

**ELABORACIÓN DE COMPOSITES A BASE DE RESINA POLIÉSTER,
POLIESTIRENO POSTCONSUMO Y ASERRÍN**



**Francy Juliana Caicedo Moreno
Carol Sofia Salamanca Vianchá**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2011**

**ELABORACIÓN DE COMPOSITES A BASE DE RESINA POLIÉSTER,
POLIESTIRENO POSTCONSUMO Y ASERRÍN**

**Francy Juliana Caicedo Moreno
Carol Sofia Salamanca Vianchá**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingenieras Químicas**

**Director
José Carlos Gutiérrez Gallego
Químico M. Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2011**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminarnos en cada etapa de nuestras vidas, darnos el entendimiento, sabiduría, salud, y sobre todo la confianza que nos brinda para poder lograr cada una de las metas que nos proponemos.

A nuestro director de tesis José Carlos Gutiérrez Gallego por permitirnos trabajar con él y darnos la oportunidad de aprender cosas nuevas. Por brindarnos su apoyo incondicional y aportarnos todo su conocimiento.

A la Universidad Industrial de Santander y en especial a la Facultad de Ingeniería Química por permitirnos ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país.

A nuestros compañeros de laboratorio, Luis Ernesto, Diana, Martha, Lina, Jorge, Elizabeth, por ayudarnos siempre que necesitamos cuando teníamos alguna dificultad.

A Eduardo, técnico del Laboratorio de la escuela de Ingeniería Química de la, por su valiosa colaboración.

A todas las personas que con su colaboración, nos ayudaron a terminar con un gran éxito nuestro proyecto de grado.

Dedicatoria

A Dios que a través de su palabra y su amor me ha brindado fortaleza y sabiduría en cada segundo de mi existir.

A mis Padres Alba y Hugo, que con su amor, enseñanzas, valores, apoyo incondicional, me ofrecieron la posibilidad de formarme como una persona humana, sensible, educada y transmitieron a mi ser el gran valor de ser madre.

A mi Chiquita hermosa, María Lucía que es el motor de mi vida, el mejor regalo que Dios me ha entregado. A Camilo Andrés que con su gran inteligencia y paciencia me ha impulsado a seguir con todos mis objetivos, porque ha estado ahí de mi mano durante tantos años.

A mis hermanos, Sebastián y Juan Felipe que con sus personalidades, me han enseñado el gran valor de compartir y de su compañía.

A toda mi Familia, para los que aún me acompañan y para los que ahora me cuidan desde el cielo.

A mis amigas, porque la amistad no sólo se mide en los momentos de alegría, en los difíciles, con problemas y desilusiones también, porque las sonrisas, canciones, y fiestas, son un pedacito de mi vida ahora.

A Sofy, que no sólo fue mi compañera de trabajo, fue mi amiga, un gran apoyo y complemento de ideas en este camino.

Todos son y serán siempre una parte de mí, porque yo soy la conglomeración de un pedacito de cada uno de ustedes. Los adoro.

Francy Juliana

Dedicatoria.

A Dios por ayudarme a llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, por demostrarme su infinito amor y bondad.

A mis papas Mariela Vianchá y Manuel Salamanca por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis hermanos Adriana, Eduard, Ihen y Mónica por siempre darme su cariño y amor, por sus consejos y ejemplos.

A mis sobrinos María Paz, Juliana y Juan Manuel por ser tan especiales y demostrarme lo mucho que me quieren.

A Víctor Miranda porque siempre me acompañó en todos los momentos difíciles por los que pase y me alentó a seguir adelante.

A mis amigas; Lorena, Paola, Yady, Katherine, Kathe, Liseth, Diana, Nidia, Maye por compartir muchos momentos agradables conmigo, alegrías tristezas, porque aprendí muchas cosas de ellas y me brindaron mucho cariño.

A mi compañera de tesis Juliana por ser mi amiga, por entenderme, por ayudarme en muchos momentos de mi vida y porque gracias a que nos entendimos muy bien logramos sacar la tesis adelante a pesar de las dificultades.

Carol Sofía

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	18
2.	MARCO TEÓRICO	19
2.1	Composites madera plástica	19
2.2	Aserrín.....	19
2.4	Poliestireno Cristal	19
2.5	Resina Poliéster:.....	20
2.6	Polímeros termoestables	20
2.7	Materiales compuestos.....	20
3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	21
3.1	Acondicionamiento de materias primas	21
3.1.1	Adecuación del aserrín.....	21
3.1.2	Preparación de la dispersión de poliestireno cristal postconsumo en estireno monómero	22
3.1.3	Pre aceleración de la resina poliéster virgen (RPP)	22
3.2	Elaboración de los aglomerados	22
3.2.1	Aglomerados con resina virgen, postconsumo e inhibidor de flama	22
3.3	Caracterización de los aglomerados	23
3.3.1	Pruebas de resistencia química.....	23
3.3.2	Pruebas de propiedades mecánicas	24
3.4	Determinación de densidad aparente	24
3.5	Test de llama	24
3.6	Estructura interna	24
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	25
4.1	Materias primas	25
4.2	Producción de Composites	25
4.3	Resistencia química.....	29
4.4	Propiedades Mecánicas	32
4.4.1	Ensayo de compresión	32
4.4.2	Ensayo de Flexión.....	34

4.4.3 Ensayo de Impacto	36
4.4.4 Dureza	36
4.5 Densidad	37
4.6 Test de llama	39
4.7 Estructura interna	40
5. CONCLUSIONES	41
6. RECOMEDACIONES	42
7. BIBLIOGRAFÍA.....	43
8. ANEXOS	45
ANEXO A. ENSAYO A COMPRESIÓN	45
ANEXO B. ENSAYO DE FLEXIÓN	46
ANEXO C. ENSAYO DE IMPACTO	49

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema elaboración de composites.	21
Figura 2. Representación en dos dimensiones de curado de un termoestable. a)Monómeros, b) Crecimiento lineal y ramificaciones por debajo del punto del gel, c) Formación de un gel, reticulación incompleta, d) Termoestable, curado total. (de Turi, 1981). ¹	27
Figura 3. Representación esquemática de las reacciones elementales que pueden tener lugar en la polimerización radicalaria de una resina de poliéster insaturado (de Stevenson 1986).....	28
Figura 4. Reacción química, hidrólisis ácida de la Celulosa	29
Figura 5. Diagrama convencional esfuerzo - deformación	32
Figura 6. Esfuerzo teniendo en cuenta la granulometría.	34
Figura 7. Resistencia a la Flexión teniendo en cuenta la granulometria.	35
Figura 8. Energía vs granulometria	36
Figura 9. Variación de la densidad con respecto al tamaño de partícula de los aglomerados.	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aglomerados de resina virgen y aserrín.	26
Tabla 2. Aglomerados con resina virgen y poliestireno postconsumo.	26
Tabla 3. Aglomerados con resina virgen, postconsumo e inhibidor de flama	27
Tabla 4. Propiedades del ensayo de compresión.	33
Tabla 5. Propiedades valoradas del ensayo de Flexión.	34
Tabla 6. Resultados del ensayo de impacto.	36
Tabla 7. Dureza de los aglomerados.	37
Tabla 8. Densidad de los aglomerados.	38

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Aserrín, Granulometría <70,50 y 30.	25
Imagen 2. Poliestireno Postconsumo Preacelerado.....	25
Imagen 3. Resina Poliéster Pre acelerada (RPP)	25
Imagen 4. Estructura interna de los aglomerados después de estar en contacto con los ácidos. (de izquierda a derecha: muestra 35 en HCl, muestra 36 en H ₂ SO ₄ y muestra 39 en HNO ₃)	30
Imagen 5. Aglomerados en presencia de HCl, HNO ₃ Y H ₂ SO ₄	30
Imagen 6. Aglomerados en presencia de NaOH.....	31
Imagen 7. Estructura interna de los aglomerados después de estar en contacto con los ácidos. (de izquierda a derecha: muestra 35, muestra 36 y muestra 39 en NaOH al 10%).....	31
Imagen 8. Aglomerados en presencia de NaCl.....	31
Imagen 9. Estructura interna de los aglomerados después de estar en contacto con los ácidos.(de izquierda a derecha: muestra 35, muestra 36 y muestra 39 en NaCl al 10%).....	32
Imagen 10. Probetas antes y después del ensayo de compresión (en su orden, de izquierda a derecha; <70 (65:35), 50 (65:35) y 30 (65:35).....	33
Imagen 11. Probetas antes y después del ensayo de flexión (en su orden, de izquierda a derecha; <70 (65:35), 50 (65:35) y 30 (65:35).....	35
Imagen 12. Ensayo de Dureza (Shore).	37
Imagen 13. Prueba de Densidad usando el principio de Arquímedes.	37
Imagen 14. Test de llama.....	40
Imagen 15. Estructura interna de los aglomerados (de acuerdo a su granulometría y composición, en su orden de izquierda a derecha; <70 (65:35), 50 (65:35) y 30 (65:35).	40
Imagen 16. Aglomerados con las cargas húmedas.....	42

LISTA ABREVIATURAS

CPM	Composites madera plástica
P S	Poliestireno
RPP	Resina poliéster pre acelerada
MEK	Peróxido de metiletilcetona

RESUMEN

TÍTULO: ELABORACIÓN DE COMPOSITES A BASE DE RESINA POLIÉSTER, POLIESTIRENO POSTCONSUMO Y ASERRÍN. *¹

AUTORES: CAICEDO MORENO, Francy Juliana, y, SALAMANCA VIANCHÁ, Carol Sofia. **

PALABRAS CLAVES: Resina Poliéster Preacelerada (RPP), Poliestireno Postconsumo, Aserrín, Composites de Madera Plástica, Tamaño de partícula, Propiedades físicas, químicas y mecánicas,

Los compuestos elaborados en este proyecto se enfocaron en la reutilización de un polímero como el poliestireno cristal ya que alargando su vida útil en un compuesto reforzado con fibras de madera, se da un valor agregado. Del mismo modo es amigable con el medio ambiente.

