5	0.0085	70	400.86	248.32
200	32	0.16	5	0.0105	120	400.86	425.68
200	46	0.23	5	0.0151	275	400.86	975.53
200	50	0.25	5	0.0164	345	400.86	1223.84
200	54	0.27	5	0.0177	410	400.86	1454.42
200	58	0.29	5	0.0190	470	400.86	1667.27

$G_{xy \text{ exp}} = 1.353\text{E}+05 \text{ psi}$

Probeta # 2

Espesor 2.473 mm
Ancho 75.5 mm
Largo 151.5 mm

V_{papel} mm/min	D_{papel} mm	t_{prueba} min	V_{maq} mm/min	γ_{xy}	P Kg	A_{Trans} mm ²	τ_{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	374.66	0.00
200	4	0.02	5	0.0013	40	374.66	151.82
200	8	0.04	5	0.0026	90	374.66	341.59
200	16	0.08	5	0.0053	290	374.66	1100.68
200	20	0.10	5	0.0066	340	374.66	1290.45
200	24	0.12	5	0.0079	390	374.66	1480.22

$G_{xy \text{ exp}} = 2.016\text{E}+05 \text{ psi}$

Probeta # 3

Espesor 1.635 mm
Ancho 76 mm
Largo 151.5 mm

V_{papel} mm/min	D_{papel} mm	t_{prueba} min	V_{maq} mm/min	γ_{xy}	P Kg	A_{Trans} mm ²	τ_{xy} lbs/plg ²
200	0	0.00	5	0.0000	0	247.70	0.00
200	6	0.03	5	0.0020	50	247.70	287.04
200	14	0.07	5	0.0046	120	247.70	688.89
200	24	0.12	5	0.0079	210	247.70	1205.56
200	32	0.16	5	0.0105	280	247.70	1607.41
200	36	0.18	5	0.0118	310	247.70	1779.63

$G_{xy \text{ exp}} = 1.520\text{E}+05 \text{ psi}$

Orientacion 60 grados

Probeta # 1

Espesor 2.357 mm
Ancho 76.33 mm
Largo 152 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	22	0.11	5	0.0072	60	358.26	238.15
200	30	0.15	5	0.0098	115	358.26	456.45
200	40	0.20	5	0.0131	215	358.26	853.37
200	47	0.24	5	0.0154	290	358.26	1151.05
200	52.2	0.26	5	0.0171	345	358.26	1369.35
200	63	0.32	5	0.0206	410	358.26	1627.35

$G_{xy\text{ exp}} = 1.089\text{E}+05 \text{ psi}$

Probeta # 2

Espesor 2.217 mm
Ancho 75.83 mm
Largo 151.1 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	18	0.09	5	0.0059	30	334.99	127.35
200	30	0.15	5	0.0099	85	334.99	360.82
200	34	0.17	5	0.0112	120	334.99	509.39
200	38	0.19	5	0.0125	155	334.99	657.96
200	40	0.20	5	0.0132	175	334.99	742.86
200	43	0.22	5	0.0142	199	334.99	844.74

$G_{xy\text{ exp}} = 8.805\text{E}+04 \text{ psi}$

Probeta # 3

Espesor 2.727 mm
Ancho 75.67 mm
Largo 153.5 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
200	14	0.07	5	0.0046	90	418.59	305.74
200	20	0.10	5	0.0066	145	418.59	492.58
200	26	0.13	5	0.0086	200	418.59	679.42
200	48	0.24	5	0.0159	275	418.59	934.20
200	52	0.26	5	0.0172	310	418.59	1053.10
200	64	0.32	5	0.0211	497.5	418.59	1690.05

$G_{xy\text{ exp}} = 7.082\text{E}+04 \text{ psi}$



Orientacion 75 grados

Probeta # 1

Espesor 2.222 mm
Ancho 76 mm
Largo 152 mm

BIBLIOTECA
INSTITUTO
GUATEMALTECO DE ESTUDIOS
CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS

V_{papel} mm/min	D_{papel} mm	t_{prueba} min	V_{maq} mm/min	γ_{xy}	P Kg	A_{Trans} mm ²	τ_{xy} lbs/plg ²
200	8	0.04	5	0.0026	25	337.74	105.26
200	20	0.10	5	0.0066	90	337.74	378.93
200	28	0.14	5	0.0092	150	337.74	631.54
200	38	0.19	5	0.0125	240	337.74	1010.47
200	44	0.22	5	0.0145	295	337.74	1242.04
200	51.5	0.26	5	0.0169	353	337.74	1486.23

