

PREPARACIÓN DE EMULSIONES A PARTIR DE ABS POST-CONSUMO

ELIANA BRIDGETH MARTÍNEZ BAUTISTA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2013

PREPARACIÓN DE EMULSIONES A PARTIR DE ABS POST-CONSUMO

ELIANA BRIDGETH MARTÍNEZ BAUTISTA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de
Ingeniera Química

Director

Químico M. Sc JOSÉ CARLOS GUTIÉRREZ GALLEGÓ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

A Dios por extender su mano sobre mi vida para darme sus maravillosas bendiciones; a Él primeramente debo todo lo que soy.

A mis padres por darme todo su amor; por sembrar en mí grandes valores y quienes pesar de las dificultades, siempre se esforzaron por mi bienestar y me brindaron todo su apoyo para alcanzar esta importante meta.

A mis hermanitas Angelita y Dany, por su cariño y por su apoyo incondicional.

A Johanita, Karito, Lili y Cris, porque más que mis amigas y consejeras son las hermanitas que Dios me regaló; su amistad y ayuda en tantos momentos difíciles fueron muy importantes para mí.

A mis amigos de la Universidad con quienes compartí muchos momentos inolvidables durante esta etapa de mi vida y quienes supieron ganarse un lugar en mi corazón.

A mi amigo Fabián, quién siempre me dio ánimo y quién con sus ocurrencias alegraba mis ratos desde la distancia.

Eliana Bridgeth Martínez Bautista

AGRADECIMIENTOS A:

A Dios por darme la sabiduría y su ayuda para culminar con éxito este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander por acogerme como estudiante y formarme como profesional.

A mi Director José Carlos Gutiérrez Gallego, por compartir sus conocimientos y por su valiosa colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

A la profesora Amparo Quintero y a Diego Hernández del Grupo de investigación en desarrollo y tecnología de nuevos materiales (GIMAT) de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UIS.

A Eduardo Carreño y Wilson Carreño, técnicos del Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química por su disposición y gran colaboración.

A todos muchas gracias,

Eliana Bridgeth Martínez Bautista

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. DESARROLLO EXPERIMENTAL	21
1.1 CARACTERIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO	22
1.1.1 Test de Llama	22
1.1.2 Solubilidad	22
1.1.3 Espectro Infrarrojo	22
1.1.4 Densidad Real	22
1.2 PREPARACIÓN DE EMULSIONES	23
1.2.1 Elección del agente tensoactivo	23
1.2.2 Emulsificación	23
1.2.3 Determinación del tipo de emulsiones	25
1.2.4 Estabilidad de las emulsiones en condiciones de almacenaje	25
1.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS EMULSIONES	25
1.3.1 Medición de la capacitancia	25
1.4 ELABORACIÓN DE PRE-PREGS	26
1.4.1 Impregnación del papel	26
1.4.2 Prensado	26
1.5 CARACTERIZACIÓN PREPREGS	27
1.5.1 Dureza	27
1.5.2 Tensión	27
1.5.3 Impacto	28
1.5.4 Flexión	28
1.5.5 Densidad Real	28
1.5.6 Absorción e hinchamiento en agua	29
1.5.7 Prueba de Ignición	29

1.5.8 Resistencia a soluciones químicas	29
2. RESULTADOS	30
2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO	30
2.1.1 Test de llama	30
2.1.2 Solubilidad	30
2.1.3 Espectros Infrarrojo	30
2.1.4 Densidad	31
2.2 PREPARACIÓN DE EMULSIONES	31
2.2.1 Elección del agente tensoactivo	31
2.2.2 Preparación de las emulsiones	32
2.2.3 Tipo de emulsiones	32
2.2.4 Estabilidad de las emulsiones en condiciones de almacenaje	32
2.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS EMULSIONES Y SUS COMPONENTES	33
2.3.1 Cálculo de la Constante dieléctrica	33
2.3.2 Selección de la emulsión más estable	37
2.4 CARACTERIZACIÓN DE PRE-PREGS	38
2.4.1 Dureza	38
2.4.2 Tensión	39
2.4.3 Impacto	41
2.4.4 Flexión	41
2.4.5 Densidad Real	43
2.4.6 Absorción e hinchamiento en agua	44
2.4.7 Prueba de Ignición	45
2.4.8 Resistencia a soluciones químicas	46
3. CONCLUSIONES	47
4. RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de HLB de los tensoactivos usados	23
Tabla 2. Proporciones componentes emulsiones para selección del Tensoactivo	24
Tabla 3. Proporciones componentes emulsiones con Nonilfenol a diferentes concentraciones en agua.....	24
Tabla 4. Proporciones componentes emulsiones con Nonilfenol 30% peso en Agua	25
Tabla 5. Resultados prueba de densidad real del ABSp	31
Tabla 6. Resultados Experimentales Emulsión 1	34
Tabla 7. Resultados Experimentales emulsión 2	34
Tabla 8. Resultados Experimentales emulsión 3	35
Tabla 9. Resultados Experimentales emulsión 4	36
Tabla 10. Temperatura de Rompimiento y Constante Dieléctrica de las Emulsiones	37
Tabla 11. Resultados prueba Dureza Shore del pre-preg	38
Tabla 12. Resultados ensayo de Tensión del pre-preg	40
Tabla 13. Resultados ensayo de Impacto del pre-preg	41
Tabla 14. Resultados ensayo de Flexión del pre-preg	42
Tabla 15. Resultados prueba de densidad real del prepeg	43
Tabla 16. Picos característicos del ABSp y ABS.....	75
Tabla 17. Resultados experimentales del Benceno	76
Tabla 18. Resultados prueba Absorción e Hinchamiento en agua	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama diseño experimental	21
Figura 2. Constante Dieléctrica Vs Temperatura de las Emulsiones	36
Figura 3. Comparación % Dureza escala Shore Material Compuesto y Triplex	39
Figura 4. Esfuerzo Vs Deformación	39
Figura 5. Comparación Resistencia a la Tensión del Material compuesto y el Triplex.....	41
Figura 6. Resistencia a la Flexión Vs Deflexión del pre-preg	42
Figura 7. Comparación Resistencia a la Flexión del Material compuesto y el Triplex.....	43
Figura 8. Comparación Densidad del Material compuesto y el Triplex	44
Figura 9. Incremento de peso Vs tiempo de inmersión del pre-preg	44
Figura 10. Comparación % Humedad del Material compuesto y el Triplex	45
Figura 11. Forma y dimensiones de las probetas tipo IV	59
Figura 12. Espectro IR del ABS puro	73
Figura 13. Espectro ATR-IR ABS post-consumo	73
Figura 14. Espectro ATR-IR ABS disuelto en Acetato de Amilo	74
Figura 15. Espectros ATR-IR ABS Sólido y ABS disuelto en Acetato de Amilo.....	74

