

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Química



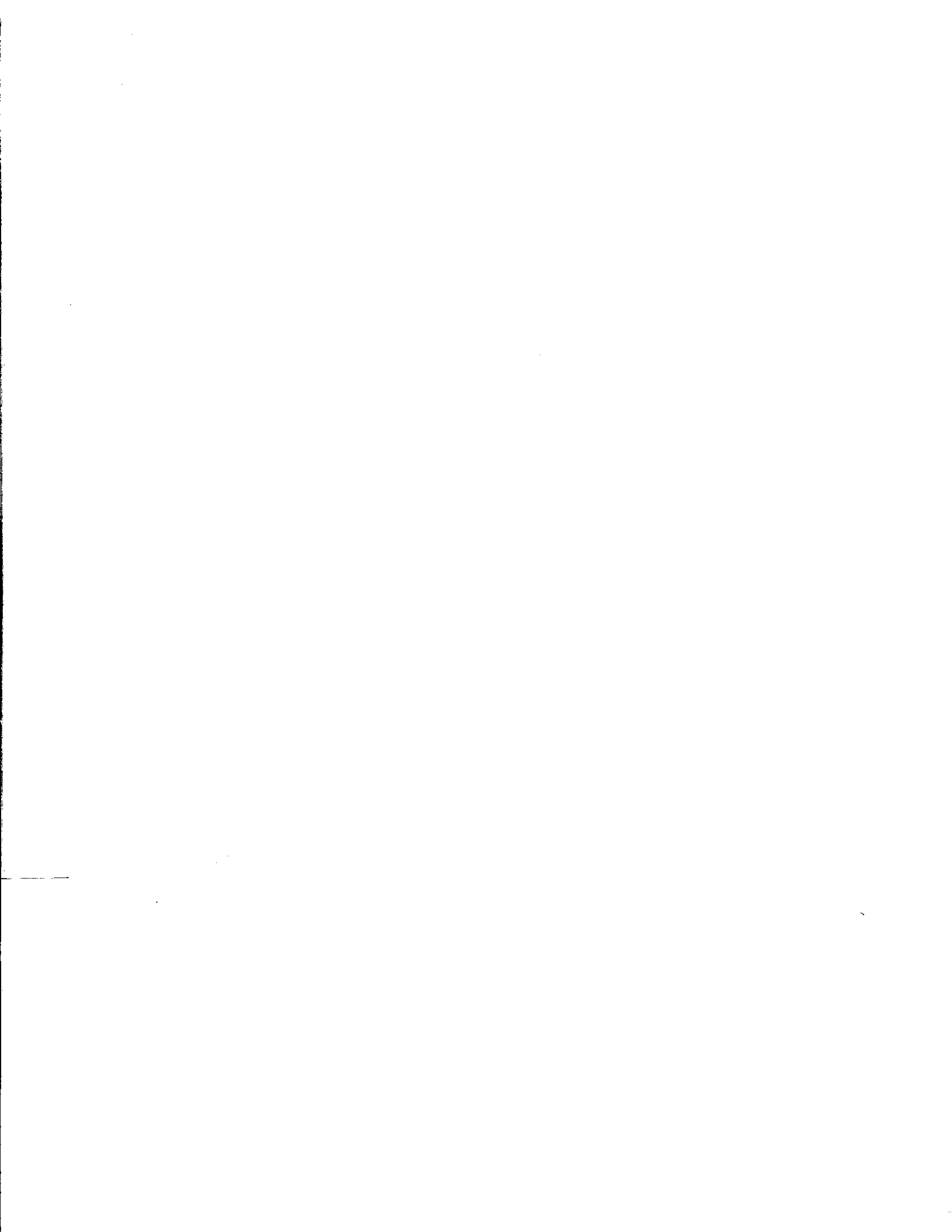
**"ELABORACIÓN DE MATERIAL COMPOSITA,
A NIVEL DE PLANTA PILOTO,
PARA LA FABRICACIÓN DE MUEBLES"**

Ma. Regina Herrera Valdizán

Trabajo de graduación presentado
para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

2000




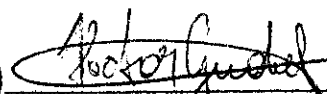
**"ELABORACIÓN DE MATERIAL COMPOSITA,
A NIVEL DE PLANTA PILOTO,
PARA LA FABRICACIÓN DE MUEBLES"**

Vo.Bo.

(f) 
Dr. Jose Victor Quiroa Noriega
Asesor

Tribunal:

(f) 
Dr. Jose Victor Quiroa Noriega

(f) 
Ing. Héctor René Gudiel Paniagua

(f) 
Ing. José Eduardo Calderón García

Fecha de aprobación: 27 de Octubre del 2000

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso y a la Virgen María

A mis queridos Padres, por su esfuerzo y apoyo

A mi hermano, Bobby

A mis Abuelos, por su apoyo y ejemplo

A Alfredo

A Franz Joseph

AGRADECIMIENTO

A mi asesor, Dr. Víctor Quiroa por su ayuda y dedicación

A las autoridades académicas de la Universidad
del Valle de Guatemala

A mis Catedráticos

Al Taller de Carpintería de INTECAP

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la preparación y obtención de material composita para la fabricación de muebles que por sus características de fraguado, precio, disponibilidad en el mercado, resistencia mecánica y reactividad frente a otros compuestos, es más adecuada para la elaboración de muebles.

Se presentan las composiciones del material, respecto de las tres resinas seleccionadas para la elaboración del mismo, así como las presiones que se utilizan en la etapa de secado de las muestras.

Se somete el material elaborado a cuatro pruebas : resistencia mecánica, resistencia térmica, absorción de agua y resistencia a exposición al sol. Se lleva a cabo la evaluación de la capacidad de las diferentes muestras para poder ser utilizadas en la fabricación de muebles.

Se evalúa el límite máximo de temperatura al que puede someterse el material, sin que exista una diferencia estadística significativa entre las muestras evaluadas. Los valores obtenidos en la prueba de resistencia mecánica difieren entre las muestras elaboradas, siendo las más resistentes las elaboradas a partir de resina mármol y una presión durante la etapa de secado de 16.75 KPa. Las muestras elaboradas a partir de resina cristal son menos resistentes que las otras muestras elaboradas, para las pruebas de absorción de agua y resistencia a exposición al sol; sin embargo, se determina que estadísticamente no existe una diferencia significativa entre los resultados.

Se determina que las muestras más adecuadas para la fabricación de muebles son aquellas elaboradas a partir de resina mármol. sin embargo no se descarta el uso de las otras muestras, siempre y cuando se evalúen las condiciones de uso de las mismas.

El desarrollo de este material ofrece una alternativa para la utilización de los desechos de madera dentro del marco de la gestión ambiental y desarrollo sostenible.

CONTENIDO

	Paginas
RESUMEN	v
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
Propiedades Material Composita	3
Fortaleza Material Composita	5
Métodos de Fabricación Mezclas	6
Compositas Laminares a base de Madera	8
Diseño Estructural	12
Adhesivos	13
Materiales a Base de Fibra de madera	
Y de tableros de particulas	22
Propiedades de la Madera	28
III. JUSTIFICACION	41
IV. OBJETIVOS	42
Objetivos Generales	42
Objetivos Especificos	42
V. PROBLEMA A RESOLVER	43
VI. METODOLOGÍA	44
VII. RESULTADOS	45
VIII. DISCUSIÓN	54
IX. CONCLUSIONES	61
X. RECOMENDACIONES	63
XI. BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	
A. Especificaciones de materia prima	66
B. Datos originales	68
C. Muestra de cálculos	84
D. Muestra de Análisis Estadístico	86
E. Datos calculados	89
F. Materiales y Equipo	109
G. Métodos	110
H. Diseño Experimental	113
I. Valores del coeficiente F	114
J. Proceso de elaboración del material composita a nivel de planta	119
K. Análisis Económico	122
L. Notación	123

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Propiedades estructurales de materiales	10
Tabla 2. Propiedades de plásticos fenoles comunes	16
Tabla 3. Desarrollo cronológico de polímeros	19
Tabla 4. Propiedades térmicas de polímeros	20
Tabla 5. Propiedades de tableros de partículas	24
Tabla 6. Información de producción de tableros	26
Tabla 7. Resistencia de maderas	37
Tabla 8. Resistencia de materiales varios	38
Tabla 9. Cambio en peso de las muestras de material Composita por contacto con agua	50
Tabla 10. Resistencia mecánica de las muestras de Material composita	51
Tabla 11. Resistencia térmica de las muestras de material Composita	52
Tabla 12. Cambio en peso de las muestras de material Composita por exposición al sol	53
Tablas B1 y B2. Datos de humedad y densidad de aserrín	68
Tablas B3, B4, B5 y B6. Datos para selección de composición Del material composita	69-71
Tablas B7-B15. Cambio en peso de las mezclas resina-madera Durante etapa de secado o curado	71-75
Tablas B16-B18. Resistencia a altas temperaturas de las Muestras de material composita	76-77
Tablas B19-B21. Cambio en peso de las muestras por Contacto con agua	77-79
Tablas B22-B24. Resistencia mecánica de las muestras	80-82
Tablas B25-B27. Cambio de peso de las muestras de material Composita por exposición al sol	82-83
Tabla E1-E9. Cambio en peso de muestras de material Composita en la etapa de secado	89-94
Tabla E10-E18. Cambio en peso de muestras de material Composita por contacto con agua	95-99
Tabla E19-E21. Resistencia mecánica de las muestras	100-102
Tabla E22-E24. Cambio de peso de muestras de material Composita por exposición al sol	103-105
Tablas E25-E32. Datos del Análisis Estadístico	106-108

INDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

	Página
Figura 1. Principales direcciones de la madera	29
Figura 2. Variación del Peso específico de la madera En función de la humedad relativa	34
Figura 3. Tipos de esfuerzos mecánicos	38
Gráfica 1. Cambio de peso en muestras de material Composita, resina cristal-madera por contacto con agua	45
Gráfica 2. Cambio de peso en muestras de material composita, Resina mármol-madera, por contacto con agua	46
Gráfica 3. Cambio de peso en muestras de material composita, Resina poliéster-madera, por contacto con agua	46
Gráfica 4. Cambio en peso de muestras , resina cristal-madera, Elaboradas con 5.65Kpa de presión por contacto con agua	47
Gráfica 5. Cambio en peso de muestras , resina mármol-madera, Elaboradas con 5.65Kpa de presión por contacto con agua	47
Gráfica 6. Cambio en peso de muestras , resina poliéster-madera, Elaboradas con 5.65Kpa de presión por contacto con agua	48
Gráfica 7. Cambio en peso de muestras, resina cristal-madera, Elaboradas con 16.96Kpa de presión, por contacto con agua	48
Gráfica 8. Cambio en peso de muestras, resina mármol-madera, Elaboradas con 16.96Kpa de presión, por contacto con agua	49
Gráfica 9. Cambio en peso de muestras, resina poliéster-madera, Elaboradas con 16.96Kpa de presión, por contacto con agua	49

I. INTRODUCCIÓN

Debido a que Guatemala es un país con una gran variedad de recursos forestales, los cuales se utilizan para sin fin de actividades, entre los cuales la industria maderera utiliza estos recursos para la fabricación de enseres mobiliarios; el presente trabajo evalúa un producto composita que combina dos materiales, resina y madera, para formar estructuras que aprovechan las ventajas de cada componente para la fabricación de muebles. Este producto proporciona varias ventajas, entre ellas, facilidad para moldear estructuras de diversas formas, utilización de materia prima barata y accesible en el mercado, resistencia de este producto al ataque de polilla, a la humedad y su resistencia a golpes y choques; propiedades que no posee la madera por sí sola.

Con la elaboración de este material se desarrolla un producto que por sus características puede ser utilizado por la industria maderera para fabricación de enseres mobiliarios, al optimizar los costos de fabricación y aumentar el tiempo de vida del producto final.

La primera meta en el diseño de materiales composita a base de madera es producir a base de desechos un material estructural con mejores propiedades mecánicas. Una segunda meta es la de producir formas y tamaños útiles que incluyan partes de diferente tamaño, partes curvas y productos laminados.

En general, la utilidad de piezas madera-resina depende del tipo de madera y de su preparación para su uso, del tipo y de la calidad del material adhesivo, de la compatibilidad del proceso de pegado con la madera y del material adhesivo utilizado, del tipo de unión, del tratamiento protector aplicado. Las condiciones de uso afectan naturalmente el funcionamiento de la unión resina-madera (V).

II. ANTECEDENTES

Los materiales compositas son combinaciones de dos o más materiales presentes como fases separadas en una mezcla para formar estructuras de las cuales se puedan tomar ventajas de ciertas propiedades que posea cada componente. Los materiales constituyentes pueden ser orgánicos, inorgánicos, metálicos, en forma de partículas, fibras, etc. (7).

Al comparar los materiales compositas con materiales homogéneos para una dada aplicación, las propiedades presentes en los materiales compositas como parámetros físicos (resistencia, densidad, propiedades eléctricas, costos) proveen una mayor capacidad que los hace más ventajosos para su uso (7).

El término composita implica un control arbitrario de la geometría y de la composición de los constituyentes de las fases dentro de ciertos límites. También puede decirse que las dimensiones del constituyente menor son suficientes para que sus propiedades características sean substancialmente las mismas como si estuviera presente en mayor proporción (7).

La mezcla de los materiales para formar composita puede tener distintas funciones:

- a) La mezcla puede servir para transmitir tensión de una fibra a la siguiente para producir una estructura de alta densidad (7).
- b) La mezcla puede tener varias características físicas ó químicas deseables para su procesamiento ó uso (7).
- c) La mezcla puede proveer una ventaja económica, ya que se utilizan diferentes materiales cuyo costo se diluye al mezclarse, al mismo tiempo que la mezcla mejora la apariencia y el procesamiento (7).

Las compositas de alta resistencia usadas en la primera función, poseen fibras capaces de soportar altas tensiones en proporciones volumétricas altas, cuya orientación y construcción son cuidadosamente controladas para un funcionamiento óptimo (7).

En las siguientes dos funciones que pueden realizar estos tipos de materiales, puede observarse que el costo es la consideración principal (7).

En la función (b) puede observarse que en ella se enfatizan las propiedades útiles en ingeniería para ampliar el rango de uso y comercialización de una mezcla dada. La función (c) se refiere a las mezclas que poseen características atractivas y al mismo tiempo son accesibles económicamente; esta función también se refiere a un procesamiento del material con costos bajos sin que esto repercuta en la degradación de las propiedades de las partículas, fibras, hojuelas ó colorantes (7).

Un material composita es en sí, una mezcla de varios materiales, cuyas propiedades características provienen de sus constituyentes, del procesamiento y de su microestructura (7).

PROPIEDADES DEL MATERIAL COMPOSITA

El control de las propiedades del material composita en función de la temperatura, presión, humedad, y características ambientales; depende en gran parte de la interacción entre los componentes del material, así como del comportamiento individual de dichos componentes. Por ejemplo, al aumentar la humedad disminuye la rigidez de las resinas, tanto como aumentar la temperatura (7).

Las propiedades físicas de las compositas unidireccionales son comparables con las propiedades de la madera, es decir, el módulo del tronco tiene un valor alto a lo largo del eje, pero su valor es mucho menor cuando es medido perpendicular al eje. En cualquier caso, es más realista reportar estas propiedades bajo relaciones de volumen más que de peso. Los valores de las propiedades específicas son obtenidos al dividir los valores del peso medido por la densidad. La densidad del acero es cerca de cuatro veces la de la composita polimérica (10).

Las propiedades de las compositas que contienen refuerzos orientados al azar son controladas por dos constantes independientes, llamados, el módulo de Young y el radio de Poisson. El módulo de Young es el radio de la tensión aplicada paralelo a la fuerza. El radio de Poisson es el radio de la tensión contráctil transversal respecto de la fuerza de elongación, como es medido en un tronco estirado por fuerzas en los extremos, al actuar paralelamente al eje del tronco (10).

Las propiedades de las compositas más ordenadas (isotrópicas) requieren de por lo menos dos módulos de Young y dos radios de Poisson. Por razones de simplicidad, uno considera a las fuerzas internas y las tensiones como en un sistema heterogéneo. Estos valores idealizados, basados en la ley de mezclas, provee un marco de trabajo semicuantitativo para predecir el comportamiento de las compositas (10).

Se puede mostrar que las propiedades de la composita, P , son iguales a la suma de las propiedades de los componentes multiplicados por los volúmenes fraccionales V , como se puede observar en la siguiente ecuación:

$$P = P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3 + \dots + P_NV_N \quad (\text{Ec. 1})$$

(10).

La capacidad calorífica y la densidad de una composita densa pueden ser calculadas por la regla de mezclas. El módulo de Young E_{11} de una composita de fibra reforzada continua, en la dirección de la fibra, es igual ó mayor que el módulo de la fibra, E_f , y que el módulo de la matriz de la resina, E_m , multiplicado por los volúmenes fraccionales como se muestra,

$$E_{11} \geq V_f E_f + V_m E_m \quad (\text{Ec. 2})$$

(10).

FORTALEZA DE LOS MATERIALES COMPOSITAS

Este factor constituye una importancia significativa tanto como las bases de costo y peso del material. La fortaleza, relativamente fácil de medir en materiales homogéneos, es difícil de predecir en el caso de compositas. Como primera aproximación, puede aplicarse la siguiente ecuación, donde S es la fortaleza en la dirección de la fibra, σ^* es la tensión en la mezcla en el punto crítico, y S_{fibra} es la fortaleza media de la fibra;

$$S_{\text{composita}} = V_f S_{\text{fibra}} + V_m \sigma^* \quad (\text{Ec. 3})$$

Esta ecuación es usada como punto de partida cuando no se posee información más detallada (7).

Según Hilling (1979), la fortaleza media del material composita puede exceder la de sus componentes individuales. Debe hacerse notar, que el material composita es usualmente anisotrópico, es decir, que no es igual en todas las direcciones. En las compositas donde los filamentos están alineados ó son continuos, la fortaleza en dirección transversal a las fibras es mucho menor que la ejercida en dirección paralela. Llegar a una alta fortaleza en las compositas a base de fibras es alcanzada, en muchos casos, a costa de un debilitamiento en otras direcciones. Las compositas de fibra molida ó triturada, que son isotrópicas, son limitadas en fortaleza debido a las interferencias geométricas entre las fibras. Por esta razón las compositas deben ser cuidadosamente diseñadas para soportar las tensiones en otras direcciones donde no se aplique la fuerza.

La resistencia a la ruptura depende de la fortaleza de unión de la mezcla. Si la unión es muy fuerte, la composita se vuelve quebradiza, y si es muy débil, la composita se vuelve excesivamente débil en la dirección transversal a las fibras (7).

MÉTODOS DE FABRICACIÓN

Los métodos utilizados para fabricar materiales y estructuras compuestas dependen, entre otros factores, del tipo de refuerzos, de la mezcla, del nivel de desempeño, la forma del artículo, el número de artículos que serán fabricados y el grado de producción. La orientación y posicionamiento de los filamentos continuos son controlables, al contrario de las fibras cortas, hojuelas ó partículas donde son distribuidas al azar (7).

En el caso de filamentos cortos, como fibra de vidrio, fibra de carbón, o fibra de nitrito de boro, donde paquetes de miles de agregados de fibras son manejados como entidad. Cuando estas fibras son incorporadas a una mezcla con polímeros, es usualmente conveniente para formar unas láminas semiprocesadas, moldeables conocida como "prepreg" en las cuales las fibras son infiltradas por la resina. Este material es procesado luego para poder ser manejado convenientemente (7).

Para moldear los componentes por inyección, compresión u otro tipo de moldeo por fuerza, es conveniente el uso de fibras trituradas ó de tipos similares de partículas. Estos generalmente poseen menor contenido de refuerzo debido a consideraciones reológicas (7).

Fuera del proceso de fabricación, la anisotropía inherente y la combinación de los materiales requiere de una cuidadosa atención para dichos factores como lo son la tensión residual y los defectos provocados por cambios volumétricos en la polimerización, diferencias en la expansión térmica y por arrastre post-procesamiento. También deben cuidarse detalles como historia de factores como la presión y temperatura, ciclos de curado, formulación de la mezcla y condiciones de la superficie son cruciales en la producción de compuestas de alta calidad (7).

MEZCLAS

Cualquier sólido que pueda ser procesado para ser moldeado ó prensado para formar una fase es un material potencial para mezcla. Los polímeros y los metales han sido los más usados al igual que los cementos, vidrios y cerámicas. Las resinas de fijación térmica son particularmente convenientes ya que, pueden ser aplicadas en estado líquido, lo cual facilita la penetración y el contacto en el estado sin polimerizar, luego sigue un endurecimiento del sistema en tiempos y condiciones controladas por el operador. El desprendimiento de calor, el encogimiento y la emanación de volátiles, si la polimerización es por condensación, son algunos de los problemas que encuentra el uso de dichas resinas(7).

Los sistemas epóxicos son particularmente útiles debido a su propiedad adhesiva, bajo encogimiento y no emana gases. Sin embargo, los epóxicos son relativamente caros y están generalmente limitados a un servicio de temperatura menor de los 150°C. Los sistemas de fijación térmica que tienen mayor capacidad de resistir temperatura tienden a ser resinas que en su estado polimerizado contienen especies nitrógeno-heterocíclicas. Los sistemas como las imidinas, amida-imidinas, quinoxalinas, imidazoles, etc., han sido utilizados. Estos son sistemas de polimerización-condensación que son difíciles de procesar; sin embargo, son estables a altas temperaturas pero no poseen propiedades mecánicas en las compositas que sean tan buenas como los sistemas epóxicos (7).

Las mezclas metálicas ofrecen mayor resistencia a alta temperatura, fuerza y rigidez que el uso de polímeros. Pero, la fabricación de mezclas compositas de metales es mucho más difícil que en el caso de polímeros(7).

Materiales inorgánicos. como vidrio, cemento, silicón y carbón han sido usados como materiales de mezclas con un éxito moderado. Este tipo de material permanece elástico hasta su punto crítico y exhiben bajos niveles de

resistencia bajo cargas, pero exhibe una fuerte resistencia a la compresión (7).

La formación in situ de mezclas cerámicas puede ser llevada a cabo al usar la solidificación de composiciones eutécticas para formar estructuras deseadas (7).

COMPOSITAS LAMINARES A BASE DE MADERA

La unión de madera con pegamento data desde la época de los faraones. Los productos a base de pegamento-madera son muy comunes, y se han desarrollado una gran variedad de materiales adhesivos, así como han continuado avances en el proceso de pegado. Durante los últimos 35 años, la industria del plywood, la más grande en el uso de adhesivos para madera, se ha convertido en un factor muy importante en el campo de la construcción. La industria de laminado estructural también ha mostrado un crecimiento favorable al mejorarse los pegamentos y al aumentar la información de diseño. Los adhesivos para muebles han cambiado de ser basados en materiales naturales a ser sintéticos. La unión de la madera con adhesivos, lo cual generalmente es más eficiente que usar fijadores mecánicos, ha hecho posible la existencia de un gran rango de productos y de usos para los cuales la madera ni siquiera había sido considerada (13).

Un requisito para obtener un buen pegado es que el adhesivo debe ser impregnado en las superficies que van a unirse. Numerosos factores (presión, temperatura, tiempo de secado) juegan un importante papel durante la formación de la unión entre la madera y el pegamento. La madera no es un material uniforme, sino un material complejo, cuyas características son variables. El mismo pegamento y procedimiento de pegado rara vez funciona para todas las especies de madera (13).

El reto es convertir árboles a materiales ingenieriles de varios tamaños y formas con propiedades que se acerquen, lo más posible, a la madera (13).

Los materiales que no son iguales en todas direcciones son anisotrópicos. La madera es un material altamente anisotrópico, su fuerza y rigidez paralelos al eje del árbol son aproximadamente 20 veces que perpendicular al eje (13).

Ya que el funcionamiento estructural del árbol está adaptado a la resistencia de tensión en una dirección, resistencia en cualquier otra dirección es marcadamente menor (13).

La anisotropía es ventajosa para el árbol ya que, la fuerza está orientada en la dirección en la cual es requerida. Por la misma razón la anisotropía da a la madera uno de sus méritos naturales como material ingenieril. La mayoría de los materiales ingenieriles, si se exceptúa la madera, son isotrópicos (13).

Las propiedades mecánicas específicas son medidas de la eficiencia del material. Dichas propiedades son definidas como el cociente de la propiedad en cuestión y la densidad, por ejemplo:

Fuerza de tensión específica: $\frac{\text{Fuerza de tensión}}{\text{Densidad}}$ (Ec. 4)

Densidad

(13).

Las propiedades específicas indican cuan bien un material usa la masa de las moléculas que lo constituyen. Por ejemplo, si un material es el doble de denso que otro, pero ambos utilizan su masa con igual eficiencia, la fuerza de tensión del material con mayor masa debería ser el doble pero su fuerza de tensión específica debe ser la misma. La eficiencia de materiales como la madera ó el hule comparados a los de los metales puede observarse en la tabla 1. La madera es sorprendentemente eficiente comparada a materiales que son microestructuralmente diseñados (13).

Tabla 1. PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LA MADERA, METALES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Material	Fuerza de tensión específica, km	Fuerza de compresión específica, km	Módulo de elasticidad específica (rigidez), Mm
Madera	18.1	9.93	2.41
Hule	3.60	5.92	2.04
Tabla de hojuelas de madera	9.49	6.10	1.86
Acero 1020	5.86	3.13	2.69
Acero 4130	11.2	8.98	2.69
Hierro Negro	2.97	12.0	1.43
Aluminio 2024-T3	17.7	12.7	2.69
Bronce	6.14	4.93	1.24
Cobre	3.88	3.53	1.33
Concreto	0.17	4.07	0.89
Ladrillo clase A	0.13	0.89	0.62
Granito	0.98	6.25	1.56

(13).

La primera meta en la manufactura de composita laminada a base de madera es la de producir a base de árboles un material estructural con mejores propiedades mecánicas. Una segunda meta es la de producir formas y tamaños útiles si se incluyen partes de diferente tamaño, partes curvas y productos laminados (13).

PRODUCTOS ESTRUCTURALES EN FORMA DE TABLERO

Existen muchos productos compositas en forma de tablero a base de madera en el mercado y nuevos productos que son diseñados para funciones específicas y están desarrollados en un alto grado. Algunos de estos productos proveen de fuerza y rigidez requerida para un uso particular, otros proveen acabado, reducción de ruido, aislamiento u otro tipo de características. Estos productos son en parte ó completamente a base de madera: plywood, tablas de aislamiento, hardboard, paperboard laminado y tablas a base de partículas (particleboards). Los procesos de manufactura y de acabado varían

grandemente para proveer materiales con propiedades específicas deseadas (13).