$G_{xy \text{ exp}} = 9.945\text{E}+04 \text{ psi}$

Probeta # 2

Espesor 2.272 mm
Ancho 75.83 mm
Largo 150.8 mm

V_{papel} mm/min	D_{papel} mm	t_{prueba} min	V_{maq} mm/min	γ_{xy}	P Kg	A_{Trans} mm ²	τ_{xy} lbs/plg ²
200	24	0.12	5	0.0079	85	342.62	352.78
200	28	0.14	5	0.0092	115	342.62	477.30
200	35	0.18	5	0.0115	190	342.62	788.58
200	38	0.19	5	0.0125	220	342.62	913.09
200	44	0.22	5	0.0145	280	342.62	1162.11
200	50	0.25	5	0.0165	325	342.62	1348.88

$G_{xy \text{ exp}} = 1.199\text{E}+05 \text{ psi}$

Probeta # 3

Espesor 2.392 mm
Ancho 76.5 mm
Largo 153.2 mm

V_{papel} mm/min	D_{papel} mm	t_{prueba} min	V_{maq} mm/min	γ_{xy}	P Kg	A_{Trans} mm ²	τ_{xy} lbs/plg ²
200	26	0.13	5	0.0085	65	366.45	252.23
200	30	0.15	5	0.0098	95	366.45	368.64
200	34	0.17	5	0.0111	130	366.45	504.46
200	38	0.19	5	0.0124	170	366.45	659.67
200	46	0.23	5	0.0150	245	366.45	950.70
200	53.2	0.27	5	0.0174	300	366.45	1164.13

$G_{xy \text{ exp}} = 1.051\text{E}+05 \text{ psi}$

Orientacion 90 grados

Probeta # 1

Espesor 2.068 mm
Ancho 75 mm
Largo 152 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
100	0	0.00	5	0.0000	0	314.34	0.00
100	1	0.01	5	0.0007	10	314.34	45.24
100	2	0.02	5	0.0013	20	314.34	90.48
100	3	0.03	5	0.0020	30	314.34	135.71
100	4	0.04	5	0.0027	40	314.34	180.95
100	5	0.05	5	0.0033	50	314.34	226.19

$G_{xy\text{ exp}} = 6.786E+04 \text{ psi}$

Probeta # 2

Espesor 1.777 mm
Ancho 75.83 mm
Largo 151 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
100	0	0.00	5	0.0000	0	268.33	0.00
100	4	0.04	5	0.0026	23	268.33	121.89
100	8	0.08	5	0.0053	51	268.33	270.27
100	10	0.10	5	0.0066	65	268.33	344.47
100	12	0.12	5	0.0079	81	268.33	429.26
100	16	0.16	5	0.0105	105	268.33	556.45

$G_{xy\text{ exp}} = 5.382E+04 \text{ psi}$

Probeta # 3

Espesor 2.192 mm
Ancho 76 mm
Largo 150.3 mm

V _{papel} mm/min	D _{papel} mm	t _{prueba} min	Vmaq mm/min	γ _{xy}	P Kg	A _{Trans} mm ²	τ _{xy} lbs/plg ²
100	0	0.00	5	0.0000	0	329.46	0.00
100	4	0.04	5	0.0026	36	329.46	155.38
100	6	0.06	5	0.0039	62	329.46	267.60
100	8	0.08	5	0.0053	92	329.46	397.09
100	10	0.10	5	0.0066	126	329.46	543.84
100	12	0.12	5	0.0079	156	329.46	673.32

$G_{xy\text{ exp}} = 8.697E+04 \text{ psi}$

CALCULO DEL MODULO DE CORTE PROMEDIO PARA EL COMPUESTO: YUTE + RESINA

Gxy experimental (psi)

Probeta #	0 grados	15 grados	30 grados	45 grados	60 grados	75 grados	90 grados
1	1.047E+05	1.089E+05		1.353E+05	1.089E+05	9.945E+04	6.786E+04
2	1.414E+05	9.506E+04	8.202E+04	2.016E+05	8.805E+04	1.199E+05	
3	9.644E+04	1.068E+05	1.042E+05	1.520E+05		1.051E+05	8.697E+04
4	9.263E+04	1.009E+05	9.085E+04				
PROM =	1.088E+05	1.029E+05	9.237E+04	1.630E+05	9.849E+04	1.082E+05	7.742E+04