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CARACTERIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO.....	53
ANEXO B. AGENTES TENSOACTIVOS	54
ANEXO C. PREPARACIÓN DE EMULSIONES.....	56
ANEXO D. MEDICIÓN DE LA CAPACITANCIA A VARIACIONES DE TEMPERATURA.....	57
ANEXO E. ELABORACIÓN DE PREPREGS.....	58
ANEXO F. CARACTERIZACIÓN PREPREGS	59
ANEXO G. ESPECIFICACIONES DE LAS NORMAS ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS)	63
ANEXO H. ESPECTROS ATR-IR.....	73
ANEXO I. DATOS EXPERIMENTALES MEDICIÓN CAPACITANCIA Y CÁLCULO CONSTANTE DIELECTRICA DEL BENCENO.....	76
ANEXO J. DATOS EXPERIMENTALES PRUEBA DE ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO EN AGUA.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
ABS-Aa	ABS disperso en Acetato de Amilo
ABSp	ABS Post-consumo
HLB	Balance Hidrófilo Lipófilo
PVA	Polivinil alcohol

RESUMEN

TITULO: PREPARACIÓN DE EMULSIONES A PARTIR DE ABS POST-CONSUMO*

AUTORES: Martínez Bautista, Eliana Bridgeth.**

PALABRAS CLAVES: ABS, Emulsión, Agente tensoactivo, HLB, Constante dieléctrica, Prepreg, Material compuesto.

DESCRIPCIÓN:

La elaboración de emulsiones poliméricas en agua están recibiendo gran atención como reemplazo a los sistemas poliméricos basados en dispersiones en solventes orgánicos, los cuales ya no tienen el mismo impacto que antes debido a nueva legislación ambiental; por otro lado al implementar esta tecnología se requiere menor cantidad de solvente, lo cual es favorable. El presente trabajo se centró en encontrar el agente tensoactivo más adecuado para la preparación de emulsiones a partir de Acrilonitrilo Butadieno Estireno post-consumo (ABS_p), la evaluación de la estabilidad mediante la medición de la capacitancia a variaciones de temperatura para la determinación de la constante dieléctrica, la elaboración de un material compuesto usando papel periódico post-consumo pre impregnado con la emulsión más estable y su respectiva caracterización físico-mecánica. Se presenta una información completa de las pruebas realizadas al ABS_p, a las emulsiones y al material compuesto elaborado. Se realiza una comparación entre el material elaborado y el Triplex.

Se encuentra que usando Cocomida y Lecitina de Soya como agentes tensoactivos y Alcohol Polivinílico como cosurfactante no se logra la formación de emulsiones, mientras que con el Nonilfenol se obtienen resultados favorables. De las emulsiones estudiadas, a concentraciones de Nonilfenol inferiores al 30% en peso se presenta formación de emulsiones múltiples. La emulsión más estable se forma con 70% en peso de ABS disperso en Acetato de Amilo (30% en peso) y una solución de Nonilfenol 30 % peso en agua. Se encuentra que esta emulsión tiene una constante dieléctrica de 7,45 a una temperatura de rompimiento de 59,3 °C. De acuerdo a los resultados el material compuesto elaborado puede usarse como alternativa al cartón con usos específicos y para divisiones de espacios.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: M. Sc. José Carlos Gutiérrez Gallego.

ABSTRACT

TITLE: EMULSION PREPARATION FROM POST-CONSUMER ABS*

AUTHORS: Martínez Bautista, Eliana Bridgeth.**

KEYWORDS: ABS, Emulsion, Agent surfactant, HLB, Dielectric constant, Prepreg, Composite.

DESCRIPTION:

The development of polymer emulsions in water are receiving great attention as a replacement for polymeric systems based on dispersions in organic solvents, which no longer have the same impact as before due to new environmental legislation, on the other hand to implement this technology requires less amount of solvent, which is favorable. This work focused on finding the most suitable surface active agent for the preparation of emulsions from ABSp, evaluation of stability by measuring the capacitance to temperature variations for determining the dielectric constant of a compound using post-consumer newspaper pre-impregnated with the emulsion more stable emulsion and their respective physical-mechanical characterization. It presents comprehensive information of tests performed to ABSp, to emulsions and the composite. A comparison is made between the material produced and to the Triplex.

It is found that using Cocamide and Soy Lecithin as surfactants and Polyvinyl alcohol as a cosurfactant not achieved the formation of emulsions, while the favorable results are obtained Nonylphenol. The studied emulsions to concentrations 30% Nonylphenol inferior weight, is presented multiple emulsions formation. The most stable emulsion is formed with 70% weight of ABS dispersion in Amyl Acetate and 30% solution of Nonylphenol in water. The composite material

* Thesis

**Physicochemical Engineering Department. Chemical Engineering. Director: M. Sc. José Carlos Gutiérrez Gallego.

INTRODUCCIÓN

Los polímeros tienen un papel importante dentro de las necesidades del consumo humano en la actualidad. Por tal razón, durante muchos años la ciencia ha modificado propiedades físicas y químicas de estos compuestos, con el fin de producir nuevos materiales con distintas aplicaciones.

Los sistemas poliméricos basados en dispersiones en solventes orgánicos están perdiendo terreno ya que están siendo reemplazados por sistemas poliméricos emulsionados basados en agua (Toral, 1985). En los últimos 60 años a nivel industrial han sido desarrollados interesantes descubrimientos en la aplicación de sistemas dispersos de fases no miscibles: agua en aceite o aceite en agua, que se conocen con el nombre de emulsiones (Clausse y Becher, 1985).

La obtención de emulsiones de fase continua o fase externa agua se hace cada vez más importante, pues las nuevas regulaciones ambientales de muchos países, llevan a la búsqueda de nuevos productos cada vez más compatibles con el medio ambiente, obligando a disminuir el uso de solventes orgánicos que son, por lo general perjudiciales para el ambiente (Celis *et al.*, 2008).

En Reino Unido, se han elaborado y caracterizado emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos, además de emulsiones con alta concentración de fase dispersa o fase interna (Aranberri *et al.*, 2006).

En Taiwán, se han hecho composites madera – plásticos formulados con ABS virgen y reciclado. Este estudio demuestra que los materiales compuestos tienen propiedades mecánicas deseables, al utilizar ABS como matriz polimérica. (Shu-Kai *et al.*, 2009). En Irán, se ha investigado la viabilidad del uso de polietileno

reciclado de alta densidad, polipropileno y fibra de periódicos viejos para la fabricación de paneles compuestos (Alireza y Amir, 2009).

