

Diseño de un Material Compuesto con Matriz de Resina Poliéster y Fibras de Aserrín y PET

Ricardo Xavier Carrillo Játiva

Universidad Internacional SEK

Nota de Autor

Ricardo Xavier Carrillo Játiva, Facultad de Arquitectura e Ingenierías, Universidad Internacional SEK; Director Jaime Molina.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

rxcarrilloj91@gmail.com

Índice del Contenido

Introducción.....	9
Estado del Arte.....	10
Materiales Compuestos.....	11
Ensayo de Flexión.....	13
Ensayo de Tracción.....	15
Polietileno de Tereftalato.....	16
Resina de Poliéster.....	17
Implicaciones.....	17
Método.....	19
Obtención de Desechos.....	19
Obtención de Químicos.....	22
Diseño de Probetas.....	26
Construcción de Moldes.....	29
Mezcla de Componentes y Procedimiento.....	31
Primer Lote de Mezcla.....	32
Segundo Lote de Mezcla.....	33
Tercer Lote de Mezcla.....	35
Prueba de Tracción.....	38
Prueba de Flexión.....	42
Resultados.....	47
Discusión.....	50
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	52
Referencias Bibliográficas.....	53

Índice de Figuras

Figura 1. Hormigón Reforzado con Fibras de Acero.....	11
Figura 2. Carburo de Tungsteno en polvo.....	12
Figura 3. Arall.....	12
Figura 4. Esquema de Ensayo de Flexión.....	14
Figura 5. Esquema de Ensayo de Tracción.....	15
Figura 6. Caracterización de Residuos Sólidos.....	18
Figura 7. Identificación de Envases PET.....	19
Figura 8. Ciclo de Reciclaje del PET.....	20
Figura 9. Resina PET.....	21
Figura 10. Desecho de Laurel.....	21
Figura 11. Partículas de Aserrín.....	22
Figura 12. Resina Poliéster.....	23
Figura 13. Estireno.....	24
Figura 14. Cobalto.....	24
Figura 15. MEK-Peróxido.....	25
Figura 16. Cera Desmoldante.....	25
Figura 17. Medidas de Probetas – Ensayo de Tracción.....	26
Figura 18. Dimensiones Probeta de Tracción.....	27
Figura 19. Forma de Probeta Ensayo de Flexión.....	28
Figura 20. Dimensiones Probeta de Flexión.....	29
Figura 21. Diseño de Probetas en Tercera Dimensión.....	29
Figura 22. Moldes Probeta de Tracción.....	30
Figura 23. Molde Probeta de Flexión.....	30
Figura 24. Caja desarmable para producir planchas.....	31

Figura 25. Dimensiones Probeta de Flexión Rediseñada.....	31
Figura 26. Probetas de Tracción N° 1.....	32
Figura 27. Probeta de Flexión N° 1.....	33
Figura 28. Probetas de Tracción N° 2.....	34
Figura 29. Probeta de Flexión N° 2.....	35
Figura 30. Medición de masa por medio de balanza.....	35
Figura 31. Mezcla de Componentes.....	36
Figura 32. Mezcla vertida en el molde.....	36
Figura 33. Mezcla en proceso de Solidificación.....	37
Figura 34. Material fuera del molde.....	37
Figura 35. Cortadora Láser.....	38
Figura 36. Probetas para ensayos N° 3.....	38
Figura 37. Colocación de Probeta de Tracción en Máquina de Ensayos.....	39
Figura 38. Curva Fuerza vs Tiempo – Ensayo de Tracción.....	40
Figura 39. Hoja de Resumen Ensayo de Tracción Parte 1.....	40
Figura 40. Hoja de Resumen Ensayo de Tracción Parte 2.....	41
Figura 41. Probetas de Tracción después de los Ensayos.....	42
Figura 42. Colocación de Probeta de Flexión.....	43
Figura 43. Curva Fuerza vs Tiempo – Ensayo de Flexión.....	44
Figura 44. Hoja de Resumen Ensayo de Flexión.....	44
Figura 45. Probetas de Flexión después de los Ensayos.....	46

Índice de Tablas

Tabla 1. Resultados Material Compuesto Ensayo de Tracción.....48

Tabla 2. Resultados Material Compuesto Ensayo de Flexión.....49

Índice de Anexos

Anexo A. Resultados de Ensayos de Tracción.

Anexo B. Resultados de Ensayos de Flexión.

Resumen

El presente proyecto tiene la finalidad de la reutilización de los desechos más comunes producidos por nuestra cultura debido al exceso en ventas de plásticos como es el PET y también el aserrín, disminuyendo el nivel de contaminación que producen dichos materiales, sugiriendo una nueva aplicación a estos desperdicios y aplicándolos para un uso mejorado. Para esto se ha desarrollado un material compuesto que se basa en una matriz de una resina de poliéster, que por su fácil manejo y sus favorables propiedades se pueden mejorar implementando dentro de ella fibras y partículas de estos elementos que agregan mayor resistencia y mejoran sus propiedades mecánicas, presentando una fórmula simple que permita realizar dicha mezcla en cualquier lugar del país donde los componentes sean accesibles, aplicando conocimientos adquiridos en el diseño, utilizando matrices y moldes para la formación de ejemplares de pruebas, y sus posteriores ensayos destructivos y determinando las resistencias mecánicas a la tracción y a la flexión.

Palabras Clave

Materiales Compuestos, Distribución Isotrópica, Reacción Exotérmica, Tracción, Flexión, Ensayos Destructivos, AutoCAD, Resina Poliéster, MEK-Peróxido, Acelerador y Catalizador, Polímero, PET, Probetas.

Abstract

This project aims to reuse the most common wastes produced by our culture due to excess sales of plastics as PET and sawdust too, reducing the level of pollution produced by them, suggesting a new application to these wastes and applying for a better use. For this has developed a composite material which is based on a matrix of a polyester resin, that its easy handling and have favorable properties can be improved by implementing fibers and particles of these elements in it, that add strength and made its properties mechanical better, presenting a simple formula to make this mixture in anyplace of the country where the components are accessible, applying knowledge gained in the design, using mechanical matrix and molds for forming test specimens, and subsequent destructive testing and determining the resistance mechanical tensile and flexural strength.

Key Words

Composite Materials, Isotropic Distribution, Exothermically Reaction, Tensile, Flexural, Destructive Essays, AutoCad, Polyester Resin, MEK-Peroxide, Accelerator and Catalyst, Polymer, PET, Specimens.

Introducción

En el Ecuador existen varios lugares donde se encuentran una gran cantidad de desechos que provienen de maderas y plásticos, estos desechos son descartados contaminando el ambiente ya sea por incineración del aserrín o por el lento proceso de descomposición del plástico, la cultura ecuatoriana avanza con el tiempo de manera positiva acerca del reciclaje de todo material, sin embargo se encuentra muy atrasada en sus métodos para favorecerse con los desperdicios que se generan en la producción y trabajos con madera y en la acumulación de residuos de plástico.

Solucionar la contaminación ambiental es un proceso mundial que se encuentra en marcha desde los años cincuenta (VILCHES, 2015), y que seguirá creciendo a medida que la cultura de cuidado al planeta evolucione, ya que los recursos naturales van disminuyendo y los desechos han aumentado significativamente. No obstante, la investigación acerca de cómo realizar un proceso de reciclaje para desechos tan comunes presentes en esta generación, se encuentra en marcha y viene acompañada de resultados favorables para generaciones futuras.

El 11 de febrero de 2005 entra en vigor el Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, el mismo que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global, aquí se establece el compromiso obligatorio de todos los países industrializados en reducir al menos un 5% global dentro del período del 2008 al 2012, es decir cada país dependiendo de su tasa de contaminación establecida por Kioto debería reducir su propio porcentaje de emisión. (ONU, 2009)

Con la finalidad de proponer una alternativa de reciclaje orientado a los desechos de botellas plásticas y de aserrín, se establece la propuesta de realizar un material compuesto basado en una matriz de PET, el mismo que es el material comúnmente usado para la

fabricación de botellas plásticas, y fibras de aserrín, producto que se obtiene del trabajo de todo tipo de madera.

Estado del Arte

Los métodos más usados para el reciclaje de los residuos utilizados en este proyecto son explicados a continuación.

Existen procesos relacionados con un reactor de pirólisis, que trabaja a temperaturas de 500 °C, el cual es capaz de generar aceites vegetales proveniente de desechos forestales como es el aserrín y la paja. Este proyecto ha logrado satisfacer en un 20% la demanda de la sociedad canadiense. (TUSITIO, 2013)

Otra aplicación es generar madera plástica, la cual consiste en una mezcla de 100 gramos de acetona, 33 gramos de celuloide y 100 gramos de aserrín. La madera plástica dura 20 veces más que la madera tradicional dependiendo su uso. Es un proyecto desarrollado por la Recicladora Barahona en el Ecuador desde el año 2000. (Recicladora Barahona, 2000)

Las siglas PET significan Polietileno de Tereftalato, es un polímero termoplástico obtenido por policondensación del ácido tereftálico al que se añade etilenglicol, y tiene propiedades como buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes, alta dureza y rigidez, es ligero, tiene una alta resistencia al plegado, baja absorción de humedad, todas estas características aseguran su buen comportamiento como fibra en este material compuesto.