En la elaboración de los aglomerados se llevan a cabo diferentes etapas. Inicialmente se mezclan las materias primas. Se agrega una cantidad constante de MEK, y se lleva a moldes y se comprimiendo por cerca de 15 minutos en una prensa hidráulica. Luego de esto se dejan a temperatura ambiente durante 2 horas y se trasladan a una estufa para que ocurra la etapa de curado a 60°C entre 4 y 6 horas. Este procedimiento se tiene en cuenta en cada uno de los ensayos hechos a los composites. Primero se hicieron pruebas con RPP y aserrín después de ensayo sustituyendo parte de la resina pre acelerada por poliestireno postconsumo. Igualmente se reemplaza una porción de aserrín por carbonato de calcio que es usado con inhibidor de flama. Se evaluaron las propiedades químicas y físico- mecánicas, considerando la granulometría de la fibra de madera.

Se logró obtener materiales compuestos que en su composición aprovecharan al máximo la reutilización del poliestireno cristal con una composición de matriz polimérica 65:35, donde la mayor cantidad es de RPP y la menor de Poliestireno postconsumo, del mismo modo el tamaño de partícula influyó, tanto en la proporción carga-matriz polimérica, como en las propiedades mecánicas del aglomerado. Por último se observó el gran aporte que hace la matriz polimérica a las propiedades químicas del composite.

¹ * Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico- Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: José Carlos Gutiérrez Gallego. Químico M Sc.

ABSTRACT

TITLE: PREPARATION OF COMPOSITES MADE OF POLYESTER RESIN, POLYSTYRENE POST-CONSUMPTION AND SAWDUST. ^{*2}

AUTHORS: CAICEDO MORENO, Francy Juliana, y, SALAMANCA VIANCHÁ, Carol Sofia. ^{**}

KEY WORDS: Pre-accelerate Polyester Resin (PPR), polystyrene post-consumption, sawdust, wood plastic composite, particle size, chemical, physical and mechanical properties.

The composites developed in this thesis focused on the reuse of a polymer such as polystyrene glass, given that extending its life in a fiber reinforced composite wood, it adds value. And it is also friendly with the environment.

In preparing the agglomerates, different stages were carried out. Initially the raw material is mixed. A constant amount of MEK is added; the mix is taken into molds, and with a hydraulic press is compressed during 15 minutes. After this, the material was left at room temperature for 2 hours. Then, the curing step was realized between 4 and 6 hours at a temperature of 60 °C. This procedure was verified in each of the experimental tests carried out on the composites. First, some tests on the PPR and sawdust were made. After, the pre-accelerated resin was replaced for polystyrene post-consumption and some tests were executed. Likewise, a portion of sawdust was replaced for calcium carbonate used as a flame inhibitor. Considering the granulometry of the wood fibers, the chemical and physico-mechanical properties were evaluated.

A composite whose composition uses the maximum reuse of polystyrene glass with a polymer matrix composition 65:35 was obtained. Thus, the largest amount was of RPP and the lowest amount was of polystyrene post-consumption. In the same way, the particle size influenced in both, the load-matrix polymer ratio, and the mechanical properties of the agglomerate. Finally, a contribution made by the polymer matrix to the chemical properties of the composite was observed.

² *Degree Project

^{**}Physical- Chemistry Engineerings Faculty. Chemical Engineering School. Director: José Carlos Gutiérrez Gallego. Chemical M. Sc.

1. INTRODUCCIÓN

En el laboratorio de Polímeros y Química Industrial de la escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander, se ha buscado implementar una forma para recuperar remanentes de la industria. Teniendo en cuenta el gran volumen de desechos lignocelulósicos que se rechazan durante el proceso de explotación y elaboración de la madera; el auge económico y mercantil que se han desarrollado en las últimas décadas alrededor de los materiales compuestos, y buscando un reingreso al ciclo de vida útil a materiales ya usados, se quiso utilizar, la concepción de los CPM, considerados como un nuevo material con matriz polimérica reforzadas con fibras orgánicas, proporcionando ventajas de costo, durabilidad e impacto ambiental.

Dando un valor agregado de los composites elaborados en este proyecto, se ha enfocado la atención, en la reutilización de un polímero termoestable como lo es el Poliestireno cristal, alargando su vida útil en un compuesto reforzado con fibras de madera, donde se aglomeran las partículas de aserrín, y la RPP polimeriza. Se investigó la composición más adecuada para el compuesto, tanto de la cantidad de carga, como de polímero. Así mismo la cantidad de RPP que se podría reemplazar con PS postconsumo, dando como resultado la proporción de 65 % de RPP y 35 % de PS de cristal (% en peso). Las propiedades físicas, químicas, mecánicas y estructurales también fueron evaluadas dependiendo la granulometría del aserrín, se obtuvieron provechosos resultados en ellas, gracias a su grado de compactación y curado.

En el trayecto de la investigación se compararon las propiedades de los composites con las características propuestas por la industria y las normas; llegando a resultados favorables. Ya que las bondades de estos materiales son amplias; permitiendo implementarse en aplicaciones a nivel industrial y la vida cotidiana.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Composites madera plástica: La madera plástica es un material de relleno en una matriz polimérica, producida a altas presiones y temperaturas, se compone de una mezcla de polímero reciclado y aserrín. Esta sirve como sustituto de la madera natural, también es amigable con el medio ambiente y es una alternativa para reducir la tala de bosques, convirtiéndose así en un material ideal para ser usado en parques, zonas urbanas o al aire libre entre otras.

2.2 Aserrín: Se llama aserrín a aquel residuo que es resultado del procesamiento de la madera, en la fase de corte, sus propiedades químicas y físicas son dadas por este material proveniente de la naturaleza.

La estructura Física de la madera está compuesta de forma general por tres grupos de sustancias, las que constituyen la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa, poliosas (hemicelulosas) y ligninas, el otro grupo lo conforman las sustancias llamadas extraíbles, estas son de baja masa molecular y se hallan en menor cantidad y por último las sustancias minerales.

2.3 Estireno: Se obtiene al reaccionar benceno con etileno, y luego se realiza una deshidrogenación. Se encuentra en estado líquido, es incoloro y de olor fuerte. Es soluble en alcohol y éter, e insoluble en agua; al exponerse a la luz o al calor se polimeriza, o también se le adiciona peróxidos generando calor durante su polimerización. Este debe estabilizarse para su almacenamiento ya que tiene posibilidades de explosión. También es un material que es tóxico por inhalación o ingestión, cuyo límite máximo en ambiente de trabajo es de 50 partes por millón.

2.4 Poliestireno Cristal: Es también llamado Poliestireno de uso general (General Purpose Polystyrene, GPPS), este homopolímero se obtiene directamente de la polimerización del estireno. Es de estructura amorfa, se considera uno de los

plásticos de mayor transparencia y brillo en la superficie. Sin embargo también presenta alta rigidez y fragilidad.

Se fabrican piezas de diseños complicados por el método de inyección y por extrusión, se producen perfiles y lámina para termo formado o cancelería.

2.5 Resina Poliéster: Las resinas son sustancias líquidas que pueden pasar al estado sólido mediante una reacción química provocada por un agente externo. Por si solas no tienen la resistencia suficiente, es por eso que necesitan de refuerzos de otros materiales, que son los que aportan la flexibilidad y dureza. Estas se presentan en forma de polímeros termoestables que son los empleados en materiales compuestos.