En Colombia, particularmente en Bogotá, es apenas marginal el reciclaje de los plásticos y de acuerdo a promedios cerca de 16.500 toneladas de plásticos por mes van a parar al relleno Sanitario de Doña Juana (Cempre, 2012); dentro de estos plásticos está el ABS el cual es extremadamente difícil de reciclar dada su compleja composición química, razón por la cual tarda muchos años en degradarse. Según la ANDI, la Cámara de Pulpa, Papel y Cartón y la DIAN, en Colombia se recicla cerca del 45% del papel que se consume, lo cual muestra que hay gran cantidad de este material que se está perdiendo (Minambiente, 2013); por otro lado la demanda de papel periódico es baja comparada con la oferta que hay en el mercado lo que lleva a que este se esté desechando.

En este orden de ideas, este trabajo busca encontrar el agente tensoactivo adecuado para preparar emulsiones acuosas a partir de ABS post-consumo proveniente de la industria publicitaria, caracterizarlas mediante el cálculo de la constante dieléctrica; evaluar los resultados de la adición de la emulsión más estable a fibras de papel periódico reciclado para la elaboración de prepregs y caracterizar las principales propiedades físico-mecánicas del material compuesto generado.

El presente trabajo hace parte de una serie de proyectos del Grupo de Investigación de Química Industrial y Polímeros de la Universidad Industrial de Santander, cuya visión es la transformación y valorización de residuos plásticos post-consumo, con el fin de contribuir con la problemática que existe con respecto al reciclaje de estos y con el gran impacto ambiental que tienen ya que tardan mucho en degradarse. Dentro de este grupo se han realizado estudios como Obtención de derivados poliméricos con valor agregado a partir de dispersiones con plásticos reciclados (Ramírez, 2011), Elaboración de emulsiones como

precursoras en la elaboración de madera plástica, Aprovechamiento de ABS post-consumo en la fabricación de aglomerados usando como carga cascarilla de arroz (González y González, 2010), Elaboración de emulsiones a partir de Poliestireno expandido post-consumo (Acevedo y Ramírez, 2013), entre otros.

ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)

El ABS es un terpolímero de dos fases, una fase es el copolímero duro estireno-acrilonitrilo, mientras que la otra fase es el copolímero estireno-butadieno, de consistencia similar al hule. El nombre de plástico se deriva de los tres monómeros iniciales, los cuales se mezclan en varias proporciones. Sus aplicaciones típicas incluyen componentes para automóviles, artefactos, juguetes, computadores y accesorios para tubos (Groover, 1997).

EMULSIONES

Una emulsión es una dispersión termodinámicamente inestable de dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles. En la mayoría de las emulsiones una de las fases es acuosa y la otra un aceite apolar. La fase que se encuentra discontinua dentro de la emulsión se conoce como fase dispersa y la otra se llama fase continua (Salanger y Antón, 1999).

Las emulsiones con el aceite como fase dispersa se conocen como emulsiones de aceite en agua (*oil-in-water*, o/w) y las emulsiones con agua como fase dispersa se conocen como emulsiones de agua en aceite (*water-in-oil*, w/o) (Aranberri *et al.*, 2006). También pueden ocurrir emulsiones múltiples o complejas (O/W/O, ó W/O/W). Emulsiones del tipo O/W/O se refieren a emulsiones consistentes en gotas de aceite dentro de gotas de agua que están dispersas en fase continua de aceite. Las emulsiones W/O/W tienen gotas de agua dispersas en gotas de aceite que a su vez están dispersas en fase continua de agua (Salanger y Antón,

1999). El tipo de emulsión que se tiende a formar depende del balance entre las propiedades hidrófilas e hidrófobas del agente emulsificante (Aranberri *et al.*, 2006).

La estabilidad de una emulsión es la propiedad más importante, se mide por la velocidad con la cual las gotas de la fase dispersa se agrupan para formar una masa de líquido cada vez mayor que se separa por gravedad. En general, se representa la estabilidad por el tiempo de conservación sin ruptura de una emulsión en condiciones normales de almacenaje. La estabilidad a temperaturas elevadas, a los agentes químicos, y la resistencia a la acción mecánica son otras pruebas importantes (Salanger y Antón, 1999).

TENSOACTIVOS

Aunque las emulsiones son termodinámicamente inestables pueden convertirse en cinéticamente estables gracias a la presencia de agentes tensoactivos o surfactantes que presentan la capacidad de adsorción en las superficies de las gotas o también gracias a polímeros anfifílicos como el PVA (Alcohol Polivinílico). La clasificación de los tensoactivos se fundamenta en el poder de disociación del tensoactivo en presencia de un electrolito y de sus propiedades fisicoquímicas (Salanger y Fernández, 2004). Estos pueden ser:

Los surfactantes aniónicos son aquellos que en solución acuosa se disocian en un anión anfífilo y un catión, el cual es generalmente un metal alcalino o un amonio cuaternario.

Los surfactantes no iónicos en solución acuosa no forman iones, ya que su parte hidrofílica está formado por grupos polares no ionizados como: alcohol, tiol, éter o éster.

Los surfactantes catiónicos son aquellos que se disocian en un catión anfífilo y un anión generalmente de tipo halogenado. Estos surfactantes se usan solamente en aplicaciones especiales donde la carga positiva del anfífilo produce ventajas como en enjuagues o emulsiones asfálticas. En la mayoría de los casos corresponden a un grupo amonio cuaternario.

BALANCE HIDRÓFILO LIPÓFILO (HLB)

En 1949, Griffin notó que existía una relación entre la naturaleza de un surfactante y sus propiedades como agente tensoactivo y emulsionante. Introdujo el concepto de HLB. En 1954, Griffin notó que para ciertos tipos de surfactantes, el valor experimental del HLB está relacionado a la fórmula química del surfactante (Salanger y Antón, 1998). El concepto de HLB es esencialmente fisicoquímico, en el sentido que él indica un balance entre las tendencias hidrofílicas y lipofílicas del emulsionante (Salanger y Antón, 1999).

Un valor bajo de HLB significa alta solubilidad en solventes apolares (tensoactivos hidrófobos o lipofílicos), mientras que valores altos de HLB implican solubilidad en solventes polares (tensoactivos hidrófilos).

MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos se pueden definir como la combinación de dos o más materiales que permanecen en fases separadas y que se encuentran mezclados homogéneamente, comportándose como un material único, cuyas propiedades suelen ser, generalmente superiores a las de los componentes por separado (Ochoa, 2005).