Para el reciclaje del PET, se necesitan tres etapas fundamentales en el proceso mecánico, las cuales consisten en separación, limpieza y molido. Este sería uno de los procesos más básicos para conseguir su reutilización, sin embargo, este método no es recomendable para la reutilización de botellas de plástico.

En esta investigación se fabrica un material compuesto utilizando el PET molido y el desecho de la madera llamada aserrín, como la matriz y fibra respectivamente, esperando encontrar una nueva aplicación para estos desechos que son normalmente los más fáciles de encontrar, reduciendo la contaminación directa de dichos desperdicios, reutilizándolos y aplicándolos.

Materiales Compuestos

Los materiales compuestos se forman cuando dos o más materiales o fases se utilizan juntas para dar una combinación de propiedades que no se pueden lograr de otra manera.

(ASKELAND, 2008, pág. 721)

Entre las clasificaciones que pueden existir de materiales compuestos se encuentran los materiales compuestos reforzados con fibras, que se caracterizan por tener una matriz de un material determinado y fibras que pueden ser ubicadas unidireccionalmente o isotrópicos de capas cruzadas como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Hormigón Reforzado con Fibras de Acero. Fuente: Soluciones Especiales, noviembre del 2013.

También existen los materiales compuestos particulados, son llamados así por las grandes cantidades de partículas gruesas que no bloquean con eficacia el deslizamiento. Un ejemplo de este material es el Carburo de Tungsteno, con un 20% de cobalto cementado.(ASKELAND, 2008, pág. 725)



Figura 2. Carburo de Tungsteno en polvo. Fuente: Henan Huanghe Huida Diamond Tools Co., Ltd., agosto del 2012.

La tercera y última clasificación de los materiales compuestos son los materiales compuestos laminares o los materiales tipo sánduche, son llamados así debido a que son formados por dos materiales distintos en capas alternadas de los mismos. Un representante de esta clasificación es el Arall, un laminado de aluminio-aramida, que es usado en aplicaciones aeroespaciales. Este material se muestra en la Figura 3.

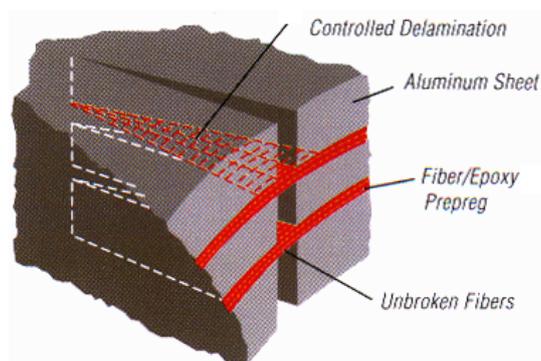


Figura 3. Arall. Fuente: R. Coenen. Junio del 1997.

De manera teórica se puede encontrar fórmulas que de acuerdo a la concentración porcentual de cada material primario se define la densidad, conductividades térmicas y eléctricas, módulo de elasticidad, resistencia a la tensión, estos cálculos brindan valores aproximados a los reales, los valores reales se obtienen en el laboratorio mediante la realización de los ensayos de resistencia de materiales del laboratorio de Mecánica de Materiales de la UISEK.

Los ensayos a realizar en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la UISEK son dos, ensayo de flexión y ensayo de tracción, en dichos ensayos se consiguen los parámetros que designan al material como bueno y apto para distintas aplicaciones, entregan resultados de esfuerzos, curvas de elasticidad del material para el análisis respectivo.

Ensayo de Flexión

El ensayo de flexión, es utilizado para determinar una curva carga-desplazamiento del prototipo y la distribución de deformaciones y tensiones en la tela al estar solicitado el elemento a flexión.

La flexión es la deformación que presenta un elemento alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

Este ensayo es usado para medir la ductilidad de ciertos materiales, en donde la parte más destacada del objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra, es llamada así ya que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor previo a la deformación, aquí el esfuerzo que provoca la flexión se lo denomina momento flector.

Para dicho ensayo se requieren dos apoyos que se ubican a la misma distancia del lugar en el que será aplicada la fuerza, como se especifica en la norma ASTM D790. (ASTM, 2007)

Para realizar el ensayo se toman las medidas de la probeta el largo y el ancho con la ayuda de un pie de rey, luego hay que calibra y programar el software de la máquina universal para realizar el ensayo según los parámetros establecidos.

La máquina universal impone la deformación al desplazar el cabezal móvil a una velocidad regulable. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada en toneladas fuerza.

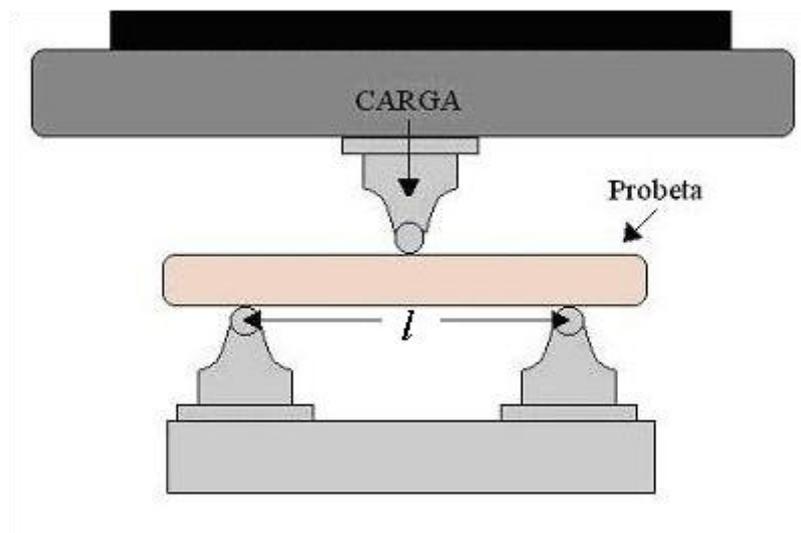


Figura 4. Esquema de Ensayo de Flexión. Fuente: Unidades Tecnológicas de Santander.

Octubre del 2014.

De la práctica se obtiene una tabla de datos en la que se encuentra una relación de la carga y el estiramiento del material, las mismas que son utilizadas para obtener el diagrama de Esfuerzo-Deformación.

Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción, tiene por objetivo definir la resistencia elástica, resistencia última y plasticidad del material cuando es sometido a fuerzas uniaxiales.

Tracción se denomina al esfuerzo interno que se encuentra sometido un cuerpo por la acción de fuerzas en sentido contrario y que pretenden estirar al objeto.

En este ensayo se requiere una máquina hidráulica o la máquina universal, que sea capaz de alcanzar la fuerza suficiente para producir la fractura de la probeta, controlar la velocidad de aumento de fuerzas y registrar las fuerzas y alargamiento que se generan.

Para este ensayo se pueden utilizar probetas cilíndricas o planas, que deben estar normalizadas, debido al tipo de material se utilizan probetas planas, como se especifica en la norma ASTM D638, al realizar el ensayo se obtienen datos de la fuerza aplicada que se convierten en tensión y así se construye el diagrama esfuerzo-deformación. (ASTM, 2015)

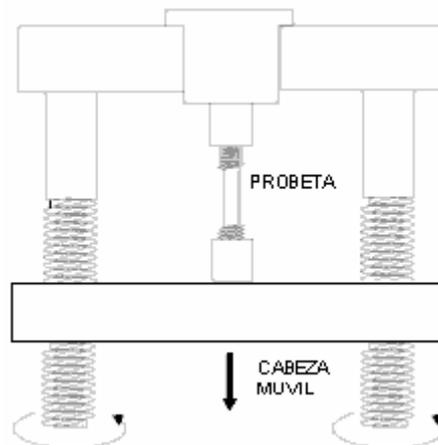


Figura 5. Esquema de Ensayo de Tracción. Fuente: Ingeniería Civil. Octubre del 2010.

La respuesta que se obtiene del material ante la deformación está directamente influenciada por la relación de la fuerza aplicada y el tamaño del objeto, cabe recalcar que el estiramiento es creciente hasta que se produce la rotura de la probeta.

Polietileno de Tereftalato

El Polietileno de Tereftalato, mayormente conocido por sus siglas PET, catalogado con el número uno en la clasificación de los plásticos, es un polímero que se obtiene de la policondensación entre el ácido tereftalático y el etilenglicol, tiene un alto grado de cristalinidad y es considerado un polímero termoplástico lineal.

Generalmente es usado para realizar botellas por los procesos de inyección y soplado, debido a la transparencia que adquiere al enfriarlo de forma inmediata después de haber terminado el proceso de formación.

Entre sus características más importantes se resaltan su buena resistencia química y térmica, un buen coeficiente de deslizamiento, alta resistencia a la corrosión y al desgaste, es usado como barrera para el CO₂, el O₂ y H₂O, resiste a esfuerzos permanentes, es liviano, y es reciclable, lo cual lo convierte en una excelente opción para trabajar como fibras isotrópicas, es decir que se ubican en varias direcciones, al triturar botellas de plástico.

Aserrín

El aserrín es el desecho que se produce de los trabajos en madera realizados por carpinteros al momento de lijarla o cortarla, es utilizado en diversas aplicaciones como la generación de aglomerado, mayor adherencia en el suelo y pelletizado para biocombustible.

El aserrín que se consigue en el Ecuador es el derivado de la madera de Laurel, el Laurel es un árbol que se produce en el Oriente ecuatoriano el mismo que puede crecer hasta 40 metros de altura, 20 metros de fuste y 100 cm de diámetro.