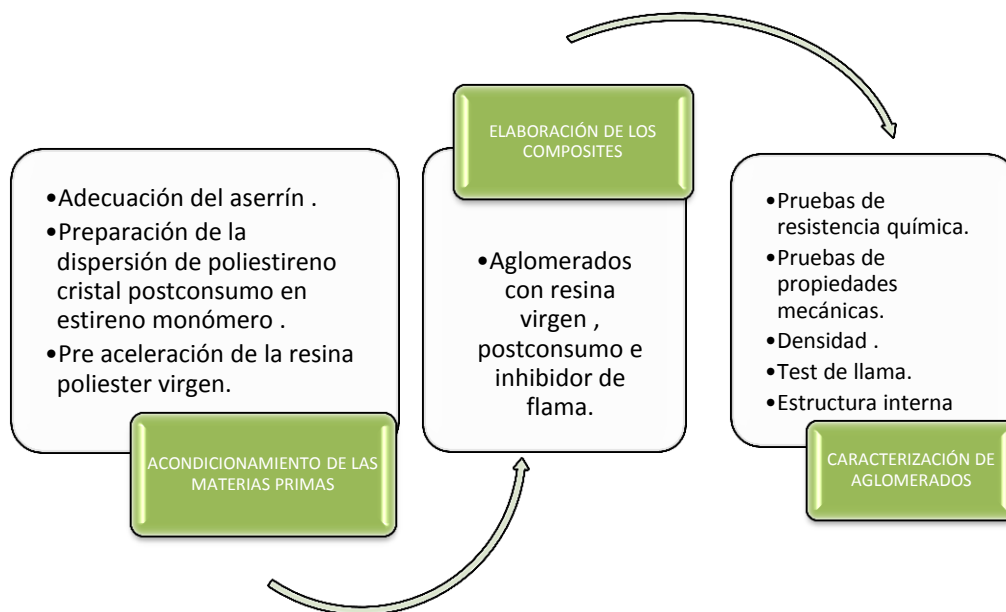
2.6 Polímeros termoestables: Son aquéllas que cambian irreversiblemente bajo la influencia del calor, de la luz, de agentes fotoquímicos y de agentes químicos, pasando de un material fusible y soluble a otro no fusible e insoluble, por la formación de un retículo tridimensional covalente. En el proceso reactivo de entrecruzamiento o de curado, las cadenas poliméricas reaccionan entre sí y, a la vez, con un agente entrecruzador, formándose macromoléculas orientadas en todas las direcciones y con numerosos enlaces covalentes entre ellas. El retículo tridimensional formado confiere al material curado unas propiedades mecánicas, térmicas y de resistencia química muy elevadas que los hacen aptos para múltiples aplicaciones.

2.7 Materiales compuestos: Son aquellos materiales que originalmente eran dos o más y por medio de diferentes procesos se convierten en uno, siendo sus propiedades distintas a las propiedades de los materiales originales.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el siguiente esquema (*figura 1.*) se muestra el proceso utilizado en la fabricación de los composites de madera plástica, donde se tiene en cuenta desde la preparación de las materias primas, hasta la formulación del aglomerado final y medición de sus propiedades. En la elaboración de estos, se atiende a las recomendaciones para cada una de las sustancias utilizadas dadas por las fichas de seguridad, ya que el manejo de estas requiere cierto cuidado al ser consideradas nocivas para la salud a corto y largo plazo.

Figura 1. Esquema elaboración de composites.



Fuente: Autoras

3.1 Acondicionamiento de materias primas

3.1.1 Adecuación del aserrín: las aserraduras contienen partículas minúsculas de madera producidas durante el proceso y manejo de ésta. Es uno de los residuos de la industria maderera más abundantes, por ello se busca una solución para el aprovechamiento de aquel desecho. En la industria maderera de

ornamentación del centro de Bucaramanga, el aserrín fino es considerado como remanente, siendo este utilizado como materia prima del proyecto. Se llevó a cabo una etapa de análisis de tamices para determinar la distribución de tamaños de partícula. Posteriormente fue sometido a una temperatura de 60 °C durante 4 horas para reducir su humedad relativa inicial

3.1.2 Preparación de la dispersión de poliestireno cristal postconsumo en estireno monómero: Más del 70% de estireno se utiliza en la producción de este tipo de polímeros, este monómero actúa como disolvente de la cadena polimérica, el “poliestireno cristal” es comúnmente usado en el ámbito industrial, una de estas aplicaciones es la fabricación de artículos domésticos, desechables, empaques de cassettes, divisiones de baños, esta última es aprovechada en esta ocasión, para diluirlos en el respectivo monómero. Así mismo se pre acelera añadiendo a la disolución 5 % p/p de Naftenato de Cobalto.

3.1.3 Pre aceleración de la resina poliéster virgen (RPP): En el proceso de polimerización y curado de la resina, es indispensable un agente promotor o activador, generalmente una sal órgano metálica como el Naftenato de Cobalto cumple esta función. Se prepara una solución adicionando a la resina la sustancia promotora disuelta en estireno, esta se agita hasta obtener una mezcla de color morado y una viscosidad homogénea. 65 % Resina poliéster virgen, 30% estireno monómero y 5% Naftenato de Cobalto son la proporciones en % p/p utilizadas en dicha mezcla.

3.2 Elaboración de los aglomerados

3.2.1 Aglomerados con resina virgen, postconsumo e inhibidor de flama:

Inicialmente se procedió a hacer ensayos de los aglomerados, adicionando a la mezcla diferentes cantidades de RPP y aserrín, incorporando cada una de las partículas de aserrín con la resina, hasta encontrar la consistencia requerida, enseguida se agregó una cantidad constante del catalizador MEK, y se observó que la mezcla fuese totalmente homogénea para que se lleve a cabo el proceso

de polimerización. Con esto se obtuvo la cantidad adecuada de resina y carga para cada granulometría.

Una vez elaborada la mezcla, se llevó a los moldes y se comprimió por cerca de 15 minutos con ayuda de la prensa hidráulica marca CARVER modelo C serie 22576-514. Posteriormente se dejó durante dos horas a temperatura ambiente, allí se cumplió la etapa de fraguado. Luego se trasladó a la estufa a una temperatura de 60 °C entre 4 y 6 horas, este periodo equivale a aproximadamente 30 días de curado. Por último se realizó el desmolde del aglomerado.

El valor agregado de los composites elaborados en este proyecto se enfoca en la reutilización de un polímero como el Poliestireno cristal, alargando su vida útil en un compuesto reforzado con fibras de madera, donde este conglomerara las partículas de aserrín, y la RPP polimeriza. El % p/p de resina y aserrín obtenido de las primeras muestras se mantienen y se prosigue a estimar diferentes composiciones de la resina total del aglomerado tomando la RPP como aquella que tiene que ir en una mayor cantidad y el Poliestireno diluido en menor. Las proporciones de resina y poliestireno evaluadas fueron 70:30, 65:35 y 60:40. Como último componente, fue agregado al material compuesto Carbonato de Calcio sustituyendo una parte de la carga, considerando que éste podría causar una inhibición de flama al ser sometido al fuego. Por último se escogió la composición de RPP y PS postconsumo de 65:35 para hacer las respectivas pruebas de caracterización.

3.3 Caracterización de los aglomerados

3.3.1 Pruebas de resistencia química: teniendo en cuenta que los ambientes a las que son expuestos los compuestos pueden ocasionar daños en su estructura interna y externa, se llevaron a cabo diferentes pruebas hechas a temperatura ambiente en soluciones al 10% en peso de NaOH, HCl, H₂SO₄, HNO₃ y NaCl durante un periodo de 15 días, de tal manera que se pudieran evidenciar algún deterioro en su apariencia y contextura.

3.3.2 Pruebas de propiedades mecánicas: los materiales cuando están en servicio son sometidos a fuerzas o cargas. Por esta razón se hicieron ensayos de compresión, flexión e impacto que permitieron conocer las características mecánicas de los composites.

3.3.2.1 Ensayo de compresión: las probetas de forma cilíndrica, con una longitud igual al doble de su diámetro se someten a una carga de compresión en forma axial y centrada en la maquina universal de ensayos MTS 810 AMSLER siguiendo la norma ASTM D 695 (ver ANEXO A).

3.3.2.2 Ensayo de flexión: los especímenes empleados tienen forma de tableta rectangular y sobre ellas se aplica una fuerza perpendicular al eje longitudinal. Se tuvo en cuenta la norma ASTM D790 (ver ANEXO B) y se realizó en la maquina universal de ensayos MTS 810 AMSLER.

3.3.2.3 Ensayo de impacto: el comportamiento del material se determinó impactando con una carga de choque a tabletas rectangulares. Se realizó con un péndulo Charpy, en el equipo de ensayo TREBEL atendiendo la norma ASTM D756 (ver ANEXO C).

3.3.2.4 Ensayo de dureza se efectuó con un durómetro Shore tipo D midiendo la deformación en el punto de presión, así se obtuvo el grado de dureza.

3.4 Determinación de densidad: tomando el principio de Arquímedes, se usó un líquido inerte y sumergiendo el aglomerado se presupone su volumen. Hallada la relación entre el peso seco del composites y el volumen, se obtuvo su densidad.

3.5 Test de llama: se estudió el comportamiento de los aglomerados al estar en contacto con el fuego.

3.6 Estructura interna: se tomaron fotografías de los aglomerados utilizando el fenómeno de reflexión de la luz, proveniente de una led de alta intensidad, principio que se usa en el estereoscopio, registrando una imagen con profundidad.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Materias primas

En el tamizado del aserrín se retiran las virutas de mayor tamaño, usando diferentes mallas, obteniendo tres granulometrías, la malla (m) 30 con un diámetro de partícula (d.p) igual a $600\mu\text{m}$, así mismo la m. 50 con d.p $300\mu\text{m}$, y la m. < 70 con d.p $\leq 212\mu\text{m}$, consiguiendo un material fino y seco como se observa en la imagen 1.



**Imagen 1. Aserrín,
Granulometría <70,50 y 30.**



**Imagen 2. Poliéstireno
Postconsumo Preacelerado.**



**Imagen 3. Resina
Poliéster Pre acelerada
(RPP)**

Fuente: Autores

El Poliéstireno postconsumo se diluyó adecuadamente en el estireno, este monómero participa en la polimerización de la resina como agente de entrecruzamiento y queda incluido en las cadenas poliméricas del producto final. Se obtuvo una disolución con una apariencia y viscosidad cercana a la de la resina poliéster. En la imagen 2 se muestra que al ser pre acelerado, se tornó de un color violeta oscuro.