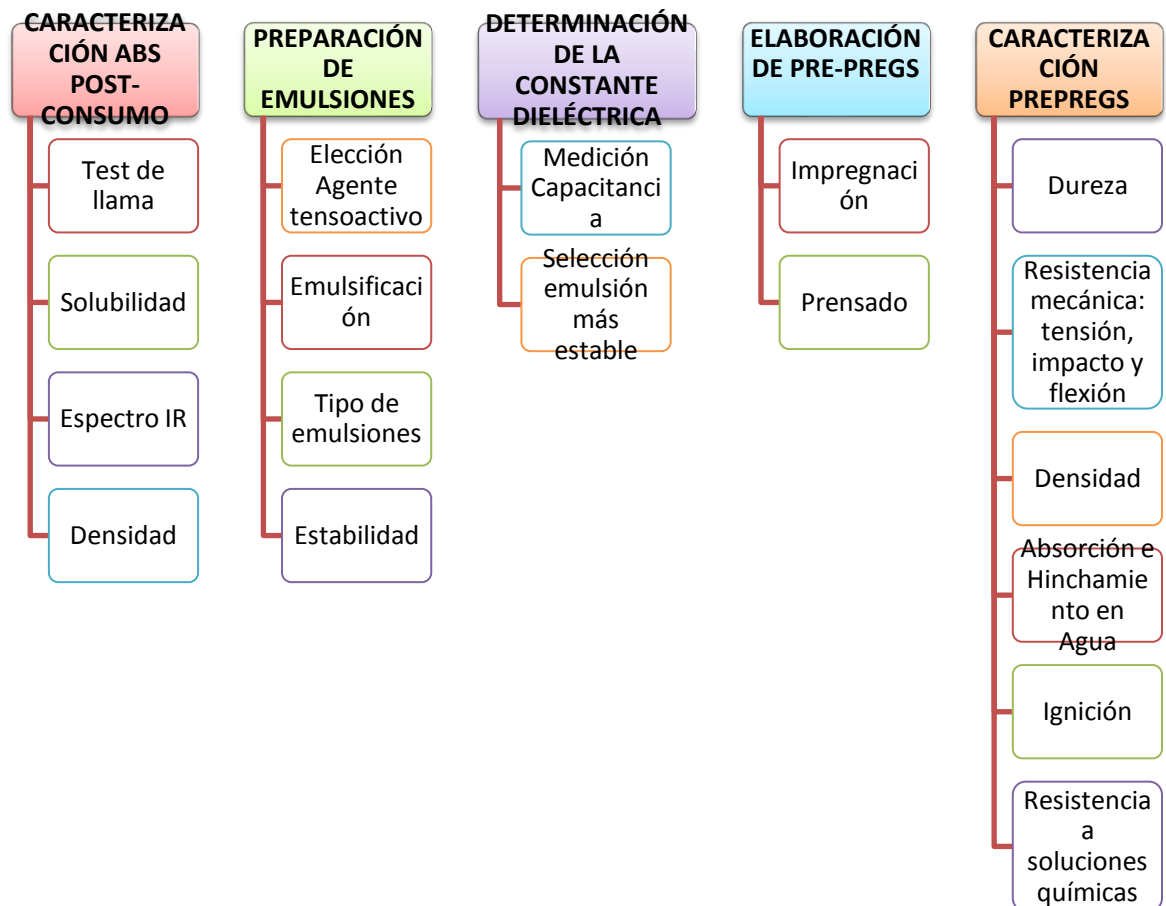
TRIPLEX

El Triplex es una lámina formada por un número impar de capas de madera superpuestas, de tal forma que la dirección de las fibras entre dos capas adyacentes forman un ángulo recto. Las capas de madera son unidas por un procesos de presión y temperatura, mediante un adhesivo, creando un ensamble integral con características iguales o superiores a las de la misma madera. (Pizano, 2013).

1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la primera parte se describe la caracterización del ABS post-consumo mediante test de llama, espectrometría IR, densidad y solubilidad; en la segunda parte se describe el proceso de selección del agente tensoactivo, preparación de las emulsiones, su caracterización; y en la tercera parte se muestra la elaboración de un material compuesto y por último la caracterización de este mediante pruebas físico-mecánicas y químicas.

Figura 1. Diagrama diseño experimental



1.1 CARACTERIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO

1.1.1 Test de Llama Esta prueba cualitativa se usa para analizar el comportamiento de una muestra al ser colocada en una fuente de ignición, en este caso se colocó el ABS post-consumo (ABS_p) en un mechero (Ver Anexo A, Imagen 1).

1.1.2 Solubilidad Para realizar esta prueba, se colocaron 30 g de ABS en 20 ml en dos solventes de tipo comercial: Acetato de amilo y Tolueno (ver Anexo A, Imagen 2). Se dejaron en reposo a temperatura ambiente de 25 ± 3 °C durante ocho días.

1.1.3 Espectro Infrarrojo Un método sencillo para obtener información sobre la identidad de una estructura de naturaleza orgánica es mediante el espectro de absorción infrarrojo. Esta prueba se le realizó a un pequeño trozo de lámina de ABS_p y una muestra de la dispersión ABS en Acetato de amilo (ABS-Aa). Se utilizó un Espectrómetro de IR, BRUKER modelo Tensor 27 (ver Anexo A, Imagen 3), cuyas condiciones de operación fueron Scans: 32, resolución: 4 cm^{-1} , apertura rendija: 12 mm, velocidad de escaneo: 10 KHz y Smooth: 9.

1.1.4 Densidad Real La densidad real del ABS fue calculada mediante el método de Arquímedes por desplazamiento de líquido (ver Anexo G). En una probeta graduada se colocó una cantidad de agua, se midió el volumen inicial y luego se sumergió la muestra y se midió el volumen final para determinar el volumen desplazado (ver Anexo A, Imagen 4).

1.2 PREPARACIÓN DE EMULSIONES

1.2.1 Elección del agente tensoactivo Para formar una emulsión del tipo aceite en agua (O/W) se emplean un tensoactivo que sea soluble en agua (hidrófilo) y que presente un valor alto de HLB (Griffin, 1954)., por tal razón se utilizaron los agentes tensoactivos de la Tabla 1. En el Anexo B se presentan la estructura de cada agente tensoactivo.

Tabla 1. Valores de HLB de los tensoactivos usados

Agente Surfactante	HLB
Lecitina de Soya (Lab. León)	8
Nonilfenol Etoxilado de 10 (Lab. Merck)	13,3
Cocoamida (Lab. León)	No Reporta

Fuente: VEGA A y MIRANDA J. Emulsiones Farmacéuticas. Universidad Autónoma de México. Facultad de Química, 2009.

Inicialmente se prepararon soluciones agente tensoactivo 5% peso y con ellas se realizó el procedimiento de preparación de emulsiones para determinar cuál es el mejor agente tensoactivo, Se usó el Alcohol Poli vinílico (PVA) como protector coloidal.

