

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica

Departamento de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE DIPLOMA

**Estudio de las propiedades físico mecánicas de la fibra del Bambú como refuerzo
de Material Compuesto Matriz Polimérica (MCMP).**

Autor: Guillermo Salgueiro Aguila

Tutor: Dr. Emilio A. Álvarez García.

Santa Clara

Año del 50 aniversario del triunfo de la Revolución.

Curso 2008-2009

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica

Departamento de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE DIPLOMA

**Estudio de las propiedades físico mecánicas de la fibra del Bambú como refuerzo
de Material Compuesto Matriz Polimérica (MCMP).**

Autor: Guillermo Salgueiro Aguila

Tutor: Dr. Emilio A. Álvarez García.

Santa Clara

Año del 50 aniversario del triunfo de la Revolución.

Curso 2008-2009

RESUMEN

En la actualidad existe una tendencia mundial al uso de las fibras naturales como material de refuerzo en materiales compuestos.

En tal sentido en el presente trabajo se realiza un análisis bibliográfico sobre las características y propiedades de los materiales compuestos matriz polimérica, así como de las fibras comúnmente utilizadas como material de refuerzo en compuestos poliméricos. Se determina análogo experimentalmente el comportamiento de las propiedades mecánicas de las fibras de esteras de bambú y en específico la resistencia a la rotura el cual varía en el rango de 80,6 a 221,3 MPa. El módulo de Elasticidad que varía en el rango de $1,30 \times 10^5$ a $2,9 \times 10^5$ MPa, y el coeficiente de Poissón cuyo valor varía en el orden de 0.37 a 0,46.

Como otro resultado importante se tiene que las propiedades alcanzadas con las esteras de Bambú son superiores a los de la fibra de vidrio en forma de MAT 600, y ligeramente inferiores a los que se obtienen con la fibra de vidrio en forma de Robing 800.

Finalmente se tiene que por sus propiedades y características la fibra de bambú resulta una fibra natural que puede ser empleada como material de refuerzo en Materiales Compuestos Matriz Polimérica (MCMP).

SUMMARY

At the present time a world tendency exists to the use of the natural fibers as reinforcement material in compound materials.

In such a sense presently work you to carry out a bibliographical analysis about the characteristics and properties of the materials compound main polymeric, as well as of the fibers commonly used as reinforcement material in compound polymeric. You to determine similar experimentally the behavior of the mechanical properties of the fibers of bamboo mats and in specific the resistance to the break which varies in the range from 80,6 to 221,3 MPa. The module of Elasticity that varies in the range from $1,30 \times 10^5$ to $2,9 \times 10^5$ MPa, and the Poisson coefficient whose value varies in the order from 0.37 to 0,46.

As another important result one has that the properties reached with the mats of Bamboo are superior to those of the glass fiber in form of MAT 600, and lightly inferior to those that are obtained with the glass fiber in form of Robing 800.

Finally one has that for their properties and characteristic the bamboo fiber is a natural fiber that can be an employee as reinforcement material in Main Compound Materials Polymeric (MCMP).

TABLA DE CONTENIDOS

Introducción.....	1
CAPÍTULO 1. Estado del arte.	5
1.1 Materiales compuestos.....	6
1.2 Las fibras de refuerzo.....	15
1.3 Adhesión en la interfase formada por la matriz y las fibras.	22
1.4 Agentes de acoplamiento	24
1.5 Conclusiones parciales del capítulo	26
CAPÍTULO 2. Determinación análoga experimental de las propiedades mecánicas de las fibras de bambú.....	27
2.1 Procesamiento para el análisis de los resultados experimentales	27
A) Media Aritmética de los Resultados ($\bar{\mu}$) o ($\bar{y}$)	27
B) Desviación Media Cuadrática o Desviación Estándar de la Media (S) o (σ)	27
C) Desigualdad Cuadrática o Variabilidad del Procedimiento de Ensayo (V)	28
II. Determinación del error permisible de la muestra (e) absoluto	29
A) Error Absoluto de la Media Aritmética ($e_{\bar{y}}$)	29
B) Error Absoluto de la Desviación Estándar (e_s)	29
C) Error Absoluto del Coeficiente de Variación (e_v).....	29
III. Determinación del error relativo (e_r).....	29
A) Para la Media Aritmética ($e_{r\bar{y}}$)	29

B)	Para la Desviación Estándar (e_{rs})	30
C)	Para el Coeficiente de Variación (e_{rv})	30
Grado de precisión del ensayo		30
D)	Para la Media Aritmética ($\bar{y}$)	30
E)	Para la Desviación Estándar (s)	30
F)	Para el Coeficiente de Variación (v)	31
2.2	Características del ensayo para las propiedades mecánicas estudiadas. 32	
2.3	Análisis y discusión de los resultados experimentales.	37
2.4	Planificación y diseño de experimentos para el estudio del comportamiento de la fibra de bambú como reesfuerzo en materiales compuesto matriz polimérica a partir de la resina de poliéster.	42
2.5	Conclusiones parciales del capítulo.	47
Conclusiones y Recomendaciones.....		45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		50

Introducción

La utilización de materiales compuestos en el diseño de elementos de máquinas se ha incrementado notablemente en los últimos años. Esta tendencia obedece a la posibilidad de diseñar el material con ciertas propiedades especiales y con ello conseguir cualidades mecánicas y tribológicas superiores a los materiales tradicionales.

Los materiales compuestos presentan una favorable relación resistencia-peso y rigidez-peso, son resistentes a la corrosión, térmicamente estables y resultan especialmente adecuados para estructuras en las que el peso constituye una variable fundamental en el proceso de diseño. Los componentes estructurales que requieren gran rigidez, resistencia a los impactos, formas complejas y considerable volumen de producción resultan ideales para ser fabricados a partir de materiales compuestos. Por ello, su utilización en la fabricación de piezas para la industria aeronáutica, aeroespacial, naval y de automóviles se ha extendido en los últimos años.

Los materiales compuestos pueden estar constituidos por cualquier combinación de dos o más materiales ya sean metálicos, orgánicos o cerámicos. Una forma de clasificar los materiales compuestos, es atendiendo a la naturaleza de la matriz, así se suele hablar de compuestos de matriz metálica (MMC), compuestos de matriz cerámica (CMC) y compuestos de matriz orgánica (CMO)

Los compuestos que utilizan fibras como fase dispersa pretenden conseguir, entre otras, mayor rigidez, carga elevada y bajo peso específico. Si estas características se expresan como el cociente respecto a su peso específico, se habla entonces de las características específicas del material.

En la actualidad existe una tendencia mundial al uso de las fibras naturales como material de refuerzo en materiales compuestos. Como fibras naturales, se entienden los materiales fibrosos que pueden extraerse de la naturaleza, principalmente están constituidos por celulosa y lignina, además de otros componentes en menor cantidad, por esta razón las fibras naturales también reciben el nombre de fibras lignocelulósicas. Estas fibras pueden proceder de

plantas anuales o bien de plantas arbóreas madereras.

Las reportadas por la literatura para tales aplicaciones se encuentran: El yute, lino, algodón, cáñamo, coco, etc. No se reporta el uso de la fibra de bambú como refuerzo en estos tipos de materiales, y menos en forma de tejido o comúnmente conocido como esteras de Bambú, sus fundamentales aplicaciones han sido con fines decorativos, para la fabricación de pisos y puertas de viviendas.

En el presente trabajo se valoran tres aspectos fundamentales: el primero relacionado con el estudio bibliográfico referente a los materiales compuestos y sus materiales de reesfuerzo en específico las fibras naturales. En una segunda etapa se realiza un estudio experimental la determinación de las propiedades mecánicas de las fibras de bambú para lo cual se tomaron muestras de la cáscara, y la fibra interior, en todos los casos con nudo y sin nudo, así como tratadas en solución de agua con tabaquina y sin tratar. En esta etapa como propiedades fundamentales se tomaron la resistencia a la rotura, el coeficiente de Poissón, y el módulo de elasticidad

Como resultados fundamentales se tiene que no se reporta el uso de las esteras de bambú como material de refuerzo en materiales compuestos matriz poliméricos.

De la parte experimental se tiene que las propiedades del bambú varían considerablemente al ser sometidas a tratamiento y en dependencia de la parte de la cual se tome la muestra. Coincidiendo con la literatura se tiene que la fibra de vidrio es la de mayor resistencia mecánica, de ahí que sea esta la de mayor aplicación en el desarrollo de materiales compuestos matriz polimérica.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas del bambú producido en Cuba, para su aplicación como tejido de refuerzo de materiales compuestos matriz polimérica.

Objetivos específicos.

1. Realizar un análisis bibliográfico sobre las características y propiedades de los materiales compuestos matriz polimérica, así como de las fibras

comúnmente utilizadas como material de refuerzo en compuestos poliméricos.

2. Determinar análogo experimental de las propiedades mecánicas de las fibras utilizadas en la fabricación de esteras de bambú
3. Estudiar la influencia la de la fibra de bambú como refuerzo de Material Compuesto Matriz Polimérica en la resina de Poliéster.

Situación problémica de la investigación.

La necesidad de la sustitución de la fibra de vidrio como material de reesfuerzo y de alto costo empleada en materiales compuestos matriz polimérica, por fibra natural de elevada resistencia mecánica, para con ello satisfacer las necesidades de la industria cubana de materiales de este tipo y disminuir los costos de importaciones.

Planteamiento del Problema Científico.

¿Que características y propiedades debe tener la fibra de bambú, para que la misma pueda ser empleada como material de reesfuerzo en compuestos matriz polimérica?

Hipótesis.

La fibra de bambú por sus características y propiedades puede resultar un excelente material de reesfuerzo en los Materiales Compuestos Matriz Polimérica (MCMP).

Novedad:

La utilización de las esteras de Bambú como refuerzo en la resina de poliéster, para la obtención del Material Compuestos Matriz Polimérica (MCMP).

Valor teórico:

1. Se brindan los modelos matemáticos empíricos que muestran el comportamiento de las propiedades mecánicas de la fibra de bambú.
2. Se brindan los aspectos teóricos fundamentales sobre las características y propiedades de materiales compuestos matriz polimérica, así como de las

fibras naturales y artificiales más utilizadas en la fabricación de este tipo de material.

Valor Práctico del trabajo

Se da respuesta a la necesidad de la industria cubana de la obtención de Materiales Compuestos Matriz Polimérica (MCMP) de requeridas propiedades mecánicas y que disminuya los altos costos de la misma por concepto de sustitución de la fibra de vidrio, material empleado en la actualidad como refuerzo fundamental de las principales producciones nacionales.

CAPÍTULO 1. Estado del arte.

La utilización de materiales compuestos en el diseño de elementos de máquinas se ha incrementado notablemente en los últimos años. Esta tendencia obedece a la posibilidad de diseñar el material con ciertas propiedades especiales y con ello conseguir cualidades mecánicas y tribológicas superiores a los materiales tradicionales.

Los materiales compuestos presentan una favorable relación resistencia-peso y rigidez-peso, son resistentes a la corrosión, térmicamente estables y resultan especialmente adecuados para estructuras en las que el peso constituye una variable fundamental en el proceso de diseño. Los componentes estructurales que requieren gran rigidez, resistencia a los impactos, formas complejas y considerable volumen de producción resultan ideales para ser fabricados a partir de materiales compuestos. Por ello, su utilización en la fabricación de piezas para la industria aeronáutica, aeroespacial, naval y de automóviles se ha extendido en los últimos años.

Entre las dificultades que se encuentran para la utilización de los materiales compuestos con fines estructurales está la falta de tecnología para garantizar las uniones entre piezas y también la dificultad de realizar un diseño fiable, pues las técnicas analíticas convencionales utilizadas para el estudio de materiales tradicionales no resultan adecuadas para el análisis de materiales compuestos. Hay también ciertas incertidumbres sobre la durabilidad y el envejecimiento de estos materiales que hace necesarios los estudios que garanticen la integridad de los mismos al cabo de un largo período de utilización. Tampoco ha resultado del todo satisfactoria la representación de un compuesto mediante un único material ortótropo con propiedades del conjunto, sobre todo cuando el comportamiento de al menos uno de sus componentes ha superado el límite de elasticidad.

1.1 Materiales compuestos

Desafortunadamente no existe una definición que sea ampliamente aceptada de que es un material compuesto. El diccionario lo define como un compuesto hecho de diferentes constituyente. A escala atómica, aquellos materiales tales como algunas aleaciones metálicas y materiales poliméricos, pueden ser considerados materiales compuestos porque consisten en agrupamientos atómicos diferentes. A nivel micro-estructural un acero al carbono que contiene ferrita y perlita puede ser considerado un material compuesto puesto que la ferrita y la perlita son constituyentes visiblemente diferentes en un microscopio óptico. A nivel macro-estructural un plástico reforzado con fibras de vidrio, en la cual la fibra de vidrio puede ser descubierta a simple vista, puede ser considerado un material compuesto

El desarrollo tecnológico de los materiales compuestos responde a la necesidad de mejorar las prestaciones de los materiales tradicionales y además de lograr una reducción de su peso estos se fabrican con la aportación de dos o más materiales simples. Al conjunto se le denomina material multifase. En este material destacan una o más propiedades características de las que aportan las fases constituyentes, de tal forma que del conjunto resulte la mejor combinación posible. Majó Joan A. Mayugo, Plantea de una forma mas sintética, pero precisa y concordantemente con otros autores que los materiales compuestos son El constituido por dos o más materiales cuyas propiedades son superiores a las que tienen ambos por separado.

Lo más frecuente suele ser que esté formado por dos fases: la matriz que es continua y rodea a la otra fase que se denomina dispersa. Las propiedades resultantes dependen de las proporciones en las que participan la matriz y la fase dispersa, además de la morfología de esta última.

Los materiales compuestos pueden estar constituidos por cualquier combinación de dos o más materiales ya sean metálicos, orgánicos o cerámicas. Una forma de clasificar los materiales compuestos, es atendiendo a la naturaleza de la matriz, así se suele hablar de compuestos de matriz metálica (MMC), compuestos de matriz cerámica (CMC) y compuestos de matriz orgánica (CMO)

Los compuestos que utilizan fibras como fase dispersa pretenden conseguir, entre otras, mayor rigidez, carga elevada y bajo peso específico. Si estas características se expresan como el cociente respecto a su peso específico, se habla entonces de las características específicas del material. [27]

Los materiales plásticos permiten su transformación mediante diferentes procesos para la obtención de piezas logradas por inyección, o termo conformado. Estos materiales de naturaleza polimérica, permiten la dispersión de fibras en su masa dando lugar a materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras. Si la matriz pertenece al grupo de los termoplásticos darán lugar a materiales que pueden ser transformados varias veces con la ayuda de procesos térmicos. [1]

Para seguir hacia delante se debe conocer que las matrices también llamadas resinas son compuestos macromoleculares de origen orgánico que se encargan de:

- La fijación de las fibras en el ordenamiento geométrico deseado.
- La transmisión de los esfuerzos a las fibras.
- La protección de las fibras frente a los esfuerzos de compresión.
- La protección a las fibras de los medios externos.

Las resinas termoestables más utilizadas son las de poliéster, viniléster, fenólicas, epoxi y poliuterano. Son resinas termoestables orgánicas de elevado peso molecular capaces de sufrir una serie de reacciones químicas, llamadas de curado o reticulación, que dan lugar a un producto de mayor o menor rigidez, insoluble e infusible

Las resinas de poliéster representan aproximadamente el 75% del total de las resinas utilizadas en el mercado de los materiales compuestos de matriz termo estable. Las resinas de poliéster se dividen según la naturaleza de sus constituyentes base en:

- Ortoftálicas
- Isoftálicas
- Tereftálicas

- Tetrahidroftálicas
- Bisfenólicas

Siendo las más empleadas ortoftálicas, isoftálicas y bisfenólicas.

Estas resinas se producen a partir de reacciones de policondensación entre dos monómeros, un diol y un ácido dicarboxílico, de los cuales uno debe contener al menos una insaturación. El ácido dicarboxílico insaturado más utilizado es el anhídrido maleico. Aunque no obstante, se pueden utilizar diferentes ácidos y alcoholes de partida, con lo que se obtendrán diferentes tipos de poliésteres, que presentarán diferentes propiedades. En algunos casos se pueden añadir glicoles para mejorar algunas propiedades.

Las fibras de refuerzo o fase dispersa en una matriz polimérica tienen como objeto soportar tanto como sea posible el esfuerzo aplicado al conjunto, mientras que a la matriz polimérica le corresponde transmitir de forma efectiva las solicitaciones al refuerzo. Está ampliamente documentado que se alcanza el mejor resultado del refuerzo cuando se cumple este principio general.

Mientras que los principios generales son bien aceptados, es muy difícil efectuar un tratamiento teórico cuantitativo de las relaciones y mecanismos que lo comprenden, por la complejidad de los sistemas físicos que representan los materiales termoplásticos reforzados.

Está generalmente aceptado que el principal efecto del refuerzo es aumentar la rigidez y la resistencia del polímero.

Los principales factores a considerar en cualquier tratamiento teórico sobre la estructura y comportamiento de los materiales termoplásticos reforzados con fibras son:

1. Propiedades de la matriz
2. Características de las fibras
3. Contenido de matriz y fibras en el compuesto
4. Interfase entre la matriz y las fibras

El contenido de las fibras de refuerzo se expresa como fracción del volumen o del peso. Para un determinado grado de condiciones en la interfase, el contenido

del refuerzo determina el grado según el cual se desplazan las propiedades del compuesto, desde las de la matriz hacia las del refuerzo. [11]

Cuando las fibras son de una longitud “infinita” se acepta que el esfuerzo se transmite de la matriz a las fibras por un mecanismo de cizallamiento.