El Laurel consta de un tronco recto y cilíndrico donde su corteza es de color café oscuro, una raíz tablar baja angosta, hojas simples alternas, flores blancas con olor dulce dispuestas en manojo vistoso y frutos secos con cáliz y corola persistentes.

Este árbol se desarrolla de manera óptima en suelos profundos, franco arenoso y franco arcilloso, bien drenado. Soporta suelos alcalinos, neutros y ligeramente ácidos con un pH de 4,5 a 6,5. (Ecuador Forestal, 2012)

Resina de Poliéster

Es una sustancia líquida a temperatura ambiente que puede ser llevada a estado sólido, las resinas pre-aceleradas se las lleva por medio de un catalizador y para las no pre-aceleradas por medio de un acelerador y un catalizador.

Existen varias clases de resinas poliéster como lo son las Ortoftálicas que se usan en ambientes no agresivos, las Isoftálicas que tienen un buen desempeño mecánico, resisten al agua y a agentes químicos, las Isoftálicas con neopentilglicol que le proporciona una alta resistencia química y al ambiente.

Estas resinas deben ser almacenadas en lugares frescos donde la temperatura no varíe de 18°C a 21°C, debe estar alejado de fuentes de calor, evitar el contacto con la piel, los ojos y la ropa. (Gil, 2012)

Implicaciones

Este proyecto busca ayudar al reciclaje y proceso de desechos provenientes de botellas de plástico y manufactura de muebles de madera en la ciudad de Quito, fomentando la concientización ambiental y aplicando a procesos reconstructivos con resultados favorables al entorno universitario e investigativo.

En la Figura 6. Se muestra el porcentaje promedio de caracterización de residuos sólidos a nivel cantonal en el cuál las botellas PET y la madera suman un total de 88 ,352 ton/día, una cantidad alta de desperdicio generado por la sociedad quiteña, en este ámbito el proyecto propone una aplicación a desechos que se generan en tal cantidad intentándolo reducir en un 20%.

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.- NIVEL CANTONAL												
CANTON QUITO.- URBANA Y RURAL												
Año:	2012	Población: 2.344.231										
CANTIDADES POR TIPO DE GENERADOR												
Subproducto	% Prom.	DOMESTICA	% Prom.	COMERCIAL	% Prom.	EDUCATIVA	% Prom.	MERCADOS	% Prom.	OTROS	% Promedio	TOTAL
PPC (kg/día/hab)		0,525		0,135		0,025		0,117		0,048		0,850
TOTAL (Ton/día/)		1231,645		317,210		59,346		273,430		111,581		1993,192
01 PAPEL	5,29%	65,215	7,65%	24,275	14,42%	8,558	1,96%	5,365	7,73%	8,624	5,62%	112,038
02 CARTON	2,37%	29,304	5,18%	16,418	3,14%	1,865	2,77%	7,568	3,37%	3,761	2,95%	58,817
03 COMPUESTOS	0,40%	4,924	0,23%	0,731	11,14%	6,609	0,00%	0,000	2,98%	3,329	0,78%	15,593
04 PELIGROSOS (PILAS, BAT, ...)	0,29%	3,544	0,25%	0,788	0,04%	0,025	0,00%	0,000	0,15%	0,172	0,23%	4,529
05 BOTELLAS PET	1,70%	20,943	2,78%	8,818	4,07%	2,418	1,28%	3,502	2,59%	2,893	1,94%	38,572
06 PLASTICOS ALTA DENSIDAD	2,13%	26,187	2,06%	6,549	4,21%	2,499	0,97%	2,654	2,40%	2,674	2,04%	40,564
07 FUNDAS PLASTICAS	5,53%	68,151	9,67%	30,667	5,23%	3,102	3,88%	10,618	6,11%	6,823	5,99%	119,361
08 POLIPROPILENO	1,54%	18,916	2,55%	8,080	5,45%	3,237	0,00%	0,000	2,46%	2,750	1,65%	32,982
09 POLIESTIRENO	0,73%	8,961	1,41%	4,477	2,88%	1,708	0,00%	0,000	1,30%	1,447	0,83%	16,593
10 INERTES (LOSA, CERAMICA, ...)	0,63%	7,748	0,08%	0,259	0,36%	0,212	0,00%	0,000	0,28%	0,312	0,43%	8,531
11 ORGANICOS DE JARDIN	2,58%	31,749	1,06%	3,369	0,24%	0,212	0,00%	0,000	1,04%	1,162	1,83%	36,492
12 ORGANICOS DE COCINA	51,36%	632,604	49,07%	155,643	24,47%	14,521	83,62%	228,623	50,79%	56,668	54,59%	1088,059
13 RECHAZOS (PAPEL HIGIENICO)	12,61%	155,297	6,82%	21,640	9,73%	5,772	5,39%	14,741	8,63%	9,633	10,39%	207,083
14 ELECTRONICOS	0,23%	2,879	0,19%	0,604	0,07%	0,041	0,00%	0,000	0,13%	0,141	0,18%	3,664
15 MADERA, TEXTILES, OTROS	2,83%	34,816	2,73%	8,654	4,89%	2,902	0,12%	0,328	2,76%	3,079	2,50%	49,780
16 METALICOS	1,05%	12,873	0,79%	2,493	1,41%	0,835	0,00%	0,000	0,86%	0,958	0,86%	17,159
17 VIDRIO	2,55%	31,383	1,65%	5,349	4,10%	2,433	0,00%	0,000	2,19%	2,449	2,08%	41,514
18 MENOR A 1 CM	6,19%	76,234	5,83%	18,494	4,16%	2,467	0,00%	0,000	4,22%	4,704	5,11%	101,899

Figura 6. Caracterización de Residuos Sólidos. Fuente: “Consultoría para la Realización de Residuos Sólidos Urbanos Domésticos y Asimilables a Domésticos para el Distrito Metropolitano de Quito”. Julio del 2012.

Método

El proyecto consiste en la construcción de probetas de un material compuesto de matriz de Resina Poliéster, reforzado con fibras de aserrín y PET, para la posterior obtención de sus propiedades mecánicas experimentalmente, teniendo como base estos dos materiales de desecho común, fáciles de encontrar en el medio y entregando una propuesta para su reutilización.

Obtención de Desechos

Para la obtención de PET, durante un mes se estuvieron reciclando botellas de plástico, sin etiquetas ni tapas, la forma de identificarlas para su recolección es que contenga el triángulo de reutilización número 1, el mismo que se muestra en la Figura 7, estas botellas son fáciles de conseguir debido a que todo líquido de consumo humano cómo lo son gaseosas o bebidas de consumo vienen embotelladas en estas.

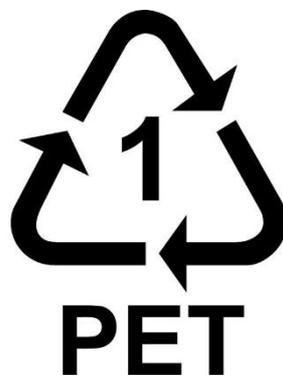


Figura 7. Identificación de Envases PET. Fuente: “Vector Portal”. Mayo del 2006.

Las botellas destinadas para este proyecto deben cumplir un ciclo de reciclaje que se muestra en la Figura 8, para este proyecto investigativo la empresa ENKADOR S.A. explica que las botellas son lavadas, aplastadas, nuevamente lavadas, molidas, secadas, fundidas y extrusionadas y finalmente el PET es granceado; debido a que siempre quedan residuos de su

contenido, pegamento de sus etiquetas o han estado guardadas cierta cantidad de tiempo suelen presentar polvo e impurezas dentro y fuera del envase es por esta razón que son lavadas primeramente. Las botellas una vez limpias son aplastadas para eliminar todo el aire que se mantiene dentro de estas para reducir el tiempo de molido, no obstante los métodos para reducir el volumen de las botellas suelen contaminar una vez más al material, es por esto que deben ser descontaminadas nuevamente para eliminar todo tipo de ente que haya adquirido el material, después de ser molidas pasan a ser secadas para su posterior calentamiento en un reactor, el mismo que inserta un nuevo porcentaje de Tereftalato para estabilizar las propiedades del material. Una vez fundido el material es extrusado nuevamente para su posterior granceado, es decir obtener la materia prima para realizar las botellas a esta se la llama Resina PET la misma que se muestra en la Figura 9.