El uso de material adhesivo para la unión de madera ha incrementado grandemente en las décadas pasadas, y los productos pegados varían en tamaño desde joyería pequeña de madera hasta vigas gigantes mayores de 100 m. En general, la utilidad de piezas madera-pegamento dependen del tipo de madera y de su preparación para su uso, del tipo y de la calidad del material adhesivo, de la compatibilidad del proceso de pegado con la madera y del material adhesivo utilizado, del tipo de unión, del tratamiento protector aplicado. Las condiciones de uso afectan naturalmente el funcionamiento de la unión pegamento-madera (13).

PLYWOOD. El plywood es un tablero de madera-pegamento que está compuesta por capas relativamente delgadas, con el eje de las capas adyacentes que forman un ángulo, usualmente de 90° , entre ellas (13).

El plywood posee varias ventajas comparado con la madera, por ejemplo, es relativamente isotrópico, tiene una mayor resistencia mecánica y posee una forma que le permite ser utilizado en varias aplicaciones donde se necesiten tableros. Ya que en algunas aplicaciones es permitido usar plywood más delgado de lo usual, se pueden cubrir grandes áreas con una cantidad mínima de fibra de madera en forma de plywood (13).

Las propiedades del plywood dependen del espesor y la calidad de diferentes capas del aserrín, el orden de la localización de las capas en el tablero, el tipo de pegamento utilizado y el control de las condiciones durante el pegado (13).

TIPOS DE COMPOSITA A BASE DE MADERA. En general, el plywood de maderas suaves es utilizado en la construcción y en el campo industrial, y el plywood de maderas duras es usado donde la apariencia del producto es importante (13).

Una variedad de tableros de plywood están fabricados en capas de papel, de plástico y de metales que son combinados con aserrín para proveer características especiales, como mejores propiedades superficiales (13).

El plywood curvado a veces es usado como un producto de especialidad, particularmente en muebles. La mayoría del plywood curvado es fabricado al pegar las capas de madera individualmente y se moldea en la forma deseada, ya que la curvatura puede hacerse con prensas. El plywood aplanado puede ser doblado al formar curvaturas simples después de haber sido pegado, para esto se usan técnicas similares a aquellas para doblar madera sólida en que se usa vapor de agua a bajas presiones y se moja la madera entre agua a punto de ebullición (13).

CONTENIDO DE HUMEDAD. La tendencia del plywood a la torsión es afectada por cambios en el contenido de humedad, como resultado de cambios en las condiciones de humedad atmosférica y por el derrame de líquidos sobre la superficie. La apariencia de la superficie también puede ser afectado por la tendencia a la torsión (13).

El contenido original de humedad de la madera y la cantidad de agua adicionada por el pegamento debe mantenerse en un bajo grado para evitar problemas de formación de ampollas durante el prensado caliente de los tableros (13).

DISEÑO ESTRUCTURAL

Una banda de plywood no puede ser tan fuerte en tensión, compresión, ó en doblado como lo es una banda de madera sólida del mismo tamaño. Los pliegues que tienen la dirección del eje orientado a 90° de la dirección donde se aplica la tensión, pueden contribuir sólo a una fracción de la tensión con la que contribuye el área correspondiente de la tabla con el eje paralelo a la aplicación de la tensión (13).

ADHESIVOS

La mayoría de los adhesivos utilizados en la manufactura del plywood caen entre los adhesivos de fenol-formaldehído ó de urea-formaldehído. Una pequeña proporción de resinas de melamina-formaldehído es usada para exposiciones severas ó críticas donde el color de las resinas de fenol-formaldehído no es adecuado (13).

Los tipos de resinas principales más costosos (si se exceptúan las resinas de resorcinol-formaldehído) son las resinas a base de melamina. Las resinas fenólicas son más económicas y las menos costosas son las de urea. Las resinas fenólicas generalmente son oscuras en color y se puede tener el riesgo de que destiñan; las resinas de melamina y de urea no destiñen. Los adhesivos híbridos, conocidos como adhesivos de melamina-urea-formaldehído, poseen una mejor calidad y costo y algunas veces son utilizados para recubrir los hardwoods. Los adhesivos de urea-melamina son usados con alta frecuencia cuando se necesita una resistencia a la humedad. Para los recubrimientos de plywood tipo hardwood, el tipo de adhesivo más utilizado es el de urea-formaldehído; los adhesivos de melamina-formaldehído y de fenol-formaldehído son usados bajo ciertas condiciones, como los son puertas de tipo hardwood utilizadas para puertas externas, paneles resistentes al fuego y trabajos interiores de barcos. El softwood usado en el exterior del plywood está hecho casi exclusivamente de adhesivos de fenol-formaldehído. El softwood usado en el interior del plywood está hecho de adhesivos de fenol-formaldehídos, con albúmina de sangre ó con proteína de soya, con mezclas de estos dos últimos y con ó sin adhesivos de fenol-formaldehído, y ocasionalmente con adhesivos de urea-formaldehído (5).

POLÍMEROS DE FENOL-FORMALDEHÍDO (PF). La resina de fenol-formaldehído, la cual es el polímero de termofraguado más usado, fue comercializada por Leo Baekeland a principio de los años 1900. Las resinas de baquelita sobresoladas, las cuales fueron producidas por condensación de fenol y

formaldehído bajo condiciones alcalinas. se usaron como prepolímeros lineares los que se curaban en presencia de un ácido o de calor (10).

Los productos de la condensación del fenol (ácido carbónico) y el formaldehído (formalin) fueron realizados en el siglo XIX por varios químicos orgánicos eminentes, pero fueron descartados al ser considerados productos de desecho, ya que estos no poseían las características de los compuestos cristalinos con puntos de fusión característicos (10).

La fragilidad característica de PF fue superada por la adición de harina de madera, i.e., madera fibrosa finamente dividida fabricada por molienda (10).

Las resinas usadas para remontar zapatos pueden ser usadas como adhesivos para fibra de vidrio, cartón, adhesivos para frenos y clutch, plywood, barniz, moldes para aleaciones metálicas, fibras vulcanizadas, agregados en ruedas de molienda y en machos de fundición de arena como polvos para moldear (10).

Cerca de 1,300,000 toneladas de resinas de PF fueron consumidas en los Estados Unidos en 1987. Cerca del 50 por ciento de esta producción fue usada como adhesivo en plywood, y solo el 7.5 por ciento fue usado para moldear plásticos fenólicos (10).

Tablas aislantes, cartones, tableros de partículas y el plywood son compositas de madera y papel y adhesivos de resinas de fenol-formaldehído. El plywood, que es el principal producto de fenol-formaldehído, es producido si se usa el adhesivo líquido como pegamento para unir un número de capas delgadas de madera como revestimiento que forma ángulos rectos entre sí. Esta composita isotrópica es usada ampliamente en lugar de tableros gruesos de madera (10).

Las resinas de fenol-formaldehído poseen una buena resistencia a solventes orgánicos, soluciones acuosas de sales, y ácidos no oxidantes, como el ácido clorhídrico. Los fenol formaldehídos no son resistentes a álcalis fuertes y se hinchan al ser sumergidos en soluciones alcalinas a altas temperaturas (10).

TOXICIDAD DE LOS FENOL-FORMALDEHÍDOS. Mientras que tanto el fenol como el formaldehído son tóxicos, no existe ninguna molécula de fenol o de formaldehído libre para reaccionar en las resinas apropiadamente curadas. Sin embargo, estas resinas de fenol-formaldehído son usadas como recubrimientos en las latas de cerveza y de bebidas gaseosas. No se ha reportado en literatura ningún efecto perjudicial de estos polímeros de fenol-formaldehído. Los fenol-formaldehídos poseen una resistencia moderada a las llamas, y esta resistencia puede ser reforzada por la adición de retardantes, como el trihidrato de alúmina (ATH) (10).

PLÁSTICOS DE FURANO. Los plásticos de furfuran, los cuales son derivados de pentosanos en desechos agrícolas, como mazorcas, cáscaras de avena ó madera. Estos pentosanos son hidrolizados por ácidos acuosos calientes, como es el ácido clorhídrico, para producir el furfural, el cual puede ser usado en lugar del formaldehído en la producción de plásticos fenólicos (10).

El furfural se condensa bajo condiciones ácidas o alcalinas, con fenol y bifenol A, y acetona (H_3CCOCH_3). Estas resinas de furano han sido utilizadas como recubrimientos, adhesivos para partículas de madera y como compositas con silica (10).

Tabla 2. PROPIEDADES DE PLÁSTICOS FENÓLICOS COMUNES (PF)

Propiedades, unidades*	Relleno de aserrín	40% refuerzo de fibra de grafito	40% refuerzo de fibra de vidrio
Punto de Fusión, T_m , °F	-	-	-
Temperatura de transición cristalina, T_g , °F	-	-	-
Temperatura de	300-375	300-350	300-375

Procesamiento, °F			
Presión de moldeo, 10^3 lb/in ²	2-20	2-5	1-20
Contracción del molde, 10^{-3} in/in	4-9	0.5	1.4
Temperatura de deflexión del calor, bajo una carga flexible de 264 lb/in ² , °F	340	480	475
Resistencia máxima a exposición de calor continuo, °F	300	375	375
Coefficiente de expansión lineal, 10^{-6} in/(in x °F)30	30	20	10
Fuerza de compresión, 10^3 lb/in ²	30	30	20
Fuerza de impacto, Izod, Ft x lb / in de corte	0.4	10	12
Fuerza de tensión, 10^3 lb/in ²	-	-	-
Fuerza de flexión, 10^3 lb/in ²	110	36	40
Porcentaje de elongación	0.6	0.4	0.2
Módulo de tensión, 10^3 lb/in ²	1000	-	2500
Módulo de flexión, 10^3 lb/in ²	1100	415	2000
Dureza Rockwell	M110	M115	E75
Gravedad específica	1.4	1.45	1.8
Porcentaje de absorción de agua, %	0.6	0.2	0.5
Constante dieléctrica	6	-8	5
Fuerza dieléctrica, V/mil	325	-	375
Resistencia a químicos a 75 °F			
Acidos no oxidantes (20%	s	S	S

H ₂ SO ₄)			
Acidos oxidantes (10% HNO ₃)	Q	Q	Q
Soluciones de sales acuosas (NaCl)	S	S	S
Solventes polares (C ₂ H ₅ OH)	S	S	S
Solventes no polares (C ₆ H ₆)	S	S	S
Agua	S	S	S
Soluciones alcalinas acuosas (NaOH)	U	U	U

- $\text{lb}/(\text{in}^2 \times 0.145) = \text{KPa}$ (Kilopascales); $\text{ft} \times \text{lb}(\text{in de corte}) \times 0.0187 = \text{cm} \times \text{N}/\text{cm de corte}$.
- S= satisfactorio; Q = cuestionable; U = insatisfactorio

(10).

Las técnicas de producción de resinas de urea-formaldehído y de resinas de melamina-formaldehído son muy similares a las de los polímeros de fenol-formaldehído. Sin embargo, las resinas de urea-formaldehído (UF) y las resinas de melamina-formaldehído (MF) son usualmente clasificadas como amino resinas. Ambas resinas son incoloras, y la más utilizada es la UF; en Estados Unidos es producido más del 80 por ciento. La mayor parte de la urea (H₂NCONH₂) que es producida es utilizada como fertilizantes y en otras aplicaciones de bajo costo(10).

Desde que la melamina es producida por trimerización de cianamida, la cual es obtenida por la deshidratación de la urea, es también relativamente barata, aunque más cara que la urea(10).

Tanto las resinas UF y MF son producidas por la condensación ácida de derivados del metanol (-NHCH₂OH) de urea y melamina, la cual es obtenida por la condensación ácida ó alcalina de estos reactivos con formaldehído (10).

La resistencia a la humedad de las resinas MF es mucho mejor que las UF. Usualmente se usan los polímeros de fenol-formaldehído para las capas internas de laminados y las resinas de UF y MF se usan en la superficie (10).

TOXICIDAD DE RESINAS DE UREA Y MELAMINA. La urea, la melamina y los polímeros estables (UF, MF) no son tóxicos. Las vajillas hechas y moldeadas basándose en resinas de melamina-formaldehído (MF) no liberan formaldehído, sin embargo algunas resinas de amino, como espumas de UF usadas en el lugar, pueden liberar formaldehído, el cual, aun en bajas concentraciones, es un irritante de ojos, nariz y garganta. La exposición de largas cantidades de formaldehído durante largos períodos de tiempo puede producir cáncer en animales de laboratorio. Debe evitarse la exposición a vapores de formaldehído (10).

Las resinas de baquelita novolac son resinas termoplásticas, las cuales fueron producidas al usar fenol en exceso bajo condiciones ácidas. El formaldehído requerido para la conversión del polímero lineal a una forma termoplástica en el molde se hizo a través de la adición de hexametilentetramina, la cual libera el formaldehído cuando es calentado en el molde (10).

Los plásticos de urea-formaldehído fueron producidos por A. Holzer a finales de los años 1800s, pero no fueron comercializados, sino hasta 1908 cuando h. Goldschmidt, E.W. Neuss, y F. Pollack propusieron el uso de las resinas de urea-formaldehído como adhesivos y resinas de moldes. Las resinas de melamina-formaldehído, similares a las de urea-formaldehído, fueron producidas en 1935 por la Corporación Henkel. Algunas de las resinas de melamina-formaldehído son usadas para aplicaciones eléctricas y para moldear vajillas, pero el principal plástico amino son los de urea-formaldehído (10).

A continuación se muestra el desarrollo cronológico de polímeros comerciales:

Tabla 3. DESARROLLO CRONOLÓGICO DE POLÍMEROS COMERCIALES

Año	Material
1907	Resinas fenol-formaldehido (Bakelita, Baedeland)
1926	Poliéster Alkyd
1931	Plásticos Polimetil metacrilato
1938	Nylon 6, 6 fibras (Carothers)
1942	Poliéster insaturado (Ellis y Rust)
1943	Resinas fluorocarbonadas (Teflon; Plunkett)
1943	Silicon
1943	Poliuretanos (Baeyer)
1947	Resinas Epóxicas
1948	Copolímeros de acrilonitrilo, butadieno y estireno (ABS)
1950	Fibras de poliéster (Whinfield y Dickson)
1956	Polioximetileno $[-(\text{CH}_2\text{O})-]$ (acetilenos)
1957	Policarbonado (PC)
1962	Resina de poliimida (PI)
1965	Oxido de polifenileno (PPO)
1965	Polisulfonado
1970	Tereftalato de polibutileno (PBT)
1971	Sulfito de polifenileno
1978	Poliarilato (Ardel)
1979	Mezclas PET-policarbonados (Xenoy)
1981	Poliéster de amidas en bloque (Pebax)
1982	Poliéster éter ketonas
1983	Polieteramidas (Ultem)
1984	Polímeros líquido-cristales (Xydar)
1985	Polímeros liquido-cristales (Vectra)
1986	Mezclas de Poliacetales-elastómeros (Delrin)
1987	Mezclas de elastómeros-PET (Rynde)
1987	Polímeros ingenieriles
1988	Mezclas de PVC-estireno maleico anhido (SMA)

(10).

Las propiedades térmicas de polímeros utilizados en ingeniería se muestran a continuación.

Tabla 4. PROPIEDADES TÉRMICAS DE POLÍMEROS UTILIZADOS EN INGENIERÍA

Polímeros	Temperatura de deflexión del calor a 1.82 MPa (264 lb/in ²)		Índice UL*		Conductividad Térmica	
	°C	°F	°C	°F	W/(m ² *K)	BTU* in/ (h*ft ² *°F)
Termo-polímeros ó mezclas de Acrilonitril o-butadieno -estireno (ABS)	99	210	60	140	0.27	1.9
Aleación ABS-Policarbonados	115	240	60	140	0.25	1.7
Ftalato Diallyl (DAP)	285	545	130	265	0.36	2.5
Polioximetileno (POM)	136	275	85	185	0.37	2.6
Polimetil de metacrilato (PMMA)	92	200	90	195	0.19	1.3
Poliarilato (PAR)	155	310	-	-	0.22	1.5
Polímero cristal-líquido (LCP)	311	590	220	430	-	-
Resina de Melamina-formaldehído (MF)	183	360	130	265	0.42	2.9
Nylon 6	65	150	75	165	0.23	1.6
Nylon 6,6	90	195	75	165	0.25	
Nylon 12 amorfo	140	285	65	150	0.25	
Eter poliaril (PAE)	160	320	160	320	-	-
Polibutileno	-	-	120	250	-	-

tereftalato (PBT)						
Policarbonados (PC)	129	265	115	240	0.20	
PBT-PC	129	265	105	220	-	-
Poliéster éter ketonas (PEEK)	-	-	250	480	0.25	1.7
Polieterimida (PEI)	210	410	170	340	0.22	1.5
Poliéster sulfonado (PES)	203	395	170	340	-	-
PET	224	435	140	285	0.17	
Polímero de fenol-formaldehído (PF)	163	325	150	300	0.25	1.7
Poliéster insaturado (UP)	279	535	130	265	0.12	0.8
Oxido de Polifenileno (PPO) modificado	100	212	80	175	-	-
Sulfito de Polifenileno (PPS)	260	500	200	390	0.17	
Polisulfona (PSU)	174	345	140	285	0.26	1.8
Estireno maleico anhídrido (SMA) terpolímero	103	215	80	175	-	-

* Índice UL: Temperatura a la cual los valores de las propiedades decrecen a menos del 50 % de los valores iniciales.

(10).

TRATAMIENTO Y ACABADO

Los tratamientos del plywood varían mucho, uno de ellos es la impregnación por medio del traslape de las hojas de plywood. Los traslapes pueden tener una función estructural, decorativa ó simplemente proveen un

mejoramiento para retener la pintura en su superficie. Los traslapes más comunes usan una combinación de plástico ó de resina plástica y papel. Existen tres divisiones de traslapes: de alta densidad, de mediana densidad y decorativos (13).

A veces el plywood es impregnado con adhesivos para incrementar su estabilidad, para decoración, para resistencia al fuego ó a la descomposición, para incrementar su dureza, para efectos especiales de color y para dar acabados. La impregnación con adhesivos requiere que el pegamento usado en el plywood se adhiera a la superficie adecuadamente(13).

La impregnación de resinas utilizadas para brindar una mejor estabilización dimensional está basada casi exclusivamente en el uso de resinas fenol-formaldehído de muy bajo peso molecular y solubles en agua, las cuales tienen la propiedad peculiar de poder difundirse a través de las paredes celulares y actúa reduciendo la higroscopicidad natural de la madera. Ciertas soluciones acuosas de polietilenglicoles dan también una estabilización dimensional. La resistencia al fuego es mejorada por el uso de sales inorgánicas, las más comunes son las sales de fosfatos y sulfatos de amonio. Porciones más pequeñas de sales inorgánicas, como cromatos de bórax, ácido bórico, cloruro de zinc son adicionadas para mejorar otros efectos como la reducción de higroscopicidad, resistencia a la hinchazón y control de secado. La resistencia a la descomposición es mejorada por el uso de agentes tóxicos como el pentaclorofenol y otros fenoles clorinados, por compuestos de cobre, por sales metálicas de ácidos nafténicos y compuestos de arsénico. La impregnación con resinas para mejorar los efectos de color es un viejo arte que nunca ha tenido un éxito extraordinario (13).

MATERIALES A BASE DE FIBRA DE MADERA Y DE TABLEROS DE PARTÍCULAS

Los materiales hechos a base de fibra de madera y de tableros de partículas incluyen tablas aislantes, tableros de fibra de mediana densidad, tableros duros, tableros de partículas, y tableros de papel laminado. Varios

tableros de partículas son conocidos por el tipo de partícula que utilizan como lo son hojuelas de madera, astillas de madera, astillas de la corteza de la madera. Estos materiales para hacer tableros son madera reconstituida (ó cualquier otro bagazo lignocelulósico) en donde la madera es reducida a fracciones de su tamaño original y luego es combinada para formar tableros ó manufacturar tableros de alto y moderado espesor. Puede hacerse notar, que estos materiales retienen algunas de sus propiedades originales, pero debido a los métodos de producción, pueden ganar propiedades diferentes a las de la madera. Ya que son manufacturadas, éstas pueden ser fabricadas para satisfacer diferentes tipos de necesidades (13).

Los tableros a base de madera son manufacturados, ya sea por convertir materiales de madera en fibras y luego, son procesadas para formar el material para la elaboración del tablero, o por medios estrictamente mecánicos, se corta y quiebra la madera para formar partículas pequeñas y luego, con un adhesivo sintético de resina u otro pegamento se unen todas las partículas en presencia de calor y presión. Estos productos son llamados tableros de partículas (13).

Las clases de partículas de madera que son usadas para la manufactura de tableros de partículas en forma de hojuelas que varían entre 2.5 ó más de largo y sólo unos pocos cientos son de un centímetro de espesor hasta alcanzar diámetros como el de la harina. Los sólidos de resina sintética usualmente constituyen del 5 al 10% de la madera seca (13).

La fabricación de tableros de fibras y de partículas es producida a partir de componentes pequeños de la madera, aunque el material en bruto no necesita ser en forma de un leño. Varios procesos para manufacturar los materiales usados empiezan con la madera en forma de astillas de pulpa. Los residuos gruesos de otros productos primarios de madera son por lo tanto, una importante fuente de materia prima para ambos tipos de tableros a base de madera. Los tableros de partículas, y en menor grado, la construcción de tableros de fibra, usan residuos finos como materia prima. Sobre todo, cerca

horas, % p/p			
Espesor de hinchamiento por un remojo en agua por 24 horas, %		5-50	15-40
Expansión linear (50-90% rh) %	0.30	0.2-0.6	0.2-0.85
Conductividad Térmica (a 24°C), mW/(m*K)	79-108	108-144	144-180

(13).

Al usar los tableros de partículas como bases para piso, estos proveen nivelación, también el espesor de construcción requerido para dar al piso final la elevación deseada, la mella para resistencia, una superficie lisa necesaria como base para el linóleo, hule, vinil, losa de vinil y asbesto. Los tableros de partículas que se usan como base para piso son producidos en paneles de 1.2-2.4m que son usualmente de 6.1-, 9.5-, o 16-mm de espesor (13).

Las propiedades de los tableros de partículas dependen en la forma y en la calidad de las partículas usadas, así como la clase y cantidad de la resina usada como pegamento. Sin embargo, la mayoría de los tableros de partícula son producidos al usar partículas que ayudan a ceder contra la fuerza y rigidez intermedia, un volumen substancial es compuesto por hojuelas u otras partículas de ingeniería para los tableros de mayor fuerza y rigidez. Algunas veces los tableros de rigidez intermedia y que se flexionan ante fuerza son designados como de clase 1 y aquellos de mayor rigidez y que se flexionan ante fuerza son designadas de clase 2. Los tableros de partícula de clase 2 son más caros que aquellos de clase 1, pero usualmente son utilizadas cuando se necesite una rigidez y fuerza elevadas. Los mismos se utilizan donde se necesita una superficie especial, como una superficie fina que provea una mejor base para el acabado de una construcción (13).

del 70% de los requerimientos de la materia prima para los tableros de partícula y de fibra son formados por residuos de madera (13).

PANELES DE PARTÍCULAS. Los tableros de partículas en forma aplanada, debido a las diferencias en sus propiedades y en sus usos, generalmente son clasificados por su densidad en baja ($<0.59 \text{ g/cm}^3$), medio ($0.59-0.80 \text{ g/cm}^3$) y alta ($>0.80 \text{ g/cm}^3$). Todos los tableros aplanados son prensados en caliente para el curado de las resinas usadas como pegamento (13).

Estos tableros también pueden describirse por la clase predominante de partículas, como virutas, hojuelas, astillas, o la combinación en la construcción por hojuelas ó partículas finas en la superficie (13).

Tabla 5. FUERZA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS PLANOS DE PARTÍCULAS A BASE DE MADERA

Propiedad	Tablero de baja densidad	Tablero de densidad media	Tablero de alta densidad
Densidad, g/cm^3	0.40-0.59	0.59-0.80	0.80-1.12
Módulo de elasticidad, MPa	1.0-1.7	1.7-4.8	2.4-6.9
Módulo de ruptura, MPa	5.5-9.7	11.0-55.2	16.6-51.7
Fuerza de tensión, paralelo a la superficie, MPa	0.14-0.21	3.4-27.6	6.9-34.5
Perpendicular a la superficie, MPa		0.28-1.4	0.86-3.1
Fuerza de compresión paralela a la superficie, MPa		9.7-20.7	24.1-35.9
Resistencia a la ruptura (en el plano del tablero) Mpa		0.60-3.1	1.4-5.5
A través del plano del tablero, Mpa		1.4-12.4	
Absorción de agua por 24		10-50	15-40

PRODUCCIÓN. El departamento de Comercio de los Estados Unidos ha publicado las producciones e información acerca del mercado para tableros de partícula y de tableros de fibra de densidad media. se puede encontrar parte de esta información en el documento de Census Bureau que puede observarse en la tabla 6 (10).

Tabla 6. INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN Y DE MERCADO EN ESTADOS UNIDOS PARA LOS TABLEROS DE PARTÍCULAS Y PARA LOS TABLEROS DE FIBRA DE DENSIDAD MEDIA, 1975.

Producto	Producción Total en los Estados Unidos (en bases de 19mm) , 10 ⁶ m ²
Tablero de partícula, de todo tipo Total	235.9
Producción de tablero de fibra, Total	232.6
Bases de piso, total	72.9
Tablero de 16mm	46.0
Tablero de 9.5 mm	8.1
Otros espesores	18.8
Cubiertas para mobiliario doméstico, total	21.0
19.0mm de espesor	
16.0 mm de espesor	17.5
Otros tipos de tablero de fibra (industriales), total	149.3
Tablero de 19mm	53.7
Tablero de 16mm	28.2
Tablero de 13mm	19.8
Tablero de 9.5mm	6.2
Tablero de 6.1mm	0.4
Otros	30.3
Resinas de urea-formaldehído	30.3
Resinas fenólicas-formaldehído y otras	10.7
Producción de tableros extruidos	3.4
Tableros de fibra de densidad media, total	20.0
Espesor de 19mm	11.4
Otros espesores	8.6

(10).

TRATAMIENTO. Para la madera unida por presión que es tratada para una larga vida útil, no se recomienda una reducción en la tensión permitida. Para la madera que es unida por presión con un tratamiento para resistencia al fuego,

una reducción en la tensión de un 10% es usada. Las especies difíciles de tratar son cinceladas previamente del tratamiento para obtener una retención más duradera. El cincelar daña significativamente las pequeñas regiones del exterior de la superficie; sin embargo, el efecto de cincelar sobre la fuerza global no es significativa para ser considerada en el factor de diseño (13).

TRATAMIENTOS. PRESERVANTE A BASE DE PRESIÓN. Algunas condiciones de uso requieren que las piezas pasen por un tratamiento preservante a base de presión para asegurar una vida útil prolongada. Algunas consideraciones de diseño, como detalles de las conexiones, recubrimientos; pueden proveer cierto grado de protección; sin embargo, cuando los detalles de diseño y construcción no son suficientes para resistir la descomposición, fungi, insectos ó polilla, los tratamientos basándose en presión son necesarios. La efectividad del tratamiento depende de los químicos utilizados y de su penetración y retención en la madera (13).