1.2.2 Emulsificación Para preparar las emulsiones se utilizó un ULTRA TURRAX digital, marca IKA modelo T-25 (ver Anexo C, Imagen 9), que es una máquina de dispersión de alto rendimiento usada para la producción de una variedad de emulsiones en las operaciones por lotes a nivel de Laboratorio. El equipo se operó a 13000 rpm durante 2 minutos. Este proceso se realizó en el laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química.

Las emulsiones se prepararon añadiendo primero el ABS disuelto en acetato de amilo y luego la solución Agente tensoactivo/Agua. Se prepararon 2 emulsiones diferentes con cada solución tensoactivo-agua, variando las proporciones tanto de dispersión como de solución (ver Tabla 2).

Tabla 2. Proporciones componentes emulsiones para selección del Tensoactivo

% Peso ABS-Aa	% Peso Agente Tensoactivo (5%) en Agua	% Peso Alcohol Polivinílico
75	25	5
70	30	0

En la tabla 3 se muestran las proporciones de los componentes a las cuales se prepararon emulsiones 2 emulsiones para cada solución Nonilfenol en agua a diferentes concentraciones de Nonilfenol (10, 15, 20, 30, 40 y 50% peso).

Tabla 3. Proporciones componentes emulsiones con Nonilfenol a diferentes concentraciones en agua

% peso ABS- Aa	% Peso solución Nonilfenol en agua
45	55
60	40

Las proporciones de las emulsiones preparadas usando Nonilfenol 30 % peso en agua se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Proporciones componentes emulsiones con Nonilfenol 30% peso en Agua

Emulsión	% peso ABS-Aa	% Peso solución Nonilfenol en agua
1	20	80
2	30	70
3	40	60
4	50	50
5	65	35
6	70	30

1.2.3 Determinación del tipo de emulsiones Para determinar si las emulsiones preparadas son de tipo hidrófobas o hidrófilas, se colocó en tubos de ensayo una muestra de cada una, se agregó agua y se mezcló bien con un agitador de vidrio para observar si éstas se dispersaban o no en el agua.

1.2.4 Estabilidad de las emulsiones en condiciones de almacenaje Las emulsiones preparadas se dejaron en total reposo durante seis meses a temperatura ambiente de 25 ± 3 °C y presión atmosférica. Durante este tiempo se realizó un seguimiento del comportamiento de cada una de ellas, para analizar su estabilidad observando si se presentaba rompimiento o formación de natas (ver Anexo C, Imagen 10).

1.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS EMULSIONES

1.3.1 Medición de la capacitancia Las emulsiones fueron sometidas a variaciones de temperatura en un sistema de medición conformado por un termostato cuyo fluido de calentamiento fue aceite, electrodos conectados a un capacitor y a una termocupla (ver Anexo D, Imágenes 11 y 12).

Se realizaron cuatro mediciones de capacitancia a variaciones de temperatura cada cinco minutos, aumentando la temperatura del termostato 5°C; el resultado reportado corresponde al promedio aritmético de estos valores. Para las emulsiones, la medición se hizo hasta que estas presentaron rompimiento por efecto de la temperatura.

Para determinar la constante dieléctrica de las emulsiones y sus componentes se tomó el benceno como sustancia de referencia, cuyos valores de constante dieléctrica a diferentes temperaturas se encuentran registrados en la literatura.

1.4 ELABORACIÓN DE PRE-PREGS

1.4.1 Impregnación del papel Se aplicó en forma uniforme 10 g de emulsión a cada hoja de papel periódico de dimensiones 30x50 cm, para que se impregnaran de esta; y luego se dejaron secar durante un día para que se evaporaran el agua y el solvente (ver Anexo E, Imagen 13).

1.4.2 Prensado El papel impregnado se sometió a una fuerza de 0,5 toneladas durante 10 minutos a una temperatura de 125 °C y a una presión de 50 Kg/cm² en una prensa hidráulica, marca BEISTOR referencia 59-50131 (ver Anexo E, Imagen 14) del laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química. Se agruparon varios patrones hasta que se agruparon varias unidades de hojas y se obtuvieron prepregs (ver Anexo E, Imagen 15); se prensaron a las condiciones ya mencionadas las cuales se mantuvieron constantes durante todo el proceso).

1.5 CARACTERIZACIÓN PREPREGS

Utilizando una cortadora modelo SKIL N278W (ver ANEXO E, Imagen 16) y un calibrador digital (ver ANEXO E, Imagen 17) se adecuaron las láminas de prepregs para obtener las muestras con la forma y dimensiones requeridas para cada prueba según lo que estipula cada una de las normas vigentes para la realización de las pruebas de caracterización físico-mecánicas.

1.5.1 Dureza Esta prueba se realizó a dos probetas en siete puntos diferentes, con el fin de observar la resistencia de la muestra contra la penetración y la magnitud de la carga aplicada. Se utilizó un durómetro Shore analógico tipo D (Ver Anexo F, Imagen 18), el cual es el adecuado para materiales de alto grado de dureza y además cumple las normas ISO 868 y ASTM D 2240 (Ver anexo G). Este ensayo se hizo en el Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química.

1.5.2 Tensión El ensayo de tensión consiste en mantener una probeta entre dos mordazas de la máquina de ensayo y someterla a un esfuerzo en la dirección del eje principal. La probeta se alarga a lo largo del eje principal, a velocidad constante, hasta la rotura. En el ensayo se miden la carga sostenida por la probeta y el alargamiento de ésta.

Para este tipo de material se utiliza la probeta tipo IV (ver Anexo F, Figura 11), que es la adecuada para este tipo de material según lo especifica la norma ASTM D638 (Ver anexo G). Este ensayo se le hizo a seis especímenes (ver Anexo F, Imagen 19) en el laboratorio GIMAT (Grupo de investigación en desarrollo y tecnología de nuevos materiales) de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UIS. Se utilizó una máquina automatizada de pruebas marca TINIUS OLSEN modelo H25KS con capacidad de 25000N (Ver Anexo F, Imagen 20). El equipo se operó sin precarga y a una velocidad de ensayo de 10 mm/min.

Dimensiones de las Probetas: $L= 114$ mm; $l_1= 25$ mm; $l_2= 6$ mm; $e= 1,1$ mm y 6 mm; Longitud efectiva o distancia entre mordazas de 40 mm.

1.5.3 Impacto La probeta es colocada verticalmente entre sus apoyos, se golpea mediante una sola oscilación de un péndulo, estando situada la línea de impacto equidistante de los apoyos.