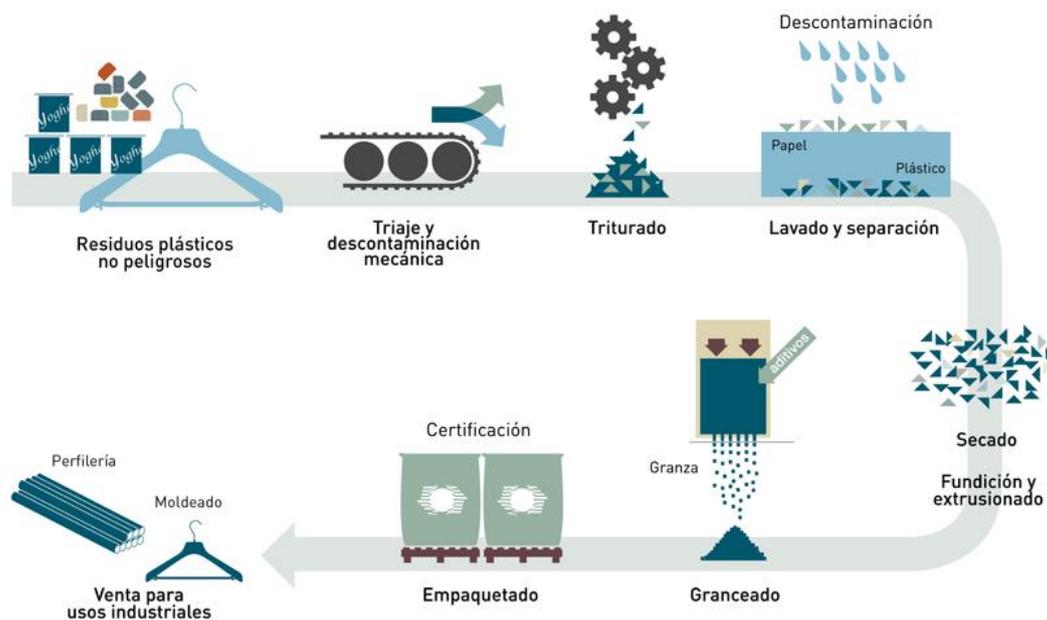


Figura 8. Ciclo de Reciclaje del PET. Fuente: “Acteco”.



Figura 9. “Resina PET”.

El aserrín usado en esta investigación fue obtenido en la cerrajería Ordoñez, el mismo que se muestra en la Figura 10, en esta cerrajería se manufacturan todo tipo de muebles, dicha producción genera 3 kilogramos de desperdicio por cada 20 kilogramos utilizados, generando un 15% de desperdicio, del cual se clasifica según su tamaño al usar un tamiz para obtener el aserrín hecho partícula, cómo se observa en la Figura 11. Dicho aserrín es expuesto al sol para disminuir su humedad al mínimo, este proceso se realiza durante 5 horas al día seguidas en las que el sol es el factor determinante para el proceso, esto se debe repetir durante 5 días para asegurar que la humedad ha disminuido.



Figura 10. “Desecho de Laurel”.

Durante un día de trabajo en la cerrajería Ordoñez se ha conseguido clasificar el aserrín proveniente de madera maciza dura y seca de laurel y se lo ha separado para el proceso de clasificación y secado, obteniendo 4 kilogramos destinados para esta investigación.



Figura 11. “Partículas de Aserrín”.

Obtención de Químicos

Para la formación del material compuesto se deben añadir ciertas sustancias químicas que permiten la adhesión del PET y del aserrín, dichos materiales deben aportar de manera positiva a la mezcla actuando como agentes de acople, agentes que optimicen el tiempo de solidificación y agentes que actúen de manera exotérmica, es decir, que generen una temperatura pico para calentar el material matriz de forma rápida y efectiva para su posterior unión con los demás materiales.

Estos materiales han sido obtenidos en la empresa PINTULAC S.A. y son cuatro componentes que aportan también propiedades la material compuesto, los mismos que se encuentran descritos a continuación.

Para una matriz sólida se utilizó Resina Poliéster por sus propiedades termoestables, las mismas que la vuelven maleable hasta antes de calentarla, además son resistentes al agua y tiene una viscosidad alta. La resina utilizada se muestra en la Figura 12.



Figura 12. “Resina Poliéster”.

La Resina Poliéster actúa como matriz principal y es el agente de mezcla, es decir en ella son vertidos todos los demás componentes del material compuesto.

El Estireno es un monómero utilizado para la producción de plásticos transparentes, en este proyecto es utilizado para reducir la viscosidad de la Resina Poliéster, y también para utilizarlo como disolvente de todos los materiales utilizados, se lo puede observar en la Figura 13.

La sal de cobalto que se muestra en la Figura 14, es conocido como un acelerador el que permite que la reacción de los químicos se genere de manera rápida, este elemento trabaja conjuntamente con el químico MEK-Peróxido, que se muestra en la Figura 15, sus siglas significan Peróxido de Metil Etil Cetona, este químico actúa como catalizador, es decir es utilizado para curados a temperatura ambiente, este compuesto genera una reacción exotérmica, es decir genera una reacción química que desprende energía. Hay que ser muy cuidadoso al utilizar estos dos químicos ya que pueden llegar a explotar, no obstante estos dos químicos son los más importantes para conseguir la solidificación.

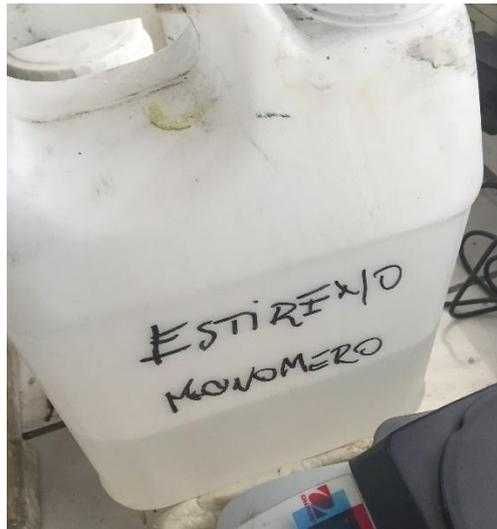


Figura 13. “Estireno”.

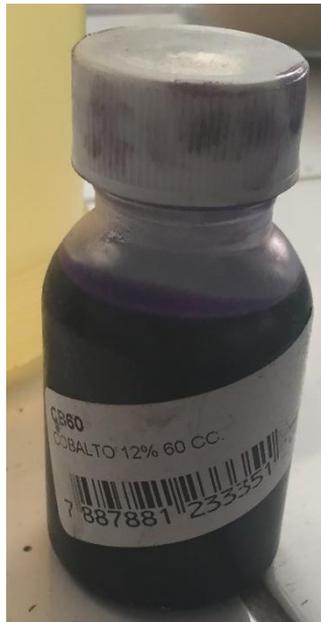


Figura 14. “Cobalto”.

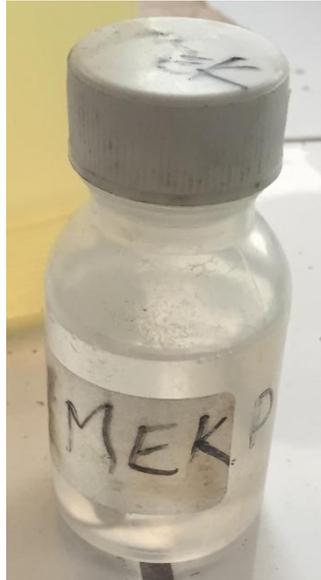


Figura 15. “MEK-Peróxido”.

El último elemento adquirido es una cera desmoldante, ver Figura 16, la que impide que el material solidificado se pegue al molde.

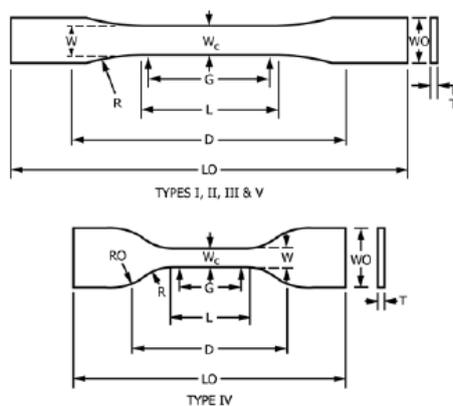


Figura 16. “Cera Desmoldante”.

Diseño de Probetas

Para conseguir los diagramas de Esfuerzo vs. Deformación del material, se deben dar formas específicas al material compuesto, debido a que su estado inicial es líquido se ha optado por realizar moldes o pequeñas matrices donde se solidifique el material, para conseguir estos moldes primeramente se deben realizar el diseño de las probetas para los ensayos de Tracción y Flexión, las medidas de las probetas vienen dadas por las normas ASTM de cada ensayo.

Para las probetas de Tracción se leyó la Norma ASTM D630-2014, dónde se especifica en el Item 6.1.1 para Plásticos Rígidos y Semirígidos, un espesor de 7 milímetros y que debe llevar las medidas del Espécimen N° 1, dichas medidas se las observa en la Figura 17, donde también se muestra la forma de la probeta.



Specimen Dimensions for Thickness, *T*, mm (in.)^A

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
<i>W</i> —Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}
<i>L</i> —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C
<i>WO</i> —Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
<i>WO</i> —Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
<i>LO</i> —Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
<i>G</i> —Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C
<i>G</i> —Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
<i>D</i> —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
<i>R</i> —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C
<i>RO</i> —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

Figura 17. “Medidas de Probetas – Ensayo de Tracción”. Fuente: Norma ASTM D630-2014.

Abril 2015.

Una vez obtenidas las dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción se ha dibujado la vista superior y la vista lateral, véase Figura 18, mediante el Software AutoCad 2013 y se ha realizado una vista en tercera dimensión de la probeta para su mejor comprensión, véase Figura 21.

Para las probetas de Flexión se leyó la Norma ASTM D790, dónde se especifica en el Item 7.4 para Materiales Moldeables y Termoplásticos, una longitud de 127 milímetros por 12,7 milímetros de ancho y un espesor de 3,2 milímetros. De acuerdo a la Figura 19 se deben realizar agujeros con la forma de semicircunferencias de un radio R el mismo que es calculado de acuerdo a la Ecuación #1, estas semicircunferencias son para los apoyos y el cabezal móvil.