En la pre aceleración de la resina virgen, al diluir el Naftenato de cobalto en el estireno, se impidió la formación de partículas pequeñas de cobalto, logrando una mezcla uniforme de color lila con una viscosidad menor a la resina poliéster original (ver imagen 3).

4.2 Producción de Composites

En la *tabla 1*. Se puede apreciar las diferentes composiciones utilizadas, junto con el tamaño de partícula y la presión, de esta última se ensayaron dos diferentes.

Finalmente se eligió una muestra de cada granulometría que cumplieran con la condición de adherencia, rigidez, dureza, que no existiera exudación de resina y a su vez se reutilizara en mayor medida el poliestireno ya consumido. De igual forma la presión a la cual, se obtuvo el aglomerado con una matriz polimérica necesaria que favoreciera la compactación de partículas.

Tabla 1. Aglomerados de resina virgen y aserrín.

Número de muestra	6	9	11
Granulometría	< 70	50	30
% P/P RPP	60	57,69	55,55
% P/P de aserrín	40	42,31	44,44
Presión (lb/pulg²)	27,1884	27,1884	27,1884

Las proporciones de resina y poliestireno evaluadas fueron 70:30, 65:35 y 60:40, de allí se tomaron los aglomerados que tuviesen las características propias del compuesto, esto se revela en la *tabla 2*.

Tabla 2. Aglomerados con resina virgen y poliestireno postconsumo.

Número de muestra	13	18	25	15	21	27	16	22	29	
Granulometría	< 70			50			30			
% P/P Matriz polimérica	% Global	60%			57,69%			55,55%		
	RPP	70	65	60	70	65	60	70	65	60
	PS postconsumo	30	35	40	30	35	40	30	35	40
% P/P de aserrín	40	40	40	42,31	42,31	42,31	44,44	44,44	44,44	

Aunque todos los ensayos dieron resultados positivos en curado y polimerización del composites, no se toma en cuenta la posibilidad de usar las composiciones 60:40 y 70:30, ya que si bien la estructura de la 60:40 se podría considerar aceptable, su aspecto estético no era tan agradable pues mostraba una apariencia un poco arenosa, debido a que la cantidad añadida de PS postconsumo excede la porción necesaria para que las partículas se adhieran unas con otras. El PS postconsumo se usa para la conglomeración de los granos y no para el proceso químico de curado. Los Aglomerados de proporción 70:30 y 65:35 mostraron características que se acercaron al resultado que se quería obtener, sin embargo

los compuestos de 65:35 en términos de ahorro y reutilización de PS cristal son la mejor opción para el objetivo de este proyecto.

El Carbonato de Calcio juega un papel importante en la formulación final del aglomerado porque actúa como inhibidor de flama. La *tabla 3*. Proporciona información de la composición definitiva de los composites escogidos por poseer todas las cualidades propias del compuesto pensado.

Tabla 3. Aglomerados con resina virgen, postconsumo e inhibidor de flama

Número de muestra		35	36	39
Granulometría		< 70	50	30
% P/P Matriz polimérica	% Global	60%	57,69%	55,55%
	RPP	65	65	65
	PS postconsumo	35	35	35
% P/P de aserrín		35	37,31	39,44
% P/P de carbonato de calcio		5	5	5

En la fabricación del material compuesto se utilizaron varias sustancias que al interactuar desencadenan diversos procesos reactivos simultáneamente.

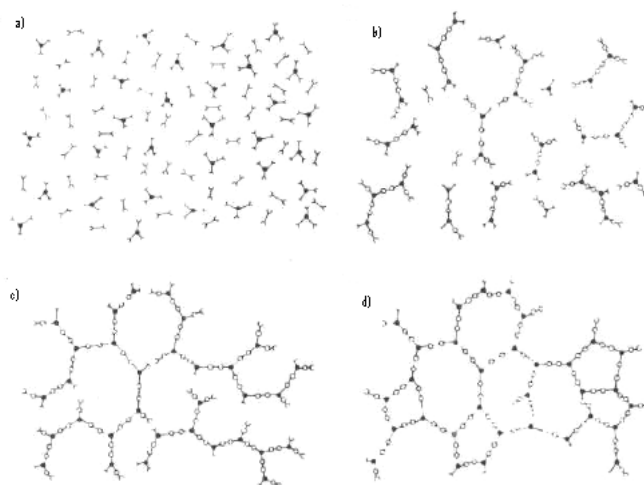


Figura 2. Representación en dos dimensiones de curado de un termoestable. a) Monómeros, b) Crecimiento lineal y ramificaciones por debajo del punto del gel, c) Formación de un gel, reticulación incompleta, d) Termoestable, curado total. (de Turi, 1981).¹

¹XAVIER, Juan. Estudio de la eficiencia de sistemas químicos de iniciación del curado de resinas de poliéster insaturado. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 1993.p.8. 6 Julio 2011. <<http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/6686/06Txrj6de14.pdf?sequence=6>>

Durante el proceso de curado, las cadenas de poliéster insaturado se unen entre sí y con un monómero reticulado, formándose un retículo tridimensional insoluble e infusible. El retículo formado le confiere al material unas propiedades mecánicas y de resistencia química muy elevada y adecuada para las diferentes aplicaciones. El proceso reactivo de endurecimiento o curado tiene lugar en tres etapas: la iniciación, la propagación y la terminación. Puede iniciarse, generalmente, de dos maneras distintas: por medio de una catálisis térmica o por un proceso de catálisis inducida químicamente. Ambos métodos dan, como resultado, un proceso de polimerización iniciado por medio de radicales libres. En la catálisis química, usada en desarrollo de los composites, el sistema catalítico está formado por un iniciador y un promotor. Como iniciador, se utiliza el peróxido orgánico Metiletilcetona (MEK) y otras sustancias (promotor) que, al descomponerse generan radicales libres que reaccionan con el poliéster y el estireno. El promotor es una sustancia reductora que descompone el iniciador, incluso a baja temperatura, el Naftenato de Cobalto cumple esta función².

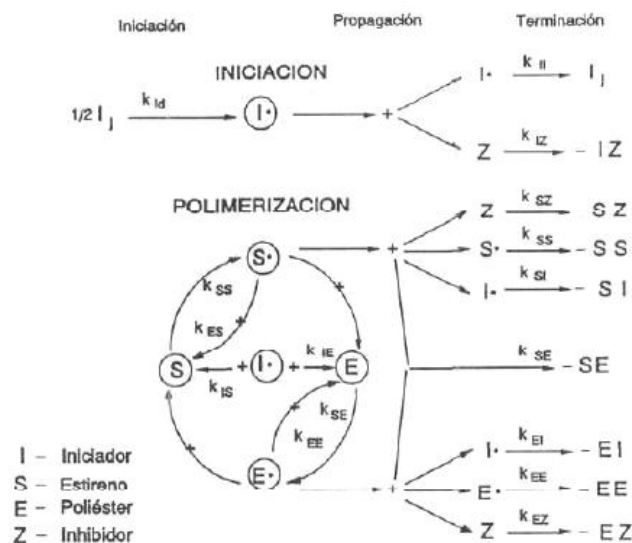


Figura 3. Representación esquemática de las reacciones elementales que pueden tener lugar en la polimerización radicalaria de una resina de poliéster insaturado (de Stevenson 1986)²

²XAVIER, Juan. Estudio de la eficiencia de sistemas químicos de iniciación del curado de resinas de poliéster insaturado. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 1993.p.25-26. 6 Julio 2011. <<http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/6686/06Txrj6de14.pdf?sequence=6>>

En la propagación los radicales libres del iniciador se usan para abrir los dobles enlaces (formándose nuevos radicales libres), estos reaccionan con el estireno presente o con el poliéster, y a partir de eso se forman las cadenas que irán creciendo y entrecruzándose según tres posibles procesos reactivos: copolimerización estireno-poliéster, homopolimerización del estireno y homopolimerización del poliéster. Existen algunas reacciones que ocasionan la terminación del proceso, estas se denominan: agotamiento, desproporción, acoplamiento o transferencia de cadena.

4.3 Resistencia química: los compuestos químicos pueden modificar la resistencia del material, produciendo cambios en su estructura debido a la modificación de alguno de sus elementos. Al hacer las pruebas, el composite se vio afectado en los componentes que le provee el aserrín. La matriz polimérica no causa ninguna preocupación al ser apropiado el grado de curado, no se rompe el poliéster, pues la resina termofija ya está formada.

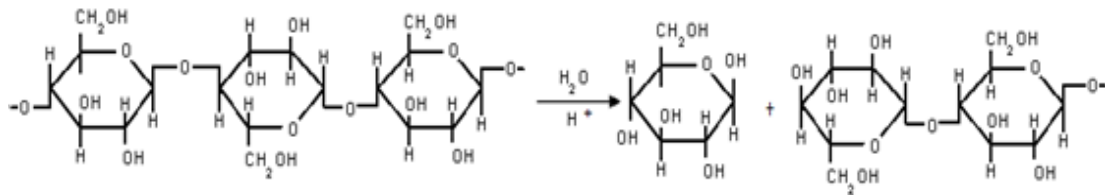


Figura 4. Reacción química, hidrólisis ácida de la Celulosa

Las sustancias que constituyen la pared celular de la madera, en especial la lignina y la celulosa son perjudicadas por el contacto del material con los ácidos. Aunque la celulosa es considerada como un elemento de sosten por los numerosos puentes de hidrógeno que le proporcionan al material alta cristalinidad, el poder corrosivo de los ácidos fuertes usados producen la hidrólisis de la celulosa y deforman su estructura cristalina (Ver figura 4). Es allí donde la resistencia y tenacidad del aglomerado se ven disminuidas, sin embargo las

imagenes 4 y 5 evidencian que su apariencia no indica deterioro físico o químico considerable.