De este planteamiento se llega al concepto de la mínima longitud que debe tener una fibra para que pueda aceptar que la carga en la fibra sea igual a la carga de rotura por tracción. Una fibra “infinita” presenta una superficie “infinita” de anclaje con la matriz, en estas condiciones, difícilmente matriz y fibra se romperán antes de alcanzar la carga máxima de rotura de la fibra. Si la fibra no es “infinita”, se la denomina “corta”, la superficie de anclaje que ofrece es menor en esta situación, como la fibra soporta mayor carga que la matriz, casi siempre la matriz empieza a acusar los efectos de la carga antes que la fibra. En este caso, primero se agrietará la matriz e, inmediatamente después, romperá la fibra.

A esta mínima longitud que siempre está relacionada con su propio diámetro se la conoce con el nombre de longitud crítica, y se la considera como la mínima longitud que debe tener la fibra para poder transmitir la carga desde la matriz. Si las fibras no pueden “anclarse de forma eficaz” a la matriz, ante las cargas se deslizaran y serán arrancadas de la matriz al romperse la pieza.

En diferentes citas bibliográficas se sugiere que, en el caso de fibras de carbono y de vidrio, la longitud óptima se sitúa alrededor de 1 a 2 mm. [53]

Se acepta que la eficacia del aprovechamiento de la rigidez de las fibras de refuerzo crece con el aumento de la relación que existe entre el módulo de la fibra y el de la matriz. También se acepta que una relación 50:1 es la óptima entre los módulos de fibra / matriz. Se aconseja el uso de fibras de vidrio de unos 0,005 mm de diámetro para obtener la máxima resistencia del compuesto. El rasgo más importante de la interfase es la adhesión del material de la matriz al refuerzo.

En ausencia de esta adhesión las fibras serán arrancadas de la matriz sin romperse, lo que anula el efecto del refuerzo. [19] [31] Una de las clasificaciones de los materiales compuestos se realiza en función de la longitud de las fibras empleada como refuerzo. No obstante, el desarrollo profundo de la

teoría sobre materiales compuestos se basa en el empleo de las fibras largas con las que se pueden realizar proyectos de ingeniería considerando la totalidad de las exigencias del diseño (isotropía de condiciones, reducción del peso, alta carga y alto módulo).

La utilización de las fibras cortas como refuerzo tiene una limitación mayor, su aplicación más importante es para la fabricación de piezas por inyección. [20] [8]

En este tipo de aplicación la orientación de las fibras es difícil de alcanzar con lo cual las piezas resultantes suelen presentar anisotropía de las propiedades, alcanzándose mejor resultado en la misma dirección que ha entrado el material en el molde, debido al cierto grado de orientación de las fibras al situarse en la masa de flujo del material, ya que tienden a situarse de forma que opongan la mínima resistencia al avance del flujo. [26] [48]

Diferentes autores avalan la teoría de que se produce una orientación preferencial de las fibras en el sentido de quedar paralelas a la dirección del flujo en las capas exteriores del moldeado y una distribución más arbitraria en el núcleo. [47]

El grado de orientación de las fibras y la caracterización de las capas que se desarrollen dependerá de:

1. De las dimensiones y forma del molde.
2. De la temperatura del molde
3. De la temperatura del material inyectado
4. De la presión de inyección
5. De las dimensiones de las fibras

Regla de las mezclas

El tratamiento teórico más simple sobre las propiedades de los materiales compuestos está basado en la regla de las mezclas. El compuesto formado por fibras continuas orientadas uniaxialmente dentro de la matriz de elasticidad uniforme, tendrá un módulo resistente a la tracción igual a la suma de los dos productos de los módulos por los volúmenes de los componentes:

La regla de las mezclas ha sido estudiada por cada investigador de materiales compuestos desde 1948 hasta la actualidad. Esta famosa ecuación permite predecir el comportamiento del módulo elástico y de la carga a la tracción de los materiales compuestos. Se basa en el módulo de las fases constituyentes del material y de sus porcentajes de aportación al compuesto expresado en volúmenes aunque también, de forma orientativa, se acepta la expresión en pesos.

Cuando la fase de refuerzo está formada por fibras, se demuestran como factores muy importantes la morfología de la fibra, el tamaño y la orientación. En la ecuación anterior se puede introducir un factor de alineación de las fibras que representa los efectos combinados del grado de “desorientación” de las fibras y cualquier diferencia entre la dirección en que se ensaya el material y la orientación de las fibras.

De tal forma que en la ecuación original la fracción fibra se ve afectada por un coeficiente que engloba los factores anteriormente citados.

En este punto debe recordarse, la mecánica de acción de las fibras cortadas y difundidas en la matriz de poliestireno. Prácticamente, todos los investigadores que se citan en este apartado sobre materiales compuestos, han tratado de alguna forma esta cuestión. A partir del desarrollo de los equipos de inyección de materiales, se ha intentado añadir cargas y fibras a las matrices poliméricas, unas veces para mejorar las propiedades y otras para reducir el coste del producto final.

Cuando las cargas se basan en partículas de forma esférica, la ecuación básica de la regla de las mezclas se modifica en función de las dimensiones de esta esfera. De la misma forma, cuando el refuerzo está formado por fibras se ha desarrollado una teoría que se basa en la longitud de estas fibras. Tal como hemos dicho anteriormente, si las fibras son “infinitas”, la transmisión de fuerza de la matriz a la fibra no presenta problemas. En cambio, cuando la longitud de las fibras es “corta” aparece toda una casuística que trata de forma matemática

la transmisión de fuerzas desde la matriz a la fibra.

En el próximo apartado se consideran los principios básicos de la transmisión de fuerzas desde la matriz a la fibra y también la influencia que tiene la longitud de las fibras sobre este proceso. [2] [46].

Esfuerzos que soporta un material compuesto formado por fibras cortas

Cuando el material compuesto está formado por fibras y estas se consideran uniformemente repartidas y alineadas de forma que su sección se encuentra perpendicular a los esfuerzos, el material compuesto ofrece unas condiciones favorables ya que permiten la transmisión del esfuerzo aplicado a la matriz de forma proporcional a cada una de las fibras que forman el refuerzo.

A partir de estas condiciones, se alcanza la definición de la longitud crítica de la fibra.

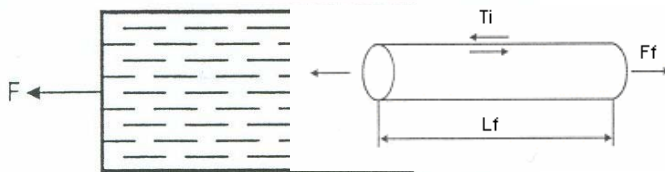


Figura 1.1 Material compuesto formado por la matriz y fibras orientadas uniaxialmente de longitud L_f .

Si consideramos la fibra de la figura las fuerzas que actúan sobre ella son:

F_i = fuerza transmitida por la matriz en la interfase

F_f = fuerza soportada por la fibra

$$F_i = \tau_i \times \pi \times D \times L_f / 2 \quad (1.1)$$

$$F_f = \sigma_f \times \pi \times D^2 / 4 \quad (1.2)$$

En condiciones de equilibrio, la fuerza soportada por la fibra en la zona de transferencia es igual a la carga de corte en la zona interfase.

$$F_i = F_f \quad (1.3)$$

$$\tau_i \times \pi \times D \times L_f / 2 = \sigma_f \times \pi \times D^2 / 4 \quad (1.4)$$

Donde se deduce la longitud de transferencia crítica L_c

En la zona de inicio de rotura de un material compuesto, los elementos que mantienen unida la matriz son las fibras de refuerzo. Si la longitud de las fibras es lo suficientemente larga como para quedar unida a las dos zonas de la matriz separada por la grieta microscópica donde se inicia la rotura, podrán soportar la carga. En cambio, si la longitud de la fibra no permite el suficiente anclaje en las paredes de la fibra, ésta acabará arrancada.

El concepto de longitud crítica está relacionado con este fenómeno; la longitud crítica es la mínima longitud que puede tener la fibra a partir de la cual no tiene suficiente anclaje en la matriz, y ante esfuerzos pequeños será arrancada.

La longitud crítica de la fibra está relacionada con su diámetro, de tal forma que, para una misma longitud de fibra, cuanto mayor sea su diámetro más superficie de contacto ofrece y mayor es la posibilidad de anclaje que puede ofrecer a la matriz ante el esfuerzo de tracción y, consecuentemente, mayor será su longitud crítica.

[53]

Fracción de volumen crítico

La influencia de las fibras largas lleva consigo la definición de la fracción de volumen crítico necesario para comenzar a mejorar la resistencia del material. Basado en el concepto de longitud crítica, se desarrolla el concepto de volumen crítico. El volumen crítico está directamente relacionado con la regla de las mezclas, y define el mínimo volumen de fibras que tiene que haber en el compuesto para que su efecto empiece a ser eficaz.

Si se supone que las fibras soportan un porcentaje de la carga aplicada al material compuesto, se puede deducir que en el momento de la rotura de las fibras la matriz quedaba expuesta a un nivel de fuerza muy superior al que puede soportar, y en consecuencia se produce la rotura del material compuesto.

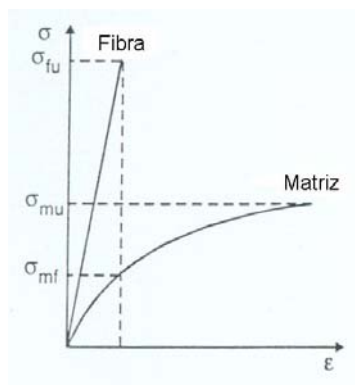


Figura 1.2 Diagramas conjunto de carga – alargamiento de la matriz y de la fibra

Predicción del comportamiento de los materiales reforzados con fibras cortas

Los autores referidos, coinciden en la opinión sobre la eficacia de que el refuerzo por fibras cortas es menor que la del de fibras largas, y se afirma que el módulo elástico efectivo de los compuestos de fibra corta será también menor. [53]

Se deduce que en caso de que haya una fuerte unión en la interfase la eficacia del refuerzo de las fibras cortas es cercana al 100% siempre que la longitud de la fibra esté por encima de 1mm. [24]

Con epoxi y fibra de carbono [28], no se obtiene un incremento significativo en la eficacia incrementando la longitud de fibra de 1mm a 6mm. La orientación imperfecta de las fibras cortas explica el reducido rendimiento comparado con las fibras continuas. [49] Halpin desarrolla una ampliación de las ecuaciones de Halpin-Tsai expresando el módulo de Young longitudinalmente como:

Cuando hay una distribución de orientación de fibra el rendimiento del refuerzo se reduce aún más. Posteriormente Cox [24] incluyó un término adicional en la ecuación para tener este factor en cuenta siendo η_0 el factor de rendimiento de la orientación y η_l el factor de longitud.

Estos temas han sido desarrollados posteriormente por varios investigadores y es particularmente relevante para la predicción de las propiedades de productos moldeados por inyección en los que puede existir un margen de distribuciones de orientación de fibras y de longitudes de fibras. [5]

1.2 Las fibras de refuerzo

La teoría clásica sobre el empleo de fibras cortas considera que cuando se aplica un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación, en otras palabras, en los extremos de las fibras no hay transmisión de carga desde la matriz. [24]. La mayor parte de las propiedades de los materiales poliméricos reforzados con fibras, están muy ligadas a la morfología característica de la fibra. Entre las características morfológicas de las fibras se encuentran.

1. La longitud
2. El diámetro
3. Las distribuciones de longitudes y de diámetros en la fracción en volumen
4. Orientación y ordenamiento de las fibras en la matriz

Las fibras de refuerzo se clasifican en función de su composición y de su tamaño, destacando por su importancia y aplicaciones industriales, las fibras de vidrio, las de carbono y las sintéticas. [14].

Las fibras de vidrio, fueron las primeras en emplearse como materiales de refuerzo. Están constituidas, en su mayor parte, por óxidos de silicio aunque pueden incorporarse otros tipos de óxidos como los de aluminio o magnesio con los cuales se modifican sus propiedades globales. Estas fibras se producen por medio de un proceso de hilado bajo fusión.

Después de pasar por la hilera, el conjunto de los filamentos obtenidos se reúne formando una fibra. La más difundida es la fibra de vidrio E, desarrollada inicialmente para aplicaciones eléctricas. Los tipos R y S ofrecen sin embargo, mayores características estructurales, mientras que las del tipo C proporcionan una buena resistencia ante el contacto con agentes químicos, en la tabla 1.1., se muestran las características mecánicas y precio para diferentes tipos de fibras de vidrio.

Tabla 1.1 Características mecánicas y rango de precio, para diferentes tipos de fibras de vidrio.

Material	ρ (g/cm³)	D_F (μm)	C_T (MPa)	E_T (GPa)	ε (%)	Precio (€/Kg)
Vidrio C	2.55	8 – 20	3309	69	4.8	1.8 – 2.4
Vidrio E	2.60	– 10	3447	76	4.8	1.8 – 2.4
Vidrio R o S	2.49	– 10	3826	97	5.2	14.5 – 19.3

Las fibras de vidrio permiten recibir diferentes tipos de ensimaje con lo cual se crean diferentes puntos de unión entre ellas y las matrices que la utilizan como refuerzo. Desde mediados de los años 70 hay una preocupación generalizada por los temas energéticos y medioambientales que en el ámbito de los materiales compuestos de base polimérica se inicia una carrera para encontrar sustitutos a las fibras de vidrio, que venían empleándose casi de forma exclusiva como elementos de refuerzo, por una amplia variedad de fibras de procedencia vegetal. [50] [21].

Como las fibras naturales de procedencia vegetal tienen una composición mayoritariamente constituida por celulosa y además existe una amplia trayectoria y experiencia en la utilización de este tipo de fibras en la fabricación de papel, este conocimiento deriva hacia la fabricación de materiales compuestos dando lugar a una amplia bibliografía sobre aplicaciones y estudios del uso de las fibras lignocelulósicas [15] [40]

Fibras naturales

Como fibras naturales, se entienden los materiales fibrosos que pueden extraerse de la naturaleza, principalmente están constituidos por celulosa y lignina, además de otros componentes en menor cantidad, por esta razón las fibras naturales también reciben el nombre de fibras lignocelulósicas. Estas fibras pueden proceder de plantas anuales o bien de plantas arbóreas madereras.

En la tabla 1.2, se muestran las producciones mundiales de algunos materiales susceptibles de producir estas fibras naturales, expresadas en millones de toneladas métricas.

Tabla 1.2 Producción de materiales lignocelulósicos.

Material	Producción (10⁶T)
Paja de cereales	1250000
Sorgo	252000
Bagazo	102200
<u>Bambú</u>	<u>30000</u>
Lino	2000
Yute	14730
Cáñamo	526
Ramio	80
Abacá	335
Sisal	500
Linters de algodón	68000
Madera	1069

Como se puede apreciar, las fuentes de fibras lignocelulósicas son muy amplias y su producción puede decirse que se extiende por todas las esferas del globo, ya que, cada clima puede facilitar el cultivo de por lo menos alguna de ellas.

No obstante, las fibras naturales presentan una serie de ventajas y desventajas

cuando se pretende aplicarlas como materiales de refuerzo en matrices termoplásticos, como se refleja en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Ventajas y desventajas de las fibras lignocelulósicas

Ventajas	Desventajas
Renovables	Baja estabilidad dimensional
Resistentes	Baja resistencia a microorganismos
Bajo peso específico	Poco termoplásticas
Biodegradables	Temperatura de procesado baja
Económicas	Naturaleza polar

Las fibras naturales, pueden clasificarse por su origen en herbáceas y cañas, como paja de trigo, paja de arroz, bambú, bagazo de caña de azúcar; hojas fibrosas, como abacá, sisal, henequén; filamentos largos como por ejemplo: lino, cáñamo, ramio, yute, etc. y finalmente fibras procedentes de madera, como las coníferas como por ejemplo: abeto y pino y frondosas como: el abedul, eucalipto y haya.

En la tabla 1.4 se reflejan las dimensiones de los filamentos y fibras elementales del lino, yute y cáñamo que son algunos de los materiales lignocelulósicos más utilizados como refuerzo en matrices termoplásticos.

Tabla 1.4 Dimensiones de filamentos y fibras elementales

	Fibra elemental		Filamento	
Material	L _F (mm)	D _F (μm)	L _F (mm)	D _F (μm)
Lino	30	20	75	0.1
Yute	2.5	20	250	3
Cáñamo	15	22	250	2.5

En la tabla 1.5, se muestran algunas propiedades típicas de estas fibras naturales

Tabla 1.5 Características mecánicas y rango de precio, para diferentes tipos de fibras

Material	ρ (g/cm ³)	D _F (μm)	C _T (MPa)	E _T (GPa)	ε (%)	Precio (€/Kg)
Lino	1.40	5 – 38	800 – 1500	60 – 80	1.2 – 1.6	0.4 – 0.6
Cáñamo	1.38	10 – 51	550 – 900	70	1.6	0.4
Sisal	1.33	10 – 40	600 – 700	38	2 – 3	0.5 – 0.8
Albahaca	1.5	16 – 32	980	–	–	0.9 – 1.6
Yute	1.46	10 – 25	400 – 800	10 – 30	1.5 – 1.8	0.5
Ramio	1.5	11 – 80	500	44	2	1.7 – 2.8
Coco	1.25	–	220	6	15 – 25	0.3 – 06
Algodón	1.51	7 - 14	400	12	3 – 10	1.7 – 2.5

Caracterización de las fibras para su aplicación industrial

Las propiedades que caracterizan la aptitud de las fibras para soportar la manipulación y su inserción en tejidos o en otros materiales son: Una fibra se caracteriza por hilos elementales agrupados entre si normalmente con algún tipo de torsión.