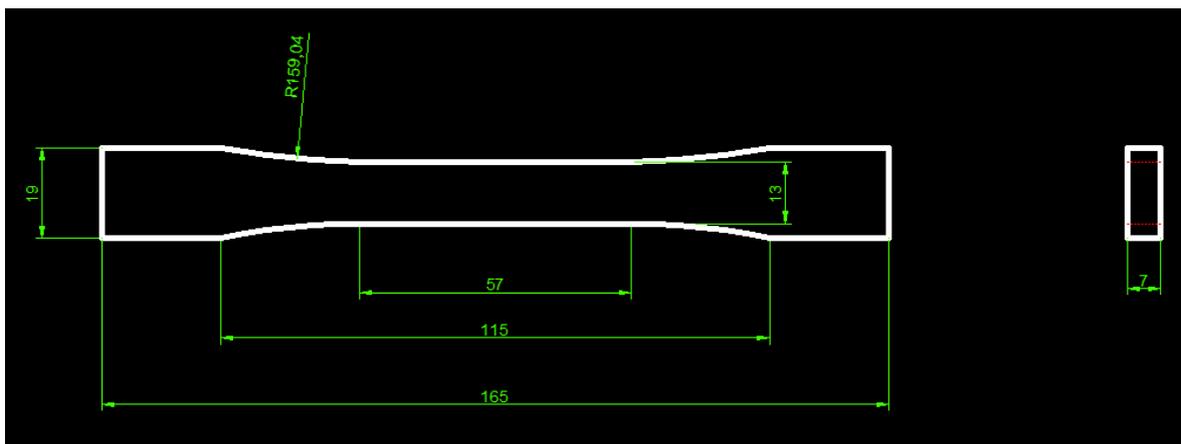


Figura 18. “Dimensiones Probeta de Tracción”.

Datos:

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

Ecuación:

$$R = 16 \times t \quad (1)$$

$$R = 16 \times 3,2 \text{ mm}$$

$$R = 51,2 \text{ mm}$$

R: Radio

t: Espesor

Esto indica que el Radio de los agujeros es mayor al ancho de la probeta por esta razón se ha decidido tomar una medida menor a la calculada la cuál es de 5 milímetros.

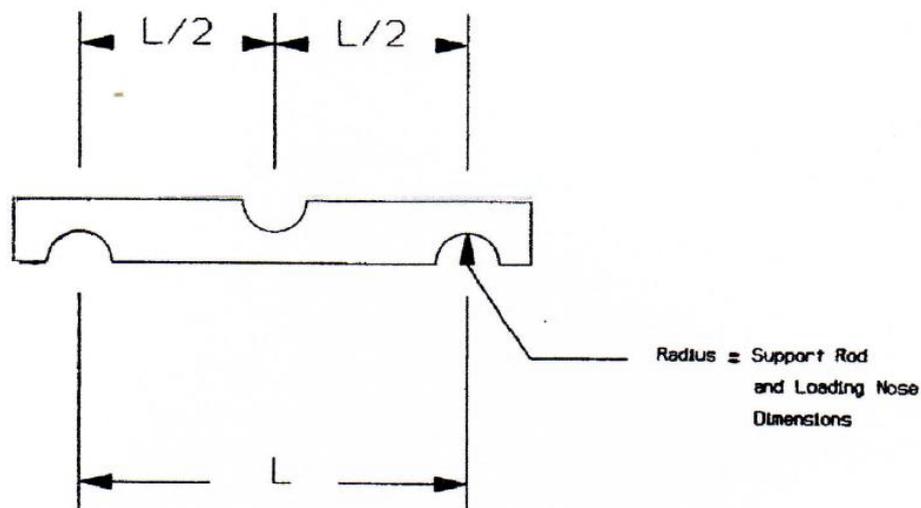


Figura 19. "Forma de Probeta Ensayo de Flexión". Fuente: Norma ASTM D790. Abril del 2010.

Una vez obtenidas las dimensiones de la probeta para el ensayo de flexión se ha dibujado la vista superior y la vista lateral, véase Figura 20, mediante el Software AutoCad 2013 y se ha realizado una vista en tercera dimensión de la probeta para su mejor comprensión, véase Figura 21.

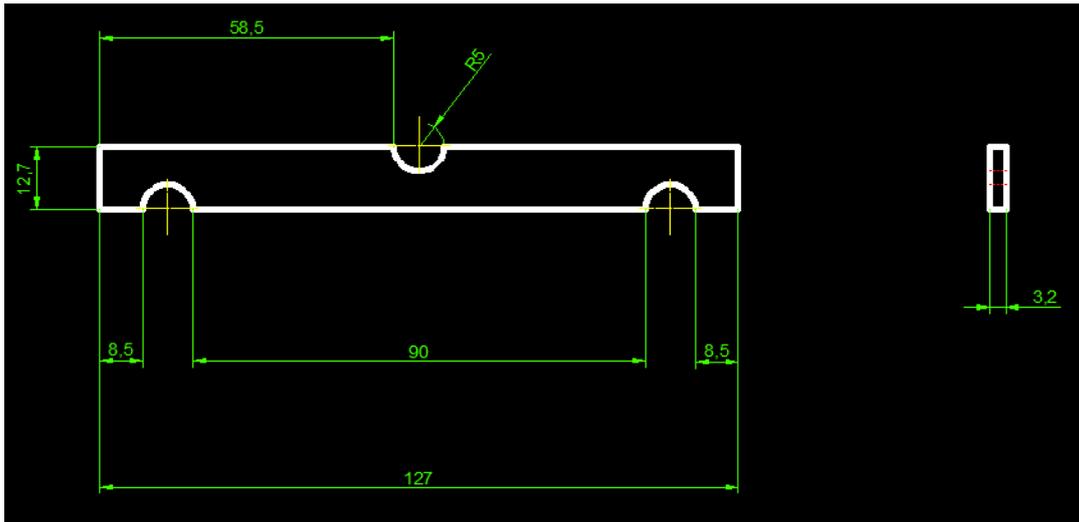


Figura 20. "Dimensiones Probeta de Flexión".

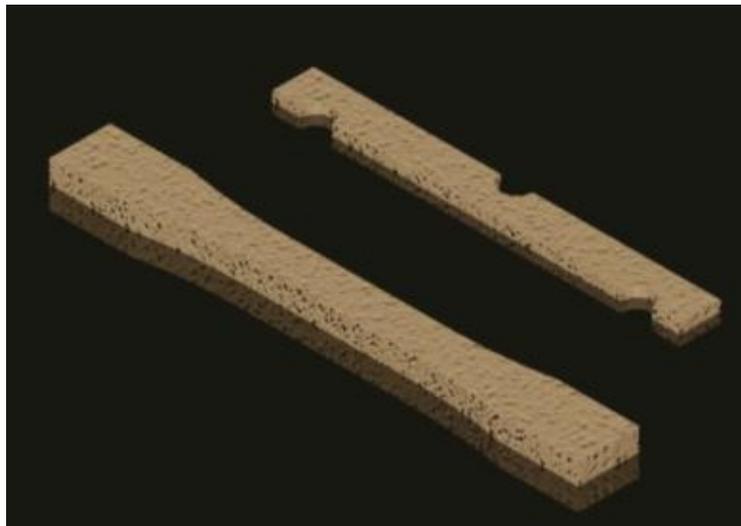


Figura 21. "Diseño de Probetas en Tercera Dimensión".

Construcción de Moldes

Para obtener las probetas con esas medidas se han construido pequeñas matrices de construcción sencilla por medio de fresado, el fresado consiste en el desbaste de material por medio de una maquina fresadora que emplea cuchillas que giran para realizar el maquinado del material.

En placas de acero A36 se ha desbastado el diseño de las probetas de tracción y flexión generando unas pequeñas matrices, ver Figura 22 y Figura 23 respectivamente, donde se vierte la mezcla.



Figura 22. “Moldes Probeta de Tracción”.



Figura 23. “Molde Probeta de Flexión”.

Después de realizar la primera producción de probetas de flexión, se encontró que debido a su forma es muy difícil desmontarlas de los moldes sin que sufran daños, por dicha razón el molde de flexión fue descartado y se optó por construir una caja, la misma que era desarmable, generando una plancha de 0,5 m² con un espesor de 7 mm, ver Figura 24, de dónde se han cortado las probetas para los ensayos de tracción y de flexión, también se rediseño las dimensiones de la probeta de flexión, ya que el tamaño de los agujeros para los

apoyos y el cabezal móvil eran muy pequeños, estos tenían una medida original de 5 mm de radio, pero los apoyos y cabezal tienen un radio de 13 mm, por lo tanto se ha optado esta medida para el radio de los agujeros.

La nueva probeta tiene de medidas de largo x ancho x espesor de 230 x 30 x 7 mm y sus agujeros tienen un radio de 13 mm, este nuevo diseño se muestra en la Figura 25.

Mezcla de Componentes y Procedimiento

Para la mezcla de componentes se ha utilizado una balanza para medir la masa que se agrega de cada material en los lotes de probetas, se han realizado tres pruebas, cada una con diferentes porcentajes de concentración de PET y de aserrín.



Figura 24. “Caja desarmable para producir planchas”.