Los químicos de creosota ó a base de aceite pueden ser usados para el tratamiento después de la laminación. El uso de tratamientos de sales para los miembros laminados con pegamento, después del pegado no es recomendado debido a que hay un cambio dimensional y de magnitud después de secarse. Los químicos de sales y de base de aceite disueltos en material mineral ó en solventes volátiles son los únicos preservantes recomendados para el tratamiento individual de las laminaciones antes de ser pegadas (13).

TRATAMIENTO PROTECTOR DE LLAMAS. La madera laminada puede ser impregnada a presión con sales minerales usadas para el tratamiento protector de llamas para reducir el esparcimiento de la llama, la densidad del humo, y de la contribución del combustible dados por la madera laminada. Cuando se usan los tratamientos protectores de llamas, se deben investigar y estudiar la reducción de fuerza en el miembro y en sus uniones, la compatibilidad del

tratamiento y el material adhesivo, el uso de procedimientos especiales para el pegado, y el efecto en los procedimientos de la fabricación (13).

RECUBRIMIENTOS Y ACABADOS. Algunas maderas poseen disponibles de uso satin, selladores y otros acabados que son aplicados en la planta para satisfacer requerimientos en la apariencia (13).

PROPIEDADES DE LA MADERA

PROPIEDADES BÁSICAS DE LA MADERA

Deben tenerse en cuenta tres propiedades que se describen a continuación:

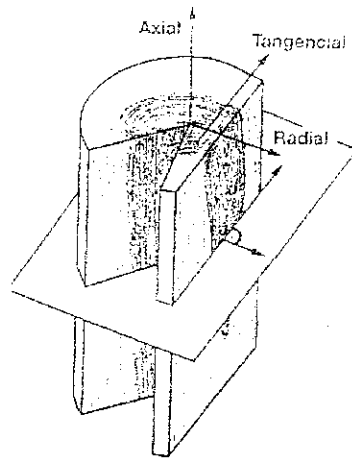
Anisotropía. La madera no es un material homogéneo, sino un material muy diferente según el plano o la dirección que se considere. Como resultado se presenta un comportamiento desigual (11).

Para dar una idea de cómo se comporta, la madera resiste entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal del árbol (11).

Este comportamiento tan desigual de la madera, hace obligado denominar de forma diferente, los planos y direcciones que se consideren:

- Dirección axial: la del eje del árbol (11).
- Dirección radial: la dirección de los radios, perpendicular al eje del árbol (11).

- **Dirección tangencial:** la dirección tangencial al árbol, perpendicular al eje del árbol (11).



Fuente: Autores (ejecutado por AIMCM).

Fig. 1 PRINCIPALES DIRECCIONES DE LA MADERA

(11).

Higroscopicidad. La madera contiene huecos en el lumen celular, entre las microfibrillas y entre las fibrillas elementales (11).

El hueco del lumen celular es relativamente tan grande, que su fuerza capilar no es suficiente como para captar agua de la atmósfera, llenándose sólo de agua, cuando la madera se sumerge en ella (11).

Por el contrario, los huecos entre las microfibrillas y las fibrillas elementales son tan pequeños que originan fuerzas de Van der Waal, capilares y de adhesión superficial suficientes como para captar agua de la atmósfera que le rodea. Como, por otra parte, la atmósfera tiene una fuerza desecante, dependiente de la temperatura, humedad relativa y presión a la que se encuentra, es también capaz de captar agua de la pared celular de la madera. Dependiendo de la fuerza de uno u otro, la madera capta o cede agua. Esta

propiedad de los cuerpos de establecer intercambio de humedad con el ambiente se denomina higroscopicidad (11).

El agua puede estar contenida en la madera en las siguientes formas (L. García, 1989):

- Agua de sorción: Es la que está retenida por fuerzas de tipo de Van der Waal, consecuencia de los grupos polares activos de la pared celular. Esta agua es la que más fuertemente queda retenida por la pared celular. La madera puede llegar a contener un 8% de peso de agua respecto del peso de la madera seca, como consecuencia de estar fuera.
- Agua de adsorción: Es el agua que queda retenida en la pared celular como consecuencia de la fuerza de adhesión superficial. La madera puede llegar a contener hasta un 6 a un 8% de peso de agua respecto del peso de la madera seca, debida a la adhesión superficial.
- Agua de condensación capilar: Es la retenida por fuerzas capilares, provocadas por los espacios entre microfibrillas. La madera puede llegar a contener entre un 14 a un 16% de peso de agua respecto del peso de la madera seca, en estos capilares.
- Agua libre: Es la contenida en el lumen de las células prosenquimatosas. Su fuerza de retención es muy pequeña, de forma que no puede captar agua de la atmósfera, sólo puede introducirse si se produce una inmersión de la madera en agua.

(11).

Polaridad. La madera tiene carácter polar y por tanto tiene afinidad con los productos polares, como puede ser el agua, los pegamentos de carácter polar, los barnices..... (11).

LA MADERA Y EL AGUA

Se dice que una madera tiene una humedad del H% cuando, si la madera pesa P_0 cuando está seca, el peso del agua es $H \times P/100$. Pudiéndose expresar de la siguiente manera:

$$H = \frac{P_H - P_0}{P_0} \times 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

Siendo P_H : el peso de la madera la H% de humedad (11).

Respecto del comportamiento, la humedad es un factor determinante en su durabilidad, en su resistencia, peso,.. y sobre todo en sus dimensiones, es decir, que la madera varía sus dimensiones con el contenido de humedad, hinchándose cuando gana humedad y mermando cuando la pierde (11).

La relación entre el agua y la madera funciona de la siguiente forma:

Sea un árbol recién apeado e introducido en un patio de oreado. En el primer instante, la madera posee un muy alto contenido de humedad, dado que el agua llena todos los huecos entre las fibras elementales, entre las microfibrillas, entre las fibras, e incluso gran parte del lumen celular contiene agua. En esos momentos el porcentaje de humedad de la madera oscila alrededor del 80%, siendo muy numerosos los casos, en los que el peso del agua es mayor que el peso de la madera (11).

El aire del patio de oreado, como consecuencia de la fuerza desecante que tiene, absorbe agua de la superficie de la madera, al dejar la primera capa de células sin casi agua. Esta capa de células, al estar más secas que la segunda capa, absorbe parte del agua que tienen, de forma de igualar su humedad, y así sucesivamente hasta llegar al interior de la madera (11).

El resultado es que el aire va quitando agua de los huecos de la madera, primero del agua del lumen celular, después el agua adherida superficialmente por fuerza capilar de la pared celular, el agua retenida por adhesión superficial y el agua retenida en los grupos polares de la celulosa. Según seca la madera, aumenta su fuerza desecante y disminuye la del aire, con lo que llega un momento en que ambas fuerzas se equilibran, con lo que cesa el intercambio de agua. En ese momento se dice que la madera ha alcanzado el punto denominado de Humedad de Equilibrio Higroscópico HEH (11).

Se denomina *Humedad de Equilibrio Higroscópico HEH* la humedad de la madera a la que se equilibran la fuerza desecante de esta con la de la atmósfera. También se puede definir como el porcentaje de humedad que alcanzaría una madera a lo largo del tiempo, sometida a unas ciertas condiciones de humedad y temperatura del medio ambiente (11).

Kollmann, comprobó que la HEH es casi constante para todas las maderas, al elaborar un ábaco, para determinar este valor (11).

Según este ábaco, la HEH máxima que puede tener una madera, cuando se la expone a un ambiente saturado de humedad es del 30%, esta es la humedad que satura todos los huecos existentes entre las fibrillas elementales, entre las microfibrillas y entre las fibras que componen la pared celular. A este punto de humedad se le denomina *punto de saturación de la fibra PSF*, que como se ha indicado corresponde a un 30% de humedad de la madera (11).

Para que la madera adquiera más humedad que la correspondiente al PSF, es necesario sumergirla en agua, y llenar los espacios existentes en el lumen celular (11).

Anisotropía

Como la madera es anisótropa los cambios dimensionales se realizan de forma diferente según la dirección que se considere, denominándose:

- Contracción volumétrica C_V al total de lo que contrae una madera desde donde está por encima del PSF hasta el 0% de humedad.
- Coeficiente de contracción volumétrica C_{CV} a lo que se contrae una madera por perder un 1% de humedad, cuando está por debajo del PSF.
- Contracción lineal tangencial C_{Lt} , radial C_{Lr} o axial C_{La} al total de lo que contrae en esa dirección cuando la madera se seca desde un punto superior al PSF hasta el 0% de humedad.

- Coeficiente de contracción lineal tangencial C_{ct} , radial C_{cr} , a lo que contrae en esa dirección cuando la madera pierde un 1% de humedad y está por debajo del PSF.

(11).

De forma aproximada, se cumple la siguiente relación:

$$C_{CV} = C_{ct} + C_{cr} + C_{cl} \quad (\text{Ec. 6})$$

(11).

También de forma aproximada se puede relacionar el coeficiente de contracción volumétrica con la contracción volumétrica en la siguiente expresión:

$$C_{CV} = C_V/30 \quad (\text{Ec. 7})$$

(11).

Como consecuencia de la anisotropía, las contracciones que sufre la madera son muy diferentes según la dirección que se considere (11).

DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO

Es la relación entre el peso P y el volumen V de una madera.

$$\rho = P/V \quad (\text{Ec. 8})$$

(11).

Como el peso y el volumen de una madera están afectados por el porcentaje de humedad, al hablar de densidad se debe siempre significar la humedad a la que está hecha la medida, es decir que se debe hablar de densidad de la madera a una determinada humedad como puede ser el 0% (densidad anhidra), del 12% (humedad normal) o a otra humedad de la madera (3).

$$\rho_h = P_h / V_h \quad (\text{Ec. 9})$$

(11).

Debe observarse cómo la cantidad de agua de los maderas con el mismo porcentaje de humedad puede ser muy diferente. Así, si comparamos la cantidad de agua que tiene el chopo (densidad seca de 0.35g/cm^3) con la que tiene el roble (densidad seca de 0.75g/cm^3) al 50% de humedad, los valores que alcanzan por m^3 son los siguientes:

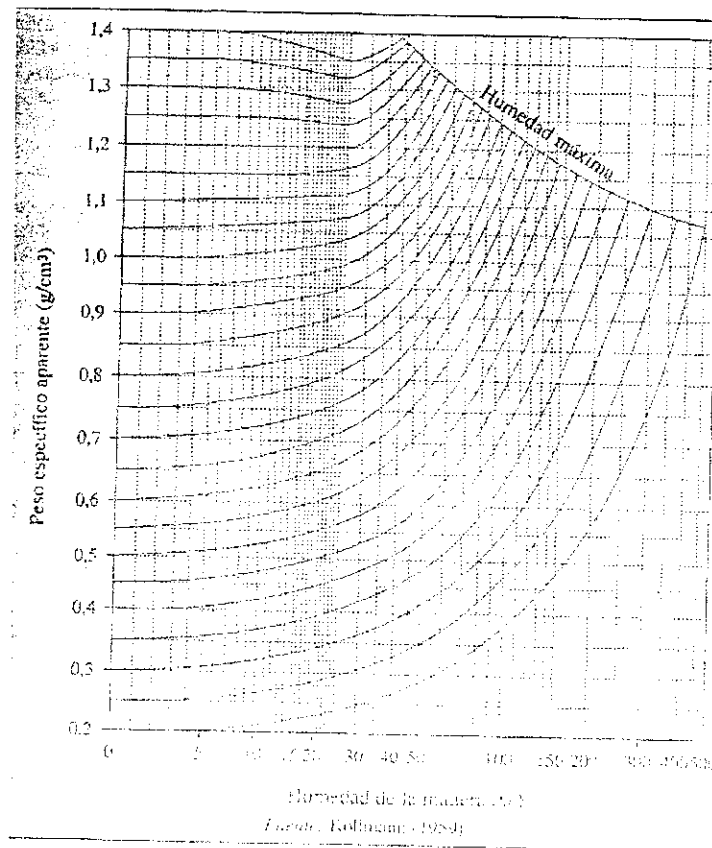
$$\begin{aligned} \text{Chopo} & \dots\dots\dots \frac{50 \times 0.35\text{g/cm}^3}{100} = 175 \text{ l/m}^3 \\ \text{Roble} & \dots\dots\dots \frac{50 \times 0.75\text{g/cm}^3}{100} = 375 \text{ l/m}^3 \end{aligned}$$

(11).

Es decir, que el roble al 50% tiene más del doble de agua que el chopo al 50% (11).

En la figura 2 se expresa la variación de la densidad de la madera en función del porcentaje de humedad que contenga (11).

Fig. 2 VARIACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD



El peso específico normal de la madera es muy variable según las especies. Así, existen maderas que apenas tienen una densidad de 0.2g/cm^3 (madera de balsa) a maderas de 1.4g/cm^3 (madera de quebracho, o madera de palo de hierro). La máxima densidad teórica que puede tener una madera es de 1.54g/cm^3 , dado que ésta es la densidad de la pared celular (11).

A pesar de las grandes variaciones de densidad, se puede calificar a la madera como un material ligero, si se la compara con otros materiales, tales como el hormigón (2.2g/cm^3) o el acero (7.8g/cm^3) (11).

Se denomina *densidad específica* de una madera, a la relación entre el peso seco P_0 de la madera y el volumen V_V de la madera cuando ésta tiene una humedad superior al punto de saturación de la fibra (11).

$$\rho_e = P_0 / V_V \quad (\text{Ec. 10})$$

(11).

La relación entre esta densidad y cualquier otra es muy diferente y depende de la contracción volumétrica C_V de la madera (11).

$$\rho_e = P_0 / V_V = \frac{P_0}{V_0 \times (1 + C_V)} = \rho_0 / (1 + C_V) \quad (\text{Ec. 11})$$

(11).

Maderas ligeras, son maderas de tonos claros, blandas, poco resistentes pero elásticas, poco durables, muy fáciles de trabajar, con tacto basto (11).

Maderas pesadas, son maderas oscuras, duras, muy resistentes pero frágiles, muy durables, difíciles de trabajar, con tacto muy fino (11).

DUREZA

Es una propiedad que indica la facilidad de penetración de un material en otro(11).

La madera, en relación con otros materiales (acero y hormigón), se puede definir como blando, que aunque en algunos aspectos se puede considerar un defecto (facilidad de rayado y por tanto de pérdida de apariencia de la superficie) tiene como ventajas, su facilidad de procesado (corte, unión.....) (11).

RESISTENCIA MECÁNICA

La madera sometida a cargas tiene un comportamiento denominado visco-elástico. Ante una cierta carga inferior al límite elástico, se deforma, y pierde la deformación cuando cesa la carga (11).

Las diferentes características de comportamiento que presenta la madera respecto de cualquier otro tipo de material elástico son las siguientes:

- La deformación ante una cierta carga, aumenta con el tiempo. Es decir, si cargamos una madera con 10 Kg durante unos instantes, la deformación que presenta es del orden de 2.5 veces menor que si la carga se mantiene durante varios años (11).
- El valor de la deformación, en el estado plástico es muy elevado respecto de cualquier otro material. Es decir, la madera es muy deformable (11).

Esta característica tiene dos consecuencias importantes:

- Al calcular una estructura resistente, el dimensionamiento de la sección se deberá realizar, no sobre la base de su resistencia a la rotura sino por su deformación (11).

- La madera es muy fácil de clavar y además presenta gran resistencia al arranque de clavos. La facilidad de clavado es debida a la escasa dureza de la madera, gracias a ello el clavo penetra sin apenas dificultad dentro de la madera. Pero al incidir el clavo en la madera se produce una deformación lateral, que una vez que el clavo ha penetrado, tiende a recuperarse, al presionar contra el clavo que dificulta su salida (11).

Respecto de sus valores de resistencia, como ya se ha indicado anteriormente, en dirección longitudinal es relativamente muy resistente, mientras que transversalmente, su resistencia es muy pequeña, hasta el punto que muchas veces no se considera (11).

También debe indicarse la influencia de la resistencia de la madera en función de la humedad. Aunque varía con el tipo de esfuerzo, cuando la madera aumenta un 1% su porcentaje de humedad, la resistencia merma entre el 1.5% y el 2% (11).

Por último, como ya se ha dicho, la resistencia de la madera es muy variable, según especies. Para dar un orden de magnitud, (las relaciones son en la realidad exponenciales) al suponer que μ sea la densidad de la madera, la resistencia a los esfuerzos más típicos, en kg/cm^2 , es la siguiente:

Tabla 7. RESISTENCIA DE DISTINTAS MADERAS SEGÚN SU DENSIDAD, ESFUERZOS Y DIRECCIONES

	Rel. Densidad	Chopo	Pino	Roble
Flexión axial	1.750μ	625	800	1.300
Módulo de elasticidad	200.000μ	70.000	90.000	150.000
Tracción axial	1.750μ	625	800	1.300
Compresión axial	700μ	245	315	525
Tracción transversal	40μ	14	18	30
Compresión transversal	175μ	65	82	132

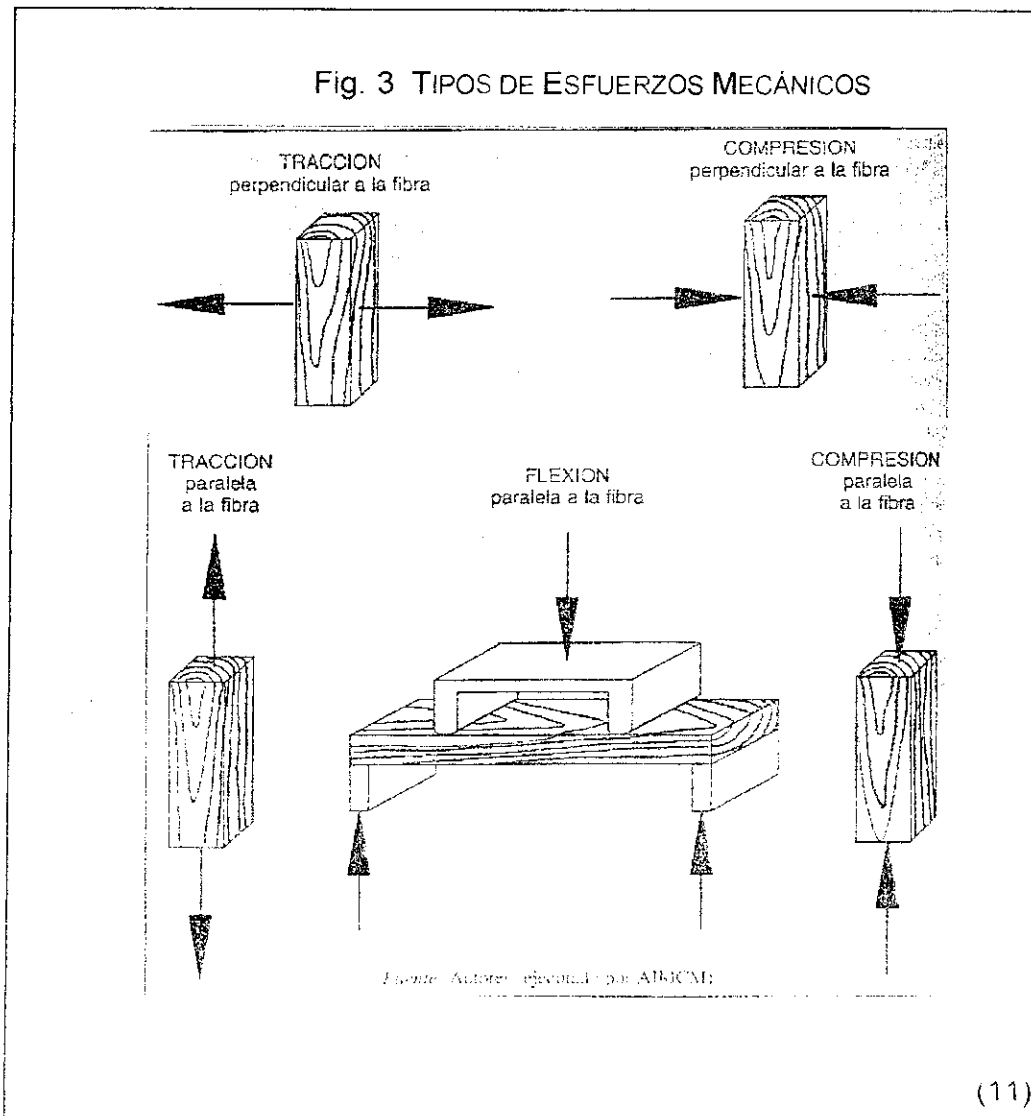
(11).

Al comparar estos valores con los de otros materiales tales como el hormigón y el acero resulta:

Tabla 8. RESISTENCIA DE OTROS MATERIALES

Hormigón	Acero
Densidad 2.2 g/cm^3	Densidad 7.8 g/cm^3
Res. A la compresión $150 \text{ a } 300 \text{ kg/cm}^2$	Res. A la compresión 2.600 kg/cm^2
Módulo de elasticidad 200.000 kg/cm^2	Módulo de elasticidad $2.100.000 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia/peso 100μ	Resistencia/peso 333μ
Módulo de elasticidad/peso 90.000μ	Módulo de elasticidad/peso 270.000μ

(11).



(11)

Según estos datos, la madera es más resistente que el hormigón en todos los aspectos, pero frente al acero aunque es más resistente en dirección axial, lo es menos en dirección transversal, además su deformación es mayor (11).

La madera, por tanto se dimensiona por su deformación no por su resistencia. La deformación que en general se admite es la siguiente:

- Casos de piezas visibles: $L/300$
- Caso de piezas no visibles: $l/200$

(11).

El cálculo de la deformación es el siguiente:

- Caso de piezas sometidas a carga distribuida q :

$$f = \frac{5 \times q \times L^4}{48 \times E \times I} \quad (\text{Ec. 12})$$

Siendo E: Módulo de elasticidad medio de la madera.

I: Momento de inercia.

SECCION DEL ELEMENTO	MOMENTO DE INERCIA I
Cuadrado de lado h	$h^4/12$
Rectángulo de lados h,b	$b \times h^3/12$ ó $h \times b^3/12$
Circular de diámetro d	$0.05 \times d^4$

(11).

- Caso de piezas sometidas a carga puntual << p >>:

$$F = \frac{p \times L^3}{48 \times E \times I} \quad (\text{Ec. 13})$$

(11).

- Caso de piezas sometidas a 2 cargas puntuales << p >> separadas entre sí la distancia a:

$$f = \frac{p \times (L-a) \times (L^2 + 4aL - 2a^2)}{96 \times E \times I} \quad (\text{Ec. 14})$$

(11).

DILATACIÓN TÉRMICA

- Dilatación térmica: La dilatación térmica de la madera es prácticamente nula (es del orden de $5 \times 10^{-5} \times L \times (t_2 - t_1)$), sobre todo si se la compara con el acero u otros materiales metálicos (11).

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, los enseres mobiliarios son vitales para el ser humano y constituyen una parte importante en su actividad. El uso de material composita (resina-madera) para la fabricación de muebles ofrece ventajas:

a) El material composita debido a sus características fisicoquímicas, puede ser moldeado en estructuras de diversas formas ello depende de su aplicación o función en los enseres mobiliarios. Esto facilita en gran proporción la construcción de dichos enseres mobiliarios, porque economiza tiempo y esfuerzo.

b) Al utilizar aserrín para la elaboración del material composita se da uso al reciclado de madera, lo cual ayuda a la preservación del medio ambiente y además de esto, el aserrín es un material bastante accesible en el mercado, a precios razonables; lo cual es una gran ventaja cuando se piensa en la fabricación de elementos que puedan utilizarse posteriormente al ensamblaje de enseres fabricados en serie, que repercuten en el abaratamiento de la mano de obra y de los materiales utilizados.

c) La resistencia de éstos al ataque de polillas. Debido a la composición química del material composita a trabajar, se puede predecir que éste poseerá una buena resistencia a dicho ataque. Esto constituye una gran ventaja, tanto para el productor como para el consumidor, con lo que se evitan pérdidas de material y gastos económicos debido al ataque de éstos organismos.

d) La resistencia del material composita a la humedad. Ya que al utilizar madera como materia prima en la fabricación de muebles, estos son susceptibles a la humedad, propician la putrefacción de los mismos y el crecimiento microbiológico; esto provoca un elevado porcentaje de pérdidas de madera debido a su pobre resistencia a la humedad. Al usar material composita se espera evitar este problema.

e) La resistencia mecánica (golpes, choques, etc.) de los enseres fabricados a partir de material composita es otro de los factores que se estudiaron: debido a la estructura de este material se espera que soporte los golpes y choques satisfactoriamente, sin cambiar su apariencia física.

IV. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Preparación y obtención de material composita para la fabricación de muebles;
- Desarrollar un material composita que por sus características de fraguado, precio, disponibilidad en el mercado, resistencia mecánica y resistencia al calor y a la humedad, sea la más adecuada para la elaboración de muebles.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el conjunto de parámetros adecuados para la elaboración de material composita para la fabricación de muebles.
- Establecer el límite máximo de temperatura al que puede estar expuesto el material composita sin cambiar sus características fisicoquímicas.
- Determinación de límites máximos de resistencia mecánica de las piezas elaboradas a partir de material composita.
- Identificación de la(s) resina(s) compatibles con compuestos como la celulosa y ligninas presentes en la madera.
- Establecer una relación cuantitativa entre los componentes del material composita, que lo haga apto para la fabricación de enseres mobiliarios.
- Proponer una alternativa a la utilización de los desechos de madera dentro del marco de la gestión ambiental y desarrollo sostenible.

V. PROBLEMA A RESOLVER

No existe en el mercado de materias primas para la construcción de muebles, un material que sea barato con un costo ecológico reducido y que cumpla con características como la resistencia al calor, a la humedad, sea resistente a golpes y choques.