Las dimensiones de las muestras fueron 12.48 mm x 55.1 mm, con un espesor de 3.1 mm según lo especifica la norma ASTM D256 (ver Anexo G). El equipo consta de un péndulo con un martillo para impactar las probetas y tiene un rango de energía absorbida de 0 - 9,2 lb-ft. Este ensayo se realizó en el Laboratorio de Procesos y Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química. (Ver ANEXO F, Imagen 21)

1.5.4 Flexión El ensayo consiste en colocar una probeta con forma rectangular, sobre dos apoyos separados por una distancia conocida; sobre la probeta se aplica una fuerza de forma perpendicular hasta romper el material. Esta prueba se realizó en el laboratorio GIMAT de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UIS.

Las dimensiones de las muestras según la norma ASTM D790-10 (ver Anexo G) son 127 por 12,7 por 3,2 mm (ver Anexo F, Imagen 22). La prueba se realizó a cinco especímenes a una velocidad de ensayo de 10 mm/min y una distancia entre apoyos de 50 mm, en una máquina automatizada marca TINIUS OLSEN modelo H25KS con capacidad de 25000N (ver Anexo F, Imagen 23).

1.5.5 Densidad Real La densidad real del pre-preg fue calculada por el método de Arquímedes (Ver anexo G), mediante desplazamiento de líquido; para ello se pesó cada una de las muestras. Se utilizó aceite mineral porque el material posee características hidrófilas y absorbe agua con facilidad. En una probeta graduada se colocó una cantidad de varsol, se midió el volumen inicial y luego se sumergió

la muestra y se midió el volumen después del desplazamiento (ver Anexo F, Imagen 24).

1.5.6 Absorción e hinchamiento en agua Este ensayo se hizo para determinar qué cantidad de agua es capaz de adsorber, que tanto se hincha este material y como una prueba de control de la uniformidad de este. Se pesó una muestra de pre-preg, se midió su espesor y se sumergió en agua (ver ANEXO F, Imagen 25) durante veinte días a temperatura ambiente y presión atmosférica. Se hizo un seguimiento cada dos días, midiendo de nuevo el grosor con un calibrador digital (ver ANEXO E, Imagen 17) y pesando la muestra. Este ensayo se realizó según lo que estipula la norma ASTM D570 (ver anexo G).

1.5.7 Prueba de Ignición En un mechero, se colocó una muestra del pre-preg elaborado, con el fin de observar el comportamiento de esta al estar en contacto con la llama. Esta prueba cualitativa se realizó de acuerdo a la norma ASTM para polímeros, en el Laboratorio de Polímeros y Química Industrial de la Escuela de Química (ver Anexo F, Imagen 26).

1.5.8 Resistencia a soluciones químicas Debido al uso que se le va a dar a los prepregs, las muestras se sumergieron en soluciones de agua- jabón, varsol y agua- hipoclorito de sodio durante veinte días, para observar cómo son afectadas las muestras por este tipo de sustancias (ver ANEXO F, Imagen 27).

2. RESULTADOS

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO

2.1.1 Test de llama Durante la realización de esta prueba, se observó una llama de gran tamaño y color amarillo, lo que corrobora que el material está libre de halógenos, ya que si los tuviera la llama sería de color verdoso; se desprendían pequeñas partículas y un humo bastante negro, emana olor típico de plásticos quemados, este material es bastante combustible, y al retirar el material de la fuente de ignición, esta seguía aumentando su intensidad.

2.1.2 Solubilidad Se observó el comportamiento presentado con cada uno de los solventes y se determinó que el ABS en el tolueno presenta hinchamiento y no se dispersa por completo, mientras que en el Acetato de amilo presenta una buena solubilidad. Para disolver 416 g de ABS fue necesario utilizar 700 ml de Acetato de amilo.

2.1.3 Espectros Infrarrojo En los espectros obtenidos (ver Anexo H, Figuras 13-15 y Tabla 16) se pueden ver las bandas características del ABS puro, ABSp y ABS-Aa.

En la Tabla 16 (Anexo H) se muestra una comparación de los picos más sobresalientes del espectro IR del ABS puro (Lobo, 2005) y del espectro que se obtuvo del ABSp. En el espectro IR del ABSp se ve que las bandas de absorción que se destacan corresponden a los valores de $3025, 84 \text{ cm}^{-1}$ (corresponde al vinilo) y $2922,35 \text{ cm}^{-1}$ debida a la vibración de tensión de C-H, las bandas $1492,99 \text{ cm}^{-1}$, $1601,16$, $752,31$ y $696,79 \text{ cm}^{-1}$ corresponden al anillo aromático del componente estireno; los picos $965,75$ y $906,92 \text{ cm}^{-1}$ representan el doble enlace

del componente butadieno y el grupo vinilo respectivamente (componente acrílico). El espectro IR de ABS puro (ver Anexo H, Figura 12) muestra picos característicos para los tres componentes: el componente de banda de nitrilo acrilonitrilo en 2237 cm^{-1} trans el anillo aromático del componente de estireno en 1602 , 1494 , 761 , y 699 cm^{-1} y el doble enlace del componente de butadieno 967 cm^{-1} trans y 911 cm^{-1} de vinilo (Lobo, 2005).

En el IR ABS-Aa se destacan con mayor intensidad los picos de absorción a $3027,66\text{ cm}^{-1}$ debida al enlace C-H del grupo, a $1739,66\text{ cm}^{-1}$; Las bandas $1029,70$, $1055,17$, $1171,41$ y $1230,07\text{ cm}^{-1}$ corresponden al enlace C-N del grupo Amina; las bandas $1493,95$, $1601,92$, $758,61$ y $699,67\text{ cm}^{-1}$ corresponden al anillo aromático del componente estireno; los picos $963,64$ y $906,92\text{ cm}^{-1}$ representan el doble enlace del componente butadieno y el grupo vinilo respectivamente (componente acrílico).

2.1.4 Densidad El resultado de la prueba de densidad real por desplazamiento de líquido para el ABS post-consumo, se muestra en la Tabla 5. En la industria la densidad oscila entre $1,03$ - $1,05\text{ g/ml}$ (Alser, 2013), de acuerdo a esto el valor obtenido ($1,036\text{ g/ml}$) está dentro de ese rango.

Tabla 5. Resultados prueba de densidad real del ABSp

Peso (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)
7,25	7,05	1,03

2.2 PREPARACIÓN DE EMULSIONES

2.2.1 Elección del agente tensoactivo Se encuentra que usando lecitina de Soya, Cocoamida y Alcohol Polivinílico como agentes tensoactivos no se logra la formación de emulsiones, pese a haber realizado varias pruebas variando las

proporciones agente tensoactivo/agua y dispersión de ABS/Acetato de amilo; mientras que usando Nonilfenol como agente tensoactivo se obtienen resultados favorables. Por otro lado el Nonilfenol es miscible con solventes orgánicos, lo cual es favorable ya que el acetato de amilo es de este tipo.