Imagen 4. Estructura interna de los aglomerados después de estar en contacto con los ácidos. (de izquierda a derecha: muestra 35 en HCl, muestra 36 en H₂SO₄ y muestra 39 en HNO₃). Fuente: Autoras

La Lignina, considerada como el cemento de la madera, actúa como puente de unión entre las células de la madera, creando un material que es notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones. Esta es atacada por los ácidos Clorhídrico y Nítrico, por ello se forman nitratos y cloruros, compuestos que se solubilizan y pasan a la solución, dándole un color amarillento (Ver imagen 5).



Imagen 5. Aglomerados en presencia de HCl, HNO₃ Y H₂SO₄. Fuente: Autoras

Al interponer a la celulosa, alcalis como el Hidróxido de Sodio se produce a una desordenación completa de los cristalitas de la celulosa convirtiendola en hemicelulosa. Asi mismo la lignina reacciona con la soda y forma compuestos solubles, disminuyendo la coloracion y las propiedades de la madera. La imagen 6 prueba que al provocarse la dilución de la lignina la solución toma un color oscuro. Las muestras al ser sometidas a este contacto pierden consistencia, cohesión de las partículas y su apariencia se torna arenosa, en la imagen 7.

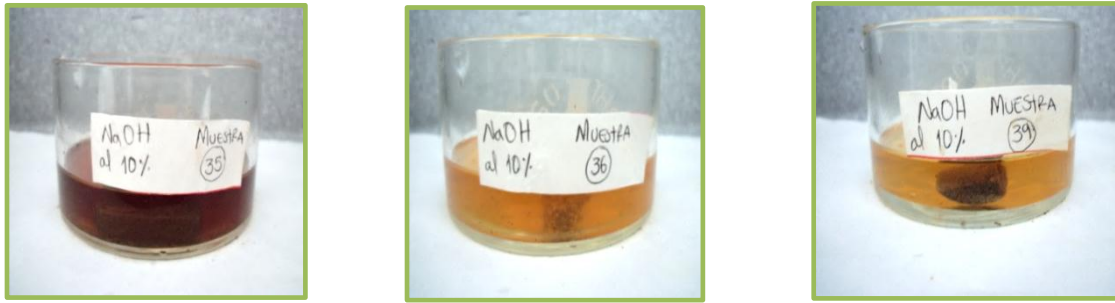


Imagen 6. Aglomerados en presencia de NaOH. Fuente: Autoras



Imagen 7. Estructura interna de los aglomerados después de estar en contacto con los ácidos. (de izquierda a derecha: muestra 35, muestra 36 y muestra 39 en NaOH al 10%). Fuente: Autoras

En la salmuera, las ejemplares no demostraron ningún deterioro aparente, se puede observar que su estructura tanto interna como externa no sufrió aumento en las dimensiones o hinchazón, como se muestra en la imagen 8. El contenido de humedad en el aglomerado no aumentó, gracias a que la resina poliéster y el poliestireno por ser materiales hidrófugos no son compatibles con el agua, por ende las propiedades de resistencia y conglomeración de las partículas no disminuyeron (Ver imagen 9).



Imagen 8. Aglomerados en presencia de NaCl. Fuente: Autoras

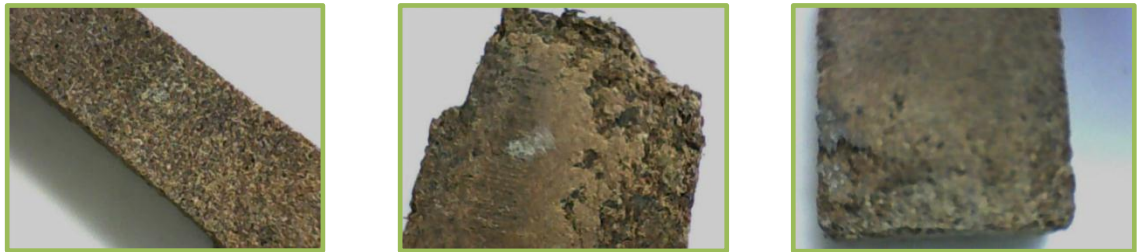


Imagen 9. Estructura interna de los aglomerados después de estar en contacto con los ácidos.(de izquierda a derecha: muestra 35, muestra 36 y muestra 39 en NaCl al 10%).

Fuente: Autoras

4.4 Propiedades Mecánicas

4.4.1 Ensayo de compresión: A partir de los datos del ensayo, se calculó una curva resultante llamada Diagrama convencional de esfuerzo-deformación, este proporciona los datos sobre la resistencia a la compresión que poseen los aglomerados, sin considerar la forma geométrica o el tamaño del material.

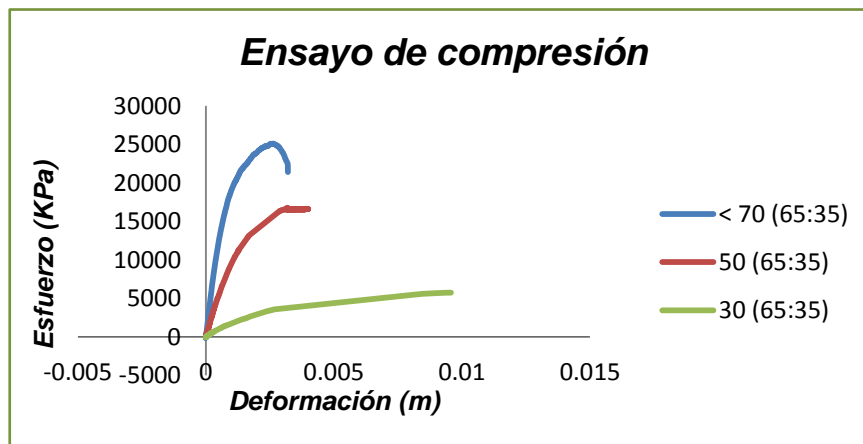


Figura 5. Diagrama convencional esfuerzo - deformación. Fuente: Autoras

La figura 5 y 6 muestran el comportamiento de las probetas teniendo en cuenta su granulometría. La probeta de menor tamaño de partícula, tiene un mejor comportamiento, y su esfuerzo de fractura es mayor. De la siguiente muestra, se obtienen resultados similares, debido a que su granulometría es parecida. Por

último se observa que la de mayor diametro de partícula, expresa características de fractura mucho menores que las anteriores, lo cual corresponde a sus imperfecciones estructurales.

En la imagen 10, se demuestra que tanto el area de la sección transversal del espécimen, como la longitud originales, han sido deformadas. A simple vista se aprecian los resultados obtenidos del diagrama.



Imagen 10. Probetas antes y después del ensayo de compresión (en su orden, de izquierda a derecha; <70 (65:35), 50 (65:35) y 30 (65:35)). Fuente: Autoras

La rigidez del material desarrollado, es indicado por el modulo de Young o de elasticidad, se considera entonces que los tres composites son rigidos. En la siguiente tabla se describen estas propiedades del composite.

Tabla 4. Propiedades del ensayo de compresión.

Granulometría	Fuerza (KN)	Área (m ²)	Esfuerzo de compresión (Mpa)	Deformación (mm)	Módulo de Young (Mpa)
< 70 (65:35)	9,530	0,00038	25,071	3,204	7
50 (65:35)	13,486	0,00080	16,768	3,197	5
30 (65:35)	5,515	0,00096	5,732	9,572	3,68

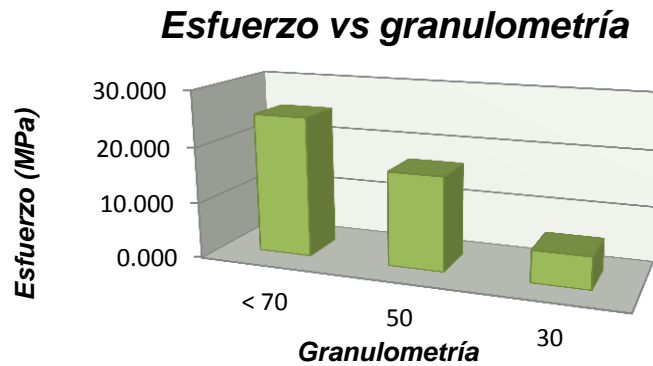


Figura 6. Esfuerzo teniendo en cuenta la granulometría. Fuente: Autoras

Según la norma ASTM D 6108-03, los perfiles de resistencia a la compresión dan valores de 1600 ± 40 y 1920 ± 50 psi ($11,031 \pm 0,276$ y $13,24 \pm 0,344$ MPa) y para el módulo de elasticidad dan valores de $82,400 \pm 2,900$ y $100,800 \pm 7,300$ psi (0.565 ± 0.0138 y 0.69 ± 0.048 MPa)³, por tanto podemos considerar los aglomerados con propiedades de compresión aptas para una aplicación.