La unidad de medida que se emplea para expresar el diámetro de un hilo, es su título, que se expresa en TEX y que representa el diámetro de un hilo de 1000 metros de longitud que pesa un gramo. No obstante la unidad más utilizada en el DECITEX que corresponde al diámetro de un hilo que pesa un gramo y tiene la longitud de 10.000 metros.

En un hilo continuo se expresa el título a condición de que se indique el número de hilos elementales que lo forman. Por ejemplo la identificación de un hilo se realiza de la siguiente forma: 167/30, significa que el hilo está constituido por la reunión de 30 hilos elementales. Y que 10.000 metros de este hilo tiene un peso de 167 gr.

La tenacidad se expresada como la fuerza que es necesaria aplicar a la fibra por tracción para provocar su rotura dividida por su tex, y se expresa en cN/tex (centi N /tex).El módulo de elasticidad a la tracción o de Young, también se expresa en cN/tex [7].

Las fibras naturales pueden ser utilizadas para sustituir las fibras de vidrio y de carbón como refuerzo en los polímeros, su principal potencial esta en aquellos artículos donde no se requiera tener en cuenta un valor elevado de la resistencia a la tracción para funcionar correctamente, tales como tuberías de grandes diámetros [53], cubiertas de equipos etc.

Tabla 1.6 Resistencia a tracción en seco y húmedo de las fibras textiles en GPa

Material	En Seco	En Húmedo
Cáñamo	90	115
Algodón	30 – 70	100 – 105
Lino	84	105
Yute	80 – 85	100 – 105
Posliestireno	5 – 8	100
Polipropileno	40 – 45	100

Factor de conversión: $\text{Kg./mm}^2 \times 0,0098 = \text{GPa}$

Al alargar la fibra por tracción se produce simultáneamente, una contracción trasversal regida, también, dentro de la zona de comportamiento elástico de la fibra, por la ley de Hooke.

La relación entre la contracción relativa de un diámetro transversal cualquiera de la fibra $\Delta d/d$ el alargamiento relativo $\Delta l/l$ es una constante elástica característica de la fibra que recibe el nombre de “coeficiente de Poissón” $\mu = \Delta d/d / \Delta l/l$.

Las características elásticas de las fibras quedan completamente definidas conociendo estas magnitudes características **E** y **μ** .

Tabla 1.7 Alargamiento relativos hasta alcanzar la rotura (%) de diferentes fibras textiles.

Material	En Seco	En Húmedo
Cáñamo	2	2.2
Algodón	10	11
Lino	1.8	2.2
Yute	3	1.3
Posliestireno	2 – 4	2 - 4
Polipropileno	40 – 60	40 – 60

1.3 Adhesión en la interfase formada por la matriz y las fibras.

Un concepto fundamental a la hora de plantearse el empleo de las fibras naturales como refuerzo de un material polimérico es la compatibilidad existente entre estos dos materiales. Esta compatibilidad normalmente se caracterizan por tener un cierto grado de antagonismo, ya que las fibras tiene un marcado carácter hidrofílico, mientras que los polímeros lo tiene de carácter antagonista como hidrófobo.

Esta situación hace que una parte importante de las investigaciones de los materiales compuestos a las que nos estamos refiriendo se centre en como mejorar esta compatibilidad por la vía de modificar el carácter hidrofílico de las fibras para lograr la mejor unión fibras- matriz en su zona de interfase ya que si queremos aprovechar la gran resistencia y rigidez de la fibras, esta deben estar fuertemente unidas a la matriz. [3].

La adhesión entre las fibras de refuerzo y la matriz polimérica puede ser atribuida a una serie de mecanismos que se pueden dar en la interfase, como fenómenos aislados o por interacción entre ellos .Estos mecanismos se relacionan

en los apartados que siguen.

Adhesión mecánica

Diversos autores estudiaron la adhesión mecánica de las fibras de refuerzo hacia la matriz polimérica entre ellos destacan: [13] [18] [45]

Debido a las formas irregulares de la superficie de una fibra y de la matriz polimérica en estado visco elástico, se puede lograr la difusión de las fibras en el polímero si su grado de fluidez y de mojabilidad es elevado, de tal forma que pueda alcanzar a la mayor parte de la superficie de la fibra y se llegue a establecer un buen grado de unión de caracteres mecánico entre ambas. La limpieza exterior de las fibras, la eliminación de residuos vegetales, de tierra y polvo, junto con la temperatura del polímero, y su mejor estado visco elástico, contribuirán notablemente a mejorar el grado de la adhesión mecánica.

Por otro lado hay que tener en cuenta además la longitud crítica de la fibra y su papel en la adhesión desde el punto de vista del proceso de moldeado y la resina que se emplee, se han realizado estudios [1] en los cuales se ha demostrado que cuando la fibra de yute por citar un ejemplo esta por debajo de la longitud crítica, y se utiliza como resina el polipropileno (PP) y se utiliza la inyección como proceso de moldeado ocurre un agotamiento de la fibra que perjudica las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción, lo cual no ocurre cuando esta longitud está por encima del valor crítico.

Atracción electrostática

Estas fuerzas aparecen como consecuencia de la posible carga eléctrica entre ambas superficies. La fuerza de la interfase dependerá de la densidad de carga iónica. Aunque la atracción electrostática no haga una contribución principal a la resistencia final de la unión si que puede afectar al proceso inicial facilitando la operación de difusión de las fibras en la matriz.

Interdifusión

La fuerza de la unión entre fibras y polímero, dependerá del grado de enmarañamiento molecular y del nº de moléculas implicadas. La interdifusión

puede ser promovida por la presencia de agentes plastificantes y disolventes, dependiendo el grado de difusión de la concentración molecular, de los constituyentes que intervengan y en la facilidad de movimiento molecular.

El proceso de la inter difusión puede explicar la razón por la cual las fibras previamente recubiertas de polímero se adhieren a la matriz de polímero.

Enlace químico

Se forma un enlace químico entre un grupo químico de la superficie de la fibra y un grupo químico compatible de la matriz. La fuerza de la unión dependerá del número y tipo de enlaces. Un fallo en las superficies de contacto, implica la rotura de los enlaces.

Absorción y humectación

Si dos superficies eléctricamente neutras se ponen una junto a otra, se da una cierta fuerza de atracción entre ellas. Si además entre las dos superficies hay una cierto grado de humedad, se entiende mejor esta fuerza de atracción. Aunque de ambas superficies se haya eliminado la contaminación y suciedad se puede lograr un grado de unión entre las dos superficies solo en algunos puntos de contacto, no obstante la adhesión lograda será de carácter débil. [42]

Para la humectación efectiva de la superficie de una fibra, la matriz en estado "líquido" debe cubrir cada resalte de la superficie para desplazar todo el aire. La humectación puede ser entendida con la ecuación de Dupré para el trabajo termodinámico de adhesión W_A .

Donde γ_1 y γ_2 son las energías libres de superficie del líquido y el sólido y γ_{12} es la energía libre de la interfase líquido-sólido. [16]

Y por el concepto de tensión superficial crítica de mojado γ_c , de forma que solo los líquidos con $\gamma_{LC} < \gamma_c$ se extenderán espontáneamente sobre el sólido. Este es un parámetro útil al considerar el mojado de las fibras por el polímero.

1.4 Agentes de acoplamiento

La misión de los agentes de acoplamiento es la de servir de enlace entre la fibra y la matriz. Se han propuesto muchas teorías para explicar el papel del agente de

acoplamiento, que han sido revisadas por Plueddemann y Mille.

Una de las misiones que se le atribuyen es la de incrementar la energía de superficie, para asegurar una buena humectación.

Se intenta explicar el fenómeno atribuyendo propiedades específicas a la interfase: Se supone que hay una zona modificada de matriz alrededor de la fibra que tiene unas propiedades mecánicas intermedias entre las de la fibra y las de la matriz. [33]

O también que el agente modifica el comportamiento de la matriz en la región de la superficie de la fibra o el agente adhesivo que contenga grupos R grandes, los cuales, proporcionan una capa de polímero diferente entre la fibra y el resto del polímero. [33] No se conoce bien las propiedades de estas zonas aunque se acepta que el fenómeno de la modificación puede tener un efecto pronunciado sobre la mayor parte de las propiedades.

Plueddemann [33] propuso que el movimiento o los desplazamientos en la interfase podrían relajarlos esfuerzos locales y mantener la unión química si se seguía un mecanismo reversible de la unión. En presencia del agua molecular, que se puede difundir a través de la matriz hacia la interfase, el enlace covalente M-O se hidroliza. Al ser este proceso reversible, el enlace covalente puede formarse de nuevo cuando el agua se difunda hacia el exterior. Así, en presencia de un esfuerzo cortante sencillo paralelo a la interfase, las superficies pueden deslizarse unas sobre otras sin rotura permanente del enlace.

Se ha obtenido una evidencia experimental directa de este proceso de unión reversible por espectroscopia infrarroja no dispersa con transformada de Fourier [55].

1.5 Conclusiones parciales del capítulo 1

1. El desarrollo y caracterización de materiales compuestos matriz poliméricas ha sido ampliamente estudiado y es objetivo primordial de los investigadores de este tema. Las principales fibras utilizadas como refuerzos y las resinas empleadas como matriz en los materiales plásticos compuestos son:
 - Fibras de vidrio tipo E que es la más comercializada en el mundo por poseer excelentes propiedades físico mecánicas.
 - Dentro de las fibras naturales, la fibra de: kenaf, coco, sisal, madera, lino, cáñamo, yute, etc.
 - Matriz de polipropileno, poliestireno y poliéster.
2. Los investigadores de este tema coinciden en que las fibras naturales pueden sustituir parcial o totalmente las fibras convencionales de vidrio en dependencia de la aplicación para la cual se conciban.
3. En Cuba no se reporta el uso de fibras naturales en la fabricación de materiales compuestos matriz polimérica (M.C.M.P.).
4. Es posible el desarrollo de un Material Compuesto de Matriz Polimérica reforzados con fibras naturales de producción nacional.

CAPÍTULO 2. Determinación análoga experimental de las propiedades mecánicas de las fibras de bambú.

En el presente capítulo se valoran dos aspectos fundamentales: el primero relacionado con la determinación de las propiedades mecánicas de las fibras de bambú para lo cual se tomaron muestras de la cáscara, y la fibra interior, en todos los casos con nudo y sin nudo, así como tratadas en solución de agua con tabaquina y sin tratar. En esta etapa como propiedades fundamentales se tomaron la resistencia a la rotura, el coeficiente de Poisson, y el módulo de elasticidad.

2.1 Procesamiento para el análisis de los resultados experimentales

Durante los ensayos se obtienen una gran cantidad de datos experimentales a los cuales se les determina una serie de parámetros estadístico-matemáticos tales como:

A) Media Aritmética de los Resultados ($\bar{\mu}$) o ($\bar{y}$)

Ha de señalarse que estos parámetros representan la media de una propiedad evaluada durante los experimentos.

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n} \quad (2.1)$$

B) Desviación Media Cuadrática o Desviación Estándar de la Media (S) o (σ)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (2.2)$$

$$S = \frac{R}{d_2} \text{ para número de ensayos (corridas) entre 1 y 10} \quad (2.3)$$

donde: n – Número de experimentos (corridas experimentales)

$$\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2 - \text{Suma del cuadrado de las desviaciones}$$

R – Diferencia entre el valor más alto y el más bajo de las medias en las corridas experimentales (n)

d_2 – Factor de desviación (Tabla 1)

C) Desigualdad Cuadrática o Variabilidad del Procedimiento de Ensayo (V)

A este parámetro también se le conoce como Coeficiente de Variación; se da en %.

$$V = \frac{S}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (2.4)$$

Es común señalar que para un número de ensayos (corridas experimentales) igual o superior a 30 ($\bar{y}$), (S) o (V) se pueden por método de las sumas o las multiplicaciones.

Tabla 2.1 - Factor de desviación para la desviación estándar estimada en el rango del tamaño básico de la muestra.

Tamaño de la Muestra (n)	Factor de Desviación (d_2)	($1/d_2$)
2	1,128	0,8865
3	1,693	0,5907
4	2,059	0,4857
5	2,326	0,4299
6	2,534	0,3946
7	2,704	0,3698
8	2,847	0,3512
9	2,970	0,3367
10	3,078	0,3249

El tamaño de la muestra (n) se puede determinar como:

$$n = \left(1.96 \cdot \frac{V}{e} \right)^2 \text{ para un nivel del 95\% de confianza} \quad (2.5)$$

donde: e – Error permisible de la muestra o muestreo

II. Determinación del error permisible de la muestra (e) absoluto

La precisión de los ensayos se evalúa a través del error, para lo cual se consideran o analizan dos tipos fundamentales de error, el absoluto y el relativo, para cada uno de los estadígrafos anteriores.

A) Error Absoluto de la Media Aritmética ($e_{\bar{y}}$)

$$e_{\bar{y}} = \frac{t \cdot S}{\sqrt{n-1}} \quad (2.6)$$

donde: t – Desviación normada, determinada durante una distribución normal en dependencia del número de ensayos o tamaño de la muestra

Para un nivel de confianza del 95% y $n = 20$, $t = 2.1$; para $n \geq 30$, $t = 2$

B) Error Absoluto de la Desviación Estándar (e_s)

$$e_s = \frac{2 \cdot S}{\sqrt{2 \cdot n}} \quad (2.7)$$

C) Error Absoluto del Coeficiente de Variación (e_v)

$$e_v = \frac{2 \cdot S}{\sqrt{2 \cdot n}} \quad (2.8)$$

III. Determinación del error relativo (e_r)

A) Para la Media Aritmética ($e_{r\bar{y}}$)

$$e_{r\bar{y}} = \frac{e_{\bar{y}}}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (2.9)$$

$$e_{r\bar{y}} = \frac{t \cdot V}{\sqrt{n-1}} \quad (2.10)$$

B) Para la Desviación Estándar (e_{rs})

$$e_{rs} = \frac{e_s}{S} \cdot 100 \quad (2.11)$$

$$e_{rs} = \frac{2}{\sqrt{2 \cdot n}} \cdot 100 \quad (2.12)$$

C) Para el Coeficiente de Variación (e_{rV})

$$e_{rV} = \frac{e_v}{V} \cdot 100 \quad (2.13)$$

$$e_{rs} = \frac{2}{\sqrt{2 \cdot n}} \quad (2.14)$$

Grado de precisión del ensayo

Durante la realización de trabajos científicos de investigación el error relativo no debe sobrepasar de un 3 a 5%.

A partir del valor de error relativo determinado (definido), se determina el tamaño de la muestra (número de réplicas) (n), necesario para garantizar la requerida precisión en los ensayos.

D) Para la Media Aritmética ($\bar{y}$)

$$n = 4 \cdot \left(\frac{V}{e_{r\bar{y}}} \right)^2 = \frac{4 \cdot V^2}{e_{r\bar{y}}^2} = \left(\frac{2 \cdot V}{e_{r\bar{y}}} \right)^2 \quad (2.15)$$

E) Para la Desviación Estándar (S)

$$n = \frac{2 \cdot 100^2}{e_{rs}^2} \quad (2.16)$$

F) Para el Coeficiente de Variación (V)

$$n = \frac{2 \cdot 100^2}{e_{rV}^2} \quad (2.17)$$

Por otro lado, se tiene que desde el punto de vista práctico la precisión de los ensayos está caracterizada (definida) por la magnitud del error relativo. De este modo, para una probabilidad del 95% se tiene:

<u>Magnitud del error relativo (e_r)</u>	<u>Grado de precisión del ensayo</u>
---	--------------------------------------

$e_r \leq 2$	Alto
$2 < e_r \leq 5$	Medio
$5 < e_r \leq 10$	Bajo
$e_r > 10$	Muy bajo

La Tabla 2.7 se obtiene considerando la ecuación (2.5) o (2.15) y un 95% de nivel de confianza, lo que indica un 5% de probabilidad de que la diferencia entre la muestra estimada (media aritmética $\bar{y}$) y el valor obtenido del promedio de todos los valores, para un número elevado de pruebas (réplicas), exceda el error relativo permisible de la muestra.

Tabla 2.2 - Tamaño mínimo aceptable de la muestra (n) para un 95% de confianza.

Coeficiente de Variación V (%)	Error Relativo permisible de la muestra erp (%)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	10
1	4	1							
2	16	4	2	1					
3	35	9	4	3	2	1			
4	62	16	7	4	3	2	2		
5	96	24	11	6	4	3	2	2	1
6		35	16	9	6	4	3	2	2
7		47	21	12	8	6	4	3	2
8		62	28	16	10	7	5	4	3
9		78	35	20	13	9	7	5	4
10		96	43	24	16	11	8	6	4

2.2 Características del ensayo para las propiedades mecánicas estudiadas.

La definición de las propiedades mecánicas de los materiales juega un papel importante en la determinación de la habilidad de los materiales para resistir las cargas externas a que están sometidos los elementos. Su determinación guarda especial significación para el diseño de los sistemas mecánicos por cuando la determinación de las formas y las dimensiones, así como la propia selección del

material, están íntimamente relacionadas con las propiedades físico- mecánicas de los materiales.

Todo ensayo ha de seguir unas normas comunes a todos los investigadores a fin de que éstos puedan comparar sus resultados. Por tanto, es lógica la aparición de organismos internacionales que velen por la adecuación de los experimentos a los objetivos de investigación y verificación de metodologías de ensayo. Todo lo relativo a lo que es la determinación de propiedades de materiales provoca un seguimiento exhaustivo por parte de estos organismos internacionales ya que es de capital importancia verificar la CALIDAD de los productos a fin de conseguir la SEGURIDAD de las personas.