2.2.2 Preparación de las emulsiones Se encuentra que al preparar emulsiones usando el Nonilfenol en concentraciones inferiores al 30% en peso en agua, se presenta formación de emulsiones múltiples, en las cuales la emulsión de tipo W/O/W es muy pobre en ABS y la del tipo O/W/O es rica en ABS; mientras que a concentraciones entre 30-50 % no se presenta esa situación, es decir que sólo se presenta una fase.

De acuerdo a los resultados obtenidos al usar una concentración de Nonilfenol al 30% peso en agua, y una relación en peso 7:3 dispersión ABSp–Aa solución Nonilfenol-agua, la emulsión resultante es estable, por tal razón se decidió usar esta para la elaboración de los pre-pregs.

2.2.3 Tipo de emulsiones Al realizar la prueba se observa que las emulsiones simples son de tipo hidrófilas, ya que se dispersan con facilidad en agua, sin importar la cantidad de esta que se agregue.

2.2.4 Estabilidad de las emulsiones en condiciones de almacenaje Luego de haber dejado en reposo las emulsiones durante 6 meses, se encuentra que las emulsiones simples no presentan desestabilización, mientras que en las emulsiones múltiples aparecieron natas en las emulsiones múltiples.

2.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS EMULSIONES Y SUS COMPONENTES

2.3.1 Cálculo de la Constante dieléctrica La capacitancia se define como:

$C = k \frac{A}{l}$ dónde: C= capacitancia, k=Constante dieléctrica, A=Área de los electrodos y l= Distancia de separación de los electrodos.

La constante dieléctrica se calculó mediante la relación de capacitancias:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{k_1 * \frac{A}{l}}{k_2 * \frac{A}{l}}$$

Suponiendo que el área de los electrodos y distancia de separación de ellos son iguales queda:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{k_1}{k_2}$$

Cada subíndice corresponde a datos de capacitancia y constante dieléctrica a la misma temperatura, es decir que C_1 y k_1 deben ser datos a la misma temperatura.

De la anterior ecuación se resuelve un valor de constante dieléctrica, la cual es adimensional.

El benceno a 35 °C reporta en la literatura una constante dieléctrica de 2,25510; con este valor y con los datos experimentales de capacitancia de esta sustancia (ver Anexo I, Tabla 17) se determinó la constante dieléctrica de esta misma y de cuatro emulsiones.

En las tablas 6-9 se presentan los resultados experimentales que se obtuvieron de Capacitancia y Constante Dieléctrica de cuatro emulsiones, a variaciones de temperatura.

Tabla 6. Resultados Experimentales Emulsión 1

Temperatura (°C)	Capacitancia (nF)	Constante Dieléctrica
25	0,056	0,122
27	0,067	0,131
29	0,078	0,149
31	0,067	0,153
33	0,069	0,178
35	0,082	0,182
36	0,083	0,207
37	0,082	0,316
39	0,085	0,336
41	0,079	0,247
43	0,059	0,259
45	0,061	0,263
47	0,062	0,391

Tabla 7. Resultados Experimentales emulsión 2

Temperatura (°C)	Capacitancia (nF)	Constante Dieléctrica
28	0,216	0,475
32	0,443	0,974
34	0,556	1,225
36	0,629	1,383

Temperatura (°C)	Capacitancia (nF)	Constante Dieléctrica
37	0,660	1,452
40	0,831	1,827
43	0,895	1,969
46	0,937	2,061
47	0,794	1,746
49	0,767	1,688
53	0,696	1,529

Tabla 8. Resultados Experimentales emulsión 3

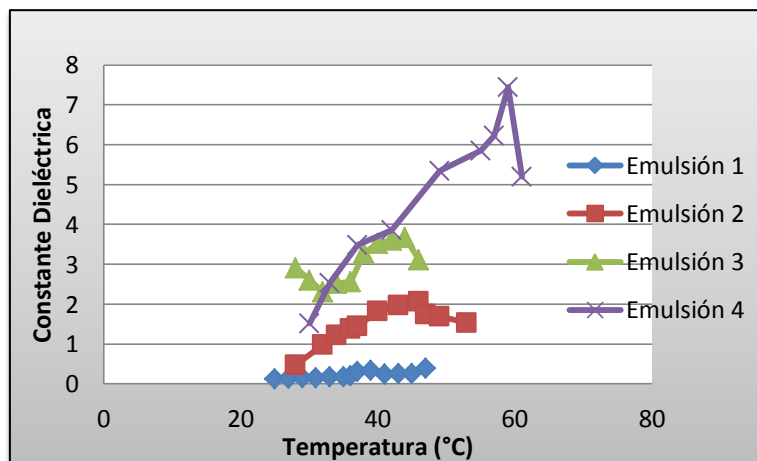
Temperatura (°C)	Capacitancia (nF)	Constante Dieléctrica
28	1,322	2,908
30	1,183	2,603
32	1,047	2,301
34	1,144	2,517
36	1,166	2,564
38	1,493	3,284
40	1,604	3,529
42	1,637	3,600
44	1,670	3,673
46	1,412	3,106

Tabla 9. Resultados Experimentales emulsión 4

Temperatura (°C)	Capacitancia (nF)	Constante Dieléctrica
30	6,91	1,52
33	11,52	2,53
37	15,84	3,48
42	17,57	3,86
49	24,31	5,35
55	31,5	5,85
57	39,56	6,24
59	42,34	7,45

En la Figura 2 se muestra la variación de la constante dieléctrica de las emulsiones, en función de la temperatura.

Figura 2. Constante Dieléctrica Vs Temperatura de las Emulsiones



En la Figura anterior se puede ver que cada emulsión se rompe a diferente valor de temperatura. Se puede ver que la Emulsión 4 presenta una constante dieléctrica mayor comparada con las otras emulsiones. Todas estas variaciones se

deben a que cada emulsión tiene diferente composición (ver tabla 10), por lo tanto el comportamiento es distinto.

2.3.2 Selección de la emulsión más estable En la Tabla 10 se muestra un resumen de la temperatura de rompimiento y la constante dieléctrica para cada emulsión.

Tabla 10. Temperatura de Rompimiento y Constante Dieléctrica de las Emulsiones

Emulsión	Composición		Temperatura Rompimiento (°C)	Constante Dieléctrica
	% peso ABS-Aa	% Peso solución Nonilfenol en agua		
1	20	80	47,2	0,39
2	30	70	53,5	1,53
3	40	60	46,4	3,10
4	70	30	59,3	7,45

De acuerdo a los resultados obtenidos, se eligió utilizar la emulsión 4 para la aplicación ya que este presenta menor inestabilidad y se rompe a una mayor temperatura comparada con las demás, lo cual es favorable para la elaboración de los pre-pregs, ya que estos serán sometidos a temperaturas altas. En la tabla anterior se ve que la constante dieléctrica aumentaba proporcionalmente al aumentar la cantidad de ABS-Aa en la emulsión y al disminuir la cantidad de solución Nonilfenol/agua.