4.4.2 Ensayo de Flexión: la resistencia a la flexión se considera como el esfuerzo máximo que se le aplica al material, antes de que este falle. La tabla 5, señala algunas características del ensayo y la imagen 11 muestra el estado de los especímenes después de ello.

Tabla 5. Propiedades valoradas del ensayo de Flexión.

Granulometría	l = Longitud entre los soportes (mm)	b= Ancho de la muestra (mm)	h= Espesor de la muestra (mm)	Área (mm ²)	Fuerza máxima(N)	Resistencia a la flexión (MPa)
< 70 (65:35)	60	34	5	170	150	15,88
50 (65:35)	60	34	5	170	146	15,45
30 (65:35)	60	34	5	170	100	10,58



Imagen 11. Probetas antes y después del ensayo de flexión (en su orden, de izquierda a derecha; <70 (65:35), 50 (65:35) y 30 (65:35). Fuente: Autoras

La figura 7, señala la relación entre el tamaño de partícula y la resistencia a la flexión de los compuestos, donde la resistencia a la flexión disminuye a medida que aumenta la longitud del tamaño de la fibra de madera. Se interpreta entonces, que al producirse una fibra más corta en una superficie mayor, se proporciona una mejor transferencia de la carga entre el aserrín y la matriz polimérica. De igual forma la resistencia a la flexión es directamente proporcional a la cantidad de carga que poseen los aglomerados, se recuerda que la composición de los estos se puede consultar en la tabla 3 de este texto.

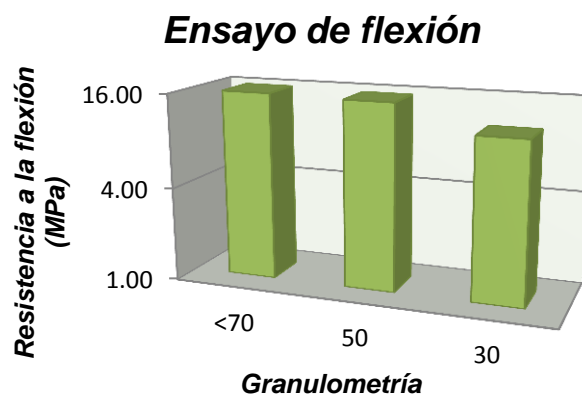


Figura 7. Resistencia a la Flexión teniendo en cuenta la granulometría. Fuente: Autoras

El modulo de ruptura (MOR) de los CMP comercializados es de $48,8 \pm 0,4 \text{ MPa}^4$, el ensayo de flexión echo arrojó cifras no mayores a los 16 MPa, se considera que esto ocurre gracias a que el material al ser fuerte, su perfil de cubierta se hace más debil. Esto puede ser resultado de inconsistencias en la estructura del producto final. También se considera la posibilidad de que la maquina usada no posee la suficiente sensibilidad para evaluar ensayos de esta clase de material.

4.4.3 Ensayo de Impacto:

En este ensayo se mide la cantidad de energía absorbida al romper una probeta, cuando es golpeada por un péndulo. En la figura 8 se ilustra la energía de impacto considerando la granulometría y se observa que a medida que aumenta el tamaño de partícula del aserrín, disminuye la capacidad de absorber energía en el material, debido a que la superficie de fractura se incrementa con el aumento de las fibras. Se requiere menos energía para quebrantar una muestra con partículas grandes

Tabla 6. Resultados del ensayo de impacto.

Granulometría	Área (mm)	Energía de impacto (KJ/m ²)
<70	990	117,6
50	138	88,2
30	156	78,4

Fuente: Autoras

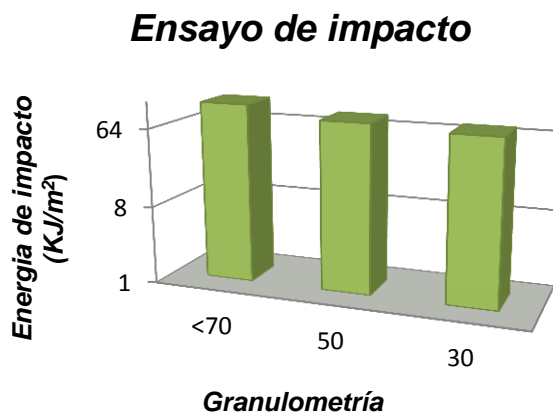


Figura 8. Energía vs granulometria

4.4.4 Dureza: “El penetrador es una punta de acero (\varnothing 1,25 mm), que se comprime contra la superficie de la pieza a ensayar por medio de la fuerza de un muelle. El alargamiento del muelle (carrera del muelle) es la medida de la dureza

Shore. En el procedimiento Shore la carga inicial del muelle es de 0,55, la punta de acero presenta la forma de cono de tronco⁵.(Ver imagen 12).

Tabla 7. Dureza de los aglomerados

<i>Granulometría (65:35)</i>	<i>Dureza (0-100 u.shore)</i>
<i><70</i>	<i>77</i>
<i>50</i>	<i>61,5</i>
<i>30</i>	<i>58,3</i>



Imagen 12. Ensayo de Dureza (Shore).

Fuente: Autoras

En la tabla 7, se señalan los resultados de la prueba, la dureza de los compuestos puede considerarse en la escala de 0 a 100 unidades de shore aceptable. En el manejo y maquinado de los CMP, el de granulometria < 70 es el que presenta las mejores características de resistencia a las abolladuras y al desgaste, del mismo modo al ser la de mayor dureza y densidad presenta alta resistencia al corte.

4.5 Densidad: (ver imagen 13)



Imagen 13. Prueba de Densidad usando el principio de Arquímedes. Fuente: Autoras

⁵ Manual de la técnica del automóvil. Barcelona. Editorial Reverté. p.270
 <http://books.google.com.co/books?id=xiB6RA_0T7kC&pg=PA270&dq=UNIDADES+DE+SHORE&hl=es&ei=qpukTsr3JcaJtwf_9X1Bw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CD oQ6AEwAw#v=onepage&q=UNIDADES%20D>E%20SHORE&f=false>.

Tabla 8. Densidad de los aglomerados.

Muestra	35	37	39
Granulometría	< 70	50	30
Tamaño de partícula (μm)	212	300	600
Peso (g)	0,81	0,81	0,45
Volumen Desplazado (mL)	0,7	0,7	0,5
Densidad (g/mL)	1,157	1,157	0,900

En la tabla anterior se muestran los resultados de la densidad aparente de cada uno de los aglomerados dependiendo su granulometría, incluyendo los huecos o poros que estos contengan. Se evidencia que la de mayor tamaño de partícula dio una densidad menor con respecto a las otras, debido a que la presión utilizada en la elaboración de todos los aglomerados es constante. Los materiales compuestos hechos con el aserrín diametro de partícula de 600 μm , requerían mayor presión para disminuir la fracción de huecos y así mismo aumentar su rigidez estructural. Es normal que el efecto de la densidad en los materiales compuestos sea minimizado, usualmente la densidad es usada para determinar el peso, es decir en terminos económicos para definir gastos de fabricación y materias primas, pero es ignorada la concepción que en gran modo define su vida útil. En la figura 9 se muestra la tendencia de que a mayor tamaño de partícula, menor es su densidad, por tanto los composites elaborados con fibras de 600 μm al tener menor densidad tienen mayor fracción hueca y peligro de que el aire fluya entre los poros dañando su estructura, es indiscutible entonces que la durabilidad del material es directamente proporcional a la densidad e inversamente proporcional a el tamaño de la partícula.

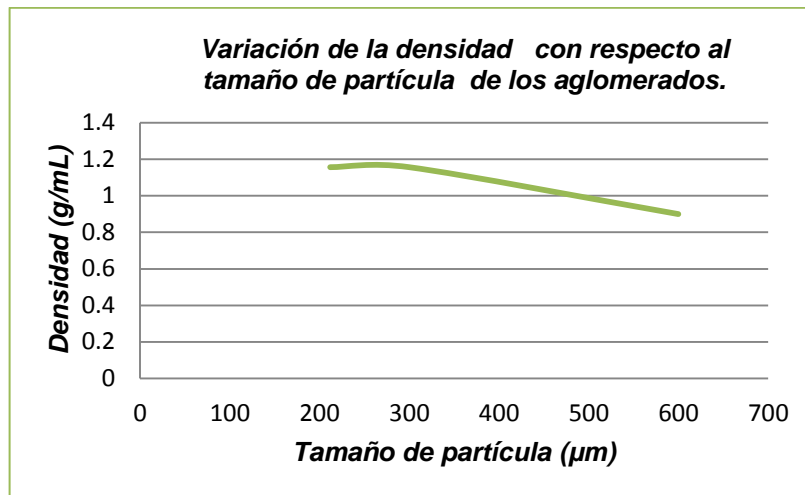


Figura 9. Variación de la densidad con respecto al tamaño de partícula de los aglomerados.
Fuente: Autoras

“La gravedad específica de la fibra de celulosa lignificadas (harina de madera, aserrín y cáscara de arroz) en el WPC es típicamente entre 1,3 y 1,5 g/cm^3 ⁶. La densidad de los compuestos de madera plástica hechos, tienen en promedio una densidad de 1,0713 g/cm^3 , es menor que la citada anteriormente, esto puede ocurrir por que la presión utilizada no compacta de la mejor forma las partículas del aglomerado.