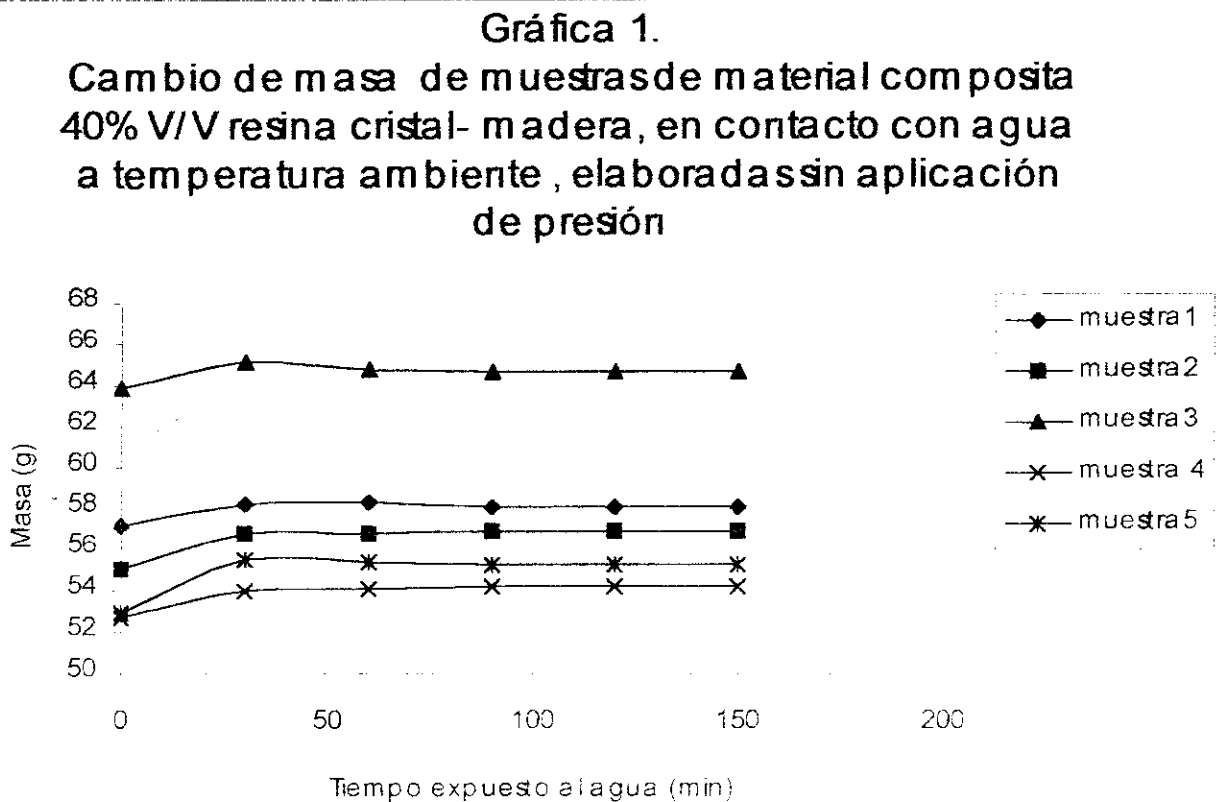
VI. METODOLOGÍA

- 1) Recopilación sobre información de la diversidad de resinas existentes en el mercado: precio, disponibilidad, calidad, compatibilidad.
- 2) Recopilación de materia de desecho de madera como el aserrín. Esto incluye visitas a varios aserraderos y centros de carpintería para la obtención de dichos desechos.
- 3) Recopilación de información de material composita a base de madera: clases de resinas más utilizadas, tiempos de secado, características estándar que deben cumplir, relaciones de concentración, propiedades físicas y químicas.
- 4) Preparación de mezclas. Se establecieron las relaciones porcentuales entre la resina y la madera para la formación del material composita, la preparación en moldes y el secado de los moldes.
- 5) Análisis estadístico de la mezcla. Para llevar a cabo este análisis se tomarán en cuenta los siguientes factores:
 - Unidad Experimental: piezas de material composita, resina-madera.
 - Tamaño de muestra: 5 unidades
 - Análisis estadístico: Se utilizó el método de Taguchi y el método de Fisher, Estadística Descriptiva. Con esto se analizó si existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tipos de muestra.
- 6) Análisis de Resultados de las Piezas de resina y madera para diferentes mezclas de material composita. Se analizaron los límites de temperatura y humedad, así como la resistencia de las piezas al ser expuestas al sol, solventes químicos y choques mecánicos.
- 7) Obtención de Recomendaciones y Conclusiones sobre la base de las etapas anteriormente descritas.

VII. RESULTADOS

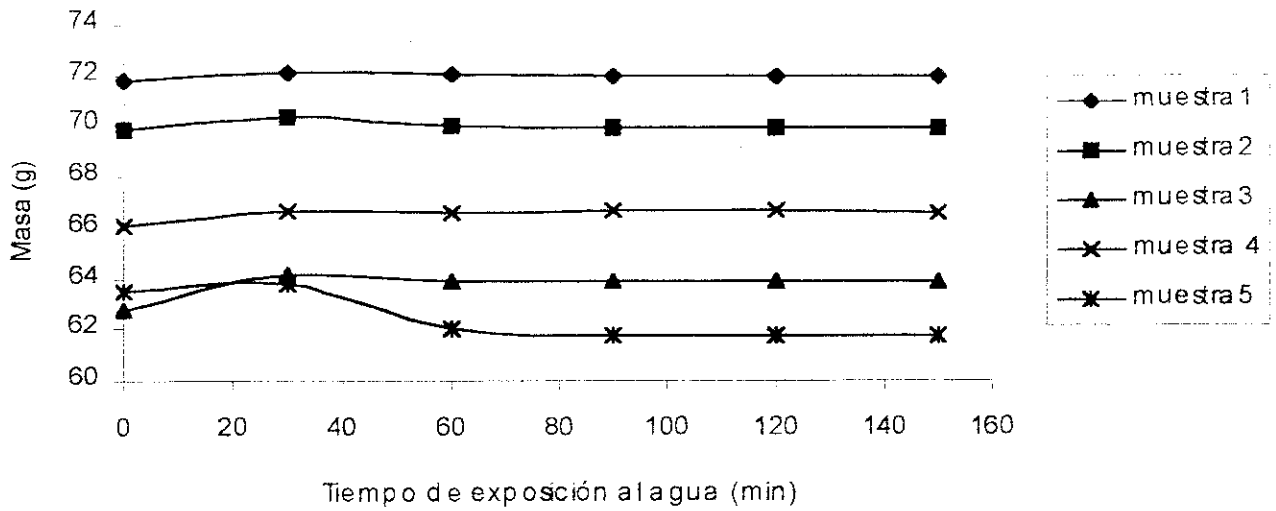
1. Los materiales composita, resina-madera, más adecuados para la elaboración de muebles son los elaborados a partir de resina mármol al 40% v/v, sin aplicación de presión y con aplicación de 5.65 KPa y 16.75 KPa de presión durante la etapa de curado del material.
2. Los materiales composita elaborados a partir de resina mármol poseen una alta resistencia mecánica, una buena resistencia a la temperatura, a la absorción de agua y a la exposición al sol.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas de resistencia mecánica, resistencia a temperatura, a absorción de agua y a exposición al sol que apoyan los resultados anteriores.



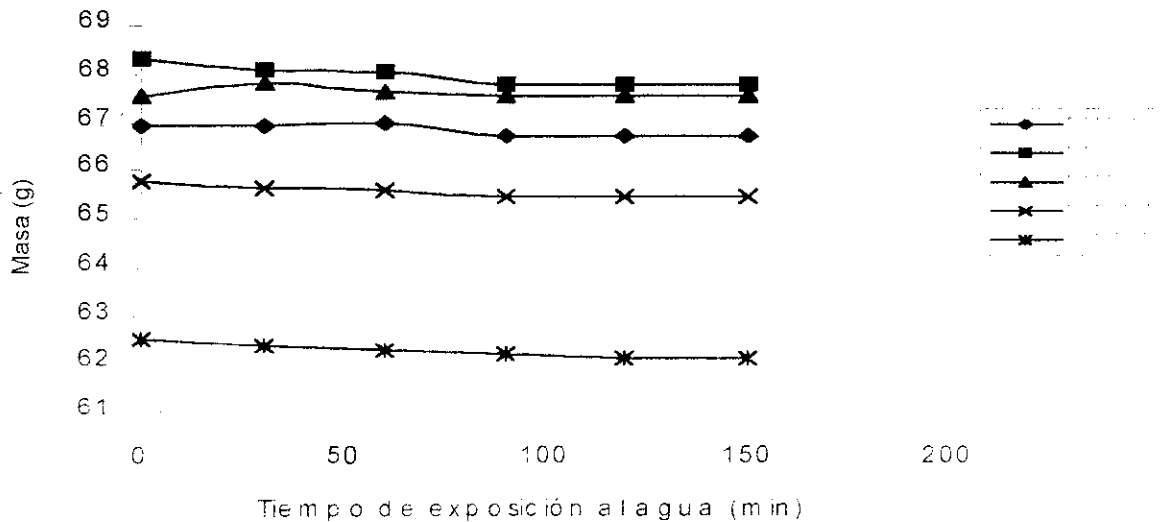
Gráfica 2.

Cambio de masa en muestras de material compo sita al 40% v/v resina mármol- madera, en contacto con agua a temperatura ambiente, elaboradas sin aplicación de presión.



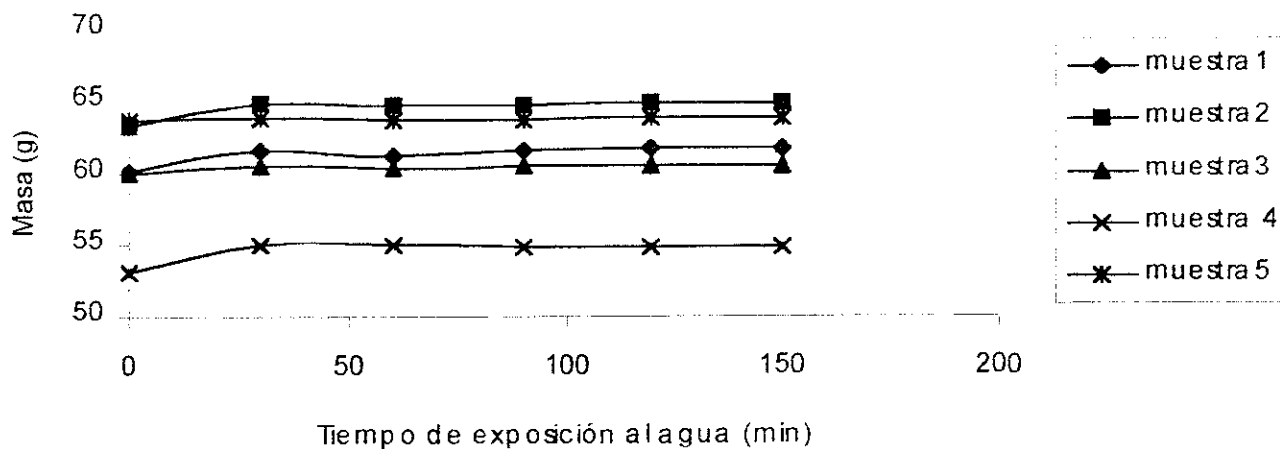
Gráfica 3.

Cambio de masa en muestras de material compo sita al 50% v/v resina poliéster- madera, en contacto con agua a temperatura ambiente, elaboradas sin aplicación de presión.



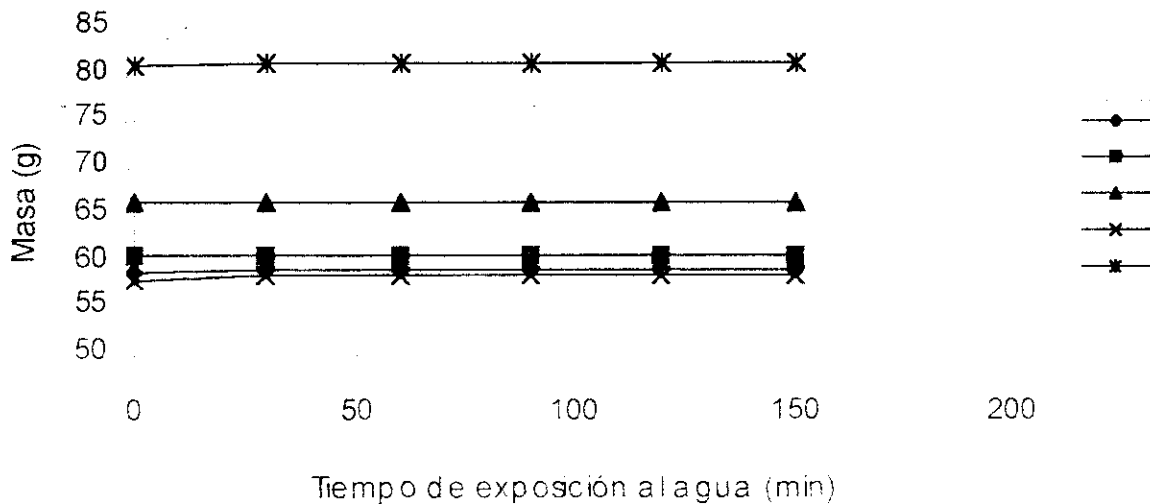
Gráfica 4.

Cambio de masa en muestras de material composita, resina cristal-madera, en contacto con agua a temperatura ambiente, elaboradas con la aplicación de 5.65KPa de presión



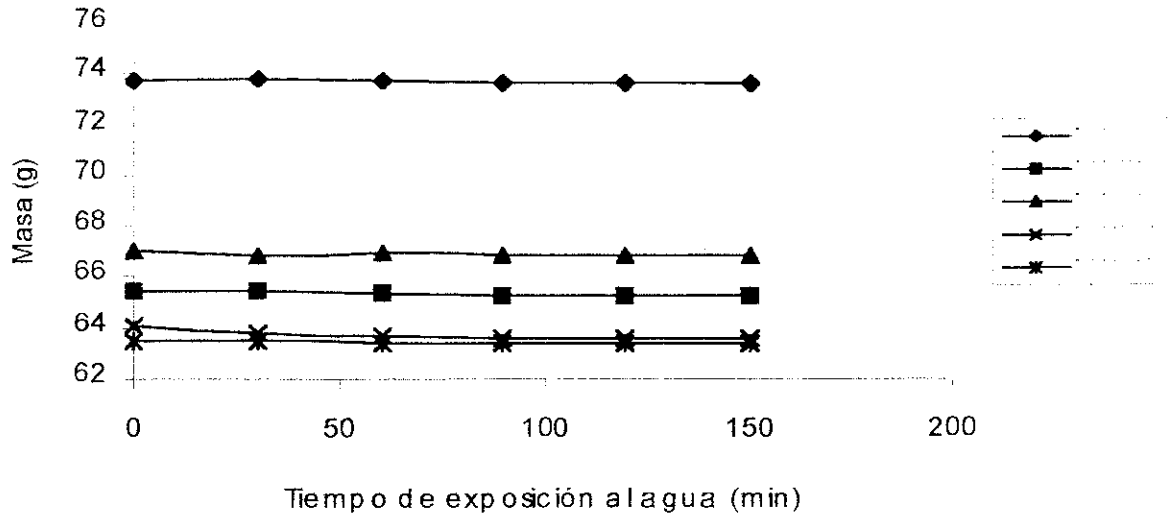
Gráfica 5.

Cambio de masa en muestras de material composita, resina mármol-madera, en contacto con agua a temperatura ambiente, elaboradas con la aplicación de 5.65KPa de presión



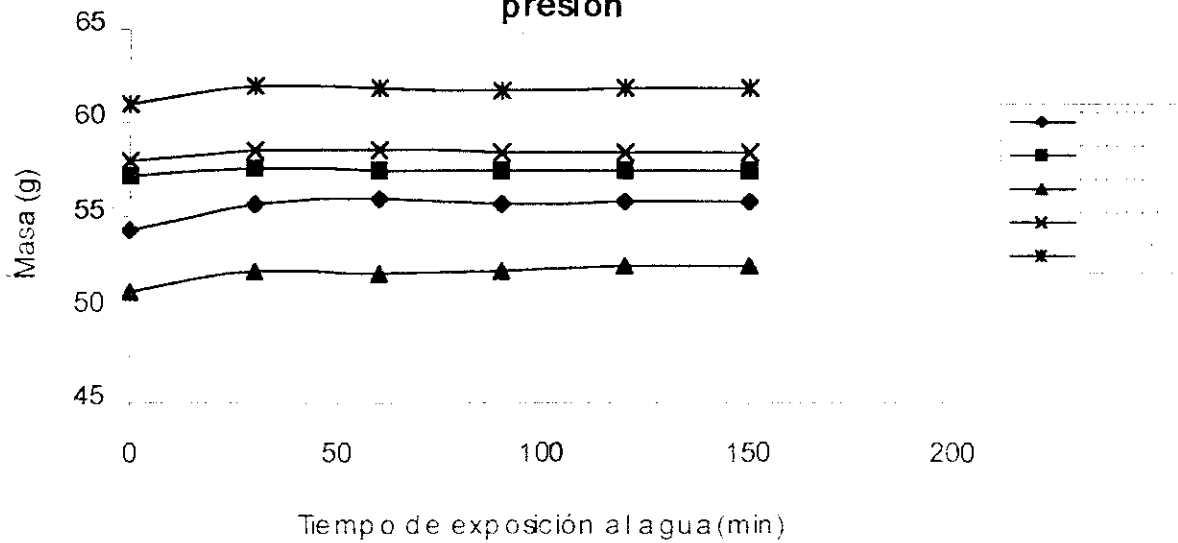
Gráfica 6.

Cambio de masa en muestras de material compoita, resina poliéster-madera, en contacto con agua a temperatura ambiente, elaboradas con la aplicación de 5.65KPa de presión

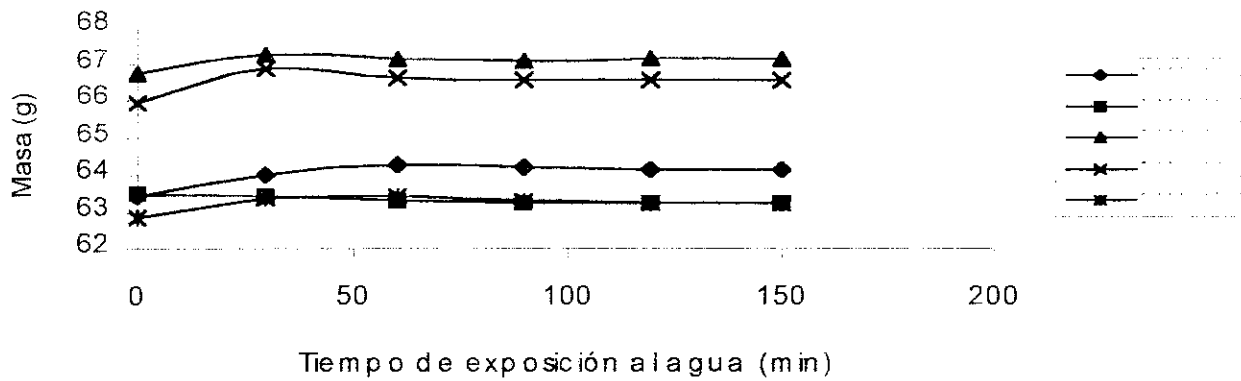


Gráfica 7.

Cambio de masa en muestra de material compoita, resina cristal-madera, en contacto con agua a temperatura ambiente, elaboradas con aplicación de 16.96KPa de presión



Gráfica 8.
 Cambio de masa en muestras de material composita,
 resina mármol-madera, en contacto con agua a
 temperatura ambiente, elaboradas con la aplicación
 de 16.96KPa de presión



Gráfica 9.
 Cambio de masa en muestras de material
 composita, resina poliéster-madera, en contacto
 con agua a temperatura ambiente, elaboradas
 con aplicación de 16.96KPa de presión

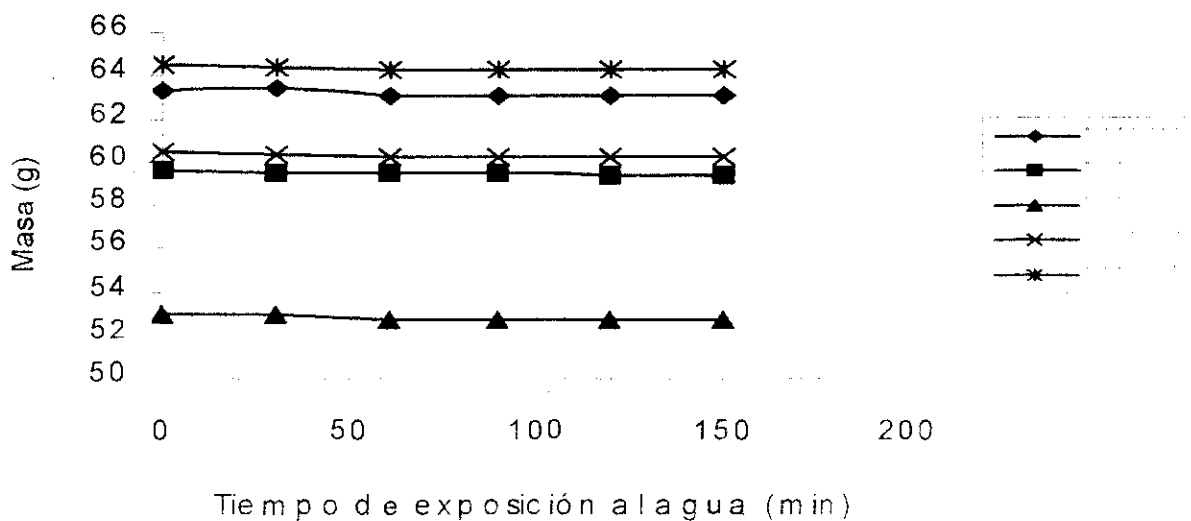


Tabla 9. CAMBIO DE MASA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA POR CONTACTO CON AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE.

Muestras	Cambio de Masa (g) (± 0.00005)	Desviación Estándar	Porcentaje de Cambio de Masa en base seca (%)	Desviación Estándar
40% v/v R. Cristal -Madera, elaborada sin presión	1.50	0.49	3.0	0.010
40% v/v R. Mármol-Madera, elaborada sin presión	-0.01	0.70	-0.02	0.010
50% v/v R. Poliéster-Madera, elaborada sin presión	-0.30	0.14	-0.5	0.002
40% v/v R. Cristal-Madera, elaborada con 5.65Kpa	1.07	0.57	2.0	0.010
40% v/v R. Mármol-Madera elaborada con 5.65KPa	0.30	0.19	0.5	0.003
50% v/v R. Poliéster-Madera elaborada con 5.65KPa	-0.22	0.09	-0.3	0.002
40% v/v R. Cristal-Madera, elaborada con 16.75KPa	0.88	0.44	2.0	0.010
40% v/v R. Mármol-Madera, elaborada con 16.75KPa	0.35	0.24	1.0	0.004
50% v/v R. Poliéster-Madera, elaborada con 16.75KPa	-0.25	0.02	-0.4	0.0004
Análisis Estadístico				
Factor	S/N	Coeficiente F tabulado		
Resina (R)	1.20	3.06		
Presión (P)	6.55	3.06		
Interacción RP	5.35	3.06		

Tabla 10. RESISTENCIA MECÁNICA POR APLICACIÓN DE PRESIÓN DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA.

Muestras	Resistencia Promedio a la Aplicación de Presión (KPa)	Desviación Estándar
40% v/v resina cristal-madera, elaborada sin aplicación de presión	60.60	1.56
40% v/v resina cristal-madera, elaborada con aplicación de 5.65KPa	41.99	1.58
40% v/v resina cristal-madera, elaborada con aplicación de 16.75KPa	49.37	2.87
40% v/v resina mármol-madera, elaborada sin aplicación de presión	82.25	2.88
40% v/v resina mármol-madera, elaborada con aplicación de 5.65KPa	74.12	4.30
40% v/v resina mármol-madera, elaborada con aplicación de 16.75KPa	85.29	2.37
50% v/v resina poliéster-madera, elaborada sin aplicación de presión	37.09	0.00
50% v/v resina poliéster-madera, elaborada con aplicación de 5.65KPa	37.09	0.00
50% v/v resina poliéster-madera, elaborada con aplicación de 16.75KPa	37.09	1.94
Análisis Estadístico		
Factor	S/N	Coefficiente F tabulado
Resina (R)	0.079	3.06
Presión (P)	0.84	3.06
Interacción RP	3.13	3.06

Tabla 11. RESISTENCIA TÉRMICA DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA.

Muestras	Resistencia Térmica Promedio (°C)	Desviación Estándar
40% v/v R. Cristal-Madera, elaborada sin aplicación de presión	200	0.0
40% v/v R. Cristal-Madera, elaborada con aplicación de 5.65KPa	176	0.0
40% v/v R. Cristal-Madera, elaborada con aplicación de 16.75KPa	178	0.0
40% v/v R. Mármol-Madera, elaborada sin aplicación de presión	187	5.6
40% v/v R. Mármol-Madera, elaborada con aplicación de 5.65KPa	196	0.0
40% v/v R. Mármol-Madera, elaborada con aplicación de 16.75 KPa	200	0.0
50% v/v R. Poliéster-Madera, elaborada sin aplicación de presión	242	0.0
50% v/v R. Poliéster-Madera, elaborada con aplicación de 5.65KPa	203	0.0
50% v/v R. Poliéster-Madera, elaborada con aplicación de 16.75KPa	204	0.0
	Análisis Estadístico	
Factor	S/N	Coefficiente F tabulado
Resina (R)	0.69	3.06
Presión (P)	0.637	3.06
Interacción RP	2.675	3.06

Tabla 12. CAMBIO DE MASA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA POR EXPOSICIÓN AL SOL.

Muestras	Cambio de Masa Promedio (g) (± 0.5)	Desviación Estándar	Porcentaje de Cambio de Masa Promedio (%)	Desviación Estándar
40% v/v R. Cristal-Madera, elaborada sin aplicación de presión	-3.8	4.56	-7.0	0.08
40% v/v R. Cristal - Madera, elaborada con aplicación de 5.65 KPa	-9.26	2.59	-16	0.05
40% v/v R. Cristal - Madera, elaborada con aplicación de 16.75 KPa	-6.36	1.18	-13	0.03
40% v/v R. Mármol-Madera, elaborada sin aplicación de presión	-2.24	2.688	-4.0	0.05
40% v/v R. Mármol-Madera elaborada con aplicación de 5.65KPa	0.74	3.728	2	0.07
40% v/v R. Mármol-Madera elaborada con aplicación de 16.75KPa	-7.88	2.096	-14.0	0.02
50% v/v R. Poliéster - Madera, elaborada sin aplicación de presión	-4.0	2.48	-8.0	0.05
50% v/v R. Poliéster-Madera, elaborada con aplicación de 5.65KPa	0.4	2.68	2.0	0.07
50% v/v R. Poliéster-Madera, elaborada con aplicación de 16.75KPa	0.56	1.79	1.0	0.04
Análisis Estadístico				
Factor	S/N	Coefficiente F tabulado		
Resina (R)	0.56	3.06		
Presión (P)	1.39	3.06		
Interacción RP	2.67	3.06		

VIII. DISCUSIÓN

El material composita, resina-madera, se seleccionó como materia prima para la elaboración de muebles, dándole uso al aserrín (desecho orgánico) y se obtiene un material barato, con varias ventajas como lo es su facilidad para el moldeo, su resistencia a la temperatura, a la humedad, su resistencia mecánica, etc.

La elaboración de este material a partir de aserrín es un logro importante, ya que se propone un material alternativo al uso de la madera como materia prima en la fabricación de muebles. Debido a que la existencia de recursos forestales es limitada, que ocasiona un encarecimiento de la madera, es necesario optimizar el uso de los recursos existentes; por lo que la elaboración de este material ofrece una alternativa a la utilización de los desechos de madera dentro del marco de la gestión ambiental y desarrollo sostenible.