Es por ello que aquí también se hace uso de las normas internacionales para la fabricación de las probetas de cada norma en dependencia de las propiedades que se quieren conocer del material. Para mayor información se puede consultar en los anexos según las propiedades y las normas utilizadas, teniendo conocido el espesor se podrán seleccionar las dimensiones necesarias para obtener una correcta información.

Antes de hablar de los ensayos de resistencias a los diferentes tipos de cargas aplicadas al material se debe conocer el concepto de resistencia.

Resistencia: Capacidad de soportar una carga externa sin romperse se denomina carga de rotura y puede producirse por tracción, por compresión, por torsión o por cizallamiento, habrá una resistencia a la rotura (kgf/mm²) para cada uno de estos esfuerzos.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad 2.18$$

donde F -- la fuerza a aplicar para romper, A – área transversal, σ -- carga de rotura

Ensayo de tracción.

Se le llama resistencia a la tracción la resistencia que ofrece un material al ser extendido. Este ensayo se rige por la Norma ASTM D-638 y las probetas serán del Tipo II, porque según el espesor de las planchas que están entre 1,6 y 3.5 mm se toman las dimensiones recomendadas por la norma para valores de espesores $< 7\text{mm}$ de donde se escogen las que se muestra en la Figura 2.2.

Preparación de las probetas:

Para la fabricación de las probetas se cortan tiras de la planchas con sobremedidas en una sierra de disco, para la posterior elaboración y acabado en una fresadora especializada Tensil KVT equipo que desarrolla 20000 rpm y su designación es para trabajar plásticos o materiales no metálicos, la forma a la probeta se la da un dispositivo normado con la forma de la probeta de tipo II Figura 2.1.

Estas probetas permanecen bajo condiciones establecidas por dicha norma de temperatura a $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ y humedad de $(50 \pm 5)\%$ durante 24 h antes de ser llevadas a la prueba.

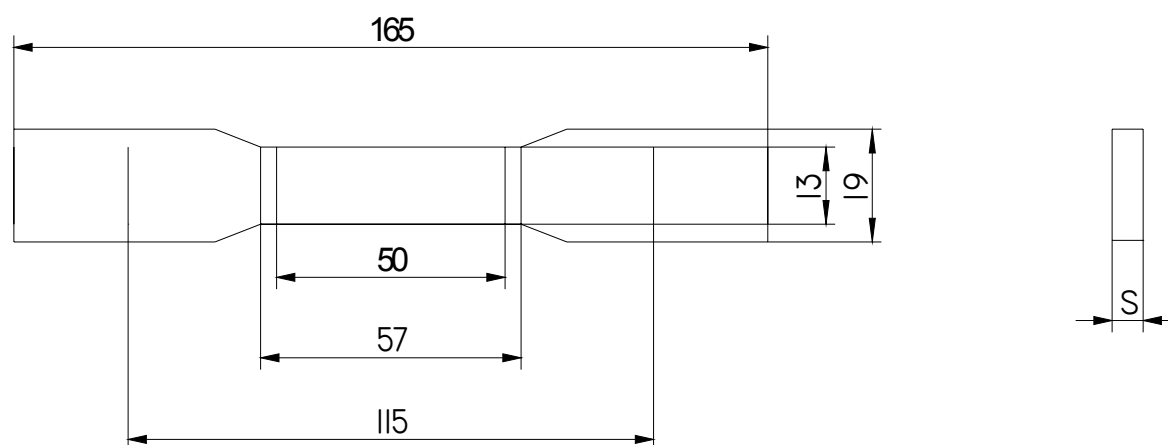


Figura .2.1 – Características y dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción.

Descripción del ensayo.

- Se coloca la probeta en las mordazas de la maquina de ensayos a la tracción, teniendo en cuidado que la probeta quede alineada según su eje longitudinal con respecto a la línea imaginaria que pasa por el centro de las mordazas, evitando todo esfuerzo de torsión.
- Se aprietan las mordazas uniformemente para evitar que se resbale la probeta, sin que se afecte en el lugar de fijación.
- Se coloca la maquina SZ –500- 1 (Figura 2.2) con todos sus parámetros a punto para graficar y para medir.
- Se van tomando mediciones intermedias de fuerza y alargamiento en condiciones especificas para la posterior determinación de otras propiedades.
- Rompe la probeta y se lee el valor de la fuerza.

El valor de la resistencia a la tracción (σ) se calcula por la formula siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad 2.19$$

donde F es la fuerza tomada en la medición.

S es el área de la sección transversal de la probeta ensayada.



Figura 2.2 – Máquina de ensayo a tracción

Del ensayo de tracción se determinan además del límite de rotura, el módulo de Elasticidad y el coeficiente de Poissón. Estas dos propiedades son importantes por cuanto miden la capacidad del material de ofrecer resistencia a las deformaciones.

El coeficiente de Poissón es una magnitud adimensional y para todos los materiales isótropos entre los límites de 0 a 0,5. Este se determina como la relación entre las deformaciones unitarias transversales y las longitudinales.

El módulo de elasticidad se determina como la relación entre límite de rotura y la deformación unitaria longitudinal.

2.3 Análisis y discusión de los resultados experimentales.

Considerando los elementos básicos para la caracterización de la estadística descriptiva de las variables respuestas objeto de estudio se procede a la aplicación de este enfoque a cada caso concreto en función de las características de la fibra estudiada.

En la primera etapa de la investigación se tiene como objetivo conocer si existen diferencias significativas en cuanto al comportamiento de las propiedades del bambú como material si se toman muestras de las diferentes partes del mismo Figura 2. 3.

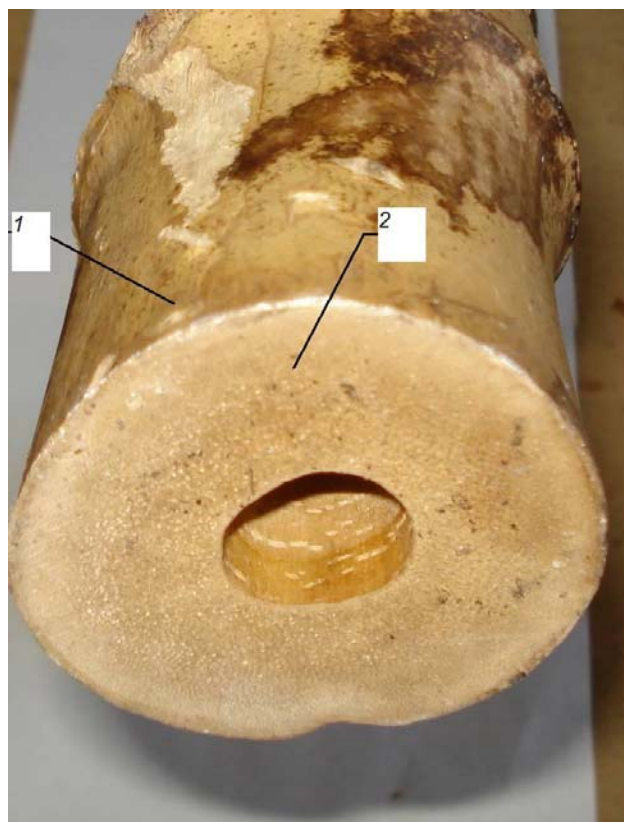


Figura 2.3 – Caña de Bambú. 1- Corteza, y 2 – Fibra

Tanto de la corteza como de la fibra se prepararon los correspondientes juegos de probetas con número de replica igual 10 para cada caso. En todos los casos se tomaron muestras de la parte sin nudo y de la con nudo. De la parte de la fibra se tomaron muestras con y sin tratamiento. A modo de ejemplo estas se muestran en la figura 2.4.



Figura 2.4 – Probetas para los ensayos de tracción

La investigación se planificó considerando como variables la fibra de bambú sin nudo con y sin tratamiento, la fibra de Bambú con nudo con y sin tratamiento, y finalmente la cáscara con y sin tratamiento.

El estudio de caracterización estadística de las variables de respuesta para el grupo de probeta se muestra en los anexos 1 a modo de resumen estos se aparecen la tabla 2.3.

Tabla 2.3-Resultados de los experimentos para las propiedades estudiadas

Muestras de la caña del bambú					
FBSNSCST	FBSNSCCT	FBCNSCST	FBCNSCCT	BCCSNST	BCCCNST
Limite de Rotura (MPa)					
221,08	137,06	130,42	78,39	151,9	118,7
222,16	137,2	133,68	80,1	147,07	123,76
217,19	137,89	134,33	78,81	150,21	116,23
223,2	137,78	135,05	80,85	147,62	118,61
222,76	137,3	133,36	84,77	149,55	120,14
221,278	137,446	133,368	80,584	149,27	119,488
Coefficiente de Poisson					
0,36	0,37	0,48	0,42	0,41	0,45
0,37	0,36	0,45	0,43	0,42	0,43
0,38	0,36	0,51	0,41	0,43	0,42
0,37	0,37	0,46	0,43	0,42	0,41
0,36	0,37	0,48	0,41	0,41	0,43
0,371	0,367	0,464	0,406	0,424	0,43
Modulo de Elasticidad (MPa)					
276667,667	185714,286	170833,579	126666,667	235384,615	174358,976
314285,714	189473,654	176296,292	129032,258	236666,667	175438,596
271428,571	190000	167692,308	129166,667	230714,286	176842,105
304375,275	188563,744	171666,666	127777,778	238461,538	177777,778
285365,185	186493,425	174586,556	126666,667	241666,667	174285,714
290424,482	188049,022	172215,08	127862,007	236578,755	175740,634
2,90E+05	1,90E+05	1,70E+05	1,30E+05	2,40E+05	1,80E+05

El análisis estadístico de los resultados muestra que en todos los casos el tamaño de la muestra es satisfactorio por cuanto se cumple que el coeficiente de variación calculado es menor que el tabulado (ver anexos1). Lo anterior deja claro que existe repetibilidad y reproducibilidad de los resultados.

De manera gráfica estos resultados para cada una de las propiedades se muestran en las figuras 2.5, 2.6 y 2.7.

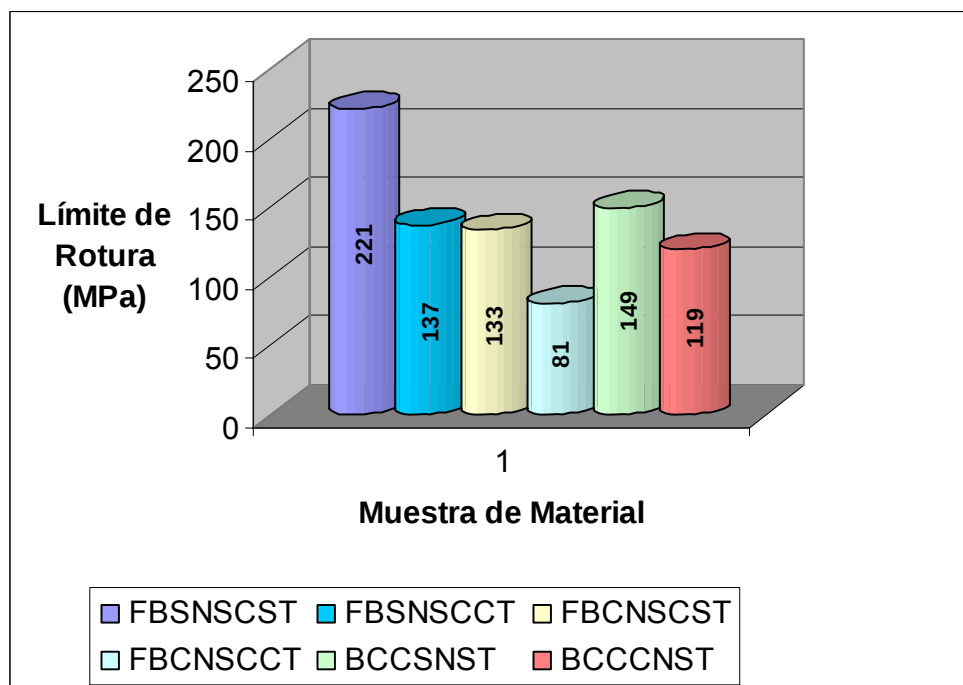


Figura 2.5-Comportamiento del Límite de Rotura para las muestras Ensayadas

Como se puede observar los mayores valores del límite de rotura se alcanzan en el caso en que la fibra no está sometida a tratamiento y en cuya sección no presenta nudos. Para el caso de la corteza superior de la caña de bambú (cáscara) se tiene un comportamiento similar, es decir la sección sin nudo presenta resistencia superior a la sección con nudo. El mayor valor lo presenta la fibra sin nudo y sin tratamiento. El menor valor lo posee la fibra con nudo y con tratamiento.

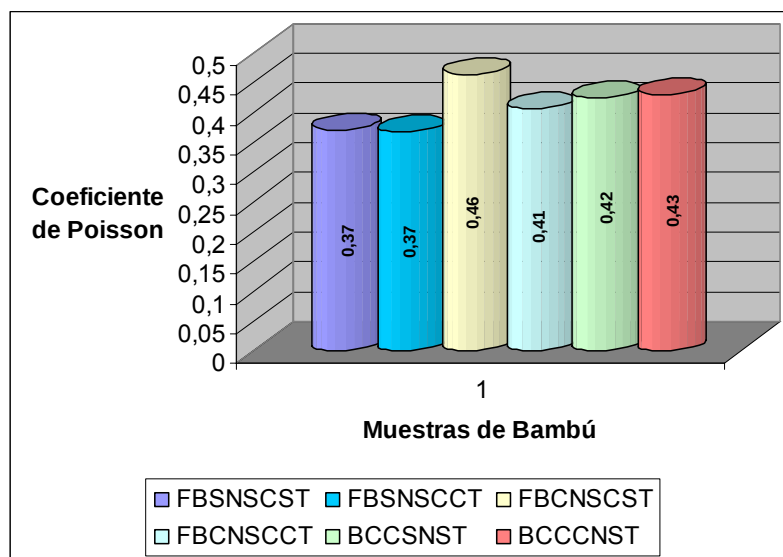


Figura 2.6-Comportamiento del Coeficiente de Poisson para las muestras ensayadas

En este caso se tiene que las variaciones del coeficiente de Poisson entre las muestras objeto de estudio no son significativas (ver anexo 10), variando en un rango de 0.37-0.46 lo cual coincide con lo reportado en la literatura especializada que refiere variaciones de este coeficiente para diferentes tipos de madera en el orden de 0.41-0.58.

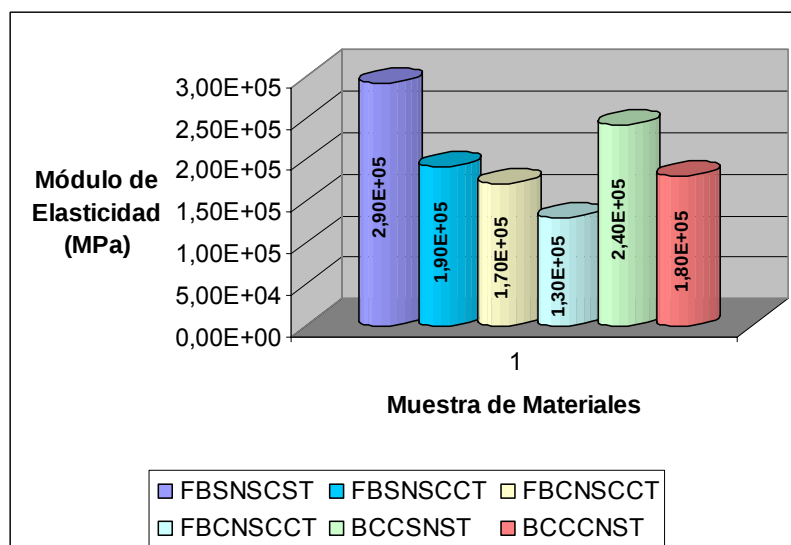


Figura 2.7-Comportamiento del Módulo de Elasticidad para las muestras ensayadas.

Tal como se conoce el Módulo de Elasticidad de un material es dependiente del límite de rotura y las deformaciones longitudinales unitarias del mismo bajo el efecto de tracción, es por ello que este tiene un comportamiento similar al de el límite de rotura en el caso de las características de la fibra de bambú estudiadas. Obsérvese que la fibra sin nudo y sin tratamiento poseen los mayores valores, la presencia de nudo en la sección de la probeta así como el tratamiento de la fibra con tabaquina disuelta en agua a temperatura de ebullición provocan una disminución de las propiedades del módulo de elasticidad. El análisis matemático estadístico de los resultados muestra que las diferencias que existen entre las muestras con tratamiento y sin tratamiento así como con nudo y sin nudo son significativas (ver anexo 2).

2.4 Planificación y diseño de experimentos para el estudio del comportamiento de la fibra de bambú como reesfuerzo en materiales compuesto matriz polimérica a partir de la resina de poliéster.

Esta parte tiene como objetivo esencial la obtención y caracterización del material compuesto matriz resina de poliéster al añadir como refuerzo diferentes fibras naturales y artificiales tales como, la fibra de Bambú, y la fibra de vidrio en forma de Robing 800 y MAT 600.

Materiales a ensayar.

Para la realización de las pruebas, se establecen mezclas en las que la resina de poliéster se le añade como material de refuerzo los siguientes componentes:

- Robing 800.
- Mat 600.
- Fibras de Bambú.