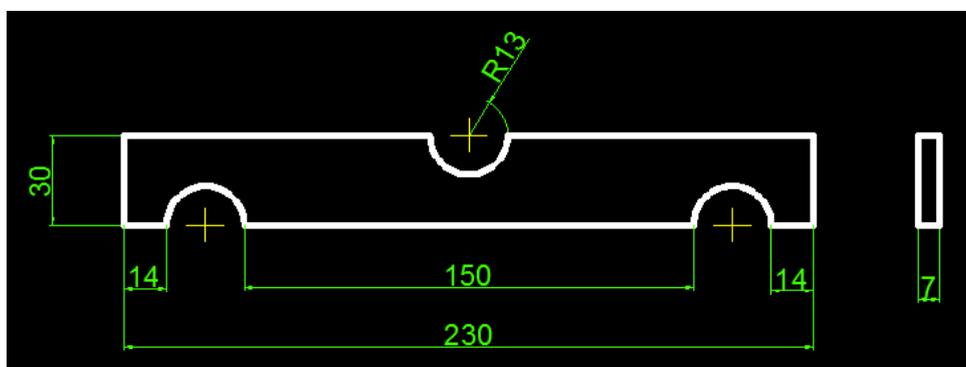


Figura 25. “Dimensiones Probeta de Flexión Rediseñada”

Antes de realizar toda mezcla se debe cubrir la parte interior de los moldes y la tapa con una gran cantidad de cera desmoldante para que las probetas al solidificarse no se peguen y puedan ser desmontadas fácilmente de la matriz que las contiene.

Primer lote de mezcla.

En este lote de probetas se ha mezclado en un vaso de precipitación y en el siguiente orden 110 gramos de resina poliéster, se ha agregado 20 gramos de aserrín mientras se agita la resina, luego se agrega 5 gramos de PET, 5 gramos de estireno y posteriormente el cobalto, el mismo que se debe agregar en un 0,02 % de la cantidad de la resina, debido a que es una medida muy baja y la balanza no reconoce medidas tan pequeñas se asumió que 20 gotas de cobalto son la medida aproximada, se debe mezclar toda la fórmula de manera continua durante 3 minutos. EL MEK-Peróxido debe ir en una relación de 5:1 con respecto al cobalto y debe ser agregado a la fórmula una vez que el cobalto se haya diluido en toda la mezcla.



Figura 26. “Probetas de Tracción N° 1”

Una vez lista la mezcla y agregado el químico MEK-Peróxido se tiene solo 15 minutos para verter la mezcla en el molde debido a la reacción exotérmica que se produce, es decir, este componente libera tal cantidad de energía que genera una variación de temperatura,

calentando el molde que lo compone, si se lo deja en el vaso de precipitación es posible que este se rompa, por dicha razón se debe regar la mezcla de manera continua en los moldes.

En este caso no se ha permitido que el fluido se desmolde, tapando la matriz y conteniendo el compuesto, se ha dejado en el molde 24 horas para su correcta solidificación.

Transcurrido el tiempo se abren los moldes y se voltean los mismo para el desprendimiento de la probeta, pero esta se encuentra atorada por la rigidez que ha ganado el material al solidificarse, por medio de vibraciones y golpes continuos en la parte posterior de la matriz se ha conseguido sacar la probeta de tracción, ver Figura 26, en cambio por los agujeros destinados para los apoyos de la máquina de ensayos, la probeta de flexión muestra complicaciones para salir del molde, se han utilizado vibraciones, impacto en la cara posterior, aumento de temperatura en un horno, enfriamiento en un congelador y la probeta no salió del molde, una posible causa es la falta de cera desmoldante que se agregó al molde previo a verter la colada, ver Figura 27.



Figura 27. “Probeta de Flexión N° 1”.

Segundo lote de mezcla.

En este segundo lote de probetas se ha mezclado en un vaso de precipitación y en el siguiente orden 100 gramos de resina poliéster, se ha agregado 45 gramos de aserrín mientras se agita la resina, luego se agrega 20 gramos de PET, 30 gramos de estireno y posteriormente el cobalto, el mismo que se debe agregar en un 0,02 % de la cantidad de la resina, debido a

que es una medida muy baja y la balanza no reconoce medidas tan pequeñas se asumió que 18 gotas de cobalto son la medida aproximada, se debe mezclar toda la fórmula de manera continua durante 3 minutos. EL MEK-Peróxido debe ir en una relación de 5:1 con respecto al cobalto y debe ser agregado a la fórmula una vez que el cobalto se haya diluido en toda la mezcla.

Cuando la mezcla esta lista y ya se ha agregado el químico MEK-Peróxido se tiene solo 15 minutos para verter la mezcla en el molde debido a la ya mencionada reacción exotérmica.

En este caso se ha permitido que el fluido se desmolde, tapando la matriz y conteniendo el compuesto, se ha dejado en el molde 24 horas para su correcta solidificación.

Transcurrido el tiempo se abren los moldes y se voltean los mismo para el desprendimiento de la probeta, pero esta se vuelve a encontrar atorada por la rigidez que ha ganado el material al solidificarse, por medio de vibraciones y golpes continuos en la parte posterior de la matriz se ha conseguido sacar la probeta de tracción, ver Figura 28, una vez más existe una cara irregular que es la de la tapa de la matriz.



Figura 28. “Probetas de Tracción N° 2”.

En cuanto a la probeta de flexión muestra nuevamente complicaciones para salir del molde, se han utilizado vibraciones, impacto en la cara posterior, aumento de temperatura en un horno, enfriamiento en un congelador y la probeta no salió del molde, en esta prueba se utilizó tres veces más de cera desmoldante y se sigue presentando la misma dificultad para desmoldar la probeta. Ver Figura 29.



Figura 29. "Probeta de Flexión N° 2".

Tercer lote de mezcla.

En este tercer lote de probetas se ha realizado la siguiente mezcla en las cantidades de masa y orden indicados de cada componente, utilizando una balanza manual para medir la masa utilizada de cada componente como se muestra en la Figura 30, teniendo así, 1500 gramos de resina de poliéster, 150 gramos de estireno, 200 gramos de aserrín, 100 gramos de PET, 3 gramos de cobalto y 22 gramos de MEK-Peróxido.



Figura 30. "Medición de masa por medio de balanza".



Figura 31. “Mezcla de Componentes”.

Una vez que se ha tenido lista la mezcla de componentes, ver Figura 31, se ha vertido la mezcla en la caja para generar la plancha del material compuesto, ver Figura 32, con la ayuda de una espátula se ha esparcido la fórmula por todo el cajón para la generación de una plancha con sus dos lados uniformes, ver Figura 33, una vez lista la caja se la ha dejado secar durante 24 horas.



Figura 32. “Mezcla vertida en el molde”.



Figura 33. “Mezcla en proceso de Solidificación”

Al día siguiente se ha sacado la plancha del material, ver Figura 34, y se la ha llevado a una cortadora láser en TASK ESTUDIO, ver Figura 35, donde se ha dado la forma de las probetas para los ensayos de tracción y flexión, cortándose 10 probetas para cada ensayo, ver Figura 36.



Figura 34. “Material fuera del molde”.



Figura 35. “Cortadora Láser”.

Una vez listas las probetas se procedieron a realizar los ensayos de Tracción y Flexión para determinar los esfuerzos máximos a soportar por el material.



Figura 36. “Probetas para ensayos N° 3”.

Prueba de Tracción

Los ensayos de Tracción se han realizado en la máquina de ensayos universales de la UISEK, en dónde se la ha configurado para materiales de baja resistencia, de manera que tenga una carga de 50 KN, y de acuerdo a lo que la Norma Indica una velocidad de 5 mm/min.

El procedimiento es sencillo, primero se debe medir el ancho y el espesor de la probeta con un pie de rey en su sección transversal, colocar la probeta en la máquina de ensayo y sujetarla con las mordazas, en este caso se ha utilizado un poco de cuero debido a que la fuerza de sujeción de las mordazas quiebra la parte superior e inferior de la probeta, se selecciona la velocidad de ensayo de acuerdo a la norma ASTM, ver Figura 37.

En estos ensayos la máquina nos entrega una gráfica de fuerza aplicada por tiempo, ver Figura 38, dónde podemos analizar la curva para ver la fuerza máxima que resiste la probeta antes de su rotura, con esa fuerza y el área transversal antes obtenida podemos encontrar el esfuerzo máximo que soporta el material. Debido a que este es un ensayo destructivo solo se puede utilizar una vez la probeta en cada prueba.

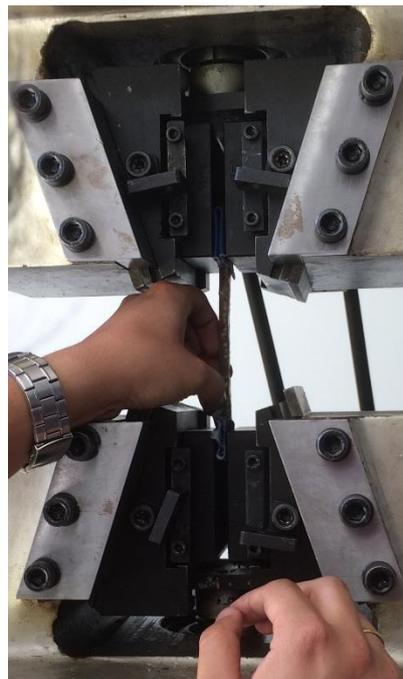


Figura 37. “Colocación de Probeta de Tracción en Máquina de Ensayos”



Figura 38. “Curva Fuerza vs Tiempo – Ensayo de Tracción”

Terminado el ensayo el software que controla la máquina entrega una hoja resumen del ensayo realizado que se presenta en dos secciones, la primera en la Figura 39, dónde podemos observar los datos ingresados como son el área de sección transversal, la longitud inicial de la probeta, la carga máxima soportada y el esfuerzo máximo soportado y la segunda en la Figura 40 dónde encontramos la gráfica de Fuerza (KN) vs Tiempo (s), y una flecha en la que señala cuando se ocasionado la falla.