Las resinas trabajadas fueron tres resinas diferentes de poliéster. La resina Cristal es una resina de poliéster, que utiliza un monómero de metil-metacrilato, con lo cual se logra una mayor transparencia. La resina Mármol utiliza en menor porcentaje el monómero de metil-metacrilato, y la resina de poliéster (llamada así por su nombre comercial) no usa de este monómero, por lo que su cristalinidad es de menor calidad. Se trabajaron estas tres resinas ya que son las más económicas en el mercado y su disponibilidad es aceptable (ver anexo A, pag66).

Dentro de la formulación de las diferentes resinas de poliéster influye el acelerador ó iniciador de la polimerización. Para las tres resinas se utiliza cobalto (Naftenato u octato), pero en diferente proporción. La existencia de este acelerador, se puede notar por un tinte rojizo que produce dentro de la masa cristalina. Por la apariencia de las resinas, se pudo observar que la resina de poliéster (nombre comercial) poseía un color más intenso que las otras dos: la resina de cristal era casi transparente por lo que el contenido de éste acelerador era menor, en el caso de la resina cristal el contenido de este no

debe exceder del 1 % para lograr una mejor transparencia. El contenido del acelerador en la resina de poliéster (nombre comercial) se puede notar al producir un tiempo mucho más corto para el endurecimiento de este material.

En la tabla 9 (sec. Resultados), pag. 50, se pueden observar los resultados obtenidos de la absorción de agua por las muestras en contacto con dicho líquido. Debe hacerse notar que las muestras que absorbieron un mayor porcentaje de agua son las elaboradas a partir de resina Cristal; esto puede deberse a las moléculas que conforman el polímero, ya que si estas son polares aumenta la atracción entre las moléculas del agua y las del polímero, con lo que aumenta la absorción de agua. Al comparar entre las tres clases de resina, se puede decir que la resina Cristal debe estar afectada por el monómero de metil-metacrilato, que posee en mayor proporción, y por el acelerador de cobalto, el cual posee en menor proporción. Sin embargo, el porcentaje de absorción de agua es bastante bajo, 3 y 2 % p/p lo cual es aceptable. Al comparar con la absorción en tableros de alta y baja densidad (ver Tabla 5, pag. 24), puede observarse que estos absorben del 10 al 50% p/p de agua, el cual es un valor más alto. En sí, la resina que cubre las partículas de aserrín protege de la absorción de agua. Los porcentajes de absorción altos, repercuten directamente en la resistencia mecánica del material composita, que provoca una menor resistencia a la tensión.

Las muestras que no absorbieron agua, fueron las elaboradas a partir de resina de poliéster (nombre comercial). La resina de poliéster, en general, es bastante hidrófoba e impermeable, lo cual impide la absorción de agua, esto le da también al material una mayor estabilidad dimensional, ventajoso en el uso del material para la elaboración de muebles. Al igual que las muestras elaboradas a partir de resina de poliéster, las muestras elaboradas a partir de resina de mármol absorben menos del 1% p/p, lo cual lo hace ventajoso para el uso de este material en muebles de jardín o los utilizados a la intemperie.

Según el análisis estadístico, la presión aplicada durante la etapa de secado, afecta la absorción de agua en un 95%. La presión aumenta la

homogeneidad en la muestra, con lo que la resina recubre la madera, la cual es higroscópica, y forma capas impermeables que impiden la absorción de agua.

En las gráficas 1-9, págs. 45-49, puede observarse que el aumento de masa por la absorción de agua es inferior al porcentaje (p/p) perdido después de 5 horas de exposición al sol, ver tabla 12, pág. 53; lo cual es favorable, ya que su estabilidad dimensional se conserva.

Puede observarse en la Tabla 10, pag. 51, que la resistencia mecánica varía significativamente entre las muestras de material elaborado a partir de las diferentes resinas. La resistencia mecánica es un factor bastante importante, ya que es una base para las condiciones de uso del material elaborado. Debe hacerse notar que la resistencia mecánica del material composita estructurado como tablillas (dimensiones de 20cm de largo x 3cm. de ancho x 1cm de espesor) es menor que la de la madera que resiste aproximadamente 60lb/in^2 (413.68 Kpa); sin embargo, el material composita elaborado posee la ventaja de que puede ser moldeado en estructuras más complejas diseñadas para soportar pesos ó tensiones mayores, lo cual le da al material una ventaja sobre la madera cuya estructura es limitada, usándose normalmente como bases rectángulares o cuadradas sin tener otras estructuras como opciones de uso.

Sí se comparan las resistencias mecánicas entre las muestras, puede observarse que las más resistentes son las elaboradas con la resina de mármol, que soporta hasta 12.36 lb/in^2 (85.2Kpa) (tablillas de 1cm de espesor). Para la resistencia mecánica, influye la estructura tridimensional del polímero, ya que éstas resinas conforman una red espacial con enlaces cruzados, que forman moléculas gigantescas, que según sea su estructura serán más resistentes que otras.

En el caso de las muestras elaboradas a partir de la resina de poliéster (nombre comercial), que poseen una pobre resistencia mecánica, puede que se haya obtenido un polímero lineal, y ocurre el crecimiento solo en dos direcciones, también puede influir que en las resinas de poliéster existen

poderosas atracciones dipolo-dipolo, todo esto puede incurrir en la formación de una estructura bastante rígida, lo cual provoque que sea quebradiza, que disminuye así su resistencia mecánica. Esto pudo observarse durante la elaboración del material, ya que la resina tiene una alta tendencia a la gelación, y el material se seca en una hora aproximadamente, el cual es un periodo bastante breve. Con esto se puede ver que la resina de poliéster promueve fuertes atracciones entre las moléculas, lo cual incide en la formación de una estructura altamente rígida. Todos estos efectos listados se deben a que esta resina de poliéster comercial posee un exceso de estireno y de acelerador de cobalto que promueve un rápido endurecimiento (polimerización) del material y produce piezas rígidas y quebradizas.

Las muestras elaboradas con resina Cristal, muestran una resistencia moderada, soportan hasta 8.79 lb/in^2 (60.60 Kpa). Sin embargo, no llegan a ser tan resistentes como las elaboradas a partir del mármol.

Al analizar los datos estadísticos, la interacción resina-presión es la que afecta en mayor grado la resistencia mecánica, es decir, que deben analizarse las muestras individualmente para decidir cuál es la que posee una mayor resistencia. En este caso, las muestras elaboradas a base de resina Mármol elaboradas con una presión de 2.43 lb/in^2 (16.75 Kpa) durante la etapa de secado, son las más resistentes ; y soportan una presión de 12.36 lb/in^2 (85.22 Kpa).

Los cambios de peso de las muestras al exponerse al sol, provee información sobre la resistencia del material para soportar las condiciones a la intemperie. Al observar estos cambios de masa (ver Tabla 12, pag. 53) , debe notarse que las muestras que pierden más masa son las elaboradas a partir de la resina de cristal. Esto nos indica que la polimerización durante la etapa de secado, es de condensación, formándose agua durante esta reacción. Al exponer las tablillas al sol, toda el agua formada se pierde y causa el cambio de masa. A demás de esto, debido a que las resinas Cristal poseen un menor contenido de acelerador ó iniciador se originan resinas subcuradas, lo que disminuye su resistencia al sol y al calor aplicados.

Las muestras de material composita elaboradas a base de la resina de mármol y de poliéster, no tuvieron un cambio de masa significativo, lo que las hace aptas para su uso a la intemperie.

Al analizar los datos estadísticos, no hay una diferencia significativa entre los factores estudiados (tipos de resinas, presión) sobre la resistencia de las muestras expuestas al sol.

En todas las muestras puede observarse que al llegar a la temperatura máxima resistida, existe degradación oxidativa. La cual provoca que el material cambie de color. Se observa también que a altas temperaturas el material se fractura fácilmente, esto es debido a que las resinas son polímeros de red espacial y tiene enlaces cruzados, que forman estructuras tridimensionales, una muestra de estos materiales es, esencialmente, una molécula gigantesca; el calentamiento no la ablanda, puesto que el ablandamiento requiere la ruptura de enlaces covalente. El calentamiento, incluso genera enlaces cruzados adicionales, lo que endurece el material aun más y lo hace quebradizo. Al observar los resultados, las muestras que más resisten la temperatura son las de poliéster (nombre comercial), seguidas por las de mármol y las de cristal; sin embargo no hay diferencia estadísticamente significativa entre ellas que afecte su resistencia a la temperatura.

Puede notarse que la mayoría de las muestras resisten temperaturas cerca de los 200°C, lo cual es una resistencia aceptable, ya que el uso que se le dará al material requiere de una resistencia a la temperatura inferior.

Durante la etapa de secado se pudieron observar características diferentes de cada resina. Las resinas de Cristal y de Mármol tardan más en secar, son más flexibles, y se desmoldan más fácilmente que las elaboradas a partir de poliéster. Las muestras elaboradas a base de resina poliéster (nombre comercial), gelan rápidamente, seguidas de la polimerización. Esto provocaba una rápida etapa de secado, sin embargo las muestras son muy rígidas y provocan que el desmolde sea difícil. Estos efectos son provocados

por el contenido de monómero de estireno que produce piezas rígidas y quebradizas, y por el contenido de acelerador, entre mayor sea este, menor será el tiempo de curado ó secado. También la composición del material composita es diferente, ya que el material composita, resina poliéster-madera, posee un mayor porcentaje de resina con lo que disminuye el tiempo de secado ó curado.

Respecto de la apariencia, todas las muestras son similares sin observarse una diferencia significativa. Solo se hace notar que las muestras fabricadas en base a la resina de poliéster (nombre comercial) tienen partes más blancuzcas que cristalinas, lo cual no es muy agradable a la vista. Esta opacidad es provocada por el exceso de estireno que contiene esta clase de resina.

La composición de las muestras se establece al comparar tres composiciones diferentes para cada resina, elaboradas sin aplicación de presión; para la comparación se hace una prueba de resistencia mecánica, y se analiza la resistencia de cada muestra y el porcentaje de la resina en la composición. La resistencia mecánica es un factor importante, y entre más alto sea este mejor; pero sí dos muestras de composición diferente tienen la misma resistencia, se selecciona la muestra con menor composición de resina, ya que los costos se reducen sustancialmente.

Respecto de los tiempos de secado, existen varios factores que pueden influir: a) el catalizador, entre mayor sea su contenido menor tiempo tardará en secarse; b) acelerador, entre menor sea su contenido empleará más tiempo en solidificarse; c) temperatura ambiente, entre mayor sea esta, menor será el tiempo requerido para la polimerización; d) volumen de resina, entre mayor sea el porcentaje (v/v) de resina menor será el tiempo para la polimerización.

Después de analizar los resultados de las distintas pruebas realizadas, se concluye que los materiales composita más adecuados para la fabricación de muebles son aquellos elaborados a partir de resina mármol al 40% v/v, sin aplicación de presión durante la etapa de curado y con la aplicación de

5.65KPa y 16.75 KPa. Estos materiales compoſita elaborados a partir de resina mármol, poseen una resistencia mecánica alta, mayor que las otras muestras de material compoſita elaboradas; también poseen una resistencia aceptable a la humedad, al sol y a altas temperaturas.

IX. CONCLUSIONES

1. Las muestras de material composita más adecuadas para la fabricación de muebles son las elaboradas a partir de resina de mármol al 40% v/v, sin aplicación de presión durante la etapa de curado, y con aplicación de 5.65KPa y 16.75KPa durante dicha etapa.
2. Las muestras de material composita elaboradas a partir de resina mármol poseen una alta resistencia mecánica y una resistencia al calor, a la humedad y a la exposición al sol aceptable.
3. Las muestras elaboradas a partir de resina de mármol al 40% v/v absorben menos del 1% p/p de humedad , y no tuvieron un cambio de masa significativo durante la exposición al sol , lo cual las hace ventajosas para el uso de este material en muebles de jardín o los utilizados a la intemperie.
4. Las muestras de material composita a base de resina mármol elaboradas con una presión de 16.75KPa durante la etapa de curado, son las que poseen una mayor resistencia a la fractura; 85.2KPa.
5. El límite máximo de temperatura al que puede estar expuesto el material composita elaborado a partir de resina mármol , sin cambiar sus características fisicoquímicas, es de 187°C.
6. El material composita elaborado a partir de resina cristal posee, en general, una resistencia mecánica aceptable; sin embargo, absorben un mayor porcentaje de agua y tienen un mayor cambio de masa por exposición al sol que las otras muestras de material composita , lo cual es una desventaja para su uso en la fabricación de muebles.

7. El material composita elaborado a partir de resina poliéster (nombre comercial) posee una buena resistencia a la humedad, a la exposición al sol y tienen la mayor resistencia a la temperatura de las muestras estudiadas; sin embargo poseen una resistencia mecánica baja, desventaja para su uso en la fabricación de muebles.
8. La resistencia mecánica del material composita elaborado a partir de resina mármol es menor que la de la madera; sin embargo, el material composita elaborado posee la ventaja de que puede ser moldeado en estructuras más complejas diseñadas para soportar pesos y/o tensiones mayores, lo cual le da al material una ventaja sobre la madera cuya estructura es limitada, utilizándose normalmente como bases rectangulares o cuadradas sin tener otras estructuras como opciones de uso.
9. A altas temperaturas (aprox. 200°C) el material composita se fractura fácilmente.
10. Respecto de los tiempos de secado del material composita, existen varios factores que pueden influir: a) el catalizador, entre mayor sea su contenido menor tiempo tardará en secarse; b) acelerador, entre menor sea su contenido empleará más tiempo en solidificarse; c) temperatura ambiente, entre mayor sea esta, menor será el tiempo requerido para la polimerización; d) volumen de resina, entre mayor sea el porcentaje (v/v) de resina menor será el tiempo para la polimerización.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Ayres, G. 1970. Análisis Químico Cuantitativo. Harper & Row Publishers Inc. Madrid, España.
2. Billmeyer, F. 1962. Textbook of Polymer Science. John Wiley & Son, Inc. Segunda Edición. Estados Unidos de América.
3. Casale, A. y Porter, R. 1978. Polymer Stress Reactions. Volumen 1. Academic Press Inc. Estados Unidos de América.
4. Doty, L. 1996. Statistical Process Control. Industrial Press Inc. Segunda Edición. New York, Estados Unidos.
5. Duncan, 1989. Control de Calidad y Estadística Industrial. Ediciones Alfaomega, S. A. México.
6. Flory, P. 1953. Principles of Polymer Chemistry. Cornell University Press. Estados Unidos de América.
7. Hilling, W.B. 1979. Composite Materials. En: Kirk-Othmer, (ed.) Encyclopedia of Chemical Technology. Pp 683-700. Wiley-Interscience Publication. Estados Unidos de América.
8. Morrison, R. Y Boyd R. 1990. Química Orgánica. Addison-Wsley Iberoamericana. 5ta. Edición. Estados Unidos de América.
9. Parker, H. 1972. Diseño Simplificado de Armaduras de Techo para arquitectos y constructores. Editorial Limusa-Wiley, S. A. 1ra. Edición. México.
10. Seymour, R. 1990. Engineering Polymer Sourcebook. McGraw-Hill Publishing Company. Estados Unidos de América.
11. Vignote Peña, S. Y Jiménez Peñs, F. 1996. Tecnología de la Madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
12. Walpole, R. Y Myers, R. 1992. Probabilidad y Estadística. McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. , 4ta. Edición, México.
13. Youngquist, J. 1981. Laminated Wood-based Composites. En: Kirk-Orthmer (ed.) Encyclopedia of Chemical Technology. Pp 1-41. Wiley-Interscience Publication. Estados Unidos de América.
14. <http://www.plasticusa.com>

ANEXOS

ANEXO A

ESPECIFICACIONES DE MATERIA PRIMA

1. Resina RESINMEX M-75

Descripción: Resina poliéster Ortoftálica de reactividad media.

Aplicaciones: Producto diseñado para ser utilizado en la fabricación de artículos de plástico reforzado con fibra de vidrio para las industrias: automotriz, marina artesanal.

Precio: Q54.50/galón.

Características:

- Contenido de sólidos que permite realizar diluciones con estireno para alcanzar la viscosidad requerida por el usuario.
- Facilidad de expulsión del aire atrapado durante la operación de rolado.
- El corte húmedo se puede realizar en tiempos razonables.
- Buen poder de humectación a la fibra de vidrio.

Propiedades de resina líquida

Propiedades	Especificaciones
Sólidos (%)	70 ± 2
Viscosidad (cps. a 25°C) 1*	1200 ± 100
Tiempo de gelado (min) 2*	9 ± 1
Tiempo de curado (min)	20 ± 5
Temp. De exotermia máxima	165 ± 10
Número ácido	35 Máx.
Gravedad específica	1.11 ± 0.02
Color APHA	150 Máx.
Dureza Barcol 3*	40 ± 5

1* Viscosímetro Brookfield, modelo 1.VF aguja No. 3 a 12rpm.

2* Determinación en 100gr de resina acelerada con 0.5% de Octato de Cobalto al 6% y 1 gr en peso de PMEK al 50%.

3* Determinación en placa de 6mm de espesor a las 24hr de haberse fabricado checado con Durometro Barco Colema modelo GYZ.1-934-4

2. Resina Cristal (Cristalan 802)

Descripción: Resina Ortoftálica de alta claridad.

Usos: Se utiliza en la elaboración de vaciados y encapsulados.

Precio: Q111.00/galón.

Propiedades de la resina líquida:

Propiedades	Especificaciones
Peso específico	1.28
Dureza, Rockwell escala M.	110
Dureza Barcol (GYZJ 934-1)	50
Resistencia al impacto , Izod	2 KJ/m ²
Calor específico	2.3 KJ/Kg°C
Coefficiente de dilatación lineal	100 x 10 ⁻⁶ /°C

3. Resina Mármol MR 301

Descripción: Resina de poliéster no saturada ortoftálica semirígida de uso general.

Usos o aplicaciones: Elaboración de botones, mármol sintético, vaciados y encapsulados, y lacas.

Precio: Q56.00/galón.

Propiedades:

Propiedades	Especificaciones
Peso específico	1.20
Alargamiento a la rotura	2%
Conductividad térmica	0.2W/m°C
Absorción de agua, 24h a 20°C	0.15%
Constante dieléctrica a 50Hz	3.7
Coefficiente de fricción estática	0.27

4. Catalizador

Descripción: Peróxido de metil etil cetona (Pmek) en solución al 50% en dimetil ftalato. Precio: Q4.25/2onz.

5. Aserrín de Pino

Tamaño de Partícula:

Mesh	Porcentaje
1.5cm	0.74%
1.0-1.4cm	4.44%
6.0-9.0mm	10.37%
3.0-5.0mm	34.81%
1.0-2.0mm	17.04%
<1mm	32.60%

Humedad media del aserrín: 35.084 % ± 0.352

Densidad media del aserrín: 0.208g/mL ± 0.012

ANEXO B

DATOS ORIGINALES

Tabla B1. PÉRDIDA DE HUMEDAD DE MUESTRAS DE ASERRÍN AL SER SOMETIDAS A CALOR.

Tiempo (min)	Masa M1 (g) (+/- 0.00005)	Masa M2 (g) (+/- 0.00005)	Masa M3 (g) (+/- 0.00005)	Masa M4 (g) (+/- 0.00005)	Masa M5 (g) (+/- 0.00005)	Masa M6 (g) (+/- 0.00005)	Masa M7 (g) (+/- 0.00005)
0	44.4721	47.9910	44.4408	46.1314	43.8763	46.2509	44.9590
10	44.2751	47.8653	44.2983	46.0322	43.7856	46.1734	44.8604
20	44.1007	47.5496	44.1185	45.8574	43.5985	45.9733	44.6863
30	43.8140	47.2624	43.9153	45.3133	43.1205	45.4493	44.1323
40	43.5874	46.9985	43.6867	45.0618	42.8703	45.1937	43.8975
50	43.4123	46.8075	43.5117	44.9086	42.7397	45.0598	43.7443
60	43.2507	46.6612	43.3166	44.7544	42.6241	44.9237	43.6192
70	43.0933	46.5400	43.1820	44.5545	42.4526	44.7316	43.4387
80	42.9397	46.3846	43.0267	44.4588	42.3882	44.6553	43.3431
90	42.8256	46.3036	42.9308	44.3262	42.3323	44.5687	43.2163
100	42.7548	46.2394	42.8553	44.3199	42.3391	44.5652	43.2091
110	42.7225	46.2183	42.8320	44.3028	42.3312	44.5588	43.1939
120	42.7075	46.2075	42.8199	44.3006	42.3312	44.5588	43.1939
130	42.7026	46.2030	42.8088	44.3006	42.3312	44.5588	43.1939
140	42.6985	46.2025	42.8097	44.3006			
150	42.6985	46.2007	42.8109				
160	42.6985	46.2007	42.8109				
	Masa Crisol 1 (g) (+/- 0.00005)	Masa Crisol 2 (g) (+/- 0.00005)	Masa Crisol 3 (g) (+/- 0.00005)	Masa Crisol 4 (g) (+/- 0.00005)	Masa Crisol 5 (g) (+/- 0.00005)	Masa Crisol 6 (g) (+/- 0.00005)	Masa Crisol 7 (g) (+/- 0.00005)
	39.4223	42.9199	39.8726	40.8566	39.4258	41.4614	39.8761

Tabla B2. DATOS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL ASERRÍN.

Medición	Volumen de Aserrín (mL)	Masa(g)
1	40(+/- 2.5mL)	8.1211(+/- 0.00005)
2	40(+/- 2.5mL)	8.8823(+/- 0.00005)
3	40(+/- 2.5mL)	8.5007(+/- 0.00005)
4	40(+/- 2.5mL)	8.6705(+/- 0.00005)
5	100(+/- 10mL)	18.8(+/- 0.05)
6	100(+/- 10mL)	19.6(+/- 0.05)
7	100(+/- 10mL)	20.4(+/- 0.05)
8	100(+/- 10mL)	22.2(+/- 0.05)

Tabla B3. DATOS OBTENIDOS DE DIFERENTES MEZCLAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA CRISTAL - MADERA, PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR COMPOSICIÓN

Mezcla 30% P/P Resina Cristal-70%P/P Madera			
Muestra	Masa antes de secado (g) (+/- 0.05)	Masa después del secado (g) (+/- 0.05)	Observaciones
1	14.1	14.3	Al desmoldar la mezcla, esta se desintegraba.
2	14.1	14.6	
3	13.2	13.5	
4	14.5	15.1	
Mezcla 50% P/P Resina Cristal- 50% P/P Madera			
Muestra	Masa antes de secado (g) (+/- 0.05)	Masa después del secado (g) (+/- 0.05)	Observaciones
1	23.2	24.0	Al desmoldar la mezcla, esta se desintegraba.
2	21.0	20.7	
3	22.3	22.5	
Mezcla al 40% V/V Resina Cristal - 60% V/V Madera			
Muestra	Masa antes de secado (g) (+/- 0.05)	Masa después del secado (g) (+/- 0.05)	Observaciones
1	69.2	70.3	Resistieron un peso de 54 lb sin deformación
2	64.3	64.9	
3	65.8	65.6	
Mezcla al 30% V/V Resina Cristal - 70% V/V Madera			
Muestra	Masa antes de secado (g) (+/- 0.05)	Masa después del secado (g) (+/- 0.05)	Observaciones
1	35.0	33.5	Se formó una masa quebradiza, se desintegró al desmoldarlos.
2	31.8	29.1	
3	34.8	33.2	
4	36.5	34.6	
Mezcla al 50% V/V Resina Cristal - 50% V/V Madera			
Muestra	Masa antes de secado (g) (+/- 0.05)	Masa después del secado (g) (+/- 0.05)	Observaciones
1	63.2	58.3	Resistieron un peso de 54 lb sin deformación
2	76.3	71.8	
3	58.5	53.3	

Tabla B4. DATOS OBTENIDOS DE DIFERENTES MEZCLAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA MÁRMOL - MADERA, PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR COMPOSICIÓN

Mezcla al 30% V/V Resina Mármol- 70% V/V Madera			
Muestra	Masa antes de secado (g) (+/- 0.05)	Masa después del secado (g) (+/- 0.05)	Observaciones
1	42.5	74.3	Resistieron 54lb, pero con una deformación notoria
2	42.5	63.8	
3	42.5	53.0	
Mezcla al 40% V/V Resina Mármol- 60% V/V Madera			
Muestra	Masa antes de secado (g) (+/- 0.05)	Masa después del secado (g) (+/- 0.05)	Observaciones
1	49.6	70.9	Resistió 54 lb sin deformación
2	70.9	56.7	
3	82.2	82.2	
Mezcla al 50% V/V Resina Mármol - 50% V/V Madera			
Muestra	Masa antes de secado (g) (+/- 0.05)	Masa después del secado (g) (+/- 0.05)	Observaciones
1	85.0	60.1	Resistió 54 lb con una ligera deformación
2	63.8	63.8	
3	70.9	63.8	

Tabla B5. DATOS OBTENIDOS DE DIFERENTES MEZCLAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA POLIESTER - MADERA, PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR COMPOSICIÓN

Mezcla al 30% V/V Resina Poliester- 70% V/V Madera	
Muestra	Observaciones
1	Al desmoldarlos se rompieron, no posee una buena resistencia mecánica
2	
3	
Mezcla al 40% V/V Resina Poliéster - 60% V/V Madera	
Muestra	Observaciones
1	Resistió 54lb de peso sin quebrarse
2	Sufrió ruptura a los 54lb de peso
3	Sufrió ruptura a los 35 lb de peso
Mezcla al 50% V/V Resina Poliéster - 50% V/V Madera	
Muestra	Observaciones
1	Resistieron 54 lb de peso sin deformación
2	
3	

Tabla B6. DATOS OBTENIDOS DE DIFERENTES MEZCLAS DE MATERIAL COMPOSITA. COLA BLANCA WELWOOD - MADERA, PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR COMPOSICIÓN

Mezcla 30% V/V Cola Blanca- 70% V/V Madera	
Muestra	Observaciones
1	Se desintegraron al desmoldarlas.
2	
3	
Mezcla 40% V/V Cola Blanca- 60% V/V Madera	
Muestra	Observaciones
1	Toman consistencia quebradiza y masuda.
2	
3	
Mezcla 50% V/V Cola Blanca- 50% V/V Madera	
Muestra	Observaciones
1	Al desmoldarse se desintegran. En el seno de la mezcla no seca, por lo que es frágil y no tiene ninguna resistencia.
2	
3	

Tabla B7. CAMBIO DE MASA DE LA MEZCLA AL 40% V/V RESINA CRISTAL - MADERA DURANTE LA ETAPA DE SECADO, SIN LA APLICACIÓN DE PRESIÓN.