4.6 Test de llama: En la Imagen 14 se muestra la inflamabilidad de la muestra. La llama es fuliginosa, produce hilos de hollín, al no alcanzar una combustión completa gracias a que la relación de carbono oxígeno es alta. Emite unos gases con olores penetrantes debido al poliestireno y a la resina.

El Carbonato de Calcio fue usado como relleno mineral para intentar con su naturaleza inerte, reducir la inflamabilidad de la madera plástica. Lo que hace este polvo blanco inodoro, es diluir el combustible en la fase sólida, es decir el plástico, y desarrolla gases como el Dióxido de Carbono a una alta temperatura (900 °C), actuando como retardante de flama. Del mismo modo mejora algunas propiedades de los composites.

⁶ KLYSOV, Anatolli Aleksevich. Wood- Plastic Composites. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007.p. 98.

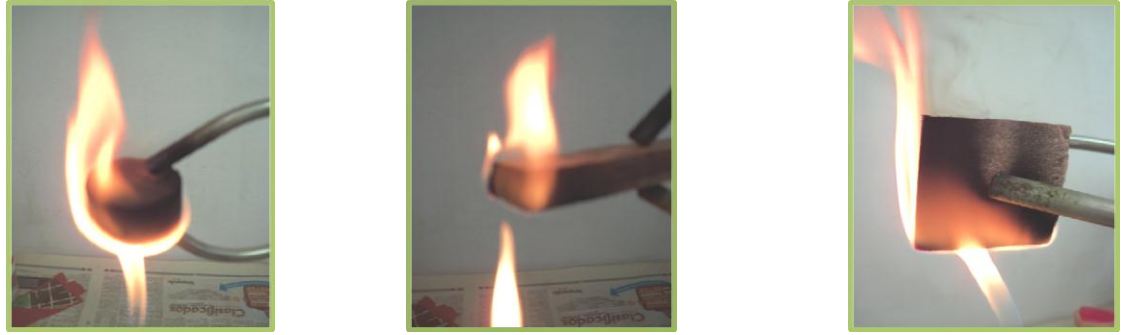


Imagen 14. Test de llama. Fuente: Autoras

4.7 Estructura interna: en la imagen 15, se puede evaluar la forma en como estan distribuidas las particulas en el aglomerado, el aumento de la imagen es la escala 1:10.

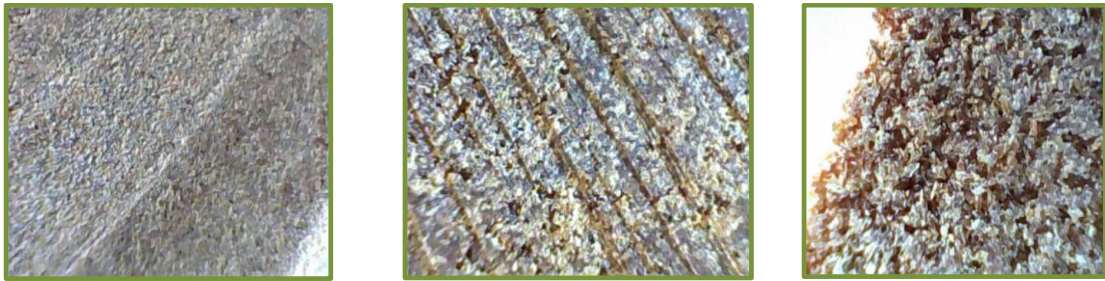


Imagen 15. Estructura interna de los aglomerados (de acuerdo a su granulometría y composición, en su orden de izquierda a derecha; <70 (65:35), 50 (65:35) y 30 (65:35)).
Fuente: Autoras

El compuesto hecho de aserrín de tamaño de partícula igual a $212\ \mu\text{m}$ (malla <70), posee mejores propiedades que los otros dos. El grado de compactación de las fibras, lo hace el mejor aglomerado ya que no posee tantos espacios vacíos como los demás. El de malla 50 ($300\ \mu\text{m}$ de diámetro), no difiere mucho en su estructura con el de <70, no solo por su similitud en el diámetro de partícula, sino también en el hecho de que se pueda apreciar la maquinabilidad de estos.

Una característica importante de los CMP, es que siempre habrá espacios vacíos. El composites de malla 30 ($600\ \mu\text{m}$) excede un poco esta particularidad, los huecos que se presentan se deben a su diámetro, o bien a que no se obtuvo una distribución de cargas y resina ordenada, por falta de un mezclado adecuado.

5. CONCLUSIONES

Se ha logrado obtener un material compuesto, en el que se usa desechos de la industria maderera y Poliestireno cristal reciclado como materias primas. La proporción apropiada de RPP y PS postconsumo desarrollada en la investigación es de 65:35, donde la mayor cantidad es de la parte de la matriz que polimeriza, es decir la Resina, y la menor es del compuesto que aglutina las partículas, es decir la dilución del Poliestireno cristal en el estireno.

La granulometría influyó de manera considerable, tanto en la formulación de cantidad de resina y carga, como en la estructura y propiedades físicas y mecánicas del material. Se concluye entonces, que el aglomerado con menor tamaño de partícula ($\leq 212 \mu\text{m}$), es el que presenta mejores propiedades, pues su grado de compactación y curado son correctos, esto permite que el composite obtenga dureza, rigidez, módulo de Young y resistencia a la flexión aptos, según normas y experiencias previas.

La matriz polimérica proporciona al material excelentes cualidades en cuanto a la resistencia química, su carácter hidrófobo da al composite la capacidad de estar en contacto con el agua sin corroerse, a pesar de que en su composición existan fibras orgánicas. El comportamiento con los ácidos, es similar, sin embargo se presenta descomposición de la lignina y la celulosa al estar en presencia de sodas fuertes.

6. RECOMEDACIONES

En los siguientes procesos de investigación sobre Composites de madera plástica es importante tener en cuenta algunos aspectos que en el desarrollo del proyecto fueron determinantes a la hora de obtener aglomerados con las características apropiadas:

✓ Las cargas Lignocelulósicas y minerales, deben tener una humedad mínima. El agua puede llegar a introducirse propiamente entre las partículas de estas sustancias y al estar en contacto con la matriz polimérica que tiene un comportamiento hidrófugo, impide que estas se adhieran. Por tanto, el compuesto queda con una estructura arenosa, con un grado de compactación y rigidez no adecuados (ver imagen 16).



Imagen 16. Aglomerados con las cargas húmedas.



Imagen 17. Aglomerados hechos con baja presión.

Fuente: Autoras

✓ La adecuada compactación de las fibras, dan al material, propiedades mecánicas importantes. Obtener la cantidad de presión apropiada para que ocurra bien este proceso y además evitar el exudado de resina, es necesario. Los composites de la imagen 17, evidencian el hecho de que al faltar presión en su fabricación, su estructura es frágil, con huecos y de muy poca resistencia.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] KLYSOV, Anatolli Aleksevich. Wood- Plastic Composites. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007.p. 98 y 326.

[2] GONZALEZ RECALDE, Lina Juliana y GONZALEZ SÁNCHEZ, Claudia Irene. Aprovechamiento y reutilización de ABS postconsumo en la fabricación de aglomerados usando como carga cascarilla de arroz. Bucaramanga, 2010. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química.

[3] Biblioteca, Recusos electrónicos – UIS. Universidad Industrial de Santander. 5 oct. 2011 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026130690900106X>>.

[4] CERVANTES, Luis, ORTEGA, Alberto y GARZ Rolando. Compósitos de Madera Plástica. 5 dic. 2010. p 11-15. <<http://rolandog.com/wp-content/uploads/2006/12/reporte.pdf>>

[5] XAVIER, Juan. Estudio de la eficiencia de sistemas químicos de iniciación del curado de resinas de poliéster insaturado. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 1993.p.8. 6 julio 2011. <<http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/6686/06Txrj6de14.pdf?sequence=6>>

[6] Manual de la técnica del automóvil. Barcelona. Editorial Reverté. p.270 <[http://books.google.com.co/books?id=xiB6RA_OT7kC&pg=PA270&dq=UNIDADE S+DE+SHORE&hl=es&ei=qpukTsr3JcaJtwf-_9X1Bw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CDoQ6AEwAw#v=onepage&q=UNIDADES%20D>E%20SHORE&f=false](http://books.google.com.co/books?id=xiB6RA_OT7kC&pg=PA270&dq=UNIDADE+S+DE+SHORE&hl=es&ei=qpukTsr3JcaJtwf-_9X1Bw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CDoQ6AEwAw#v=onepage&q=UNIDADES%20D>E%20SHORE&f=false)>

[7] Guia para la fabricación de compuestos con resinas de Hetron y Aropol. 6 julio 2011. <[http://www.plastiquimica.cl/pdf/Manual_de_Fabricacion_-_Resinas_Hetron-Ashland_\(Espanol\).pdf](http://www.plastiquimica.cl/pdf/Manual_de_Fabricacion_-_Resinas_Hetron-Ashland_(Espanol).pdf)>

[8] DÍAZ GALLEGO, Juan Francisco. Resinas Poliéster. 6 julio de 2011.<<http://www.topseis.com/Doc/poliester.pdf>>