Para evaluar si los resultados de los ensayos experimentales son válidos y determinar la influencia de las variables y las leyes de variación de las propiedades físico- mecánicas, se empleó el paquete profesional Stat Graphics Plus 5.1 para el procesamiento estadístico.

Tabla 2.4. Matriz de compuesto polimérico con refuerzo (Robing 800, Mat 600, Bambú)

Muestra	Robing 800 (%)	Mat 600 (%)	Bambú (%)
1	0	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	0	0	0

Tabla 2.5. Media de los resultados para el ensayo de resistencia a la tracción.

ENSAYO DE TRACCION	
Robing 800	270
Mat 600	170
Bambú	222

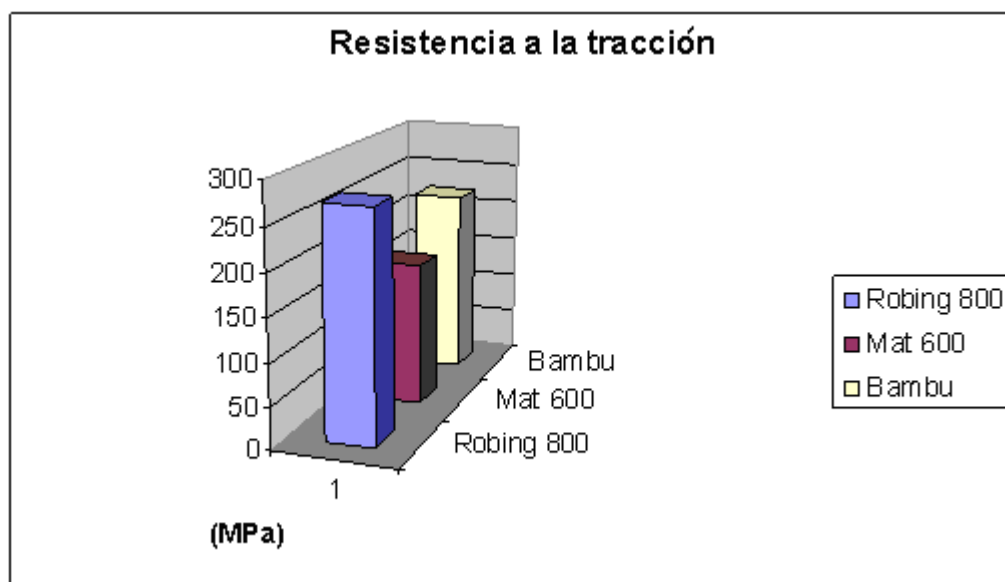


Figura 2.8 - Comportamiento de la resistencia a la tracción en las fibras.

Analizando los resultados que se muestran en la figura 2.8 se tiene que los mayores valores de resistencia a la tracción se tienen para el material compuesto reforzado con la Fibra de Vidrio en forma de Robing 800 con un valor de 270 Mpa. De igual manera se tiene que la adición de la fibra de Bambú como refuerzo, hace que el material presente valores de la resistencia a la tracción por encima de la fibra de Vidrio en forma de Mat 600, y cercanos a la de Robing 800.

Valorando los resultados del procesamiento estadístico de los mismos (**ver anexo 5.2**) se tiene que las diferencias entre los valores alcanzados son significativas. Lo que indica que los tejidos de Bambú incrementan los valores de resistencia a la tracción de manera significativa respecto a la fibra de vidrio en forma de Mat 600.

Tabla 2.6. Media de los resultados para el ensayo de determinación del Módulo de Elasticidad.

MODULO DE ELASTICIDAD	
Robing 800	191515
Mat 600	238080
Bambú	287708

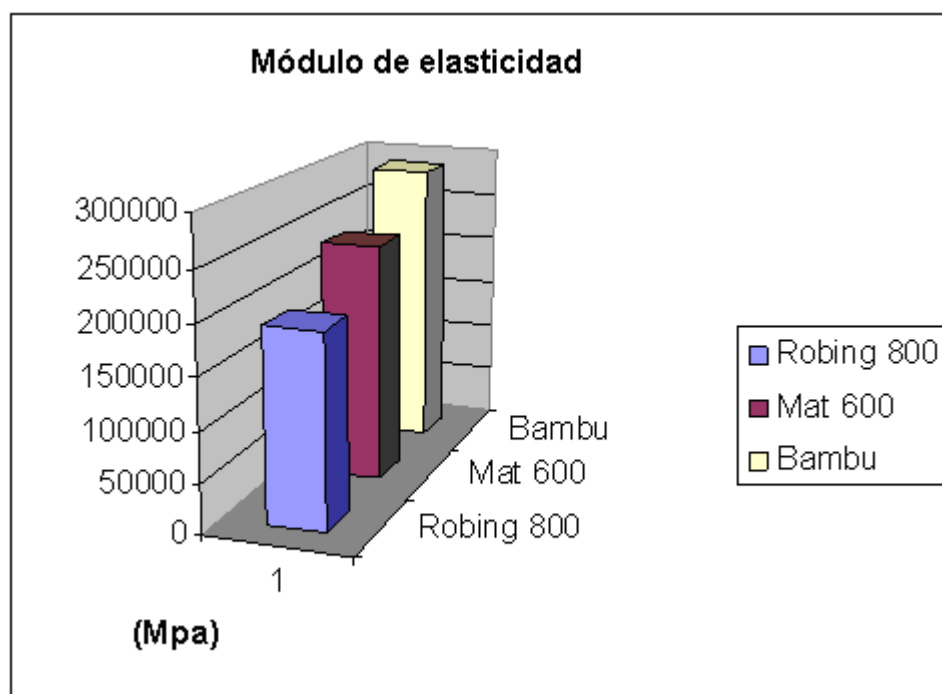


Figura 2.9 Comportamiento de la módulo de elasticidad en las fibras.

Analizando los resultados que se muestran en la figura 2.9 se tiene que los mayores valores de módulo de elasticidad lo presenta la fibra de bambú con refuerzo con un valor de 191515 Mpa. De igual forma la fibra de vidrio en forma de Mat 600 tiene valores aproximados a los de la Fibra de Bambú no siendo así en la fibra de vidrio en forma de Robing 800.

Valorando los resultados del procesamiento estadístico de los mismos (**ver anexo 6.1**) se tiene que las diferencias entre los valores alcanzados son significativas. Lo anterior indica que en los tejidos de Bambú los valores del Módulo de elasticidad se incrementan de una manera significativa respecto a la fibra de vidrio en forma de Robing 800.

Tabla 2.7. Media de los resultados para el ensayo de determinación del coeficiente de Poissón.

COEFICIENTE DE POISON	
Robing 800	0.116
Mat 600	0.184
Bambú	0.364

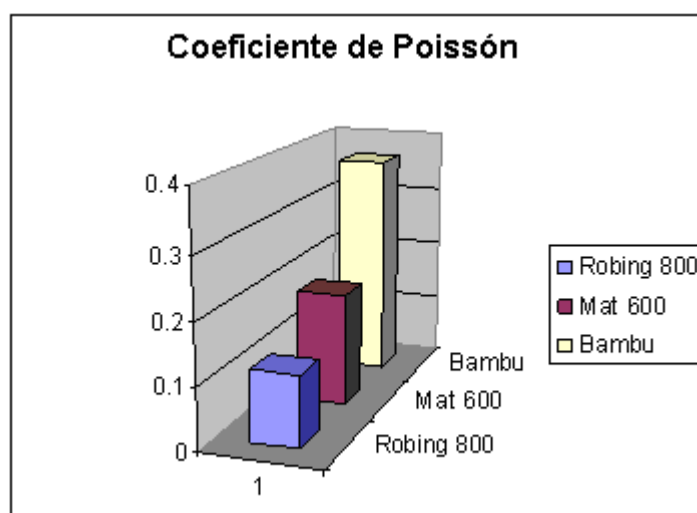


Figura 2.10 Comparación del coeficiente de Poissón.

Analizando los resultados de de la figura 2.10 se puede apreciar que los mayores valores del Coeficiente de Poissón lo presenta la fibra de Bambú con refuerzo llegando alcanzar valores de 0.364. Se debe agregar que los valores de la fibra

de Vidrio dispuestas en forma de Mat 600 y de Robing 800 no alcanzan los valores de la media (anexo 7.1) de la fibra de Bambú.

2.5 Conclusiones parciales del capítulo.

1. Las propiedades de la fibra de bambú varían en dependencia de la parte de la caña que la misma se tome, siendo significativa la variación de las mismas entre las muestras tomadas de la fibra y la corteza superior, de igual manera entre la fibra y la corteza con nudo y sin nudo, así como entre la fibra tratada y la no tratada.
2. La resistencia a la tracción alcanzada por la Fibra de Bambú como refuerzo es casi comparable con la fibra de Vidrio dispuesta en forma de Robing 800 siendo este el valor más elevado (270Mpa), haciendo una valoración del procesamiento estadístico los valores alcanzados por el tejido de Bambú se incrementan los valores de resistencia a la tracción de manera significativa respecto a la fibra de vidrio en forma de Mat 600.
3. El módulo de elasticidad de la fibra de Bambú como refuerzo es un valor elevado (287708Mpa) comparado con la fibra de vidrio dispuesta en forma de Mat 600 lo que permite una mayor elasticidad.
4. La fibra de bambú presenta un elevado Coeficiente de Poisson, siendo superior que favorable para Fibra de Vidrio dispuesta en forma de Mat 600 y la fibra de vidrio dispuesta en forma de Robing 800 haciendo más evidente con esta última.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. En los materiales compuestos matriz poliméricas las principales fibras utilizadas como refuerzos en Materiales Compuestos Matriz Polimérica (MCMP) son:
 - Fibras de vidrio tipo E por cuanto posee excelentes propiedades mecánicas.
 - Dentro de las fibras naturales, la fibra de: kenaf, coco, sisal, madera, lino, cáñamo, yute, etc.
2. No se reporta en la literatura el empleo de la fibra de bambú en forma de estera tejida como fibra natural de refuerzo en Materiales Compuestos Matriz Polimérica (MCMP).
3. De la determinación análoga experimental del comportamiento de las propiedades mecánicas de las fibras para la fabricación de esteras de bambú se tiene que la resistencia a la rotura varía en el rango de 80,6 a 221,3 MPa. El módulo de Elasticidad en el rango de $1,30 \times 10^5$ a $2,9 \times 10^5$ MPa, y el coeficiente de Poissón en el orden de 0.37 a 0,46.
4. Los resultados alcanzados al introducir esteras de Bambú en la resina de poliéster permite afirmar que la misma puede ser utilizada como refuerzo de Materiales Compuestos Matriz Polimérica, por cuanto mejora las propiedades físico mecánica del compuesto, siendo los valores alcanzados son similares a los que se alcanzan con la fibra de Vidrio en forma de Robing 800, y muy superiores a los alcanzados con Fibra de Vidrio en forma de Mat 600.
5. Las propiedades de la resina se incrementan sustancialmente con la adición de los tejidos de Bambú, lo que muestra el carácter reforzante de la misma.

Recomendaciones

1. Utilizar los Diseños Estadístico de Experimentos de Mezclas para con ello definir el por ciento óptimo de sustitución de la fibra de vidrio por las esteras de Bambú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Massardier, V., *C.R.Chimie* 5. 507-512. 2002. .
2. Wake, W.C., *Polymer*.19. 291-308. 1978.
3. Sclar, D.A., *Composites materials*. . Vol. Vol.6. E.P. Plueddemann Ed. Academic Press. Nueva York. 217-284. 1974.
4. Rosen, B.W., Hashin, Z. , *Analysis of materials properties. Engineered materials handbook*. Vol. Vol 1:Composites. Material park (OH): ASM international. 185- 205. 1987.
5. Saheb, D.N., Job, J.P. , *Advanced in Polymer Technology*. . Vol. 18:351-63. 1999
6. Narkis, M., Nicolais, L., Joseph, E. , *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. Vol 20.1597-1606. 1976.
7. A - A. C. KARMAKER* and J. A. YOUNGQUIST, *Injection Molding of Polypropylene Reinforced with Short Jute Fibers*, . One Gifford Pinchot Drive, Madison, WI 53705, ed. F.P.L. USDA Forest Service. 1996.
8. Berger, E.J., Eckstein, Y. , *Adhesive Joints*. , ed. K.L.P.P. Ed. Mittal. 1984. , Nueva York. 51.
9. Polimeri Europa, *Hoja de características de Polystirène Existir N1841*. División Elastomeri e Stirenici. Milano, 2003.
10. Saha, A., Das, S. Bhatta, D. Mitra, B.C. . *J Appl Polymer Sci*. 71:1505-13. 1999. .
11. Wollerdorfert, M., Bader, H. , *Crops and Products*. 8:105-12. 1998. .
12. Lee, N.J., Jang, J. , *The effect of fibre content on the mechanical properties of glass fibre mat/polypropylene composites.Composites: Part A* 1999.30:80.15-22. 1999. .
13. Milewski, J.V., *Handbook of Fillers and Reinforced for plastics*. . H.S. Katz & J.V. Milewski. Van Nostrad Reinhold.68.Fundamentos Teóricos ed. 1978.

14. SPI, *Handbook of Technology and Engineering of Reinforced Plastics/composites*. . J.G. Mohr. Van. Nostrand. Reinhold. Nueva York ed. 1973. .
15. Chon, C.T., Sun, C.T. , *J Mater Sci.* 15 :931. 1980. .
16. Folkes, M.J., Russel, D.M.A. , *Polymer* 21. 1252-8. 1980. .
17. Corrales, B.F., *Tesis doctoral por la Universidad de Girona*. 2002.
18. Asociación danesa de la industria eólica, *Aerogeneradores*. mayo 2003.
19. Ehrburge, P., Donet, J.B. , *Phil Trans R Soc.Londres* . A294. 495-505. 1980. .
20. Kerner, E.H., *Proc. Phys. Soc.* 69B, 808. 1956. .
21. J Bornay, *Aerogeneradores*".
22. Young, R.A., *Lignocellulosic-Plastics Composites*. . Leao, A.L., Carvalho, F.X., Frolini, E. ed. 1997. , Sao Paulo. State University.
23. Miller, J.D., Ishida, H. , *Chimically Modified Surfaces*. . K. Leyden. Gordon and Breach. ed. Vol. Vol.1. Silane. Surfaces and Interfases. 1986. , Nueva York. 525.
24. Adamson, A.W., *In Physical Chemistry of Surfaces*. . 4a Ed. John Wiley and Sons. ed. 1982. , Nueva York. . 294-318.332-368.
25. Schwartz, S.S., *Plastics materials and processes*. . Van Nostrand Reinhold ed. 1992. , N.Y.
26. Ishida, H., Koenig, J.L. . *Proceedings of the 35th SPI/RP. in Annual Technology Conference.Society of Plastics Industry*. . 1980. . Nueva York.
27. Dingle, L.D., *Journal of Materials Science*. 5. 357-363. 1974.
28. Ericsson, P.W., Plueddemann, E.P., *Composites Materials* E.P. Plueddemann. AcademicPress.1-29. ed. Vol. Vol 6. 1974.
29. Kinloch, A.J., Kodokian, G.K.A., Watts, J.F. , *Phil Trans Roy Soc. Londres*. A338.83-112. . 1992.

30. Antikow, P., *Fills et fibres synthetiques au usages textiles. Rhône Poulenc Fibres France. Documento interno para formación de Cadres.* 1994.
31. Mieck, K.P., Nechwatal, A. Knobelsdorf, C., *Melliand Textilberichte*; 11:892-898. 1994.
32. Plueddemann, E.P., *Composites Materials.* Academic Press ed. Vol. Vol.6.E.P. Plueddeman. 1974., Nueva York.
33. Shen, W., Parker, I.H. , *Journal of colloid and Interface Science.* 240. 172-181. 2001.
34. Sato, Y., *Rubber Chem. Tech.* 35, 857. 1962. .
35. Pagano, N.J., Halpin J.C. , *J Compos Mater.* 2:18-31. 1968. .
36. Broutman, L.J., *Interfase in Composite Materials. ASTM Special Technical Publication. 452. American Society for Testing and Materials.* 1969. .
37. Koslowski, H.J., *Dictionary of man-made fibers.* . Special edition 2000. Sachtleben Chemie GmgH ed. 2000.
38. Cox, H.L., *Br. J. appl.Phys.* 3, 72-9. 1952.
39. Parvizi, A., Bailey, J.E. , *J Mater Sci.* 2131-6. 1978.
40. O'Dell, C.-J.L., *Natural Fibers in ResinTransfer Molded Composites.* 2000.
41. Buggy, M., Farragher, L., Madden, W. , *Journal of Materials Processing Technology* 55. 448-456. 1995.
42. Toussant, A.F., Luner, P. , *The wetting properties of hydrophobically modified cellulose surfaces.* , in *Proc. 10th Cellulose Conf., Syraccruse,* 1988. : Nueva York. .
43. Hashin, Z., Rosen, B.W. , *ASME J Appl Mech*; 31:223-32. 1964.
44. Nielsen, L.E.L., R.F. , *Mechanical properties of polymers and composites.* . 2 Ed. Marcel Dekker ed. 1994., Nueva York.
45. Askeland, D., *Science and engineering of materials.* . Ed. Paraninfo. Capítulo 2 ed. 2001., Madrid.