RESUMEN PARA EL ANALISIS DE RESISTENCIA

HILOS DE CAÑA GUADUA

probeta #	E_x (psi)	σ_{rotura} (psi)	ϵ_{rotura}
1	3.43E+06	4.20E+04	1.225E-02
2	1.01E+06	1.95E+04	1.932E-02
3	1.07E+06	3.33E+04	3.111E-02
4	1.24E+06	4.10E+04	3.307E-02
5	8.20E+05		
6	1.00E+06		
7	8.20E+05		
promedio	1341428.57	33954.5	2.531E-02



BIBLIOTECA
NACIONAL
Ecuador

HILOS DE CABUYA

probeta #	E_x (psi)	σ_{rotura} (psi)	ϵ_{rotura}
1	8.04E+05	8.38E+03	1.043E-02
2	1.79E+06	2.07E+04	1.155E-02
3	1.47E+06	3.41E+04	2.329E-02
4	4.75E+06	4.61E+04	9.697E-03
5	2.71E+06	4.05E+04	1.494E-02
promedio	2304456.6	29954.2	0.012998379

HILOS DE YUTE

probeta #	E_x (psi)	σ_{rotura} (psi)	ϵ_{rotura}
1	9.30E+05	1.29E+04	1.387E-02
2	8.10E+05	1.24E+04	1.535E-02
3	6.80E+05	3.52E+03	5.169E-03
4	5.00E+05	1.32E+04	2.632E-02
5	6.90E+05	1.01E+04	1.469E-02
promedio	722000	10429.44	0.014445208

PROBETA DE RESINA

probeta #	E_x (psi)	σ_{rotura} (psi)	ϵ_{rotura}
1	310000	2272.927073	0.0066406
3	1.39E+05	2.94E+03	2.116E-02
4	1.20E+05	2.70E+03	2.250E-02

elegido

PROBETAS DE CABUYA+RESINA

orientación	E_x (psi)	σ_{rotura} (psi)	ϵ_{rotura}
0	662000	1680	0.002537764
15	6.13E+05	7.20E+02	1.175E-03
30	5.09E+05	1.19E+03	2.338E-03
45	3.37E+05	5.00E+02	1.484E-03
60	3.64E+05	9.70E+02	2.665E-03
75	3.01E+05	1.24E+03	4.120E-03
90	3.71E+05	8.20E+02	2.210E-03

PROBETAS DE YUTE+RESINA

orientación	E_x (psi)	σ_{rotura} (psi)	ϵ_{rotura}
0	793000	1010	0.001273644
15	6.33E+05	8.60E+02	1.359E-03
30	6.10E+05	6.20E+02	1.016E-03
45	7.02E+05	8.60E+02	1.225E-03
60	4.78E+05	2.08E+03	4.351E-03
75	5.85E+05	8.10E+02	1.385E-03
90	6.12E+05	1.57E+03	2.565E-03

PROBETAS DE CAÑA GUADUA+RESINA

orientación	E_x (psi)
0	633409.6
15	3.81E+05
30	5.44E+05
45	3.16E+05
60	3.09E+05
75	3.69E+05
90	2.35E+05



BIBLIOTECA
FAC. III
MARITIMA

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM, ASTM STANDARDS AND LITERATURE REFERENCES FOR COMPOSITE MATERIALS, Second Edition, Usa, 1990.
2. Bureau Veritas, RULES AND REGULATIONS FOR THE CLASSIFICATION OF SHIPS, Chapter 11, France, 1996.
3. Gibbs & Cox, Inc., MARINE DESIGN MANUAL FOR FIBERGLASS REINFORCED PLASTICS, Mc Graw-Hill, Usa, 1960.
4. Gibson Ronald F., PRINCIPLES OF COMPOSITE MATERIAL MECHANICS, McGraw-Hill, Inc, Usa, 1994.
5. Grayson Martin, ENCYCLOPEDIA OF COMPOSITE MATERIAL AND COMPONENTS Jhon Wiley & Sons, Usa, 1983.
6. Popov Egor P., INTRODUCCION A LA MECANICA DE SOLIDOS, Primera Edición, Limusa, México, 1976.

7. Whelan A. And Craft J. L., THE PHISICAL TESTING OF PLASTICS AND RUBBERS, J.J. Lloyd Instrument Ltd., England, 1980.



UNIVERSITY OF CALIFORNIA
SAN DIEGO
LIBRARY