Debido a que el material es muy rígido, el momento de la falla del material, la fractura es inminente por ende no es necesario colocar el medidor de deformación.

Area:	72	mm ²			
L0:	50	mm			
Max Load:	12.78	kN	Rm:	178	MPa
FeL:	/	kN	ReL:	/	MPa
Fp0.2:	/	kN	Rp0.2:	/	MPa
					A: / %

Figura 39. “Hoja de Resumen Ensayo de Tracción Parte 1”

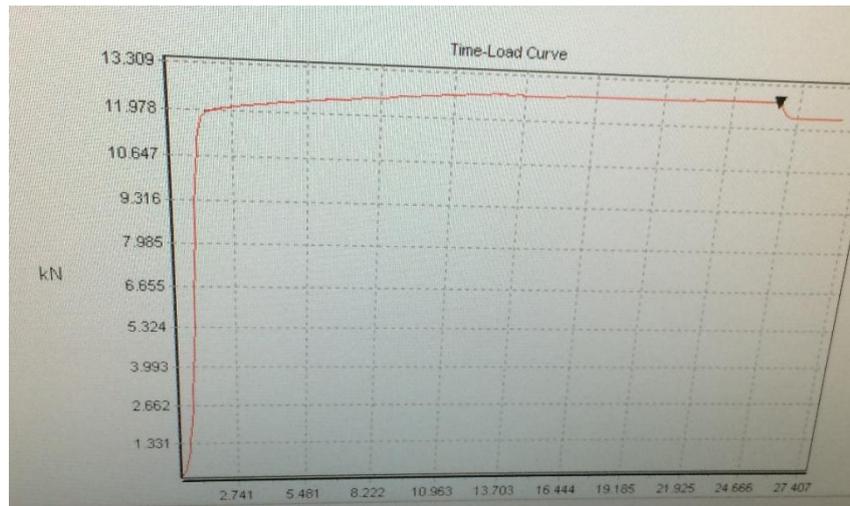


Figura 40. "Hoja de Resumen Ensayo de Tracción Parte 2"

Para el cálculo del esfuerzo a la tracción que se ve explicado a continuación por la Ecuación #2, se necesitan los datos de la Fuerza máxima y del área transversal.

Datos:

$$F = 12,78 \text{ kN}$$

$$A = 72 \text{ mm}^2$$

Ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{12\,780 \text{ N}}{72 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 117,5 \text{ MPa}$$

σ : Esfuerzo de Tracción

F : Fuerza Máxima

A: Área de Sección Transversal

Este procedimiento se debe realizar para cada uno de los ensayos de tracción realizados en los que se ha puesto a prueba todas las probetas creadas y dichas imágenes se encuentran en el ANEXO A, los ensayos se deben realizar mínimo 5 veces, ver Figura 41.



Figura 41. “Probetas de Tracción después de los Ensayos”.

Prueba de Flexión

Los ensayos de Flexión se han realizado en la máquina de ensayos universales de la UISEK, en dónde se la ha configurado para materiales moldeables, de manera que tenga una carga de 50 KN, y de acuerdo a lo que la Norma Indica una velocidad de 5 mm/min.

El procedimiento es sencillo, debido a que las probetas fueron cortadas se tienen todas las medidas en el diseño por ende no es necesario volverlas a medir, posterior a esto hay que colocar la probeta en la máquina de ensayo abriendo los apoyos a la distancia de los agujeros de la probeta, ver Figura 42, y moviendo el cabezal a una distancia cercana al tope con la probeta.



Figura 42. “Colocación de Probeta de Flexión”

En estos ensayos la máquina nos entrega una gráfica de fuerza aplicada por tiempo, ver Figura 43, dónde podemos analizar la curva para ver la fuerza máxima que resiste la probeta antes de su rotura. Debido a que este es un ensayo destructivo solo se puede utilizar una vez la probeta en cada prueba.

Terminado el ensayo el software que controla la máquina entrega una hoja resumen del ensayo realizado que se presenta en dos secciones, como podemos observar en la Figura 44, en la primera sección encontramos la carga máxima soportada y la carga donde inicia la falla y la segunda en dónde encontramos la gráfica de Fuerza (KN) vs Tiempo (s), y una flecha en la que señala cuando se han ocasionado las fallas.

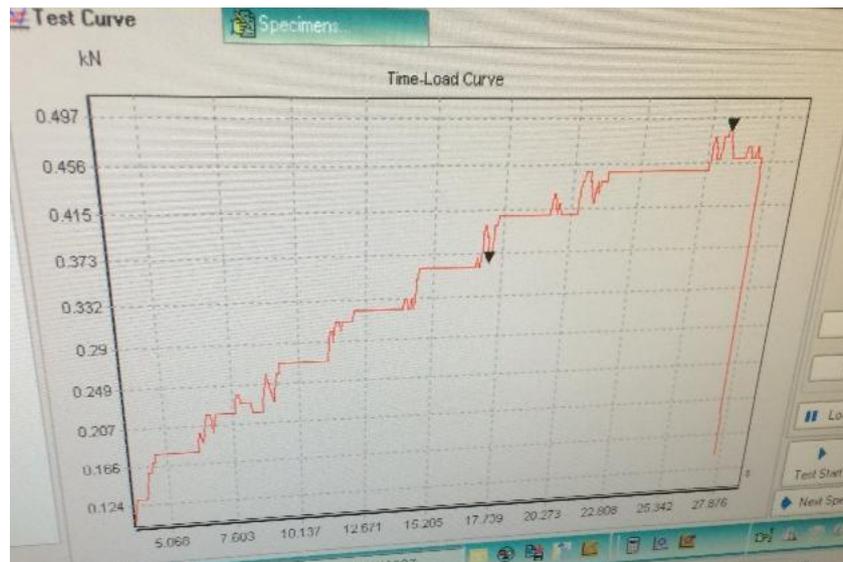


Figura 43. “Curva Fuerza vs Tiempo – Ensayo de Flexión”.

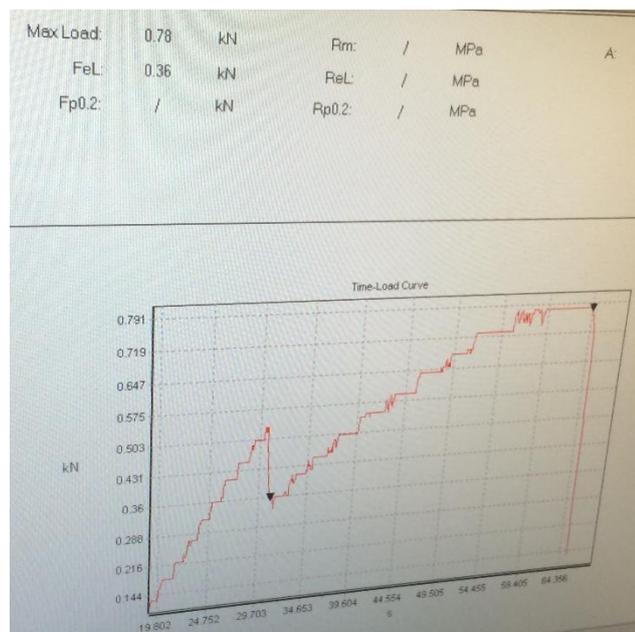


Figura 44. “Hoja de Resumen Ensayo de Flexión”.

Para el cálculo del módulo de rotura a la Flexión que se ve explicado a continuación por la Ecuación #3, se necesitan los datos de la Fuerza máxima, la Luz del ensayo, el ancho de la probeta y la altura de la probeta.

Datos:

$$F = 0,78 \text{ kN}$$

$$L = 176 \text{ mm}$$

$$b = 6 \text{ mm}$$

$$h = 17 \text{ mm}$$

Ecuación:

$$R_F = \frac{3 F L}{2 b h^2} \quad (3)$$

$$R_F = \frac{3 \times 780 \text{ N} \times 176 \text{ mm}}{2 \times 6 \text{ mm} \times 17^2 \text{ mm}^2}$$

$$R_F = \frac{3 \times 780 \text{ N} \times 176 \text{ mm}}{2 \times 6 \text{ mm} \times 289 \text{ mm}^2}$$

$$R_F = 118,75 \text{ MPa}$$

R_F: Módulo de Rotura a la Flexión

F: Fuerza Máxima Aplicada

L: Luz de Ensayo

b: Ancho de Probeta

h: Altura de Probeta

Este procedimiento se debe realizar para cada uno de los ensayos de flexión realizados en los que se ha puesto a prueba todas las probetas creadas y dichas imágenes se encuentran en el ANEXO B, los ensayos se deben realizar mínimo 5 veces, ver Figura 45.



Figura 45. “Probetas de Flexión después de los Ensayos”.