[9] Protección de la madera. 15 agosto 2011.
<http://www.infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_51_proteccion.pdf>

[10] FONSECA MALDONADO, Mario Roberto. Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (*pinus maximinoi* h. e. moore) procedente de la finca río frío, tactic, alta verapa. Guatemala, Mayo de 2006. Universidad de San Carlos Guatemala. Escuela de Ingeniería Química.
<http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0992_Q.pdf>

[11] Información tecnológica, vol7. Blanqueo de pulpas celulósicas de alamo de ultra alto rendimiento. 1996. p. 71.
http://books.google.com.co/books?id=McHJxOZJ-2lC&pg=PA58&dq=quimica+de+la+hidrolisis+acida+de+la+madera&hl=es&ei=XDWeToKOItPJ0AHY9aWPCQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CwQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

[12] Biblioteca, Recursos electrónicos – UIS. Universidad Industrial de Santander. 5 oct. 2011 <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X0900178X>>

ANEXOS

ANEXO A. ENSAYO A COMPRESIÓN

NORMA D-695

Significado y uso

Las pruebas de compresión proporcionan información sobre las propiedades de compresión de plástico, cuando se utilicen en condiciones semejantes a aquellas en las que se realizan las pruebas. Propiedades de compresión incluyen el módulo de elasticidad, límite de elasticidad, la deformación más allá de un límite de elasticidad, y resistencia a la compresión (a menos que el material sólo se aplane, pero no de fracturas).

Materiales que poseen un bajo nivel de ductilidad, no pueden presentar un límite de elasticidad. En el caso de un material que falla en la compresión por una fractura de rotura, la resistencia a la compresión tiene un valor muy definido.

En el caso de un material que no falla en la compresión de una fractura de rotura, la resistencia a la compresión es arbitraria, dependiendo del grado de distorsión que se considera como un indicador de falla total del material.

Las pruebas de compresión proporcionan un método estándar de obtención de datos para la investigación y desarrollo, control de calidad, de aceptación o de rechazo en virtud del pliego de condiciones, y con fines especiales. Las pruebas no se pueden considerar significativas para el diseño de la ingeniería en usos que se diferencian extensamente de la escala de carga – tiempo de la prueba estándar. Estas aplicaciones requieren pruebas adicionales, tales como el impacto, la fluencia y la fatiga.

Antes de continuar con este método de ensayo, debe hacerse referencia a la especificación ASTM para el material sometido a ensayo.

Ámbito

Este método de ensayo cubre la determinación de las propiedades mecánicas desde plásticos rígidos reforzados y no reforzados incluidos los compuestos de alto módulo, cuando se cargan en compresión a tasas uniformes bajo esfuerzo o carga.

Procedimiento

Las Probetas que se emplean en el ensayo estándar pueden ser sometidas hasta una carga de 41.370 MPa (6,000,000 psi). Los valores indicados se dan en unidades del Sistema Internacional las dimensiones de las probetas a fallar deben estar sometidas a las especificaciones del equipo a utilizar para esta prueba, la geometría de cada una de las muestras es cilíndrica.

ANEXO B. ENSAYO DE FLEXIÓN NORMA D-790.

Este método cubre la determinación de las características del ensayo de flexión de plásticos reforzados y no reforzados, incluyendo los compuestos de alto módulo y materiales de aislamiento eléctrico. Para esta prueba Las probetas usadas son de forma de barra rectangular.

El método para esta prueba es aplicable generalmente a materiales rígidos y semirrígidos. Sin embargo la fuerza a flexión no se puede determinar para materiales que no se rompan o que no fallen en la superficie externa del espécimen dentro del 5% del límite de la tensión.

Este método utiliza un sistema en el que hay dos apoyos y una carga aplicada a una viga. Los valores indicados para esta prueba se dan en unidades del sistema internacional. Esta norma no pretende tratar las condiciones de seguridad asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer

prácticas apropiadas de seguridad y de salud y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras para su uso.

Resumen de la prueba.

La sección transversal de una barra de geometría rectangular es puesta sobre dos apoyos y es sometida a una carga colocada a mitad de la distancia entre los apoyos hasta que el espécimen experimente rotura en la superficie externa en este punto se dice que la tensión es máxima. Las dimensiones de las muestras usadas en el ensayo dependen de las limitaciones y el criterio de la máquina utilizada para tal fin.

Significancia y uso

Las características de flexión determinadas por este método son útiles especialmente para los propósitos y especificaciones de control de calidad. Los materiales que no fallan por la tensión máxima permitida bajo estos métodos se tienen que realizar la prueba de la curva. La diferencia básica entre estos dos métodos está en la localización del momento de flexión máximo y de las tensiones axiales máximas de la fibra.

Condicionamiento

Se condicionan los especímenes a fallar a una temperatura de $\pm 23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y 50.5 % de humedad relativa.

Procedimiento

Medir la anchura y profundidad del espécimen a fallar, así como las distancias de a los extremos de sus apoyos y la distancia entre los apoyos, estas medidas son importantes ya que permiten realizar cálculos matemáticos que conducirán a la medida de la resistencia a la flexión.

Alinear la carga justo en la mitad de los apoyos, los apoyos deben estar paralelos entre sí, lo cual se puede comprobar mediante una placa con surcos paralelos en la cual los apoyos estarán alineados si están en una posición correcta.

Centrar la muestra en los apoyos y en la carga.

Aplicar la carga especificada hasta romper la superficie exterior de la muestra o antes de alcanzar la tensión máxima., tomando datos simultáneos de la desviación de la carga.

Cálculo.

Los valores en la ruptura no serán calculados para ninguna muestra que se rompa por un cierto defecto obvio, fortuito.

Cuando un material elástico homogéneo es se prueba en el ensayo de flexión como viga simple apoyada en dos puntos y cargada en el punto medio, la tensión máxima en la superficie externa de la muestra ocurre en el punto mediano. Esta tensión se puede calcular para cualquier punto en la curva carga-desviación por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma_f = \frac{3Fl}{2bd^2}$$

σ_f ; Tensión en las fibras externas en el punto medio, MPa [PSI]

P: Carga impuesta en el punto medio dado de la curva Carga-Desviación, N [lbf]

l: Distancia entre los soportes, mm

b: Ancho de la muestra, mm

d: Profundidad de la muestra, mm

Se aplica para los materiales en los cuales la tensión es lineal proporcional a la tensión hasta el punto de ruptura. La ecuación es válida para obtener datos de comparación.

ANEXO C. ENSAYO DE IMPACTO

NORMA D-256.

Este método utilizado para la prueba de impacto cubre la determinación de la resistencia de plásticos. Consiste en montar la muestra en una máquina estandarizada que luego es fallada por la oscilación de un péndulo que golpea la muestra con una energía determinada. Los resultados de esta prueba pueden verse afectados por el tratamiento que se le haga a la muesca y la calidad de la muesca, esto en el caso de que se haga necesario realizar este tipo de abertura al material, esto se hace para materiales de gran ductilidad. Los valores arrojados por esta prueba deben darse en unidades del sistema internacional.

Significancia y uso

Antes de proceder con la realización de esta prueba, se debe especificar el material a fallar. La prueba de impacto de péndulo indica la energía necesaria para romper una muestra a fallar, esta energía depende del tamaño y geometría de la probeta, de la realización o no de la muesca y de la velocidad de impacto, así como de las especificaciones de la máquina donde se realizará la prueba. Para materiales relativamente frágiles, para los cuales la energía de propagación de la fractura es pequeña en comparación con la energía de iniciación de la fractura, la energía indicada de impacto absorbida es en todos los casos la suma de estos factores.

El tipo de falla para cada muestra será registrada como una de las cuatro categorías enumeradas como sigue:

Completo: Cuando la rotura de la muestra es total y se separa en dos o más pedazos.

Abisagrar: Cuando hay rotura incompleta, tal que una porción de la muestra no puede apoyarse horizontalmente cuando la otra parte se lleva verticalmente.

Parcial: Rotura incompleta que ha fracturado por lo menos el 90% de la distancia entre la cima de la muesca y del lado opuesto.

No: Rotura incompleta donde la fractura es menos amplia del 90% de la distancia entre la cima de la muesca y el lado opuesto.

Para materiales resistentes el péndulo puede no tener la energía necesaria para terminar de romper la muestra.

Especificaciones de las muestras

Las muestras tendrán una anchura entre 3.0 y 12.7 mm. Siendo la abertura de la muesca de aproximadamente de 0.05mm, la longitud de ± 63.5 mm, siendo la longitud de la muesca y uno de los lados extremos de 31.8mm y un espesor de 10.6mm. La forma de estas muestras a fallar es paralelepípeda.

Condicionamiento

Se deben condicionar las muestras a una temperatura entre 23 y 25°C y 50.5% de humedad.

Procedimiento

Se preparan muestras con iguales dimensiones y se acondicionan en la máquina elegida para realizar la prueba, esta elección debe estar de acuerdo a la energía que tiene el péndulo para romper la muestra.

La prueba comienza cuando el péndulo inicia su movimiento desde una altura inicial describiendo un arco y posteriormente golpea y rompe la probeta llegando a una altura final. La prueba debe ser realizada con una velocidad constante para cada una de las muestras a fallar. Es importante tener en cuenta que al usar un péndulo muy pesado esto reducirá la sensibilidad de la lectura del ensayo.