46. Luc Peters, *New Structural Materials for Wind Turbine Blades*, *Power Engineering January*,. 2007
47. Williams, J.G., Donnellan, M.E., James. M.R., Morris, W.L. , *Mater. Sci. Eng. A126*. 305-312. 1990.
48. Michaeli, W., Wegner, M. , *Tecnología de los composites/plásticos reforzados*. . Hanser ed. 1992., Barcelona.
49. Bledzki, A.K., Sabe D. N., Gassan, J. , *Progress in Polymer Science*. 24:221-74. 1999.
50. Chishoim, B.J., Fong, P.M., Zimmer, J.G., Hendrix, R. , *J. Appl. Polym. Sci.* . Vol. Vol.74. 889-99. 1999. .
51. Hull, D., *An Introduction to Composite Materials*. Cambridge University Press. . 1987. , Cambridge.
52. Adams, D.F., Doner, D.R. , *J Comp. Mater.*1.152-64. 1967. .
53. Halpin, J.C., *Mater Comp J*. 3. 732-4. 1969.
54. Carroll, B.J., *J colloid. Interface Sci*. 57. 488-495. 1976. .
55. Plueddemann, E.P., *Interfaces in polymer matrix composites*. . 1974., New York: Academic press.
56. Garcen, J., *Fibras textiles*. . UPC. IITT ed. 1991., Terrasa.
57. Li, Y., Mai, Y.W. , *Compos Sci Technol* 60 :2037-55. 2000.

ANEXOS

ANEXO - 1

Anexo 1.1-1 Fibra de Bambú sin nudo sin cáscara sin tratar

Espesor P1 (Inicial)	Ancho P1(Inicial)	Espesor P2 (Inicial)	Ancho P2(Inicial)
1,556	7,561	1,377	7,353
1,53	7,527	1,374	7,325
1,506	7,505	1,339	7,305
1,505	7,493	1,355	7,258
1,524	7,522	1,361	7,310
Espesor P1 (56 Kgf)	Ancho P1 (56 Kgf)	Espesor P2 (62 Kgf)	Ancho P2 (62 Kgf)
1,554	7,55	1,295	7,293
1,528	7,488	1,295	7,3
1,476	7,461	1,314	7,256
1,474	7,475	1,316	7,228
1,508	7,494	1,305	7,269
Espesor P1 (100 Kgf)	Ancho P1 (100 Kgf)	Espesor P2 (100 Kgf)	Ancho P2 (100 Kgf)
1,47	7,453	1,292	7,292
1,443	7,435	1,292	7,267
1,466	7,411	1,31	7,241
1,443	7,411	1,315	7,227
1,456	7,428	1,302	7,257
Coeficiente de Poissón P1 (56 kgf)		Coeficiente de Poissón P2 (62 kgf)	
0,37		0,37	
Coeficiente de Poissón P1 (100 kgf)		Coeficiente de Poissón P2 (100 kgf)	
0,37		0,37	
Limite de Rotura P1 (MPa)		Limite de Rotura P2 (MPa)	
217,19		221,08	
Fuerza de Rotura P1 (N)		Fuerza de Rotura P2 (N)	
2490		2200	
Deformación Unitarial longitudinal P1 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P2 (100 kgf)	
0,009		0,007	
Modulo de Elasticidad P1 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P1 (Mpa)	
276666,667		314285,714	

Anexo 1.1-2 Fibra de Bambú sin nudo sin cáscara sin tratar

Espesor P3 (Inicial)	Ancho P3(Inicial)
1,223	6,936
1,196	7,011
1,225	7,04
1,241	7,025
1,221	7,003
Espesor P3 (55 Kgf)	Ancho P3 (55 Kgf)
1,21	6,914
1,166	6,981
1,135	6,986
1,153	6,961
1,166	6,961
Espesor P3 (100 Kgf)	Ancho P3 (100 Kgf)
1,199	6,902
1,158	6,972
1,129	6,962
1,149	6,956
1,159	6,948

Coefficiente de Poissón P3 (55 kgf)

0,38

Coefficiente de Poissón P3 (100 kgf)

0,37

Limite de Rotura P3 (MPa)

222,16

Fuerza de Rotura P3 (N)

1900

Deformación Unitaria longitudinal P3 (100 kgf)

0,007

Modulo de Elasticidad P1 (Mpa)

271428,571

Anexo 1.2 -1 Fibra de Bambú sin nudo sin cáscara tratada

Espesor P1 (Inicial)	Ancho P1(Inicial)	Espesor P2 (Inicial)	Ancho P2(Inicial)
2,582	7,364	1,712	7,602
2,583	7,454	1,794	7,482
2,576	7,656	1,788	7,421
2,402	7,449	1,721	7,419
2,536	7,481	1,754	7,481
Espesor P1 (50 Kgf)	Ancho P1 (50 Kgf)	Espesor P2 (60 Kgf)	Ancho P2 (60 Kgf)
2,561	7,316	1,664	7,432
2,664	7,401	1,652	7,361
2,552	7,456	1,492	7,295
2,301	7,436	1,546	7,341
2,5195	7,402	1,589	7,357
Espesor P1 (100 Kgf)	Ancho P1 (100 Kgf)	Espesor P2 (100 Kgf)	Ancho P2 (100 Kgf)
2,413	7,298	1,564	7,412
2,572	7,382	1,548	7,348
2,425	7,433	1,382	7,285
2,443	7,432	1,486	7,334
2,463	7,386	1,495	7,345
Coeficiente de Poissón P1 (60 kgf)		Coeficiente de Poissón P2 (60 kgf)	
0,35		0,37	
Coeficiente de Poissón P1 (100 kgf)		Coeficiente de Poissón P2 (100 kgf)	
0,37		0,36	
Limite de Rotura P1 (MPa)		Limite de Rotura P2 (MPa)	
137,06		137,20	
Fuerza de Rotura P1 (N)		Fuerza de Rotura P2 (N)	
2600		1800	
Deformación Unitarial longitudinal P1 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P2 (100 kgf)	
0,014		0,0095	
Modulo de Elasticidad P1 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P2 (Mpa)	
185714,286		189473,7	

Anexo 1.2 -2 Fibra de Bambú sin nudo cáscara sin tratada

Espesor P3 (Inicial)	Ancho P3(Inicial)	Espesor P4 (Inicial)	Ancho P4(Inicial)
1,732	7,605	1,892	8,383
1,732	7,503	2,485	8,376
1,463	7,368	1,877	8,244
1,752	7,231	1,791	7,96
1,670	7,427	2,011	8,241
Espesor P3 (68 Kgf)	Ancho P3 (68 Kgf)	Espesor P4 (60 Kgf)	Ancho P4 (60 Kgf)
1,723	7,337	1,868	8,329
1,596	7,353	2,473	8,343
1,524	7,323	1,854	8,24
1,421	7,223	1,781	7,872
1,566	7,309	1,994	8,196
Espesor P3 (100 Kgf)	Ancho P3 (100 Kgf)	Espesor P4 (100 Kgf)	Ancho P4 (100 Kgf)
1,676	7,307	1,831	8,301
1,564	7,311	2,454	8,233
1,515	7,102	1,841	8,175
1,4	7,114	1,752	7,824
1,539	7,209	1,970	8,133
Coeficiente de Poissón P3 (68 kgf)		Coeficiente de Poissón P4 (60 kgf)	
0,39		0,36	
Coeficiente de Poissón P3 (100 kgf)		Coeficiente de Poissón P4 (100 kgf)	
0,36		0,36	
Limite de Rotura P3 (MPa)		Limite de Rotura P4 (MPa)	
137,89		137,56	
Fuerza de Rotura P3 (N)		Fuerza de Rotura P3 (N)	
1710		2280	
Deformación Unitarial longitudinal P3 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P4 (100 kgf)	
0,009		0,009	
Modulo de Elasticidad P3 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P4 (Mpa)	
190000		253333,333	

Anexo 1.3 -1 Fibra de Bambú con nudo sin cáscara sin tratar

Espesor P1 (Inicial)	Ancho P1(Inicial)	Espesor P2 (Inicial)	Ancho P2(Inicial)
1,975	8,754	1,202	6,812
2,03	9,376	2,323	7,293
1,985	9,288	1,657	7,202
1,997	9,139	1,727	7,102
Espesor P1 (60 Kgf)	Ancho P1 (60 Kgf)	Espesor P2 (60 Kgf)	Ancho P2 (60 Kgf)
1,905	8,353	1,169	6,881
1,907	9,304	2,253	7,164
1,453	9,254	1,554	7,152
1,755	8,970	1,659	7,066
Espesor P1 (100 Kgf)	Ancho P1 (100 Kgf)	Espesor P2 (100 Kgf)	Ancho P2 (100 Kgf)
1,353	8,324	1,156	6,824
1,894	9,285	2,294	7,154
1,445	9,243	1,502	7,138
1,564	8,951	1,651	7,039
Coefficiente de Poissón P1 (60 kgf)		Coefficiente de Poissón P2 (60 kgf)	
0,45		0,43	
Coefficiente de Poissón P1 (100 kgf)		Coefficiente de Poissón P2 (100 kgf)	
0,48		0,45	
Limite de Rotura P1 (MPa)		Limite de Rotura P2 (MPa)	
130,42		133,68	
Fuerza de Rotura P1 (N)		Fuerza de Rotura P2 (N)	
2380		1640	
Deformación Unitarial longitudinal P1 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P2 (100 kgf)	
0,0135		0,0095	
Modulo de Elasticidad P1 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P2 (Mpa)	
176296		172631,6	

Anexo 1.3 -2 Fibra de Bambú con nudo sin cáscara sin tratar

Espesor P3 (Inicial)	Ancho P3(Inicial)	Espesor P4 (Inicial)	Ancho P4(Inicial)
1,977	8,264	1,207	9,159
2,547	8,424	2,102	8,557
1,316	8,322	1,984	8,22
1,947	8,337	1,764	8,645
Espesor P3 (50 Kgf)	Ancho P3 (50 Kgf)	Espesor P4 (60 Kgf)	Ancho P4 (60 Kgf)
1,956	8,202	1,144	9,014
2,448	8,347	2,082	8,407
1,272	8,267	1,945	8,178
1,892	8,272	1,724	8,533
Espesor P3 (100 Kgf)	Ancho P3 (100 Kgf)	Espesor P4 (100 Kgf)	Ancho P4 (100 Kgf)
1,396	7,981	1,136	8,973
2,438	8,001	2,074	8,402
1,256	7,916	1,382	8,037
1,697	7,966	1,531	8,471
Coeficiente de Poissón P3 (68 kgf)		Coeficiente de Poissón P4 (60 kgf)	
0,46		0,45	
Coeficiente de Poissón P3 (100 kgf)		Coeficiente de Poissón P4 (100 kgf)	
0,51		0,46	
Limite de Rotura P3 (MPa)		Limite de Rotura P4 (MPa)	
134,33		135,05	
Fuerza de Rotura P3 (N)		Fuerza de Rotura P4 (N)	
2180		2060	
Deformación Unitarial longitudinal P3 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P4 (100 kgf)	
0,013		0,012	
Modulo de Elasticidad P3 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P4 (Mpa)	
167692,31		171666,67	

Anexo 1.3 -3 Fibra de Bambú con nudo sin cáscara sin tratar

Espesor P5 (Inicial)	Ancho P5(Inicial)
1,314	8,042
2,942	8,103
2,427	7,283
2,228	7,809

Espesor P5 (60 Kgf)	Ancho P5 (60 Kgf)
1,204	7,938
2,325	8,057
1,846	7,179
1,792	7,725

Espesor P5 (100 Kgf)	Ancho P5 (100 Kgf)
1,194	7,805
2,208	8,036
1,727	7,114
1,710	7,652

Coefficiente de Poisson P5 (60 kgf)

0,47

Coefficiente de Poisson P5 (100 kgf)

0,48

Limite de Rotura P5 (MPa)

133,36

Fuerza de Rotura P5 (N)

2320

Deformación Unitaria longitudinal P5 (100 kgf)

0,009

Modulo de Elasticidad P4 (Mpa)

257777,778

Anexo 1.4 -1 Fibra de Bambú con nudo sin cáscara tratada

Espesor P1 (Inicial)	Ancho P1(Inicial)	Espesor P2 (Inicial)	Ancho P2(Inicial)
2,194	9,815	2,163	8,899
4,016	9,715	4,747	8,461
2,911	9,171	3	8,717
3,040	9,567	3,303	8,692
Espesor P1 (60 Kgf)	Ancho P1 (60 Kgf)	Espesor P2 (60 Kgf)	Ancho P2 (60 Kgf)
1,839	9,754	2,068	8,806
3,805	9,654	3,547	8,436
2,656	9,11	2,885	8,645
2,767	9,506	2,833	8,629
Espesor P1 (100 Kgf)	Ancho P1 (100 Kgf)	Espesor P2 (100 Kgf)	Ancho P2 (100 Kgf)
1,603	9,693	2,047	8,713
3,754	9,593	3,452	8,343
2,62	9,049	2,714	8,552
2,659	9,445	2,738	8,536
Coeficiente de Poissón P1 (60 kgf)		Coeficiente de Poissón P2 (60 kgf)	
0,38		0,40	
Coeficiente de Poissón P1 (100 kgf)		Coeficiente de Poissón P2 (100 kgf)	
0,36		0,41	
Limite de Rotura P1 (MPa)		Limite de Rotura P2 (MPa)	
78,39		80,10	
Fuerza de Rotura P1 (N)		Fuerza de Rotura P2 (N)	
2280		2300	
Deformación Unitarial longitudinal P1 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P2 (100 kgf)	
0,018		0,018	
Modulo de Elasticidad P1 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P2 (Mpa)	
126666,67		127777,78	

Anexo 1.4 -2 Fibra de Bambú con nudo sin cáscara tratada

Espesor P3 (Inicial)	Ancho P3(Inicial)	Espesor P4 (Inicial)	Ancho P4(Inicial)
2,121	8,825	1,825	9,392
2,9	8,5	2,893	9,305
1,753	8,805	1,705	9,034
2,258	8,710	2,141	9,244
Espesor P3 (50 Kgf)	Ancho P3 (60 Kgf)	Espesor P4 (60 Kgf)	Ancho P4 (60 Kgf)
1,983	8,763	1,814	9,334
2,804	8,439	2,526	9,247
1,346	8,755	1,441	8,796
2,044	8,652	1,927	9,126
Espesor P3 (100 Kgf)	Ancho P3 (100 Kgf)	Espesor P4 (100 Kgf)	Ancho P4 (100 Kgf)
1,978	8,73	1,653	9,316
2,656	8,392	2,457	9,209
1,305	8,692	1,425	8,764
1,980	8,605	1,845	9,096
Coefficiente de Poissón P3 (60 kgf)		Coefficiente de Poissón P4 (60 kgf)	
0,39		0,41	
Coefficiente de Poissón P3 (100 kgf)		Coefficiente de Poissón P4 (100 kgf)	
0,43		0,42	
Limite de Rotura P3 (MPa)		Limite de Rotura P4 (MPa)	
78,81		80,85	
Fuerza de Rotura P3 (N)		Fuerza de Rotura P4 (N)	
1550		1600	
Deformación Unitarial longitudinal P3 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P4 (100 kgf)	
0,012		0,0124	
Modulo de Elasticidad P3 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P4 (Mpa)	
129166,7		129032,26	

Anexo 1.4 -3 Fibra de Bambú con nudo sin cáscara tratada

Espesor P5 (Inicial)	Ancho P5(Inicial)
1,52	9,562
2,621	9,581
1,418	9,886
1,853	9,676
Espesor P5 (60 Kgf)	Ancho P5 (60 Kgf)
1,479	9,518
2,502	9,537
1,409	9,547
1,797	9,534
Espesor P5 (100 Kgf)	Ancho P5 (100 Kgf)
1,452	9,487
2,206	9,493
1,36	9,483
1,673	9,488

Coefficiente de Poissón P5 (60 kgf)

0,38

Coefficiente de Poisson P5 (100 kgf)

0,43

Limite de Rotura P5 (MPa)

84,77

Fuerza de Rotura P5 (N)

1520

Deformación Unitarial longitudinal P5 (100 kgf)

0,012

Modulo de Elasticidad P4 (Mpa)

126666,667

Anexo 1.5 -1 Bambú Con Cáscara Sin Nudo Sin Tratar

Espesor P1 (Inicial)	Ancho P1(Inicial)	Espesor P2 (Inicial)	Ancho P2(Inicial)
1,782	8,209	1,532	8,854
2,643	8,753	2,568	9,365
2,796	8,146	2,393	8,547
2,407	8,369	2,164	8,922
Espesor P1 (60 Kgf)	Ancho P1 (60 Kgf)	Espesor P2 (60 Kgf)	Ancho P2 (60 Kgf)
1,689	8,152	1,473	8,815
2,407	8,646	2,208	9,238
2,603	8,013	2,332	8,385
2,233	8,270	2,004	8,813
Espesor P1 (100 Kgf)	Ancho P1 (100 Kgf)	Espesor P2 (100 Kgf)	Ancho P2 (100 Kgf)
1,156	8,096	1,463	8,8
2,367	8,613	2,165	8,215
2,593	7,995	2,313	8,343
2,039	8,235	1,980	8,453
Coefficiente de Poissón P1 (60 kgf)		Coefficiente de Poissón P2 (60 kgf)	
0,41		0,42	
Coefficiente de Poissón P1 (100 kgf)		Coefficiente de Poissón P2 (100 kgf)	
0,43		0,41	
Limite de Rotura P1 (MPa)		Limite de Rotura P2 (MPa)	
151,90		147,07	
Fuerza de Rotura P1 (N)		Fuerza de Rotura P2 (N)	
3060		2840	
Deformación Unitarial longitudinal P1 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P2 (100 kgf)	
0,013		0,012	
Modulo de Elasticidad P1 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P2 (Mpa)	
235384,6		236666,67	