Resultados

El modelo de las matrices iniciales muestra una deficiencia en la producción masiva de probetas, debido a que han tomado la forma de las probetas estas vuelven más difícil su desmontaje y ocasionan una producción muy baja debido al tiempo de espera para la solidificación, en un día cada molde genera una probeta solidificada, una cantidad pequeña para realizar los ensayos de forma rápida.

Las dos primeras producciones de probetas generadas en los moldes unitarios entregaron probetas en las que una cara tiene una superficie irregular, al montarlas en la máquina de ensayos universales, estas caras irregulares producen la falla inmediata al apretar las mordazas con la probeta.

El cuero utilizado como protección para la sujeción de probetas es indispensable para este tipo de materiales rígidos ya que actúa como un mejor distribuidor de la fuerza que ejercen las mordazas.

Debido a la dificultad para desmontar las probetas de las matrices, se produjo un molde que tiene un cajón desmontable unido a la base por medio de 8 pernos que simplifican el tiempo de desmontaje y genera una producción optimizada de probetas ya sea de tracción o flexión.

El corte láser empleado en la plancha del material compuesto que se produjo entrega un acabado satisfactorio para la presentación de la probeta.

Para todos los lotes de mezcla se han realizado ensayos de tracción y flexión, poniendo a prueba la resistencia mecánica del material, cuyos resultados se pueden apreciar en las siguientes tablas.

Tabla 1. “Resultados Material Compuesto Ensayo de Tracción”.

RESULTADOS MATERIAL COMPUESTO ENSAYO DE TRACCIÓN						
LOTE DE MEZCLA	PROBETA TIPO 1	FUERZA MÁXIMA SOPORTADA (kN)	ESFUERZO DE TRACCIÓN (MPa)	ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL (mm x mm)	FUERZA PROMEDIO (kN)	ESFUERZO PROMEDIO (Mpa)
Mezcla #1	Probeta #1	14,71	175,12	84	8,03	95,60
	Probeta #2	1,35	16,07	84		
Mezcla #2	Probeta #1	1,10	13,10	84	1,18	13,99
	Probeta #2	1,25	14,88	84		
Mezcla #3	Probeta #1	12,78	177,50	72	1,34	18,58
	Probeta #2	1,33	18,47	72		
	Probeta #3	1,33	18,47	72		
	Probeta #4	1,41	19,58	72		
	Probeta #5	1,28	17,78	72		

En la Mezcla #1 se han obtenido los valores más altos debido a que se ha utilizado fibras y partículas de aserrín en mayor cantidad que el PET, siendo este material el que le brinda una mayor resistencia a la mezcla.

En la Mezcla #2 se han obtenido los valores más bajos en la prueba de tracción, esto se debe a la mayor cantidad de partículas PET que disminuyen la resistencia al material.

En las Mezclas #1 y #2 se han realizado solamente dos ensayos debido a que en el montaje de las probetas en la máquina de ensayos universales, la mordaza superior quebraba la paleta de sujeción de los ejemplares volviéndolas inservibles.

En la Mezcla #3 se han obtenido los valores óptimos para el material, a pesar de que la fuerza promedio no es mayor a la primera su área transversal es menor y demuestra una resistencia mayor a la tracción previo a la ruptura.

Tabla 2. “Resultados Material Compuesto Ensayo de Flexión”.

RESULTADOS MATERIAL COMPUESTO ENSAYO DE FLEXIÓN					
LOTE DE MEZCLA	PROBETA TIPO 1	FUERZA MÁXIMA SOPORTADA (kN)	MÓDULO DE ROTURA A FLEXIÓN (MPa)	FUERZA PROMEDIO (kN)	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO (Mpa)
Mezcla #3	Probeta #1	0,49	74,60	0,65	99,57
	Probeta #2	0,68	103,53		
	Probeta #3	0,68	103,53		
	Probeta #4	0,64	97,44		
	Probeta #5	0,78	118,75		

Para las Mezclas #1 y #2 no se han realizado ensayos de flexión debido a la forma irregular de las probetas, la que impide la salida de la misma de la matriz, a partir de este inconveniente y de los intentos para extraer las probetas se decidió realizar el segundo molde, que entregó las probetas para flexión de manera rápida.

En la Mezcla 3 podemos observar que la probeta que más soporto es la #5 una fuerza de 780 N y un esfuerzo a la rotura de 118,75 MPa.

La probeta que menos soportó es la #1, una fuerza de 490 N y un esfuerzo a la rotura de 74,7 MPa.

La fuerza promedio es de 650 N para este lote de mezcla y un Módulo de Rotura Promedio de 99,57 MPa.

Discusión

Conclusiones

- Los moldes diseñados para una sola probeta no son un diseño óptimo para la producción de un material compuesto, debido al tiempo de secado y solidificación, se deben esperar 24 horas para obtener una sola probeta, esto retrasa los ensayos ya que de acuerdo a las Normas ASTM para los pruebas de flexión y de tracción se necesitan 5 especímenes para obtener sus propiedades. La manera óptima de generar probetas para cualquier ensayo es mediante la creación de una plancha del material, para esto se debe tener muy claro el espesor final del compuesto y la alternativa necesaria para cortar la forma de las probetas, a diferencia de los moldes unitarios una plancha como la creada en esta investigación, de medidas 500 x 500 x 6 mm, puede entregar 20 probetas de tracción y 15 probetas de flexión en un solo lote de mezcla.
- Al verter la mezcla en los moldes unitarios se comprueba que la viscosidad que tiene el material previo a su solidificación es muy alta, en espacios pequeños no existe un llenado homogéneo del material base, generando así probetas con una cara irregular y burbujas dentro de la probeta volviéndola inútil para los Ensayos Destructivos, demostrando una vez más que generar planchas para este tipo de materiales ayuda con la optimización del tiempo de llenado, es decir el llenado del molde se vuelve versátil debido a que el material puede fluir con mayor facilidad, generando así una plancha con caras homogéneas y lista para el corte de probetas. El corte con láser es un método óptimo para la obtención de los especímenes al realizar un lote de mezcla en forma de plancha, debido a su rápido desempeño y fácil configuración.
- En la Mezcla #1 la masa utilizada de PET fue pequeña en relación a la masa del compuesto final, generando así la probeta de tracción que más resistió a la fuerza ejercida

por el cabezal móvil, esto se debe a que las partículas de PET le quitan resistencia al material compuesto, estas partículas actúan como espacios intersticiales los que generan pérdida de resistencia debido a que el área de sección transversal se vuelve más pequeña y de una forma irregular, generando la falla en los lugares de aglomeración de estas partículas, en la Mezcla #2 se agregaron más partículas de PET y en la fuerza que resiste el material se puede observar la influencia de este hecho.

- No se utilizó el extensómetro de deformación debido a la rigidez del material, no porque no exista deformación, de hecho siempre la hay, pero en este caso de estudio es tan mínima que el momento de realizar el ensayo, la propagación de la deformación se traduce en una fractura inmediata.
- El material compuesto analizado de acuerdo a los esfuerzos que ha resistido las probetas en los diferentes ensayos de tracción y flexión, denota una mejor reacción al ensayo de flexión soportando un esfuerzo mayor, esto se debe a que el área que recibe la carga de flexión es mayor al área de sección transversal que recibe la carga de tracción.
- La resina de poliéster actúa como una buena matriz para contener las fibras y partículas de aserrín y PET, aunque se ha demostrado que las partículas de PET en vez de brindar propiedades mecánicas positivas al material, se las quita. Esto se puede ver en la fórmula de composición másica de las mezclas, en la mezcla #1 se ha utilizado mayor cantidad de Aserrín que de PET y ha entregado una buena resistencia a la tracción en cuanto a la mezcla #2 en la que se ha utilizado mayor cantidad de PET que de aserrín la resistencia es menor.

Recomendaciones

- Se recomienda utilizar desde primera instancia un molde de cajón cuando la viscosidad del material sea alta, esto permite que se esparza en todo el molde generando una plancha con caras de superficies uniformes.
- Previo a hacer la mezcla es importante utilizar bastante cera desmoldante y aplicarla al molde de manera homogénea y continua en todas las cavidades del mismo, para evitar posteriores dificultades con el desmontaje de la plancha.
- Al verter la mezcla en el molde se debe tener cuidado con el contacto hacia la piel, el catalizador MEK-Peróxido al generar la reacción exotérmica calienta el compuesto hasta una temperatura capaz de quemar la piel humana. Se recomienda utilizar el adecuado equipo de protección personal en el laboratorio al realizar la mezcla.
- No utilizar el PET como partícula en futuras investigaciones.

Referencias Bibliográficas

ASKELAND. (2008). *CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES* (Cuarta ed.). México DF: CENGAGE Learning.

ASTM. (2007). *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*.

ASTM. (2015). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*.

Ecuador Forestal. (2012). *Ficha Técnica N°4: Laurel*.

Gil, A. (2012). *Resinas de poliéster*.

ONU. (2009). *Kyoto Protocol: Status of Ratification*.

Recicladora Barahona. (2000). *Madera Plástica*.

TUSITIO, I. (29 de Junio de 2013). *Reciclarrín*. Obtenido de <http://reciclarrin.blogspot.com/2013/06/aserrin-quiza-el-proximo-gran.html>

VILCHES, A. (14 de Abril de 2015). *Lucha contra la contaminación sin fronteras*. Obtenido de <http://www.oei.es/decada/accion.php?accion=005>