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.05)	Masa Final (g) (+/- 0.05)
1	113.4	99.2
2	49.1	49.1
3	42.5	42.5
4	56.7	92.1
5	77.9	63.8
6	56.7	92.1
7	99.2	49.6
8	92.1	49.6
9	92.1	77.9
10	77.9	49.6
11	49.6	49.6
12	85.0	49.6
13	63.8	56.7
14	63.8	70.9
15	92.1	56.7

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B8. CAMBIO DE MASA DE LA MEZCLA AL 40% V/V RESINA MÁRMOL - MADERA DURANTE LA ETAPA DE SECADO, SIN LA APLICACIÓN DE PRESIÓN.

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.05)	Masa Final (g) (+/- 0.05)
1	42.5	77.9
2	85.0	49.6
3	85.0	70.9
4	70.9	70.9
5	106.3	56.7
6	70.9	63.8
7	85.0	42.5
8	63.8	92.1
9	56.7	63.8
10	85.0	49.6
11	56.7	85.0
12	106.3	63.8
13	92.1	77.9
14	49.6	56.7
15	77.9	77.9

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B9. CAMBIO DE MASA DE LA MEZCLA AL 50% V/V RESINA POLIÉSTER- MADERA DURANTE LA ETAPA DE SECADO, SIN LA APLICACIÓN DE PRESIÓN.

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.05)	Masa Final (g) (+/- 0.05)
1	99.2	99.2
2	99.2	99.2
3	85.0	92.1
4	85.0	92.1
5	70.9	85.0
6	85.0	85.0
7	63.8	63.8
8	85.0	85.0
9	92.1	85.0
10	77.9	63.8
11	70.9	70.9
12	106.3	106.3
13	92.1	92.1
14	85.0	85.0
15	85.0	85.0

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B10. CAMBIO DE MASA DE LA MEZCLA AL 40% V/V RESINA CRISTAL-
MADERA DURANTE LA ETAPA DE SECADO, CON LA APLICACIÓN DE 22.2N DE
PRESIÓN.

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.05)	Masa Final (g) (+/- 0.05)
1	63.8	63.8
2	85.0	85.0
3	63.8	63.8
4	63.8	63.8
5	70.9	70.9
6	92.1	85.0
7	85.0	77.9
8	92.1	99.2
9	77.9	85.0
10	77.9	70.9
11	85.0	85.0
12	85.0	85.0
13	85.0	85.0
14	70.9	85.0
15	77.9	85.0

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B11. CAMBIO DE MASA DE LA MEZCLA AL 40% V/V RESINA MÁRMOL-
MADERA DURANTE LA ETAPA DE SECADO, CON LA APLICACIÓN DE 22.2N DE PRESIÓN

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.05)	Masa Final (g) (+/- 0.05)
1	99.2	99.2
2	106.3	106.3
3	70.9	70.9
4	92.1	92.1
5	85.0	85.0
6	85.0	85.0
7	85.0	85.0
8	92.1	92.1
9	77.9	77.9
10	92.1	92.1
11	106.3	106.3
12	92.1	92.1
13	92.1	92.1
14	85.0	85.0
15	106.3	106.3

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B12. CAMBIO DE MASA DE LA MEZCLA AL 50% V/V RESINA POLIÉSTER-
MADERA DURANTE LA ETAPA DE SECADO, CON LA APLICACIÓN DE 22.2N DE
PRESIÓN

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.05)	Masa Final (g) (+/- 0.05)
1	113.4	92.1
2	99.2	113.4
3	92.1	99.2
4	85.0	92.1
5	92.1	99.2
6	77.9	70.9
7	77.9	92.1
8	70.9	99.2
9	92.1	92.1
10	92.1	99.2
11	99.2	99.2
12	85.0	85.0
13	70.9	70.9
14	99.2	85.0
15	106.3	99.2

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B13. CAMBIO DE MASA DE LA MEZCLA AL 40% V/V RESINA CRISTAL-
MADERA DURANTE LA ETAPA DE SECADO, CON LA APLICACIÓN DE 88.9N DE
PRESIÓN

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.05)	Masa Final (g) (+/- 0.05)
1	70.9	70.9
2	70.9	49.6
3	63.9	49.6
4	92.1	70.9
5	106.3	70.9
6	99.2	99.2
7	77.9	77.9
8	70.9	56.7
9	63.8	77.9
10	99.2	106.3
11	77.9	77.9
12	59.5	70.9
13	92.1	92.1
14	85.0	92.1
15	63.8	63.8

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

TablaB14. CAMBIO DE MASA DE LA MEZCLA AL 40% V/V RESINA MÁRMOL- MADERA DURANTE LA ETAPA DE SECADO, CON LA APLICACIÓN DE 88.9N DE PRESIÓN

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.05)	Masa Final (g) (+/- 0.05)
1	99.2	113.4
2	77.9	99.2
3	56.7	70.9
4	85.0	92.1
5	63.8	63.8
6	106.3	99.2
7	85.0	99.2
8	85.0	99.2
9	113.4	120.5
10	113.4	106.3
11	77.9	92.1
12	92.1	77.9
13	56.7	42.5
14	77.9	85.0
15	77.9	77.9

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

TablaB15 . CAMBIO DE MASA DE LA MEZCLA AL 50% V/V RESINA POLIÉSTER- MADERA DURANTE LA ETAPA DE SECADO, CON LA APLICACIÓN DE 88.9N DE PRESIÓN

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.05)	Masa Final (g) (+/- 0.05)
1	99.2	106.3
2	85.0	85.0
3	63.8	77.9
4	77.9	77.9
5	85.0	77.9
6	70.9	70.9
7	99.2	99.2
8	70.9	70.9
9	77.9	77.9
10	77.9	77.9
11	85.0	92.1
12	70.9	77.9
13	70.9	77.9
14	70.9	77.9
15	70.9	77.9

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B16. RESISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA-MADERA, ELABORADAS SIN LA APLICACION DE PRESIÓN.

Muestra	Temperatura máxima resistida (°C) (+/- 0.5)	Observaciones
1 (R. Poliester 50% V/V)	242	A 50°C desprenden olor a miel. Se ablandaron a 75°C. A altas temperaturas pierden resistencia mecánica y se quiebran fácilmente. A los 125°C toman un color blancuzco.
2(R. Poliester 50% V/V)	242	
3(R. Poliester 50% V/V)	242	
4(R. Poliester 50% V/V)	242	
5(R. Poliester 50% V/V)	242	
6 (R. Mármol 40% V/V)	176	A altas temperaturas pierden resistencia mecánica y se quiebran fácilmente. Toman un color café oscuro.
7(R. Mármol 40% V/V)	190	
8(R. Mármol 40% V/V)	190	
9(R. Mármol 40% V/V)	190	
10(R. Mármol 40% V/V)	190	
11 (R. Cristal 40% V/V)	200	A altas temperaturas pierden resistencia mecánica y se quiebran fácilmente. Toman un color café oscuro.
12(R. Cristal 40% V/V)	200	
13(R. Cristal 40% V/V)	200	
14(R. Cristal 40% V/V)	200	
15(R. Cristal 40% V/V)	200	

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B17. RESISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA-MADERA, ELABORADAS CON LA APLICACIÓN DE 22.2N DE PRESIÓN.

Muestra	Temperatura máxima resistida (°C) (+/- 0.5)	Observaciones
1 (R. Poliester 50% V/V)	203	A partir de los 150 °C se tomaron con un color blancuzco. A alta temperatura pierden resistencia mecánica.
2(R. Poliester 50% V/V)	203	
3(R. Poliester 50% V/V)	203	
4(R. Poliester 50% V/V)	203	
5(R. Poliester 50% V/V)	203	
6 (R. Mármol 40% V/V)	196	A alta temperatura pierden resistencia mecánica.
7(R. Mármol 40% V/V)	196	
8(R. Mármol 40% V/V)	196	
9(R. Mármol 40% V/V)	196	
10(R. Mármol 40% V/V)	196	
11 (R. Cristal 40% V/V)	176	Se ablandaron a los 150°C.
12(R. Cristal 40% V/V)	176	
13(R. Cristal 40% V/V)	176	
14(R. Cristal 40% V/V)	176	
15(R. Cristal 40% V/V)	176	

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B18. RESISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA-MADERA, ELABORADAS CON LA APLICACIÓN DE 88.9N DE PRESIÓN.

Muestra	Temperatura máxima resistida (°C) (+/- 0.5)	Observaciones
1 (R. Poliester 50% V/V)	204	A 50°C desprenden olor a miel. A altas temperaturas pierden resistencia mecánica y se quiebran fácilmente. Toman un color blancuzco.
2(R. Poliester 50% V/V)	204	
3(R. Poliester 50% V/V)	204	
4(R. Poliester 50% V/V)	204	
5(R. Poliester 50% V/V)	204	
6 (R. Mármol 40% V/V)	200	A altas temperaturas pierden resistencia mecánica y se quiebran fácilmente. Toman un color café oscuro.
7(R. Mármol 40% V/V)	200	
8(R. Mármol 40% V/V)	200	
9(R. Mármol 40% V/V)	200	
10(R. Mármol 40% V/V)	200	
11 (R. Cristal 40% V/V)	178	A altas temperaturas pierden resistencia mecánica y se quiebran fácilmente. Toman un color café oscuro.
12(R. Cristal 40% V/V)	178	
13(R. Cristal 40% V/V)	178	
14(R. Cristal 40% V/V)	178	
15(R. Cristal 40% V/V)	178	

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B19. CAMBIO EN EL MASA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA-MADERA, EN CONTACTO CON AGUA, ELABORADAS SIN LA APLICACIÓN DE PRESIÓN. (continúa en la siguiente página)

Muestras	Masa (g) (+/- 0.00005) después de :					
	Inicial	30 min	60min	90min	120min	150min
1 (R. Cristal 40% V/V)	57.1911	58.2756	58.3237	58.0998	58.0998	58.0996
2(R. Cristal 40% V/V)	55.0461	56.7690	56.8820	56.9200	56.9290	56.9190
3(R. Cristal 40% V/V)	63.8370	65.2346	64.7972	64.7532	64.7530	64.7531
4 (R. Mármol 40% V/V). Cristal 40% V/V)	52.7616	54.0156	54.1350	54.2178	54.2190	54.2191
5(R. Cristal 40% V/V)	52.9560	55.5780	55.4336	55.3060	55.2960	55.3000
6 (R. Mármol 40% V/V)	71.8054	72.0797	71.9540	71.8675	71.8660	71.8658

Muestra 2	Deformación a las 27lb de peso. Pto. de ruptura a las 54lb.
Muestra 3	Deformación a las 27lb de peso. Pto. de ruptura a las 54lb.
Muestra 4	Pto. de ruptura a las 25lb.
Muestra 5	Deformación a las 25lb de peso. Pto. de ruptura a las 75lb.
Mezcla al 40% V/V resina, elaborada con la aplicación de 20lb de presión	
Muestra 1	Deformación a las 25lb de peso. Pto. de ruptura a las 125lb.
Muestra 2	Deformación a las 25lb de peso. Pto. de ruptura a las 54lb.
Muestra 3	Pto. de ruptura a las 25lb.
Muestra 4	Deformación a las 25lb de peso. Pto. de ruptura a las 75lb.
Muestra 5	Deformación a las 25lb de peso. Pto. de ruptura a las 54lb.

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B23. RESISTENCIA MECÁNICA DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA MÁRMOL -MADERA.

Mezcla al 40% V/V resina, elaborada sin aplicación de presión	
Muestra 1	Pto. de ruptura 125lb.
Muestra 2	Pto. de ruptura 125lb.
Muestra 3	Pto. de ruptura 75lb.
Muestra 4	Pto. de ruptura 80lb.
Muestra 5	Pto. de ruptura 150lb.
Mezcla al 40% V/V resina, elaborada con aplicación de 5lb de presión	
Muestra 1	Pto. de ruptura 75lb.
Muestra 2	Pto. de ruptura 50lb.
Muestra 3	Pto. de ruptura 150lb.
Muestra 4	Pto. de ruptura 75lb.
Muestra 5	Pto. de ruptura 150lb.
Mezcla al 40% V/V resina, elaborada con aplicación de 20lb de presión	
Muestra 1	Pto. de ruptura 75lb.
Muestra 2	Pto. de ruptura 125lb.
Muestra 3	Pto. de ruptura 100lb.
Muestra 4	Pto. de ruptura 125lb.
Muestra 5	Pto. de ruptura 150lb.

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B26. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA MÁRMOL- MADERA, POR LA APLICACIÓN DE RAYOS SOLARES.

Muestras	Masa Inicial (g) (+/-0.05)	Masa 1h después(g) (+/-0.05)	Masa 2h después(g) (+/-0.05)	Masa 3h después(g) (+/-0.05)	Masa 4h después(g) (+/-0.05)
Mezcla al 40% V/V resina, elaborada sin aplicación de presión					
1	52.4	56.7	49.6	45.4	45.4
2	56.7	63.8	56.7	63.8	56.7
3	42.5	42.5	40.2	42.5	42.5
4	49.6	49.6	45.4	45.4	45.4
5	49.6	56.7	56.7	49.6	49.6
Mezcla al 40% V/V resina, elaborada con aplicación de 22.2N de presión					
1	60.1	60.1	60.1	63.8	63.8
2	49.6	45.4	56.7	45.4	56.7
3	56.7	45.4	45.4	49.6	49.6
4	49.6	35.4	49.6	49.6	49.6
5	49.6	42.5	42.5	49.6	49.6
Mezcla al 40% V/V resina, elaborada con aplicación de 88.9N de presión					
1	60.1	49.6	49.6	49.6	49.6
2	60.1	49.6	49.6	49.6	49.6
3	49.6	42.5	42.5	42.5	42.5
4	49.6	45.4	42.5	42.5	42.5
5	49.6	45.4	45.4	45.4	45.4

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla B27. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA MÁRMOL- MADERA, POR LA EXPOSICIÓN A RAYOS SOLARES.

Muestras	Masa Inicial (g) (+/-0.05)	Masa 1h después(g) (+/-0.05)	Masa 2h después(g) (+/-0.05)	Masa 3h después(g) (+/-0.05)	Masa 4h después(g) (+/-0.05)
Mezcla al 50% V/V resina, elaborada sin aplicación de presión					
1	42.5	39.7	35.4	35.4	35.4
2	45.4	42.5	42.5	42.5	42.5
3	45.4	42.5	42.5	42.5	42.5
4	63.8	63.8	56.7	56.7	56.7
5	49.6	45.4	49.6	49.6	49.6
Mezcla al 50% V/V resina, elaborada con aplicación de 22.2N de presión					
1	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
2	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4
3	42.5	42.5	38.8	38.8	38.8
4	40.2	40.2	40.2	38.8	38.8
5	35.4	35.4	42.5	42.5	42.5
Mezcla al 50% V/V resina, elaborada con aplicación de 88.9N de presión					
1	56.7	56.7	56.7	59.5	59.5
2	49.6	49.6	49.6	52.4	52.4
3	52.4	52.4	52.4	52.4	52.4
4	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6
5	42.5	42.5	39.7	39.7	39.7

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

ANEXO C

MUESTRA DE CÁLCULOS

1. Determinación del cambio de peso de las muestras de material compoquita durante la etapa de secado

Este cálculo se utiliza para todas las muestras elaboradas con los tres tipos de resina y a las tres presiones de secado.

Para esto se determinó la masa del molde donde serían colocadas las muestras (tara), luego se determinó la masa del molde con la muestra recientemente colocada para poder tener la masa inicial antes del secado. La masa final se midió con la muestra del material seco.

Por lo tanto, a la masa inicial y a la masa final se le resta la masa del molde tarado, obteniendo así la masa inicial y final de la muestra del material. Luego, para obtener el cambio de masa de las muestras durante la etapa de secado se resta la masa inicial del final.

Por ejemplo, de los datos de la tabla B7 , pag. 71 , se observa que para la muestra 1 se tienen los siguientes datos:

Masa inicial M_0 : 113.4 g

Masa final M_f : 99.2 g

$$\Delta M = M_f - M_0 = -14.2\text{g}$$

Para obtener el porcentaje de la pérdida de masa se divide el cambio de masa (masa perdida) entre la masa inicial:

$$\begin{aligned}\text{Cambio de peso (\%)} &= (\Delta M / M_0) \times 100\% \\ &= (-14.2 / 113.4) \times 100\% \\ &= -12.52\%\end{aligned}$$

2. Cambio de peso de muestras de material compoquita En contacto con agua

Este cálculo se utiliza para medir el grado de absorción de agua en 5 muestras de cada mezcla de resina elaboradas a tres diferentes presiones de secado.

Para esto se determina la masa inicial de las muestras que se pusieron en contacto con el agua, y luego se fue midiendo la masa de las muestras cada media hora hasta que se obtuviera masa constante (masa final).

Por lo tanto , el cambio de masa se calcula restando la masa inicial del final, como se muestra a continuación:

De los datos de la tabla B19. pag.77. se observa para la muestra 1 se tienen los siguientes datos:

$$\text{Masa inicial } M_0 : 57.1911\text{g}$$

$$\text{Masa final } M_f : 58.0996 \text{ g}$$

$$\Delta M = M_f - M_0 = 0.9085 \text{ g}$$

Para obtener el porcentaje de la ganancia de masa se divide el cambio de masa (masa perdida) entre la masa inicial:

$$\begin{aligned} \text{Cambio de masa (\%)} &= (\Delta M / M_0) \times 100\% \\ &= (0.9085 / 57.1911) \times 100\% \\ &= 1.58\% \end{aligned}$$

3. Cambio de la masa de muestras de material composita Expuestas al sol

Este cálculo se utiliza para medir el grado de desorción de agua en 5 muestras de cada mezcla de resina elaboradas a tres diferentes presiones de secado.

Para esto se determinó la masa inicial de las muestras que se expusieron al sol, y luego se fue midiendo la masa de las muestras cada hora hasta que se obtuviera masa constante (masa final).

Por lo tanto , el cambio de masa se calcula restando la masa inicial del final, como se muestra a continuación:

De los datos de la tabla B25 pag.82, se observa para la muestra 3 se tienen los siguientes datos:

$$\text{Masa inicial } M_0 : 68.6\text{g}$$

$$\text{Masa final } M_f : 56.7\text{g}$$

$$\Delta M = M_f - M_0 = -11.9 \text{ g}$$

Para obtener el porcentaje de la pérdida de masa se divide el cambio de masa (masa perdido) entre la masa inicial:

$$\begin{aligned} \text{Cambio de masa(\%)} &= (\Delta M / M_0) \times 100\% \\ &= (-11.9 / 68.6) \times 100\% = -17.3\% \end{aligned}$$

ANEXO D

MUESTRA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se utilizaron dos métodos , el método de Taguchi y el de Fisher (llamado también Análisis de Varianza , ANOVA). El método de Taguchi elimina el ruido de la señal en variable discreta para los tres niveles utilizados en la elaboración de las muestras. El análisis de varianza es una técnica especial para determinar si la variación en los resultados de las pruebas es significativa estadísticamente. Sí es así , los factores siendo analizados pueden ser considerados como incidentes en la variable de interés (los factores P y R sí aumentan la resistencia mecánica del material, por ejemplo).

Este análisis estadístico se realizó para las pruebas de resistencia mecánica, para las pruebas de temperatura, para las pruebas de absorción de humedad y para las de exposición al sol. Para cada muestra se hicieron 5 repeticiones (tamaño de muestra).

Para este análisis se emplea una formación de 3 niveles que usan valores de 1,2 y 3 para el nivel bajo, medio y alto.

El concepto del método de ANOVA es el de determinar la varianza en cada nivel (llamado ruido) y compararlo con la varianza *entre* cada nivel (llamado señal). La varianza en cada nivel (ruido) es dividida por la varianza entre cada nivel (señal) para obtener un radio S/N . Sí este radio S/N excede al valor dado por el coeficiente F, que significa la posibilidad de ocurrencia puntual, entonces los niveles se asumen diferentes (se asume que un cambio en el nivel realmente afecta a la variable de interés) . El radio máximo S/N que puede ser esperado por ocurrencia puntual (para un límite de confianza particular) se muestra en anexo I, pag. 114.

A continuación se muestra un ejemplo con datos tomados de las pruebas de absorción de agua por las muestras de material composita.

El objetivo es determinar el efecto de los tipos de resina (3) y de los niveles de presión aplicados durante la etapa de secado(3) sobre la variable de interés: absorción de agua por las muestras. Se usaron 5 corridas por muestra (5 repeticiones) y se usa un límite de confianza del 95%.

1. Problema: Absorción de agua.

2. Objetivo: Determinar las variables de control que afecten la absorción de agua.
3. Factores: Tipos de resina (R) , y presión (P).
4. Niveles: bajo, medio y alto para los dos factores.

Factor	Bajo	Medio	Alto
Tipo de resina	R. Cristal	R. Mármol	R. Poliester
Presión	1.93Kpa	5.65KPa	16.75KPa

5. Variable de respuesta: Absorción de agua.
6. Formación de datos: Se utilizó la formación que se muestra en la Tabla E25 del Apéndice E (Datos Calculados), pag.106. La identificación se hace al asignar subíndices para establecer el nivel de cada factor, por ejemplo, a la primera muestra se le asigna R_1P_1 , que es la muestra con el nivel de resina 1 (R. Cristal) y el nivel de presión en la etapa de secado 1 (0.28lb/in^2), a la segunda muestra se le asigna R_1P_2 , que es la muestra con el nivel de resina 1 (R. Cristal) y con el nivel de presión en la etapa de secado 2 (0.82lb/in^2), y así sucesivamente. A cada factor, R y P, se le asignan los valores 1, 2 y 3, dependiendo del nivel que cada muestra tuviera de estos factores. La interacción RP es la multiplicación de estos valores; y por último se listan los valores obtenidos del porcentaje de absorción en peso para cada muestra en las 5 repeticiones.
7. Análisis ANOVA: Para esto se conformó la Tabla E26 del Apéndice E (Datos calculados), pag.106. A continuación se explica como se obtuvo cada columna de esta tabla.

7.1 La suma de cuadrados (SS) para el tipo de resina (factor R) , la presión (P) y la interacción RP se calcula al sumar los valores de cada corrida para cada muestra al multiplicar por el valor asignado a cada factor, esta suma se eleva al cuadrado y se divide entre el tamaño de la muestra total. Para el factor R , se tiene:

$$SS_R = [1 \times (2+3+1+3+4+2+2+1+3+0.4+3+0.4+3+1+1) + 2 \times (0.1+0.1+1.8+0.7-2.8+0.4+0.004+0.3+1+0.4+1-0.4+1+1+1) + 3 \times (-0.3-0.8-0.03-0.5-0.6-0.2-0.3-0.3-1-0.3-0.4-0.3-0.5-0.5-0.4)]^2 / 45 = 10.48$$

- 7.2 La suma de cuadrados total se calcula con la siguiente fórmula (donde las variables X son los 45 resultados de las corridas realizadas):

$$SS_T = \sum X^2 - (\sum X)^2/n = 98.04 - (28.97)^2/45 = 79.384$$

- 7.3 La suma de cuadrados para el error es la diferencia entre el total de las sumas cuadradas y todas las otras sumas de cuadrados mostradas:

$$SS_e = 79.384 - 10.48 - 57.18 - 46.63 = -34.9$$

- 7.4 Los grados de libertad (df) para los factores R, P y la interacción RP es el número de repeticiones realizadas (5) menos uno $\Rightarrow df = 5 - 1 = 4$ para todos los factores, ya que se obtiene el mismo número de repeticiones.

- 7.5 Los grados de libertad para el error (df) están determinados por la fórmula siguiente:

$$2^n(r-1) = 2^2(5-1) = 16$$

- 7.6 Los grados totales de libertad (df) están determinados por la siguiente fórmula:

$$r(2^n) - 1 = 5(2^2) - 1 = 19$$

- 7.7 La media de cuadrados MS es otro nombre para la varianza. La varianza es calculada por SS/df . Para el factor R:

$$MS_R = SS_R/df_R = 10.48/4 = 2.62$$

- 7.8 El ratio de señal y ruido (S/N) es llamado el coeficiente F calculado. Estos valores son calculados al dividir el MS del factor por el MS del error. Para el factor R se tiene:

$$S/N_R = MS_R/MS_e = 2.62/2.18 = 1.20$$

7.9 El valor del coeficiente F listado en las tablas (ver Apéndice I). En esta tabla se usan los dos df del ratio S/N. Es decir, el df del factor y el df del error. Se encuentra la columna encabezada con el valor df del factor evaluado, y la fila identificada con el df del error ó ruido. Para el factor R, se obtiene el valor 4 y luego en la fila 16 para encontrar el valor F (al 95% de confianza) se encuentra el valor de 3.06.

ANEXO E

DATOS CALCULADOS

Tabla E1. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V RESINA CRISTAL- MADERA, DURANTE LA ETAPA DE SECADO SIN LA APLICACIÓN DE PRESIÓN.

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.5)	Masa Final (g) (+/- 0.5)	Cambio de Masa (g)	% Cambio de Masa
1	113.4	99.2	-14.2	-13%
2	49.1	49.1	0.0	0%
3	42.5	42.5	0.0	0%
4	56.7	92.1	35.4	62%
5	77.9	63.8	-14.1	-18%
6	56.7	92.1	35.4	62%
7	99.2	49.6	-49.6	-50%
8	92.1	49.6	-42.5	-46%
9	92.1	77.9	-14.2	-15%
10	77.9	49.6	-28.3	-36%
11	49.6	49.6	0.0	0%
12	85.0	49.6	-35.4	-42%
13	63.8	56.7	-7.1	-11%
14	63.8	70.9	7.1	11%
15	92.1	56.7	-35.4	-38%
Media			-10.9	-9%
Desviación estándar			19.6	0.3

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E2. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V RESINA MÁRMOL- MADERA, DURANTE LA ETAPA DE SECADO SIN LA APLICACIÓN DE PRESIÓN

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.5)	Masa Final (g) (+/- 0.5)	Cambio de Masa (g)	% Cambio de Masa
1	42.5	77.9	35.4	83%
2	85.0	49.6	-35.4	-42%
3	85.0	70.9	-14.1	-17%
4	70.9	70.9	0.0	0%
5	106.3	56.7	-49.6	-47%
6	70.9	63.8	-7.1	-10%
7	85.0	42.5	-42.5	-50%
8	63.8	92.1	28.3	44%
9	56.7	63.8	7.1	13%
10	85.0	49.6	-35.4	-42%
11	56.7	85	28.3	50%
12	106.3	63.8	-42.5	-40%
13	92.1	77.9	-14.2	-15%
14	49.6	56.7	7.1	14%
15	77.9	77.9	0.0	0%
Media			-9.0	-4%
Desviación estándar			22.8	0.3

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E3. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 50% V/V RESINA POLIÉSTER- MADERA, DURANTE LA ETAPA DE SECADO SIN LA APLICACIÓN DE PRESIÓN. (continúa en la siguiente página)

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.5)	Masa Final (g) (+/- 0.5)	Cambio de Masa (g)	% Cambio de Masa
1	99.2	99.2	0.0	0%
2	99.2	99.2	0.0	0%
3	85.0	92.1	7.1	8%
4	85.0	92.1	7.1	8%
5	70.9	85	14.1	20%
6	85.0	85	0.0	0%
7	63.8	63.8	0.0	0%
8	85.0	85	0.0	0%
9	92.1	85	-7.1	-8%
10	77.9	63.8	-14.1	-18%
11	70.9	70.9	0.0	0%

12	106.3	106.3	0.0	0%
13	92.1	92.1	0.0	0%
14	85.0	85	0.0	0%
15	85.0	85	0.0	0%
Media			0.5	1%
Desviación estándar			3.6	0.05

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E4. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V RESINA CRISTAL- MADERA, DURANTE LA ETAPA DE SECADO CON LA APLICACIÓN DE 5.65KPA DE PRESIÓN.