Anexo 1.5 -2 Bambú Con Cáscara Sin Nudo Sin Tratar

Espesor P3 (Inicial)	Ancho P3(Inicial)	Espesor P4 (Inicial)	Ancho P4(Inicial)
1,819	8,589	1,597	9,116
2,917	9,035	2,543	8,925
2,654	8,564	2,943	8,643
2,463	8,729	2,361	8,895
Espesor P3 (50 Kgf)	Ancho P3 (60 Kgf)	Espesor P4 (60 Kgf)	Ancho P4 (60 Kgf)
1,756	8,446	1,487	8,993
2,608	8,894	2,378	8,774
2,557	8,428	2,643	8,572
2,307	8,589	2,169	8,780
Espesor P3 (100 Kgf)	Ancho P3 (100 Kgf)	Espesor P4 (100 Kgf)	Ancho P4 (100 Kgf)
1,656	8,394	1,452	8,9
2,347	8,852	2,357	8,759
2,515	8,386	2,628	8,565
2,173	8,544	2,146	8,741
Coeficiente de Poissón P3 (60 kgf)		Coeficiente de Poissón P4 (60 kgf)	
0,43		0,42	
Coeficiente de Poissón P3 (100 kgf)		Coeficiente de Poissón P4 (100 kgf)	
0,44		0,44	
Limite de Rotura P3 (MPa)		Limite de Rotura P4 (MPa)	
150,21		147,62	
Fuerza de Rotura P3 (N)		Fuerza de Rotura P4 (N)	
3230		3100	
Deformación Unitarial longitudinal P3 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P4 (100 kgf)	
0,014		0,013	
Modulo de Elasticidad P3 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P4 (Mpa)	
230714,29		238461,54	

Anexo 1.5 -3 Bambú Con Cáscara Sin Nudo Sin Tratar

Espesor P5 (Inicial)	Ancho P5(Inicial)
1,598	8,522
2,517	8,415
2,753	8,474
2,289	8,470
Espesor P5 (60 Kgf)	Ancho P5 (60 Kgf)
1,493	8,402
2,346	8,378
2,538	8,227
2,126	8,336
Espesor P5 (100 Kgf)	Ancho P5 (100 Kgf)
1,473	8,382
2,137	8,345
2,454	8,195
2,021	8,307

Coefficiente de Poissón P5 (60 kgf)

0,41

Coefficiente de Poissón P5 (100 kgf)

0,43

Limite de Rotura P5 (MPa)

149,55

Fuerza de Rotura P5 (N)

2900

Deformación Unitaria longitudinal P5 (100 kgf)

0,012

Modulo de Elasticidad P4 (Mpa)

241666,667

ANEXO 1.6 – 1 Bambú Con Cáscara, Con Nudo Sin tratar

Espesor P1 (Inicial)	Ancho P1(Inicial)	Espesor P2 (Inicial)	Ancho P2(Inicial)
1,378	8,042	1,028	7,913
1,437	7,894	1,017	7,778
1,489	8,023	1,048	7,821
1,435	7,986	1,031	7,837
Espesor P1 (60 Kgf)	Ancho P1 (60 Kgf)	Espesor P2 (60 Kgf)	Ancho P2 (60 Kgf)
1,264	7,893	0,953	7,824
1,286	7,764	0,942	7,753
1,371	7,902	0,983	7,784
1,307	7,853	0,959	7,787
Espesor P1 (100 Kgf)	Ancho P1 (100 Kgf)	Espesor P2 (100 Kgf)	Ancho P2 (100 Kgf)
1,242	7,884	0,945	7,742
1,252	7,736	0,932	7,723
1,303	7,825	0,914	7,707
1,266	7,815	0,930	7,724
Coeficiente de Poissón P1 (60 kgf)		Coeficiente de Poissón P2 (60 kgf)	
0,45		0,43	
Coeficiente de Poissón P1 (100 kgf)		Coeficiente de Poissón P2 (100 kgf)	
0,44		0,41	
Limite de Rotura P1 (MPa)		Limite de Rotura P2 (MPa)	
118,70		123,76	
Fuerza de Rotura P1 (N)		Fuerza de Rotura P2 (N)	
1360		1000	
Deformación Unitarial longitudinal P1 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P2 (100 kgf)	
0,0078		0,0057	
Modulo de Elasticidad P1 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P2 (Mpa)	
174358,974		175438,596	

Anexo 1.6 – 2 Bambú Con Cáscara, Con Nudo Sin tratar

Espesor P3 (Inicial)	Ancho P3(Inicial)	Espesor P4 (Inicial)	Ancho P4(Inicial)
1,584	8,694	1,594	8,536
1,647	9,013	1,646	8,275
1,632	9,045	1,625	8,143
1,621	8,917	1,622	8,318
Espesor P3 (60 Kgf)	Ancho P3 (60 Kgf)	Espesor P4 (60 Kgf)	Ancho P4 (60 Kgf)
1,542	8,672	1,472	8,373
1,573	8,803	1,523	8,127
1,553	8,892	1,494	8,092
1,556	8,789	1,496	8,197
Espesor P3 (100 Kgf)	Ancho P3 (100 Kgf)	Espesor P4 (100 Kgf)	Ancho P4 (100 Kgf)
1,472	8,552	1,463	8,295
1,522	8,778	1,482	8,104
1,514	8,875	1,446	8,068
1,503	8,735	1,464	8,156
Coefficiente de Poissón P3 (60 kgf)		Coefficiente de Poissón P4 (60 kgf)	
0,42		0,41	
Coefficiente de Poissón P3 (100 kgf)		Coefficiente de Poissón P4 (100 kgf)	
0,44		0,43	
Limite de Rotura P3 (MPa)		Limite de Rotura P4 (MPa)	
116,22		118,61	
Fuerza de Rotura P3 (N)		Fuerza de Rotura P4 (N)	
1680		1600	
Deformación Unitarial longitudinal P3 (100 kgf)		Deformación Unitarial longitudinal P4 (100 kgf)	
0,0095		0,009	
Modulo de Elasticidad P3 (Mpa)		Modulo de Elasticidad P4 (Mpa)	
176842,105		177777,778	

Anexo 1.6 – 3 Bambú Con Cáscara, Con Nudo Sin tratar

Espesor P5 (Inicial)	Ancho P5(Inicial)
1,364	7,223
1,389	7,214
1,473	7,123
1,409	7,187
Espesor P5 (60 Kgf)	Ancho P5 (60 Kgf)
1,283	7,065
1,314	7,152
1,412	6,983
1,336	7,067
Espesor P5 (100 Kgf)	Ancho P5 (100 Kgf)
1,243	7,007
1,292	7,129
1,394	6,975
1,310	7,037

Coefficiente de Poissón P5 (60 kgf)

0,43

Coefficiente de Poissón P5 (100 kgf)

0,44

Limite de Rotura P5 (MPa)

120,51

Fuerza de Rotura P5 (N)

1220

Deformación Unitaria longitudinal P5 (100 kgf)

0,007

Modulo de Elasticidad P4 (Mpa)

174285,7143

ANEXO-2**ANEXO-2.1**

Resumen del Procedimiento

Muestra 1: BCCNST

Muestra 2: BCCNST

Muestra 3: FBCNSCCT

Muestra 4: FBCNSCST

Muestra 5: FBSNSCST

Muestra 6: FBSNSCT

Muestra 1: 10 valores 0,41 hasta 0,45

Muestra 2: 10 valores 0,41 hasta 0,44

Muestra 3: 10 valores 0,38 hasta 0,43

Muestra 4: 10 valores 0,43 hasta 0,51

Muestra 5: 10 valores 0,36 hasta 0,38

Muestra 6: 10 valores 0,35 hasta 0,39

El StatAdvisor

Este procedimiento compara los datos en 6 columnas del actual fichero de datos. Realiza varios tests estadísticos y gráficos para comparar las muestras. El F-test en la tabla de ANOVA comprobará si hay alguna diferencia significativa entre las medias. Si hay, los Tests de Rangos Múltiples le indicarán las medias que son significativamente diferentes unas de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir el test Kruskal-Wallis que compara las medianas en lugar de las medias. Los diferentes gráficos le ayudarán a juzgar la significación práctica de los resultados, y le permitirán buscar las posibles violaciones a las asunciones subyacentes en el análisis de la varianza.

ANEXO-2.2

Tabla ANOVA

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,0689733	5	0,0137947	61,97	0,0000
Intra grupos	0,01202	54	0,000222593		
Total (Corr.)	0,0809933	59			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo. El F-ratio, que en este caso es igual a 61,9727, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables a un nivel de confianza del 95,0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, seleccione los Tests de Rangos Múltiples en la lista de Opciones Tabulares.

ANEXO-2.3

Resumen Estadístico

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
BCCCNST	10	0,43	0,43	
BCCSNST	10	0,424	0,425	
FBCNSCCT	10	0,406	0,41	0,41
FBCNSCST	10	0,464	0,46	0,45
FBSNSCST	10	0,371	0,37	0,37
FBSNSCT	10	0,367	0,365	0,36
Total	60	0,410333	0,41	0,43
	Media geométrica	Varianza	Desviación típica	Error estándar
BCCCNST	0,429813	0,000177778	0,0133333	0,00421637
BCCSNST	0,423854	0,000137778	0,0117379	0,00371184
FBCNSCCT	0,405623	0,000337778	0,0183787	0,00581187
FBCNSCST	0,463529	0,000493333	0,0222111	0,00702377
FBSNSCST	0,370934	0,0000544444	0,00737865	0,00233333
FBSNSCT	0,366837	0,000134444	0,011595	0,00366667
Total	0,408706	0,00137277	0,0370509	0,00478325
	Mínimo	Máximo	Rango	Asimetría tipi.
BCCCNST	0,41	0,45	0,04	-0,453865
BCCSNST	0,41	0,44	0,03	0,0532187
FBCNSCCT	0,38	0,43	0,05	-0,256483
FBCNSCST	0,43	0,51	0,08	0,950403
FBSNSCST	0,36	0,38	0,02	-0,214241
FBSNSCT	0,35	0,39	0,04	0,938572
Total	0,35	0,51	0,16	0,960403
	Curtosis tipificada	Coef. de variación		
BCCCNST	-0,483042	3,10078%		
BCCSNST	-0,940251	2,76837%		
FBCNSCCT	-0,722197	4,52678%		
FBCNSCST	0,708023	4,78688%		
FBSNSCST	-0,473552	1,98885%		
FBSNSCT	0,330474	3,15941%		
Total	-0,835834	9,02946%		

El StatAdvisor

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 6 columnas de datos. Para comprobar las diferencias significativas entre las medias de las columnas, seleccione Análisis de la Varianza de la lista de Opciones Tabulares. Seleccione Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

ADVERTENCIA: Hay una diferencia superior de 3 a 1 entre la desviación típica más pequeña y la más grande. Esto puede causar problemas puesto que el análisis de la varianza asume que las desviaciones típicas en todos los niveles son iguales. Seleccione Comprobar Varianza de la lista de Opciones Tabulares para ejecutar un test estadístico protocolario para las diferencias entre las sigmas. Podría querer considerar la transformación de los datos para eliminar cualquier dependencia de la desviación típica sobre la media.

ANEXO-2.4

Tabla de Medias
con 95,0 intervalos LSD

	Frec.	Media	Error Estándar (s agrupada)	Límite inf.	Límite sup.
BCCCNST	10	0,43	0,00471797	0,423311	0,436689
BCCSNST	10	0,424	0,00471797	0,417311	0,430689
FBCNSCCT	10	0,406	0,00471797	0,399311	0,412689
FBCNSCST	10	0,464	0,00471797	0,457311	0,470689
FBSNSCST	10	0,371	0,00471797	0,364311	0,377689
FBSNSCT	10	0,367	0,00471797	0,360311	0,373689
Total	60	0,410333			

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, que es la medida de su variabilidad en la muestra. El error estándar es el resultado de dividir la desviación típica agrupada por la raíz cuadrada del número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo que incluye cada media. Los intervalos mostrados actualmente se basan en el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Se construyen de tal manera que si dos medias son iguales, sus intervalos se solaparán 95,0% de las veces. Puede ver los intervalos gráficamente seleccionando Gráfico de Medias en la lista de Opciones Gráficas. En los Tests de Rangos Múltiples, estos intervalos se utilizan para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras.

ANEXO-2.5

Contraste Múltiple de Rango

Método: 95,0 porcentaje Duncan

	Frec.	Media	Grupos homogéneos
FBSNSCT	10	0,367	X
FBSNSCST	10	0,371	X
FBCNSCCT	10	0,406	X
BCCSNST	10	0,424	X
BCCCNST	10	0,43	X
FBCNSCST	10	0,464	X

Contraste	Diferencias
BCCCNST - BCCSNST	0,006
BCCCNST - FBCNSCCT	*0,024
BCCCNST - FBCNSCST	*-0,034
BCCCNST - FBSNSCST	*0,059
BCCCNST - FBSNSCT	*0,063
BCCSNST - FBCNSCCT	*0,018
BCCSNST - FBCNSCST	*-0,04
BCCSNST - FBSNSCST	*0,053
BCCSNST - FBSNSCT	*0,057
FBCNSCCT - FBCNSCST	*-0,058
FBCNSCCT - FBSNSCST	*0,035
FBCNSCCT - FBSNSCT	*0,039
FBCNSCST - FBSNSCST	*0,093
FBCNSCST - FBSNSCT	*0,097
FBSNSCST - FBSNSCT	0,004

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 13 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%. En la parte superior de la página, se identifican 4 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de Duncan de comparaciones múltiples. Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar uno o más pares como significativamente diferentes cuando su diferencia real es igual a 0.

ANEXO-3

ANEXO-3.1

Resumen del Procedimiento

Muestra 1: BCCNST
Muestra 2: BCCNST
Muestra 3: FBCNSCCT
Muestra 4: FBCNSCST
Muestra 5: FBSNSCST
Muestra 6: FBSNSCT

Muestra 1: 5 valores 116,23 hasta 123,76
Muestra 2: 5 valores 147,07 hasta 151,9
Muestra 3: 5 valores 78,39 hasta 84,77
Muestra 4: 5 valores 130,42 hasta 135,05
Muestra 5: 5 valores 217,19 hasta 223,2
Muestra 6: 5 valores 137,06 hasta 137,89

El StatAdvisor

Este procedimiento compara los datos en 6 columnas del actual fichero de datos. Realiza varios tests estadísticos y gráficos para comparar las muestras. El F-test en la tabla de ANOVA comprobará si hay alguna diferencia significativa entre las medias. Si hay, los Tests de Rangos Múltiples le indicarán las medias que son significativamente diferentes unas de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir el test Kruskal-Wallis que compara las medianas en lugar de las medias. Los diferentes gráficos le ayudarán a juzgar la significación práctica de los resultados, y le permitirán buscar las posibles violaciones a las asunciones subyacentes en el análisis de la varianza.

ANEXO-3.2

Resumen Estadístico

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
BCCCNST	5	119,488	118,7	
BCCSNST	5	149,27	149,55	
FBCNSCCT	5	80,584	80,1	
FBCNSCST	5	133,368	133,68	
FBSNSCST	5	221,278	222,16	
FBSNSCT	5	137,446	137,3	
Total	30	140,239	136,055	
	Media geométrica	Varianza	Desviación típica	Error estándar
BCCCNST	119,463	7,67037	2,76954	1,23858
BCCSNST	149,26	3,86035	1,96478	0,878675
FBCNSCCT	80,5526	6,44708	2,53911	1,13552
FBCNSCST	133,359	3,13567	1,77078	0,791918
FBSNSCST	221,267	5,85482	2,41967	1,08211
FBSNSCT	137,446	0,13488	0,36726	0,164244
Total	134,139	1847,4	42,9813	7,84728
	Mínimo	Máximo	Rango	Asimetría tipi.
BCCCNST	116,23	123,76	7,53	0,760831
BCCSNST	147,07	151,9	4,83	0,195773
FBCNSCCT	78,39	84,77	6,38	1,32701
FBCNSCST	130,42	135,05	4,63	-1,36599
FBSNSCST	217,19	223,2	6,01	-1,53802
FBSNSCT	137,06	137,89	0,83	0,37837
Total	78,39	223,2	144,81	1,6191
	Curtosis típificada	Coef. de variación		
BCCCNST	0,682216	2,31784%		
BCCSNST	-0,608999	1,31626%		
FBCNSCCT	1,01799	3,15089%		
FBCNSCST	1,24587	1,32774%		
FBSNSCST	1,31446	1,0935%		
FBSNSCT	-1,2171	0,267203%		
Total	0,180204	30,6486%		

El StatAdvisor

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 6 columnas de datos. Para comprobar las diferencias significativas entre las medias de las columnas, seleccione Análisis de la Varianza de la lista de Opciones Tabulares. Seleccione Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

ADVERTENCIA: Hay una diferencia superior de 3 a 1 entre la desviación típica más pequeña y la más grande. Esto puede causar problemas puesto que el análisis de la varianza asume que las desviaciones típicas en todos los niveles son iguales. Seleccione Comprobar Varianza de la lista de Opciones Tabulares para ejecutar un test estadístico protocolario para las diferencias entre las sigmas. Podría querer considerar la transformación de los datos para eliminar cualquier dependencia de la desviación típica sobre la media.

ANEXO-3.3

Tabla ANOVA

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	53466,1	5	10693,2	2367,22	0,0000
Intra grupos	108,413	24	4,5172		
Total (Corr.)	53574,5	29			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo. El F-ratio, que en este caso es igual a 2367,22, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables a un nivel de confianza del 95,0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, seleccione los Tests de Rangos Múltiples en la lista de Opciones Tabulares.

ANEXO-3.4

Tabla de Medias
con 95,0 intervalos LSD

			Error Estándar		
	Frec.	Media	(s agrupada)	Límite inf.	Límite sup.
BCCNST	5	119,488	0,950494	118,101	120,875
BCCNST	5	149,27	0,950494	147,883	150,657
FBCNSCCT	5	80,584	0,950494	79,1968	81,9712
FBCNSCST	5	133,368	0,950494	131,981	134,755
FBSNSCST	5	221,278	0,950494	219,891	222,665
FBSNSCT	5	137,446	0,950494	136,059	138,833
Total	30	140,239			

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, que es la medida de su variabilidad en la muestra. El error estándar es el resultado de dividir la desviación típica agrupada por la raíz cuadrada del número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo que incluye cada media. Los intervalos mostrados actualmente se basan en el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Se construyen de tal manera que si dos medias son iguales, sus intervalos se solaparán 95,0% de las veces. Puede ver los intervalos gráficamente seleccionando Gráfico de Medias en la lista de Opciones Gráficas. En los Tests de Rangos Múltiples, estos intervalos se utilizan para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras.

ANEXO-3.5

Contraste Múltiple de Rango

Método: 95,0 porcentaje Duncan

	Frec.	Media	Grupos homogéneos
FBCNSCCT	5	80,584	X
BCCCNST	5	119,488	X
FBCNSCST	5	133,368	X
FBSNSCT	5	137,446	X
BCCSNST	5	149,27	X
FBSNSCST	5	221,278	X

Contraste	Diferencias
BCCCNST - BCCSNST	*-29,782
BCCCNST - FBCNSCCT	*38,904
BCCCNST - FBCNSCST	*-13,88
BCCCNST - FBSNSCST	*-101,79
BCCCNST - FBSNSCT	*-17,958
BCCSNST - FBCNSCCT	*68,686
BCCSNST - FBCNSCST	*15,902
BCCSNST - FBSNSCST	*-72,008
BCCSNST - FBSNSCT	*11,824
FBCNSCCT - FBCNSCST	*-52,784
FBCNSCCT - FBSNSCST	*-140,694
FBCNSCCT - FBSNSCT	*-56,862
FBCNSCST - FBSNSCST	*-87,91
FBCNSCST - FBSNSCT	*-4,078
FBSNSCST - FBSNSCT	*83,832

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 15 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%. En la parte superior de la página, se identifican 6 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de Duncan de comparaciones múltiples. Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar uno o más pares como significativamente diferentes cuando su diferencia real es igual a 0.

ANEXO-4**ANEXO-4.1**

Resumen del Procedimiento

Muestra 1: BCCNST

Muestra 2: BCCNST

Muestra 3: FBCNSCCT

Muestra 4: FBCNSCST

Muestra 5: FBSNSCST

Muestra 6: FBSNSCT

Muestra 1: 5 valores 174286,0 hasta 177778,0

Muestra 2: 5 valores 230714,0 hasta 241667,0

Muestra 3: 5 valores 126667,0 hasta 129167,0

Muestra 4: 5 valores 167692,0 hasta 176296,0

Muestra 5: 5 valores 271429,0 hasta 314286,0

Muestra 6: 5 valores 185714,0 hasta 190000,0

El StatAdvisor

Este procedimiento compara los datos en 6 columnas del actual fichero de datos. Realiza varios tests estadísticos y gráficos para comparar las muestras. El F-test en la tabla de ANOVA comprobará si hay alguna diferencia significativa entre las medias. Si hay, los Tests de Rangos Múltiples le indicarán las medias que son significativamente diferentes unas de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir el test Kruskal-Wallis que compara las medianas en lugar de las medias. Los diferentes gráficos le ayudarán a juzgar la significación práctica de los resultados, y le permitirán buscar las posibles violaciones a las asunciones subyacentes en el análisis de la varianza.

ANEXO-4.2

Resumen Estadístico

	Frecuencia	Media	Mediana	Moda
BCCCNST	5	175741,0	175439,0	
BCCSNST	5	236579,0	236667,0	
FBCNSCCT	5	127862,0	127778,0	126667,0
FBCNSCST	5	172215,0	171667,0	
FBSNSCST	5	290424,0	285365,0	
FBSNSCT	5	188049,0	188564,0	
Total	30	198478,0	181746,0	126667,0
	Media geométrica	Varianza	Desviación típica	Error estándar
BCCCNST	175735,0	2,37005E6	1539,5	688,484
BCCSNST	236551,0	1,63144E7	4039,1	1806,34
FBCNSCCT	127857,0	1,4841E6	1218,24	544,812
FBCNSCST	172189,0	1,12362E7	3352,05	1499,08
FBSNSCST	289968,0	3,34919E8	18300,8	8184,36
FBSNSCT	188042,0	3,49293E6	1868,94	835,814
Total	191876,0	2,84548E9	53343,0	9739,06
	Mínimo	Máximo	Rango	Asimetría tipi.
BCCCNST	174286,0	177778,0	3492,06	0,421734
BCCSNST	230714,0	241667,0	10952,4	-0,375244
FBCNSCCT	126667,0	129167,0	2500,0	0,0855944
FBCNSCST	167692,0	176296,0	8603,98	-0,141405
FBSNSCST	271429,0	314286,0	42857,1	0,4166
FBSNSCT	185714,0	190000,0	4285,71	-0,351761
Total	126667,0	314286,0	187619,0	1,42881
	Curtosis tipificada	Coef. de variación		
BCCCNST	-0,926563	0,876005%		
BCCSNST	0,351825	1,7073%		
FBCNSCCT	-1,35745	0,952774%		
FBCNSCST	-0,347065	1,94643%		
FBSNSCST	-0,962162	6,30139%		
FBSNSCT	-1,1147	0,993856%		
Total	-0,404665	26,876%		

El StatAdvisor

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 6 columnas de datos. Para comprobar las diferencias significativas entre las medias de las columnas, seleccione Análisis de la Varianza de la lista de Opciones Tabulares. Seleccione Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

ADVERTENCIA: Hay una diferencia superior de 3 a 1 entre la desviación típica más pequeña y la más grande. Esto puede causar problemas puesto que el análisis de la varianza asume que las desviaciones típicas en todos los niveles son iguales. Seleccione Comprobar Varianza de la lista de Opciones Tabulares para ejecutar un test estadístico protocolario para las diferencias entre las sigmas. Podría querer considerar la transformación de los datos para eliminar cualquier dependencia de la desviación típica sobre la media.

ANEXO-4.3

Tabla ANOVA

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	8,10397E10	5	1,62079E10	262,96	0,0000
Intra grupos	1,47926E9	24	6,1636E7		
Total (Corr.)	8,25189E10	29			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo. El F-ratio, que en este caso es igual a 262,962, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 6 variables a un nivel de confianza del 95,0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, seleccione los Tests de Rangos Múltiples en la lista de Opciones Tabulares.

ANEXO-4.4

Tabla de Medias
con 95,0 intervalos LSD

		Error Estándar			
	Frec.	Media	(s agrupada)	Límite inf.	Límite sup.
BCCCNST	5	175741,0	3511,01	170617,0	180865,0
BCCSNST	5	236579,0	3511,01	231455,0	241703,0
FBCNSCCT	5	127862,0	3511,01	122738,0	132986,0
FBCNSCST	5	172215,0	3511,01	167091,0	177339,0
FBSNSCST	5	290424,0	3511,01	285301,0	295548,0
FBSNSCT	5	188049,0	3511,01	182925,0	193173,0
Total	30	198478,0			

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, que es la medida de su variabilidad en la muestra. El error estándar es el resultado de dividir la desviación típica agrupada por la raíz cuadrada del número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo que incluye cada media. Los intervalos mostrados actualmente se basan en el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Se construyen de tal manera que si dos medias son iguales, sus intervalos se solaparán 95,0% de las veces. Puede ver los intervalos gráficamente seleccionando Gráfico de Medias en la lista de Opciones Gráficas. En los Tests de Rangos Múltiples, estos intervalos se utilizan para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras.

ANEXO-4.5

Contraste Múltiple de Rango

Método: 95,0 porcentaje Duncan

	Frec.	Media	Grupos homogéneos
FBCNSCCT	5	127862,0	X
FBCNSCST	5	172215,0	X
BCCCNST	5	175741,0	X
FBSNSCT	5	188049,0	X
BCCSNST	5	236579,0	X
FBSNSCST	5	290424,0	X
Contraste			Diferencias
BCCCNST - BCCSNST			*-60838,1
BCCCNST - FBCNSCCT			*47878,6
BCCCNST - FBCNSCST			3525,55
BCCCNST - FBSNSCST			*-114684,0
BCCCNST - FBSNSCT			*-12308,4
BCCSNST - FBCNSCCT			*108717,0
BCCSNST - FBCNSCST			*64363,7
BCCSNST - FBSNSCST			*-53845,7
BCCSNST - FBSNSCT			*48529,7
FBCNSCCT - FBCNSCST			*-44353,1
FBCNSCCT - FBSNSCST			*-162562,0
FBCNSCCT - FBSNSCT			*-60187,0
FBCNSCST - FBSNSCST			*-118209,0
FBCNSCST - FBSNSCT			*-15833,9
FBSNSCST - FBSNSCT			*102375,0

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 14 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%. En la parte superior de la página, se identifican 5 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de Duncan de comparaciones múltiples. Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar uno o más pares como significativamente diferentes cuando su diferencia real es igual a 0.

ANEXO 5 Resistencia a la tracción (MPa)**ANEXO 5.1**

Resumen Estadístico

	Frecuencia	Media	Media geométrica	Varianza
Desviación típica				
ROBING 800	5	270.0	269.996	2.5
1.58114				
MAT 600	5	170.0	169.976	10.0
3.16228				
F BAMBU	5	222.0	221.982	10.0
3.16228				
Total	15	220.667	216.781	1793.1
42.345				
Error estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Asimetría
tipi.				
ROBING 800	0.707107	268.0	272.0	4.0
				0.0
MAT 600	1.41421	166.0	174.0	8.0
				0.0
F BAMBU	1.41421	218.0	226.0	8.0
				0.0
Total	10.9334	166.0	272.0	106.0
0.0934183				-
	Curtosis tipificada		Coef. de variación	
ROBING 800	-0.547723		0.585607%	
MAT 600	-0.547723		1.86016%	
F BAMBU	-0.547723		1.42445%	
Total	-1.26863		19.1896%	

El StatAdvisor

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 3 columnas de datos. Para comprobar las diferencias significativas entre las medias de las columnas, seleccione Análisis de la Varianza de la lista de Opciones Tabulares. Seleccione Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

ANEXO 5.2

Resumen del Procedimiento

Muestra 1: ROBING 800

Muestra 2: MAT 600

Muestra 3: F BAMBU

Muestra 1: 5 valores 268.0 hasta 272.0

Muestra 2: 5 valores 166.0 hasta 174.0

Muestra 3: 5 valores 218.0 hasta 226.0

El StatAdvisor

Este procedimiento compara los datos en 3 columnas del actual fichero de datos. Realiza varios tests estadísticos y gráficos para comparar las muestras. El F-test en la tabla de ANOVA comprobará si hay alguna diferencia significativa entre las medias. Si hay, los Tests de Rangos Múltiples le indicarán las medias que son significativamente diferentes unas de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir el test Kruskal-Wallis que compara las medianas en lugar de las medias. Los diferentes gráficos le ayudarán a juzgar la significación práctica de los resultados, y le permitirán buscar las posibles violaciones a las asunciones subyacentes en el análisis de la varianza.

ANEXO 5.3

Tabla ANOVA

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	25013.3	2	12506.7	1667.56	0.0000
Intra grupos	90.0	12	7.5		
Total (Corr.)	25103.3	14			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo. El F-ratio, que en este caso es igual a 1667.56, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables a un nivel de confianza del 95.0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, seleccione los Tests de Rangos Múltiples en la lista de Opciones Tabulares.

ANEXO 5.4**Contraste Múltiple de Rango**

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Frec.	Media	Grupos homogéneos
MAT 600	5	170.0	X
F BAMBU	5	222.0	X
ROBING 800	5	270.0	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
ROBING 800 - MAT 600	*100.0	3.77382
ROBING 800 - F BAMBU	*48.0	3.77382
MAT 600 - F BAMBU	*-52.0	3.77382

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95.0%. En la parte superior de la página, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5.0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

ANEXO 6 Modulo de elasticidad**ANEXO 6.1****Resumen del Procedimiento**

Muestra 1: ROBING 800

Muestra 2: MAT 600

Muestra 1: 5 valores 173120.0 hasta 204062.0

Muestra 2: 5 valores 231156.0 hasta 244452.0

Muestra 3: 5 valores 268046.0 hasta 306684.0

El StatAdvisor

Este procedimiento compara los datos en 3 columnas del actual fichero de datos. Realiza varios tests estadísticos y gráficos para comparar las muestras. El F-test en la tabla de ANOVA comprobará si hay alguna diferencia significativa entre las medias. Si hay, los Tests de Rangos Múltiples le indicarán las medias que son significativamente diferentes unas de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir el test Kruskal-Wallis que compara las medianas en lugar de las medias. Los diferentes gráficos le ayudarán a juzgar la significación práctica de los resultados, y le permitirán buscar las posibles violaciones a las asunciones subyacentes en el análisis de la varianza.

ANEXO 6.2

Tabla ANOVA

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	2.31404E10	2	1.15702E10	65.54	0.0000
Intra grupos	2.11842E9	12	1.76535E8		
Total (Corr.)	2.52588E10	14			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo. El F-ratio, que en este caso es igual a 65.5406, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables a un nivel de confianza del 95.0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, seleccione los Tests de Rangos Múltiples en la lista de Opciones Tabulares.

ANEXO 6.3

Tabla de Medias

con 95.0 intervalos LSD

	Error Frec.	Estándar Media	(s agrupada)	Límite inf.	Límite sup.
ROBING 800	5	191515.0	5941.96	182361.0	200670.0
MAT 600	5	238080.0	5941.96	228925.0	247234.0
F BAMBU	5	287708.0	5941.96	278553.0	296863.0
Total	15	239101.0			

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, que es la medida de su variabilidad en la muestra. El error estándar es el resultado de dividir la desviación típica agrupada por la raíz cuadrada del número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo que incluye cada media. Los intervalos mostrados actualmente se basan en el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Se construyen de tal manera que si dos medias son iguales, sus intervalos se solaparán 95.0% de las veces. Puede ver los intervalos gráficamente seleccionando Gráfico de Medias en la lista de Opciones Gráficas. En los Tests de Rangos Múltiples, estos intervalos se utilizan para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras.

ANEXO 6.4**Contraste Múltiple de Rango**

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Frec.	Media	Grupos homogéneos
ROBING 800	5	191515.0	X
MAT 600	5	238080.0	X
F BAMBU	5	287708.0	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
ROBING 800 - MAT 600	*-46564.2	18309.1
ROBING 800 - F BAMBU	*-96192.6	18309.1
MAT 600 - F BAMBU	*-49628.4	18309.1

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95.0%. En la parte superior de la página, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5.0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

ANEXO 7 Coeficiente de poisson**ANEXO 7.1****Resumen del Procedimiento**

Muestra 1: ROBING 800

Muestra 2: MAT 600

Muestra 3: F BAMBU

Muestra 1: 5 valores 0.1 hasta 0.13

Muestra 2: 5 valores 0.17 hasta 0.2

Muestra 3: 5 valores 0.35 hasta 0.38

El StatAdvisor

Este procedimiento compara los datos en 3 columnas del actual fichero de datos. Realiza varios tests estadísticos y gráficos para comparar las muestras. El F-test en la tabla de ANOVA comprobará si hay alguna diferencia significativa entre las medias. Si hay, los Tests de Rangos Múltiples le indicarán las medias que son significativamente diferentes unas de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir el test Kruskal-Wallis que compara las medianas en lugar de las medias. Los diferentes gráficos le ayudarán a juzgar la significación práctica de los resultados, y le permitirán buscar las posibles violaciones a las asunciones subyacentes en el análisis de la varianza.

ANEXO 7.2

Tabla ANOVA

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0.164213	2	0.0821067	631.59	0.0000
Intra grupos	0.00156	12	0.00013		
Total (Corr.)	0.165773	14			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo. El F-ratio, que en este caso es igual a 631.59, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables a un nivel de confianza del 95.0%. Para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, seleccione los Tests de Rangos Múltiples en la lista de Opciones Tabulares.

ANEXO 7.3

Tabla de Medias

con 95.0 intervalos LSD

	Error Estándar				
	Frec.	Media	(s agrupada)	Límite inf.	Límite
sup.					
ROBING 800	5	0.116	0.00509902	0.108144	0.123856
MAT 600	5	0.184	0.00509902	0.176144	0.191856
F BAMBU	5	0.364	0.00509902	0.356144	0.371856
Total	15	0.221333			

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, que es la medida de su variabilidad en la muestra. El error estándar es el resultado de dividir la desviación típica agrupada por la raíz cuadrada del número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo que incluye cada media. Los intervalos mostrados actualmente se basan en el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Se construyen de tal manera que si dos medias son iguales, sus intervalos se solapanán 95.0% de las veces. Puede ver los intervalos gráficamente seleccionando Gráfico de Medias en la lista de Opciones Gráficas. En los Tests de Rangos Múltiples, estos intervalos se utilizan para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras.

ANEXO 7.4**Contraste Múltiple de Rango**

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Frec.	Media	Grupos homogéneos
ROBING 800	5	0.116	X
MAT 600	5	0.184	X
F BAMBU	5	0.364	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
ROBING 800 - MAT 600	*-0.068	0.0157117
ROBING 800 - F BAMBU	*-0.248	0.0157117
MAT 600 - F BAMBU	*-0.18	0.0157117

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95.0%. En la parte superior de la página, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5.0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.