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.5)	Masa Final (g) (+/- 0.5)	Cambio de Masa (g)	% Cambio de Masa
1	63.8	63.8	0.0	0%
2	85.0	85	0.0	0%
3	63.8	63.8	0.0	0%
4	63.8	63.8	0.0	0%
5	70.9	70.9	0.0	0%
6	92.1	85	-7.1	-8%
7	85.0	77.9	-7.1	-8%
8	92.1	99.2	7.1	8%
9	77.9	85	7.1	9%
10	77.9	70.9	-7.0	-9%
11	85.0	85	0.0	0%
12	85.0	85	0.0	0%
13	85.0	85	0.0	0%
14	70.9	85	14.1	20%
15	77.9	85	7.1	9%
Media			0.9	1%
Desviación estándar			4.2	0.1

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E5. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V RESINA MARMOL- MADERA, DURANTE LA ETAPA DE SECADO CON LA APLICACIÓN DE 5.65KPA DE PRESIÓN.

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.5)	Masa Final (g) (+/- 0.5)	Cambio de Masa (g)	% Cambio de Masa
1	99.2	99.2	0.0	0%
2	106.3	106.3	0.0	0%
3	70.9	70.9	0.0	0%
4	92.1	92.1	0.0	0%
5	85.0	85	0.0	0%
6	85.0	85	0.0	0%
7	85.0	85	0.0	0%
8	92.1	92.1	0.0	0%
9	77.9	77.9	0.0	0%
10	92.1	92.1	0.0	0%
11	106.3	106.3	0.0	0%
12	92.1	92.1	0.0	0%
13	92.1	92.1	0.0	0%
14	85.0	85	0.0	0%
15	106.3	106.3	0.0	0%
Media			0.0	0%
Desviación estándar			0.0	0.0

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E6. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 50% V/V RESINA POLIÉSTER- MADERA, DURANTE LA ETAPA DE SECADO CON LA APLICACIÓN DE 5.65KPA DE PRESIÓN. (continúa en la siguiente página)

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.5)	Masa Final (g) (+/- 0.5)	Cambio de Masa (g)	% Cambio de Masa
1	113.4	92.1	-21.3	-19%
2	99.2	113.4	14.2	14%
3	92.1	99.2	7.1	8%
4	85.0	92.1	7.1	8%
5	92.1	99.2	7.1	8%
6	77.9	70.9	-7.0	-9%
7	77.9	92.1	14.2	18%

8	70.9	99.2	28.3	40%
9	92.1	92.1	0.0	0%
10	92.1	99.2	7.1	8%
11	99.2	99.2	0.0	0%
12	85.0	85	0.0	0%
13	70.9	70.9	0.0	0%
14	99.2	85	-14.2	-14%
15	106.3	99.2	-7.1	-7%
Media			2.4	4%
Desviación estándar			9.1	0.1

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E7. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V RESINA CRISTAL- MADERA, DURANTE LA ETAPA DE SECADO CON LA APLICACIÓN DE 16.75KPA DE PRESIÓN.

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.5)	Masa Final (g) (+/- 0.5)	Cambio de Masa (g)	% Cambio de Masa
1	70.9	70.9	0.0	0%
2	70.9	49.6	-21.3	-30%
3	63.9	49.6	-14.3	-22%
4	92.1	70.9	-21.2	-23%
5	106.3	70.9	-35.4	-33%
6	99.2	99.2	0.0	0%
7	77.9	77.9	0.0	0%
8	70.9	56.7	-14.2	-20%
9	63.8	77.9	14.1	22%
10	99.2	106.3	7.1	7%
11	77.9	77.9	0.0	0%
12	59.5	70.9	11.4	19%
13	92.1	92.1	0.0	0%
14	85.0	92.1	7.1	8%
15	63.8	63.8	0.0	0%
Media			-4.4	-5%
Desviación estándar			11.2	0.1

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E8. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V RESINA MARMOL- MADERA, DURANTE LA ETAPA DE SECADO CON LA APLICACIÓN DE 16.75KPA DE PRESIÓN.

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.5)	Masa Final (g) (+/- 0.5)	Cambio de Masa (g)	% Cambio de Masa
1	99.2	113.4	14.2	14%
2	77.9	99.2	21.3	27%
3	56.7	70.9	14.2	25%
4	85.0	92.1	7.1	8%
5	63.8	63.8	0.0	0%
6	106.3	99.2	-7.1	-7%
7	85.0	99.2	14.2	17%
8	85.0	99.2	14.2	17%
9	113.4	120.5	7.1	6%
10	113.4	106.3	-7.1	-6%
11	77.9	92.1	14.2	18%
12	92.1	77.9	-14.2	-15%
13	56.7	42.5	-14.2	-25%
14	77.9	85	7.1	9%
15	77.9	77.9	0.0	0%
Media			4.7	6%
Desviación estándar			9.5	0.1

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E9. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 50% V/V RESINA POLIÉSTERL- MADERA, DURANTE LA ETAPA DE SECADO CON LA APLICACIÓN DE 16.75KPA DE PRESIÓN. (continúa en la siguiente página)

Muestra	Masa Inicial (g) (+/- 0.5)	Masa Final (g) (+/- 0.5)	Cambio de Masa (g)	% Cambio de Masa
1	99.2	106.3	7.1	7%
2	85.0	85	0.0	0%
3	63.8	77.9	14.1	22%
4	77.9	77.9	0.0	0%
5	85.0	77.9	-7.1	-8%
6	70.9	70.9	0.0	0%
7	99.2	99.2	0.0	0%
8	70.9	70.9	0.0	0%
9	77.9	77.9	0.0	0%

10	77.9	77.9	0.0	0%
11	85.0	92.1	7.1	8%
12	70.9	77.9	7.0	10%
13	70.9	77.9	7.0	10%
14	70.9	77.9	7.0	10%
15	70.9	77.9	7.0	10%
Media			3.3	5%
Desviación estándar			4.4	0.1

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E10. CAMBIO DE MASA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V RESINA CRISTAL-MADERA EN CONTACTO CON AGUA, ELABORADAS SIN APLICACIÓN DE PRESIÓN.

Tiempo (min)/Muestras	1	2	3	4	5
0	57.1911	55.0461	63.837	52.7616	52.956
30	58.2756	56.769	65.2346	54.0156	55.578
60	58.3237	56.882	64.7972	54.135	55.4336
90	58.0998	56.92	64.7532	54.2178	55.306
120	58.0998	56.929	64.753	54.219	55.296
150	58.0996	56.919	64.7531	54.2191	55.3
Cambio de masa Total (g) (+/- 0.00005)	0.9085	1.8729	0.9161	1.4575	2.344
Cambio de masa(%)	2%	3%	1%	3%	4%
Promedio Cambio de masa (g) (+/- 0.00005)					1.4998
Desviación estándar					0.49
Porcentaje de cambio de masa promedio (%)					3%
Desviación estándar					0.01

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E11. CAMBIO DE MASA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V RESINA MÁRMOL-MADERA EN CONTACTO CON AGUA, ELABORADAS SIN APLICACIÓN DE PRESIÓN.

Tiempo (min)/Muestras	1	2	3	4	5
0	71.8054	69.8103	62.7485	66.123	63.487
30	72.0797	70.3065	64.1755	66.6411	63.8185
60	71.954	69.984	63.9073	66.557	62.0229
90	71.8675	69.8828	63.863	66.5904	61.72
120	71.866	69.88	63.8624	66.5881	61.722
150	71.8658	69.881	63.8622	66.5825	61.7222
Cambio de masa Total (g) (+/- 0.00005)	0.0604	0.0707	1.1137	0.4595	-1.7648
Cambio de masa(%)	0.1%	0.1%	1.8%	0.7%	-2.8%
Promedio Cambio de masa (g) (+/- 0.00005)					-0.0121
Desviación estándar					0.70
Porcentaje de cambio de masa promedio (%)					-0.02%
Desviación estándar					0.01

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E12. CAMBIO DE MASA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 50% V/V RESINA POLIÉSTER-MADERA EN CONTACTO CON AGUA, ELABORADAS SIN APLICACIÓN DE PRESIÓN.

Tiempo (min)/Muestras	1	2	3	4	5
0	66.9469	68.2885	67.5487	65.7812	62.498
30	66.9356	68.099	67.795	65.63	62.4003
60	66.964	68.056	67.6435	65.587	62.3001
90	66.7213	67.7591	67.5264	65.4704	62.203
120	66.721	67.759	67.5264	65.471	62.1048
150	66.72	67.7591	67.5264	65.4702	62.1036
Cambio de masa Total (g) (+/- 0.00005)	-0.23	-0.53	-0.02	-0.31	-0.39
Cambio de masa(%)	-0.3%	-0.8%	-0.03%	-0.5%	-0.6%
Promedio Cambio de masa (g) (+/- 0.00005)					-0.30
Desviación estándar					0.14
Porcentaje de cambio de masa promedio (%)					-0.5%
Desviación estándar					0.002

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E13. CAMBIO DE MASA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V RESINA CRISTAL-MADERA EN CONTACTO CON AGUA, ELABORADAS CON APLICACIÓN DE 5.65KPA PRESIÓN.

Tiempo (min)/Muestras	1	2	3	4	5
0	60.238	63.3597	60.0077	53.1257	63.5713
30	61.539	64.883	60.541	54.988	63.8114
60	61.2115	64.6912	60.3765	54.9407	63.5359
90	61.5042	64.7382	60.4895	54.9	63.6854
120	61.714	64.745	60.5038	54.9	63.799
150	61.7145	64.7453	60.504	54.9001	63.7989
Cambio de masa Total (g) (+/- 0.00005)	1.4765	1.3856	0.4963	1.7744	0.2276
Cambio de masa(%)	2%	2%	1%	3%	0.4%
Promedio Cambio de masa (g) (+/- 0.00005)					1.0721
Desviación estándar					0.57
Porcentaje de cambio de masa promedio (%)					2%
Desviación estándar					0.01

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E14. CAMBIO DE MASA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V RESINA MÁRMOL-MADERA EN CONTACTO CON AGUA, ELABORADAS CON APLICACIÓN DE 5.65KPA PRESIÓN.

Tiempo (min)/Muestras	1	2	3	4	5
0	59.1129	60.749	66.3263	57.9918	81.1097
30	59.3042	60.6854	66.509	58.6214	81.3099
60	59.2688	60.6774	66.5834	58.5817	81.4356
90	59.3229	60.7394	66.5248	58.6957	81.4225
120	59.3339	60.751	66.5311	58.7599	81.4256
150	59.3339	60.7512	66.531	58.7614	81.4265
Cambio de masa Total (g) (+/- 0.00005)	0.221	0.0022	0.2047	0.7696	0.3168
Cambio de masa(%)	0.4%	0.004%	0.3%	1%	0.4%
Promedio Cambio de masa (g) (+/- 0.00005)					0.30
Desviación estándar					0.19
Porcentaje de cambio de masa promedio (%)					0.5%
Desviación estándar					0.003

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E15. CAMBIO DE MASA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 50% V/V,
RESINA POLIESTER-MADERA EN CONTACTO CON AGUA, ELABORADAS CON
APLICACIÓN DE 5.65KPA PRESIÓN.

Tiempo (min)/Muestras	1	2	3	4	5
0	73.6902	65.4699	67.0179	64.0491	63.5247
30	73.685	65.4136	66.8368	63.7561	63.5278
60	73.6693	65.3347	66.932	63.6303	63.3535
90	73.5662	65.3005	66.8547	63.5987	63.3548
120	73.566	65.278	66.8456	63.589	63.3542
150	73.5662	65.2771	66.8453	63.5889	63.355
Cambio de masa Total (g) (+/- 0.00005)	-0.124	-0.1928	-0.1726	-0.4602	-0.1697
Cambio de masa(%)	-0.2%	-0.3%	-0.3%	-1%	-0.3%
Promedio Cambio de masa (g) (+/- 0.00005)					-0.22
Desviación estándar					0.09
Porcentaje de cambio de masa promedio (%)					-0.3%
Desviación estándar					0.002

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E16. CAMBIO DE MASA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA AL 40% V/V
RESINA CRISTAL-MADERA EN CONTACTO CON AGUA, ELABORADAS CON
APLICACIÓN DE 16.75KPA DE PRESIÓN.

Tiempo (min)/Muestras	1	2	3	4	5
0	54.1944	57.1711	50.8997	57.931	61.0218
30	55.611	57.5558	52.0016	58.4531	61.9246
60	55.9113	57.3538	51.9072	58.4849	61.892
90	55.6664	57.4064	52.0708	58.3915	61.7161
120	55.7089	57.4079	52.2545	58.4115	61.8957
150	55.7129	57.4079	52.2544	58.4253	61.8242
Cambio de masa Total (g) (+/- 0.00005)	1.5185	0.2368	1.3547	0.4943	0.8024
Cambio de masa(%)	3%	0.4%	3%	1%	1%
Promedio Cambio de masa (g) (+/- 0.00005)					0.88
Desviación estándar					0.44
Porcentaje de cambio de masa promedio (%)					2%
Desviación estándar					0.01

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E19. RESISTENCIA MECÁNICA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPUESTO RESINA-CRISTAL-MADEIRA, DE 20 CM DE LARGO, 3CM DE ANCHO Y 1CM DE ESPESOR.

Mezcla al 40% v/v elaborada sin aplicación de presión		
Muestra	Pto. de ruptura (Kg.)	Presión de ruptura (KPa)
1	24.5	40.0
2	36.3	59.3
3	45.4	74.1
4	45.4	74.1
5	34.0	55.6
Promedio	37.1	60.6
Desviación estándar	14.56	1.56
Mezcla al 40% v/v elaborada con aplicación 5.65KPa de presión		
Muestra	Pto. de ruptura (Kg.)	Presión de ruptura (KPa)
1	34.0	55.6
2	24.5	40.0
3	24.5	40.0
4	11.3	18.5
5	34.0	55.6
Promedio	25.6	41.9
Desviación estándar	14.72	1.58
Mezcla al 40% v/v elaborada con aplicación de 16.75KPa de presión		
Muestra	Pto. de ruptura (Kg.)	Presión de ruptura (KPa)
1	56.7	92.7
2	24.5	40.0
3	11.3	18.5
4	34.0	55.6
5	24.5	40.0
Promedio	30.2	49.4
Desviación estándar	26.72	2.87

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E20. RESISTENCIA MECÁNICA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA MÁRMOL- MADERA, DE 20 CM DE LARGO, 3CM DE ANCHO Y 1CM DE ESPESOR.

Mezcla al 40% v/v elaborada sin aplicación de presión		
Muestra	Pto. de ruptura (Kg.)	Presión de ruptura (KPa)
1	56.7	92.7
2	56.7	92.7
3	34.0	55.6
4	36.3	59.3
5	68.0	111.2
Promedio	50.3	82.2
Desviación estándar	26.8	2.88
Mezcla al 40% v/v elaborada con aplicación de 5.65Kpa de presión		
Muestra	Pto. de ruptura (Kg.)	Presión de ruptura (KPa)
1	34.0	55.6
2	22.7	37.0
3	68.0	111.2
4	34.0	55.6
5	68.0	111.2
Promedio	45.4	74.1
Desviación estándar	40	4.30
Mezcla al 40% v/v elaborada con aplicación de 16.75KPa de presión		
Muestra	Pto. de ruptura (Kg.)	Presión de ruptura (KPa)
1	34.0	55.6
2	56.7	92.7
3	45.4	74.1
4	56.7	92.7
5	68.0	111.2
Promedio	52.2	85.3
Desviación estándar	22	2.37

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E21. RESISTENCIA MECÁNICA DE MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA, RESINA POLIÉSTER- MADERA, DE 20 CM DE LARGO, 3CM DE ANCHO Y 1CM DE ESPESOR.

Mezcla al 50% v/v elaborada sin aplicación de presión		
Muestra	Pto. de ruptura (Kg.)	Presión de ruptura (KPa)
1	22.7	37.1
2	22.7	37.1
3	22.7	37.1
4	22.7	37.1
5	22.7	37.1
Promedio	22.7	37.1
Desviación estándar	0	0.00
Mezcla al 50% v/v elaborada con aplicación de 5.65Kpa de presión		
Muestra	Pto. de ruptura (Kg.)	Presión de ruptura (KPa)
1	22.7	37.1
2	22.7	37.1
3	22.7	37.1
4	22.7	37.1
5	22.7	37.1
Promedio	22.7	37.1
Desviación estándar	0	0.00
Mezcla al 50% v/v elaborada con aplicación de 16.75Kpa de presión		
Muestra	Pto. de ruptura (Kg.)	Presión de ruptura (KPa)
1	11.3	18.5
2	27.2	44.5
3	27.2	44.5
4	13.6	22.3
5	34.0	55.6
Promedio	22.7	37.1
Desviación estándar	18	1.94

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E22. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITO, RESINA CRISTAL - MADERA, DEBIDO A LA EXPOSICIÓN A RAYOS SOLARES.

Mezcla al 40% v/v resina, elaborada sin aplicación de presión				
Muestra	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Cambio de masa (%)
1	49.6	49.6	0	0%
2	70.9	70.9	0	0%
3	68.6	56.7	-11.9	-17%
4	70.9	70.9	0	0%
5	42.5	35.4	-7.1	-17%
Promedio			-3.8	-7%
Desviación estándar			4.56	0.08
Mezcla al 40% v/v resina, elaborada con aplicación de 5.65Kpa de presión				
Muestra	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Cambio de masa (%)
1	49.6	42.5	-7.1	-14%
2	49.6	35.4	-14.2	-29%
3	63.8	56.7	-7.1	-11%
4	56.7	49.6	-7.1	-13%
5	70.9	60.1	-10.8	-15%
Promedio			-9.26	-16%
Desviación estándar			2.592	0.05
Mezcla al 40% v/v resina, elaborada con aplicación de 16.75KPa de presión				
Muestra	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Cambio de masa (%)
1	49.6	42.5	-7.1	-14%
2	60.1	56.7	-3.4	-6%
3	49.6	42.5	-7.1	-14%
4	42.5	35.4	-7.1	-17%
5	49.6	42.5	-7.1	-14%
Promedio			-6.36	-13%
Desviación estándar			1.184	0.03

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E29. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPUESTA: RESINA MÁRMOL- MADERA. DEBIDO A LA EXPOSICIÓN A RAYOS SOLARES.

Mezcla al 40% v/v resina, elaborada sin aplicación de presión				
Muestra	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Cambio de masa (%)
1	52.4	45.4	-7	-13%
2	56.7	56.7	0	0%
3	42.5	42.5	0	0%
4	49.6	45.4	-4.2	-8%
5	49.6	49.6	0	0%
Promedio			-2.24	-4%
Desviación estándar			2.688	0.05
Mezcla al 40% v/v resina, elaborada con aplicación de 5.65KPa de presión				
Muestra	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Cambio de masa (%)
1	60.1	63.8	3.7	6%
2	49.6	56.7	7.1	14%
3	56.7	49.6	-7.1	-13%
4	49.6	49.6	0	0%
5	49.6	49.6	0	0%
Promedio			0.74	2%
Desviación estándar			3.728	0.07
Mezcla al 40% v/v resina, elaborada con aplicación de 16.75KPa de presión				
Muestra	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Cambio de masa (%)
1	60.1	49.6	-10.5	-17%
2	60.1	49.6	-10.5	-17%
3	49.6	42.5	-7.1	-14%
4	49.6	42.5	-7.1	-14%
5	49.6	45.4	-4.2	-8%
Promedio			-7.88	-14%
Desviación estándar			2.096	0.02

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E24. CAMBIO DE MASA EN MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITO. RESINA POLIÉSTER- MADERA. DEBIDO A LA EXPOSICIÓN A RAYOS SOLARES.

Mezcla al 50% v/v resina, elaborada sin aplicación de presión				
Muestra	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Cambio de masa (%)
1	42.5	35.4	-7.1	-17%
2	45.4	42.5	-2.9	-6%
3	45.4	42.5	-2.9	-6%
4	63.8	56.7	-7.1	-11%
5	49.6	49.6	0	0%
Promedio			-4	-8%
Desviación estándar			2.48	0.05
Mezcla al 50% v/v resina, elaborada con aplicación de 5.65Kpa de presión				
Muestra	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Cambio de masa (%)
1	42.5	42.5	0	0%
2	35.4	35.4	0	0%
3	42.5	38.8	-3.7	-9%
4	40.2	38.8	-1.4	-3%
5	35.4	42.5	7.1	20%
Promedio			0.4	2%
Desviación estándar			2.68	0.07
Mezcla al 50% v/v resina, elaborada con aplicación de 16.75KPa de presión				
Muestra	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Cambio de masa (g)	Cambio de masa (%)
1	56.7	59.5	2.8	5%
2	49.6	52.4	2.8	6%
3	52.4	52.4	0	0%
4	49.6	49.6	0	0%
5	42.5	39.7	-2.8	-7%
Promedio			0.56	1%
Desviación estándar			1.792	0.04

Dimensiones de las muestras: 20cm. de largo
3cm. de ancho
1cm. de espesor

Tabla E25. PRESENTACION DE DATOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICADO A LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA EXPUESTAS A LA ABSORCIÓN DE AGUA.

Identificación	R	P	RP	C. 1 (%)	C. 2 (%)	C. 3 (%)	C. 4 (%)	C. 5 (%)
R ₁ P ₁	1	1	1	2	3	1	3	4
R ₁ P ₂	1	2	2	2	2	1	3	0.4
R ₁ P ₃	1	3	3	3	0.4	3	1	1
R ₂ P ₁	2	1	2	0.1	0.1	1.8	0.7	-2.8
R ₂ P ₂	2	2	4	0.4	0.004	0.3	1	0.4
R ₂ P ₃	2	3	6	1	-0.4	1	1	1
R ₃ P ₁	3	1	3	-0.3	-0.8	-0.03	-0.5	-0.6
R ₃ P ₂	3	2	6	-0.2	-0.3	-0.3	-1	-0.3
R ₃ P ₃	3	3	9	-0.4	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4

Tabla E26. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DATOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICADO A LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA EXPUESTAS A LA ABSORCIÓN DE AGUA

Condición	SS	dF	MS	S/N	Ftabla
Resina ®	10.48	4	2.62	1.20	3.06
Presión (P)	57.178	4	14.29	6.55	3.06
RP	46.626	4	11.656	5.35	3.06
Interacción					
Error	-34.9	16	-2.18	-	-
Total	79.384	19	4.17	-	-

Tabla E27. PRESENTACIÓN DE DATOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICADO A LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA PARA LA DETERMINACIÓN DEL PTO. DE RUPTURA.

Identificación	R	P	RP	C. 1 (%)	C. 2 (%)	C. 3 (%)	C. 4 (%)	C. 5 (%)
R ₁ P ₁	1	1	1	54	80	100	100	75
R ₁ P ₂	1	2	2	75	54	54	25	75
R ₁ P ₃	1	3	3	125	54	25	75	54
R ₂ P ₁	2	1	2	125	125	75	80	150
R ₂ P ₂	2	2	4	75	50	150	75	150
R ₂ P ₃	2	3	6	75	125	100	125	150
R ₃ P ₁	3	1	3	50	50	50	50	50
R ₃ P ₂	3	2	6	50	50	50	50	50
R ₃ P ₃	3	3	9	25	60	60	30	75

Tabla E28. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DATOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICADO A LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA PARA LA DETERMINACIÓN DEL PTO. DE RUPTURA.

Condición	SS	dF	MS	S/N	Ftabla
Resina ®	94902.7	4	23725.7	0.079	3.06
Presión (P)	1013700.3	4	253425.1	0.84	3.06
RP	3775225.7	4	943806.4	3.13	3.06
Interacción					
Error	-	16	301741.8	-	-
Total	4827868.77	19	-	-	-

Tabla E29. PRESENTACIÓN DE DATOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICADO A LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA QUE PRESENTA CAMBIO DE MASA POR EXPOSICIÓN AL SOL.

Identificación	R	P	RP	C. 1 (%)	C. 2 (%)	C. 3 (%)	C. 4 (%)	C.5 (%)
R ₁ P ₁	1	1	1	0	0	-17	0	-17
R ₁ P ₂	1	2	2	-14	-29	-11	-13	-15
R ₁ P ₃	1	3	3	-14	-6	-14	-17	-14
R ₂ P ₁	2	1	2	-13	0	0	-8	0
R ₂ P ₂	2	2	4	6	14	-13	0	0
R ₂ P ₃	2	3	6	-17	-17	-14	-14	-8
R ₃ P ₁	3	1	3	-17	-6	-6	-11	0
R ₃ P ₂	3	2	6	0	0	-9	-3	20
R ₃ P ₃	3	3	9	5	6	0	0	-7

Tabla E30. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DATOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICADO A LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA QUE PRESENTA CAMBIO DE MASA POR EXPOSICIÓN AL SOL.

Condición	SS	dF	MS	S/N	Ftabla
Resina ®	3467.22	4	866.8	0.56	3.06
Presión (P)	8597.42	4	2149.36	1.39	3.06
RP	16550.42	4	4137.6	2.67	3.06
Interacción					
Error	-24729.8	16	1545.6	-	-
Total	3885.24	19	-	-	-

Tabla E31. PRESENTACION DE DATOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICADO A LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA PARA LA DETERMINACION DEL LÍMITE MÁXIMO DE TEMPERATURA.

Identificación	R	P	RP	C. 1 (%)	C. 2 (%)	C. 3 (%)	C. 4 (%)	C.5 (%)
R ₁ P ₁	1	1	1	200	200	200	200	200
R ₁ P ₂	1	2	2	176	176	176	176	176
R ₁ P ₃	1	3	3	178	178	178	178	178
R ₂ P ₁	2	1	2	176	190	190	190	190
R ₂ P ₂	2	2	4	196	196	196	196	196
R ₂ P ₃	2	3	6	200	200	200	200	200
R ₃ P ₁	3	1	3	242	242	242	242	242
R ₃ P ₂	3	2	6	203	203	203	203	203
R ₃ P ₃	3	3	9	204	204	204	204	204

Tabla E32. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA DATOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICADO A LAS MUESTRAS DE MATERIAL COMPOSITA PARA LA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE MÁXIMO DE TEMPERATURA

Condición	SS	dF	MS	S/N	Ftabla
Resina ®	7472123.7	4	1868030.9	0.69	3.06
Presión (P)	6903908	4	1725977.0	0.637	3.06
RP	28995530.7	4	7248882.7	2.675	3.06
Interacción					
Error	-	16	27097772.9	-	-
Total	43356567.2	19	-	-	-

ANEXO F

MATERIALES Y EQUIPO

A continuación se enumeran los materiales y el equipo utilizados para la elaboración del trabajo:

1. 4 crisoles con tapadera
2. Pinzas
3. Espátula
4. 3 Beakers con capacidad de 500mL
5. 1 Beaker con capacidad de 1000mL
6. 1 Probeta de 100mL de capacidad
7. 1 Probeta de 50mL de capacidad
8. Guantes de hule
9. 1 paleta
10. 10 moldes con tapadera, dimensiones: 20cm largo x 3cm ancho x 1cm espesor.
11. Maskin tape
12. 5 Pesas de 25lb cada una
13. 2 pesas de 10lb
14. 2 pesas de 5lb
15. 2 pesas de 2lb
16. 1 pesa de 1lb
17. Aceite y manteca
18. Azafate para horno
19. Bolsas de nylon
20. Desarmador
21. Cuña

EQUIPO A NIVEL DE PLANTA PILOTO

1. Balanza analítica
2. Horno
3. Balanza mecánica
4. Mezclador de metal de paletas
5. Prensas de 5lb y 10lb

ANEXO G

MÉTODOS

1. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

1.1 Selección de resinas utilizadas: La selección se basó en los siguientes parámetros:

- Precio. El precio de las resinas debe ser accesible y económico, ya que el producto elaborado debe ser igualmente económico y accesible.
- Tiempos de secado (curado). Estos tiempos deben ser relativamente breves (1-4horas) para que la fabricación del material pueda alcanzar un rendimiento alto, y evitar que este sea un factor que provoque cuellos de botella durante la elaboración del material.
- Compatibilidad con la madera. Las resinas a utilizar deben ser compatibles con la madera, ya que de otra forma no se puede formar el material composita, debido a que provocaría un material de pobre resistencia mecánica y un aspecto físico no agradable ni apto para la fabricación de muebles.
- Apariencia física después de la etapa de secado. La apariencia debía resaltar el uso de madera para la elaboración del material, así como dar una apariencia agradable a la vista.

1.2 Selección del aserrín: se llevó a cabo por los siguientes parámetros:

- Precio. Este factor es importante ya que el producto a elaborarse debe ser un material bastante económico. Sin embargo, las empresas que procesen madera pueden utilizar los desechos del mismo para la fabricación del material composita.
- Clase de madera. La clase de madera que se seleccionó fue la de pino, ya que esta es la clase de madera que más se trabaja

en Guatemala y tiene una buena resistencia mecánica (dureza).

Al aserrín se le determinó la humedad y la densidad. La determinación de la humedad se realizó por diferencia de peso: para esto se sometieron ocho muestras de 5 gramos aproximadamente de aserrín a calor (115°C) durante dos horas ó hasta que alcanzaran un peso constante. Para determinar el porcentaje de humedad, se midió la diferencia de peso inicial y final.

La determinación de la densidad se hizo con medida del peso de un volumen de aserrín exacto.

Las diferentes mezclas de aserrín con las resinas, que formaron el material composita, se sometieron a cuatro análisis: resistencia mecánica, resistencia a temperatura, resistencia a absorción de agua y resistencia a exposición al sol. Estos análisis se efectuaron para poder determinar si el material elaborado puede ser utilizado en la elaboración de muebles, y cual es el más adecuado para esta función. El análisis de los resultados se efectuó por medio de métodos estadísticos: Taguchi y Fisher. Estos nos indicaron si existía una diferencia significativa entre los resultados debido a las características de las muestras.

1. Resistencia mecánica. Para el análisis de la resistencia mecánica de cada muestra (dimensiones 20cm largo x 3cm ancho x 1cm espesor), cada una de ellas se colocó entre dos soportes en cada extremo de la tablilla. Luego, se le colocaron a cada muestra la siguiente secuencia de pesos, hasta que la muestra soportará:

- 10lb
- 10lb
- 25lb
- 25lb
- 25lb
- 25lb
- 25lb
- 25lb
- 25lb

- 5b
- 2lb
- 2lb
- 1lb

Los resultados fueron analizados a través del método estadístico de Taguchi y de Fisher (ver Apéndice D, pag. 92).

2. Resistencia a temperatura. Para el análisis de la resistencia a la temperatura, cada muestra (dimensiones 20cm largo x 3cm ancho x 1cm espesor) fue sometida a calor por medio de un horno. La temperatura fue variada de 50°C a 100°C a 150°C a 200°C a 250°C. Observando la temperatura a la que la muestra tuviese cambios físicos ó químicos, por medio de un termómetro digital que posee el horno. Para cada muestra se determinó la temperatura límite que podía soportar.

Los resultados fueron analizados a través del método estadístico de Taguchi y de Fisher (ver Apéndice D, pag. 92).

3. Resistencia a absorción de agua. Para el análisis de la resistencia a la absorción de agua, las muestras (dimensiones 20cm largo x 3cm ancho x 1cm espesor) se sumergieron en agua por períodos de 30min; al finalizar cada período se les midió el cambio en masa por medio de una balanza analítica. Esto se hizo hasta que las muestras llegasen a una masa constante.

Los resultados fueron analizados a través del método estadístico de Taguchi y de Fisher (ver Apéndice D, pag.92).

4. Resistencia al sol. Para el análisis de la resistencia al sol las muestras (dimensiones: 20cm largo x 3cm ancho x 1cm espesor), se expusieron al sol por períodos de una hora; al finalizar cada período se determinó el cambio de masa por medio de una balanza mecánica. Esto se hizo hasta que las muestras llegasen a masa constante.

Los resultados fueron analizados a través del método estadístico de Taguchi y de Fisher (ver Apéndice D, pag.92).

ANEXO H

DISEÑO EXPERIMENTAL

1. Unidad experimental

El factor bajo estudio en este trabajo fue el de muestras de material composita, elaboradas a partir de tres resinas diferentes y sometidas a tres presiones diferentes durante la etapa de secado.

2. Tamaño de la muestra

Se efectuaron 5 repeticiones de cada determinación de resistencias aplicadas en el estudio, para poder así tener un promedio que es más confiable que un solo dato.

3. Parámetros de elaboración del material composita, resina-madera

Los parámetros seleccionados para la elaboración del material composita fueron:

- 3.1 La relación volumen/volumen (resina/madera), esto se hizo por medio de tres pruebas preliminares para cada resina, donde cada prueba tenía una composición diferente y se le medía su resistencia mecánica.
- 3.2 Clases de resina. La selección de la clase de resina puede encontrarse en el apéndice G.
- 3.3 Presiones aplicadas durante la etapa de secado. Las presiones que se usaron fueron 3: ninguna (sólo la atmosférica 0.28lb/in^2), 5.65Kpa y 16.75Kpa .

ANEXO I

VALORES DEL COEFICIENTE F

(Duncan, 1989)

P_2	P	$V_1 = 1$	2	3	4	5	6	7	8
1	0.500	1.00	1.50	1.71	1.82	1.89	1.94	1.98	2.00
	0.100	39.9	49.5	53.6	55.8	57.2	58.2	58.9	59.4
	0.050	161	260	216	225	230	234	237	239
	0.025	648	809	864	900	922	937	948	957
	0.010	4 050	5 000	5 400	5 620	5 760	5 860	5 930	5 980
	0.005	16 200	20 000	21 500	22 500	23 100	23 400	23 700	23 900
	0.001	405 284	500 000	540 379	562 500	576 405	585 937		598 144
2	0.500	0.667	1.00	1.13	1.21	1.25	1.28	1.30	1.32
	0.100	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37
	0.050	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4
	0.025	38.5	39.0	39.2	39.2	39.3	39.3	39.4	39.4
	0.010	98.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4
	0.005	199	199	199	199	199	199	199	199
	0.001	998.5	999.0	999.2	999.2	999.3	999.3		999.4
3	0.500	0.585	0.881	1.00	1.06	1.10	1.13	1.15	1.16
	0.100	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25
	0.050	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85
	0.025	17.4	16.0	15.4	15.1	14.9	14.7	14.6	14.5
	0.010	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5
	0.005	55.6	49.8	47.5	46.2	45.4	44.8	44.4	44.1
	0.001	167.5	148.5	141.1	137.1	134.6	132.8		128.6
4	0.500	0.549	0.828	0.941	1.00	1.04	1.06	1.08	1.09
	0.100	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95
	0.050	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04
	0.025	12.2	10.6	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98
	0.010	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8
	0.005	31.3	26.3	24.3	23.2	22.5	22.0	21.6	21.4
	0.001	74.1	61.3	56.2	53.4	51.7	50.5		49.0
5	0.500	0.528	0.799	0.907	0.965	1.00	1.02	1.04	1.05
	0.100	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34
	0.050	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82
	0.025	10.0	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76
	0.010	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3
	0.005	22.8	18.3	16.5	15.6	14.9	14.5	14.2	14.0
	0.001	47.0	36.6	33.2	31.1	29.8	28.8		27.6
6	0.500	0.515	0.780	0.886	0.942	0.977	1.00	1.02	1.03
	0.100	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98
	0.050	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15
	0.025	8.81	7.26	6.66	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60
	0.010	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10
	0.005	18.6	14.5	12.9	12.0	11.5	11.1	10.8	10.6
	0.001	35.5	27.0	23.7	21.9	20.8	20.0		19.0
7	0.500	0.506	0.767	0.871	0.926	0.960	0.983	1.00	1.01
	0.100	3.39	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75
	0.050	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73
	0.025	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.91
	0.010	12.2	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84
	0.005	16.2	12.4	10.9	10.1	9.52	9.16	8.89	8.68
	0.001	29.2	21.7	18.8	17.2	16.2	15.5		14.6

* Los puntos 0.001 de la tabla I han sido abreviados, con permiso, de la tabla V de R. A. Fisher y F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research* (Edinburgh, Oliver & Boyd Ltd. 1943). El resto de la tabla ha sido abreviado con permiso de Maxine Merrington y Catherine M. Thompson, "Tables of Percentage Points of the Inverse Beta- β Distribution", *American*, Vol. XXXII (1946), pp. 3-88.

6	10	12	15	20	24	30	36	40	48
204	204	207	209	212	213	215	217	218	219
59.9	60.2	60.7	61.2	61.7	62.0	62.3	62.8	63.1	63.3
241	242	244	246	248	249	250	252	253	254
99.3	99.9	99.7	98.5	99.3	99.7	100.1	100.0	100.0	100.0
6 020	6 060	6 110	6 160	6 210	6 235	6 260	6 310	6 340	6 370
24 100	24 200	24 400	24 600	24 800	24 900	25 000	25 300	25 400	25 500
		610 667			623 197				636 619

1.33	1.34	1.36	1.38	1.39	1.40	1.41	1.43	1.43	1.44
9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.48	9.49
19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5
99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
199	199	199	199	199	199	199	199	199	200
		999.5			994.5				999.5

1.17	1.18	1.20	1.21	1.23	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27
5.24	5.23	5.22	5.21	5.18	5.18	5.17	5.15	5.14	5.13
8.21	8.29	8.74	8.79	8.66	8.64	8.62	8.57	8.55	8.53
14.5	14.1	14.3	14.3	14.2	14.1	14.1	14.0	13.9	13.9
27.3	27.2	27.1	26.9	26.7	26.6	26.5	26.3	26.2	26.1
43.9	43.7	43.4	43.1	42.8	42.6	42.5	42.1	42.0	41.8
		128.3			125.9				123.5

1.10	1.11	1.13	1.14	1.15	1.16	1.16	1.18	1.18	1.19
3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.79	3.78	3.76
6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.69	5.66	5.63
8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.36	8.31	8.26
11.7	11.5	11.4	11.2	11.0	10.9	10.8	10.7	10.6	10.5
21.1	21.0	20.7	20.4	20.2	20.0	19.9	19.5	19.5	19.3
		17.1			15.8				14.4

1.06	1.07	1.09	1.10	1.11	1.12	1.12	1.14	1.14	1.15
3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.14	3.12	3.11
4.77	4.47	4.68	4.62	4.56	4.56	4.53	4.43	4.40	4.37
6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.12	6.07	6.02
10.2	10.1	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.20	9.11	9.02
13.8	13.6	13.4	13.1	12.9	12.8	12.7	12.4	12.3	12.1
		26.4			25.1				23.8

1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.12
2.96	2.95	2.90	2.87	2.81	2.82	2.80	2.76	2.74	2.72
4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.74	3.70	3.67
5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	4.96	4.90	4.85
7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.06	6.97	6.88
10.4	10.2	10.0	9.81	9.59	9.47	9.36	9.12	9.00	8.88
		18.0			16.9				15.8

1.02	1.03	1.04	1.05	1.07	1.07	1.08	1.09	1.10	1.10
2.71	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.51	2.49	2.47
3.66	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.30	3.27	3.23
4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.42	4.36	4.25	4.20	4.14
6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.82	5.74	5.65
8.51	8.38	8.18	7.97	7.75	7.65	7.53	7.31	7.19	7.06
		13.7			12.7				11.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0.500	0.490	0.757	0.800	0.815	0.948	0.971	0.988	1.00
	0.100	3.46	3.11	2.92	2.81	2.53	2.67	2.62	2.39
	0.050	5.25	4.46	4.07	3.94	3.69	3.58	3.50	3.44
8	0.025	7.57	6.09	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43
	0.010	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.01
	0.005	14.7	11.0	9.60	8.61	8.30	7.95	7.69	7.50
	0.001	25.4	18.5	15.6	14.4	13.5	12.9	...	12.0
	0.500	0.494	0.749	0.832	0.906	0.939	0.962	0.978	0.990
	0.100	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47
	0.050	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23
9	0.025	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10
	0.010	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47
	0.005	13.6	10.1	8.72	7.96	7.47	7.13	6.88	6.69
	0.001	22.9	16.4	13.9	12.6	11.7	11.1	...	10.4
	0.500	0.490	0.743	0.845	0.899	0.932	0.954	0.971	0.983
	0.100	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.36
	0.050	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07
10	0.025	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85
	0.010	10.0	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06
	0.005	12.8	9.43	8.08	7.34	6.87	6.54	6.30	6.12
	0.001	21.0	14.9	12.6	11.3	10.5	9.92	...	9.20
	0.500	0.484	0.735	0.835	0.888	0.921	0.943	0.959	0.972
	0.100	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24
	0.050	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85
12	0.025	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51
	0.010	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50
	0.005	11.8	8.51	7.23	6.52	6.07	5.76	5.52	5.35
	0.001	18.6	13.0	10.8	9.63	8.89	8.38	...	7.71
	0.500	0.478	0.726	0.826	0.878	0.911	0.933	0.949	0.960
	0.100	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12
	0.050	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64
15	0.025	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20
	0.010	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00
	0.005	10.8	7.70	6.48	5.80	5.37	5.07	4.85	4.67
	0.001	16.6	11.34	9.34	8.25	7.57	7.09	...	6.47
	0.500	0.472	0.718	0.816	0.868	0.900	0.922	0.938	0.950
	0.100	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00
	0.050	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45
20	0.025	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91
	0.010	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56
	0.005	9.94	6.99	5.82	5.17	4.76	4.47	4.26	4.09
	0.001	14.8	9.95	8.10	7.10	6.46	6.02	...	5.44
	0.500	0.469	0.714	0.812	0.863	0.895	0.917	0.932	0.944
	0.100	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94
	0.050	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36
24	0.025	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78
	0.010	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36
	0.005	9.55	6.66	5.52	4.89	4.49	4.20	3.99	3.83
	0.001	14.0	9.34	7.55	6.59	5.98	5.55	...	4.99

9	10	12	15	20	25	30	50	100	∞
1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	1.07	1.08	1.08	1.08
2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.34	2.32	2.29
3.89	3.85	3.80	3.72	3.65	3.62	3.58	3.51	2.97	2.93
4.56	4.50	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.78	3.73	3.67
5.91	5.81	5.67	5.52	5.35	5.28	5.20	5.03	4.95	4.86
7.34	7.21	7.01	6.81	6.61	6.50	6.40	6.18	6.06	5.95
...	...	11.2	...	...	10.3	...	...	...	9.34
1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	1.07	1.07	1.08
2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.21	2.18	2.16
3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.79	2.75	2.71
4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.45	3.39	3.33
5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.48	4.40	4.31
6.54	6.42	6.25	6.05	5.83	5.73	5.62	5.41	5.30	5.19
...	...	9.57	...	...	8.72	...	...	...	7.81
0.992	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.06	1.07
2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.11	2.08	2.06
3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	2.74	2.70	2.62	2.58	2.54
3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.20	3.14	3.08
4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.08	4.00	3.91
5.97	5.85	5.66	5.47	5.27	5.17	5.07	4.86	4.75	4.64
...	...	8.45	...	...	7.64	...	...	...	6.76
0.981	0.989	1.00	1.01	1.02	1.03	1.03	1.05	1.05	1.06
2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	1.96	1.93	1.90
2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.38	2.34	2.30
3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.85	2.79	2.72
4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.54	3.45	3.36
5.20	5.09	4.91	4.72	4.53	4.43	4.33	4.12	4.01	3.90
...	...	7.00	...	...	6.25	...	...	...	5.42
0.970	0.977	0.989	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.05
2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.82	1.79	1.76
2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.16	2.11	2.07
3.12	3.06	2.96	2.86	2.76	2.70	2.64	2.52	2.46	2.40
3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.05	2.96	2.87
4.54	4.42	4.25	4.07	3.88	3.79	3.69	3.48	3.37	3.26
...	...	5.81	...	...	5.10	...	...	...	4.31
0.959	0.966	0.977	0.989	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.03
1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.68	1.64	1.61
2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.95	1.90	1.84
2.84	2.77	2.68	2.57	2.46	2.41	2.35	2.22	2.16	2.09
3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.61	2.52	2.42
3.96	3.85	3.68	3.50	3.32	3.22	3.12	2.92	2.81	2.69
...	...	4.82	...	...	4.15	...	...	...	3.38
0.953	0.961	0.972	0.983	0.994	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03
1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.61	1.57	1.53
2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.84	1.79	1.73
2.70	2.64	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.08	2.01	1.94
3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.40	2.31	2.21
3.69	3.59	3.42	3.25	3.06	2.97	2.87	2.66	2.55	2.42
...	...	4.39	...	...	3.74	...	...	...	2.97

	0.001	0.002	0.005	0.010	0.020	0.050	0.100	0.200	0.500
	0.100	2.88	2.49	2.36	2.24	2.05	1.92	1.82	1.72
	0.050	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27
30	0.020	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65
	0.010	7.56	5.30	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17
	0.005	9.18	6.35	5.24	4.62	4.23	3.95	3.74	3.58
	0.001	13.29	8.77	7.05	6.12	5.53	5.12	4.85	4.65
	0.500	0.451	0.701	0.798	0.849	0.880	0.901	0.917	0.928
	0.100	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77
	0.050	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10
60	0.025	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41
	0.010	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82
	0.005	8.49	5.80	4.73	4.14	3.76	3.49	3.29	3.13
	0.001	11.97	7.76	6.17	5.31	4.75	4.37	4.07	3.87
	0.500	0.458	0.697	0.793	0.844	0.875	0.896	0.912	0.923
	0.100	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72
	0.050	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02
120	0.025	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30
	0.010	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66
	0.005	8.18	5.54	4.50	3.92	3.55	3.28	3.09	2.93
	0.001	11.38	7.31	5.79	4.95	4.42	4.04	3.74	3.55
	0.500	0.455	0.693	0.789	0.839	0.870	0.891	0.907	0.918
	0.100	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67
	0.050	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94
∞	0.025	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19
	0.010	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51
	0.005	7.88	5.30	4.28	3.72	3.35	3.09	2.90	2.74
	0.001	10.8	6.91	5.42	4.62	4.10	3.74	3.44	3.27

	9	10	12	15	20	24	30	60	120	∞
0.948	0.955	0.966	0.978	0.989	0.994	1.00	1.01	1.02	1.02	1.02
1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61	1.54	1.50	1.46	1.46
2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.74	1.68	1.62	1.62
2.57	2.51	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	1.94	1.87	1.79	1.79
3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.21	2.11	2.01	2.01
3.45	3.34	3.18	3.01	2.82	2.73	2.63	2.42	2.30	2.18	2.18
		4.00			3.36				2.59	2.59
0.937	0.945	0.956	0.967	0.978	0.983	0.989	1.00	1.01	1.01	1.01
1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.40	1.35	1.29	1.29
2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.53	1.47	1.39	1.39
2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.67	1.58	1.48	1.48
2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.84	1.73	1.60	1.60
3.01	2.90	2.74	2.57	2.39	2.29	2.19	1.96	1.83	1.69	1.69
		3.37			2.69				1.90	1.90
0.932	0.939	0.950	0.961	0.972	0.978	0.983	0.994	1.00	1.01	1.01
1.68	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.41	1.32	1.26	1.19	1.19
1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.43	1.35	1.25	1.25
2.22	2.16	2.05	1.95	1.82	1.76	1.69	1.53	1.43	1.31	1.31
2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.66	1.53	1.38	1.38
2.81	2.71	2.54	2.37	2.19	2.09	1.98	1.75	1.61	1.42	1.42
		3.02			2.40				1.55	1.55
0.927	0.934	0.945	0.956	0.967	0.972	0.978	0.989	0.994	1.00	1.00
1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34	1.24	1.17	1.09	1.09
1.88	1.83	1.73	1.67	1.57	1.52	1.46	1.32	1.22	1.09	1.09
2.11	2.05	1.94	1.83	1.71	1.64	1.57	1.39	1.27	1.09	1.09
2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.47	1.32	1.09	1.09
2.62	2.52	2.36	2.19	2.00	1.90	1.79	1.53	1.36	1.09	1.09
		2.74			2.12				1.09	1.09

ANEXO J

PROCESO DE ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPOSITA A NIVEL DE PLANTA PILOTO

El proceso de elaboración del material composita consta de etapas que se describen a continuación:

1. PREACONDICIONAMIENTO DE MATERIA PRIMA

El aserrín debe precondicionarse para que este pierda la mayor parte de humedad, la cual debe estar entre 0 y 10%. Para esto, se secará el aserrín colocado en bandejas de metal, con 1cm de espesor aproximadamente, durante 1 hora y 30 minutos, ó hasta que llegue a la humedad dicha anteriormente. El aserrín se seca a una temperatura máxima de 115°C.



2. FORMULACIÓN

Durante esta etapa se determinan las cantidades de resina y de aserrín que se utilizarán, según sea la composición del material composita (40%v/v, 50%v/v) y de la cantidad del mismo que se vaya a elaborar. También se determina la cantidad de catalizador (Pmek) que se va a utilizar; este se usa en una proporción del 1% p/p para cualquiera de los tres tipos de resina utilizados en este trabajo. Para la medición de las cantidades a usar es necesario el uso de beakers, cubetas para medición con volúmenes establecidos, probetas y balanza.



3. MEZCLADO

Para la mezcla es necesario el uso de un mezclador de metal con paletas de carcasa cilíndrica. Durante esta etapa, el aserrín, la resina y el catalizador se mezclan, en ese orden, hasta que no haya partes de aserrín sin mezclar. Esta etapa dura aproximadamente 10 minutos.



4. COLOCACIÓN DEL MATERIAL COMPOSITA EN MOLDES

Ya que el material esté bien mezclado, se traslada a una tolva y se distribuye el material en moldes, con cuidado que el material ocupe todo el molde. Estos moldes deben estar previamente engrasados para evitar que el material se adhiera a estos.



5. ETAPA DE CURADO O SECADO

Durante esta etapa se le proporciona al molde una presión, ya sea por medio de prensas mecánicas ó por medio de peso. En este trabajo se usaron pesos de 22.2N y 88.9N para proporcionar las presiones requeridas de 5.65Kpa y 16.75Kpa respectivamente. A continuación, el material se deja secar por aproximadamente 3 horas; para el material elaborado a partir de resina poliéster (nombre comercial) el tiempo de secado es menor, 1 hora y 30 minutos aproximadamente. Si el material no es sometido a presión durante esta etapa, se deja secar, también, el tiempo especificado anteriormente.



6. DESMOLDE

Para el desmolde es necesario el uso de una cuña, que se introduce entre el material y el molde . Por medio de esta , se proporciona la presión necesaria para desmoldar el material composita ya curado. Si el material composita se adhiere al molde , es necesario el uso de un martillo para introducir la cuña entre el material y el molde.

ANEXO K

ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico se tomaron en cuenta los siguientes datos:

Materiales	Precio	Rendimiento en la elaboración Del material composita
Resina Poliéster	Q.58.50/galón	0.010m ³
Resina Mármol	Q.60.25/galón	0.010m ³
Resina Cristal	Q.115.25/galón	0.010m ³
Aserrín	Q.1.00/saco	0.5m ³
Aceite y/o manteca	Q. 10.00	0.010m ³
Moldes (10)	Q. 100.00	

A continuación se listan los costos observados para la elaboración de tres tipos de material composita (material composita de resina poliéster, de resina mármol y de resina cristal):

■ Material Composita con el uso de Resina Poliéster (50% V/V)

Resina Poliéster:	$Q. 58.50/0.010m^3 =$	$Q.5850.00/m^3$
Aserrín	$Q. 1.00/0.5m^3 =$	$Q. 2.00/m^3$
Aceite y/o Manteca	$Q.10.00/0.010m^3 =$	$Q.1000.00/m^3$
Moldes		$Q. 100.00/m^3$

COSTO TOTAL **Q.6952.00/m³**

■ Material composita que utiliza Resina Mármol (40% V/V)

Resina Mármol:	$Q.60.25/0.010m^3 =$	$Q.6025.00/m^3$
Aserrín	$Q. 1.00/0.5m^3 =$	$Q. 2.00/m^3$
Aceite y/o Manteca	$Q.10.00/0.010m^3 =$	$Q.1000.00/m^3$
Moldes		$Q. 100.00/m^3$

COSTO TOTAL **Q.7127.00/m³**

■ Material composita que utiliza Resina Cristal (40% V/V)

Resina Cristal:	$Q.115.25/0.010m^3 =$	$Q.11525.00/m^3$
Aserrín	$Q. 1.00/0.5m^3 =$	$Q. 2.00/m^3$
Aceite y/o Manteca	$Q.10.00/0.010m^3 =$	$Q.1000.00/m^3$
Moldes		$Q. 100.00/m^3$

COSTO TOTAL **Q.12627.00/m³**

ANEXO L

NOTACIÓN

°C	grados Celcius
cps.	centipoises
df	grados de libertad
g	gramos
Kg	Kilogramos
Kj	Kilojoule
Kpa	Kilopascal (Kg/ms^2)
Lb	Libras
ML	mililitros
MS	media de cuadrados o varianza
PP	presión
Pmek	Peróxido de metil etil cetona
R	resina
RP	interacción resina-presión
SS	suma de cuadrados
SS _e	suma de cuadrados para el error

SÍMBOLOS GRIEGOS

μ	densidad de la madera
σ	desviación estándar