2.4 CARACTERIZACIÓN DE PRE-PREGS

2.4.1 Dureza Los resultados de la prueba de dureza, según la escala Shore se muestran en la Tabla 11.

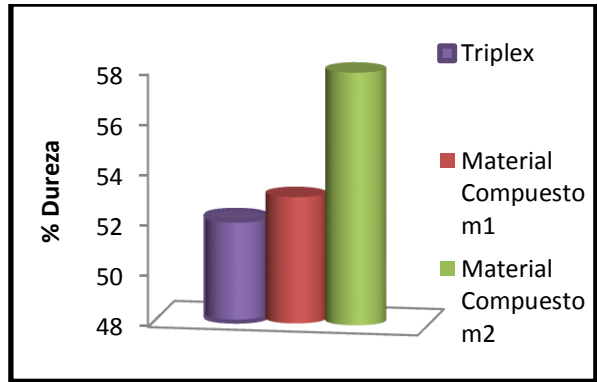
Tabla 11. Resultados prueba Dureza Shore del pre-preg

DUREZA (0-100 SHORE)		
	Muestra 1	Muestra 2
Promedio	53	58

Se puede ver que en la escala Shore la dureza para la muestra uno oscila entre 50-55%, mientras que para la muestra dos esta entre 56-60%, lo cual quiere decir que la muestras presentan una gran resistencia contra la penetración y la magnitud de la carga aplicada. En la Figura 3 se muestra una comparación del porcentaje de dureza del material compuesto y el Triplex.

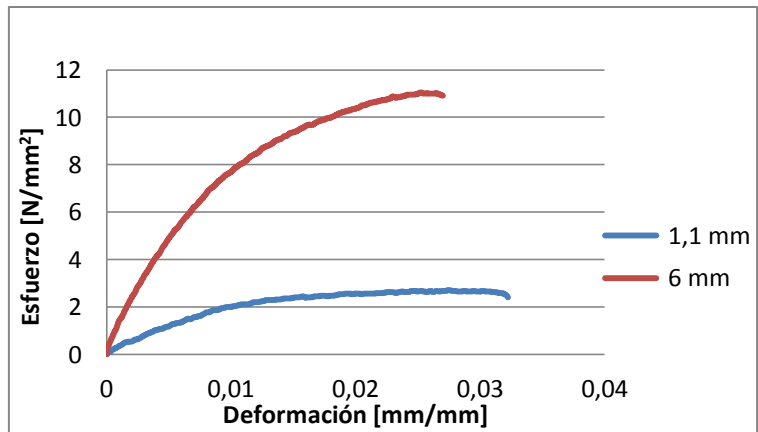
El Triplex reporta una dureza del 52 % en la escala Shore tipo D (Peraza, 2011); al comparar este valor con el resultado obtenido para el material compuesto se ve que este presenta un valores más altos, lo cual lo hace más resistente a la penetración y a la carga aplicada.

Figura 3. Comparación % Dureza escala Shore Material Compuesto y Triplex



2.4.2 Tensión En la Figura 4 se muestran las curvas esfuerzo vs deformación correspondientes a las probetas con espesor de 1,1 mm y 6 mm. De este ensayo se puede obtener información acerca de la resistencia a la cedencia, resistencia a la tensión y el módulo de Young del material.

Figura 4. Esfuerzo Vs Deformación



El módulo tiene una relación estrecha con la energía de enlace atómico. Una pendiente pronunciada de la gráfica fuerza-distancia a la distancia de equilibrio (interatómica) indica que se requieren grandes fuerzas para separar las cadenas atómicas y hacer que el material se estire en forma elástica. El módulo de Young de un material compuesto depende de la rigidez de los componentes individuales y es una medida de la rigidez de cada uno de estos (Askeland, 2004). De acuerdo

a lo anterior y según la Figura 4, se puede decir que las probetas con espesor de 6 mm requieren de fuerzas de Van der Waals más grandes para separar las cadenas de los enlaces atómicos y lograr la deformación elástica. Se observa que la probeta con espesor de 6 mm tiene una resistencia a la cedencia de 8,36 N/mm², mientras que la probeta que tiene un espesor de 1,1 mm tiene una resistencia a la cedencia de 2,31 N/mm², es decir que el punto de cedencia del material para ambas ocurre a una deformación de 0,01 mm. También se puede ver que la zona elástica de las probetas con espesor de 6 mm, es mayor y que la pendiente es más pronunciada, razón por la cual el módulo de Young o módulo de elasticidad es mayor para estas probetas.

Los resultados de los cálculos del ensayo de tensión, se muestran en la Tabla 12.

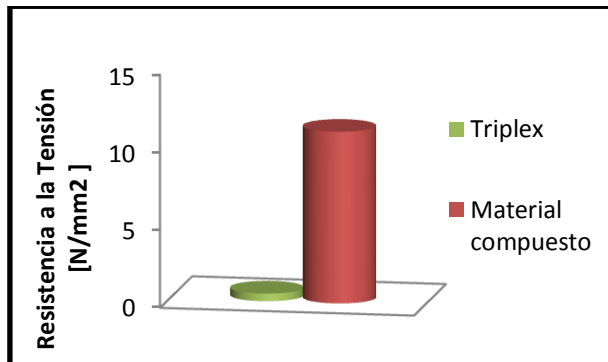
Tabla 12. Resultados ensayo de Tensión del pre-preg

Espesor de la Probeta	Módulo de Young		Resistencia a la cedencia		Resistencia a la tensión		Longitud de ruptura
	[N/mm ²]	[psi]	[N/mm ²]	[psi]	[N/mm ²]	[psi]	
1,1	200	29000	2,31	334,95	2,714	393	0,032
6	980	142100	8,36	1212	11,050	1602	0,027

En la tabla anterior se ve que las probetas con espesor de 6mm presentan valores superiores en todas las propiedades, esto se debe a que su espesor es mayor, por lo tanto este prepreg tiene más cantidad de polímero, lo que lo hace más rígido; también se observa que el punto de ruptura o falla de ambas probetas es muy cercano.

En la Figura 5 se muestra una comparación de la resistencia a la tensión de ambos materiales.

Figura 5. Comparación Resistencia a la Tensión del Material compuesto y el Triplex



En la literatura se encuentra que el triplex con un calibre de 6 mm tiene una resistencia a la tensión de 0,4902 N/mm² (Pizano, 2013), este valor es diecisiete veces inferior al resultado obtenido para el material compuesto con el mismo espesor, lo cual quiere decir que este material requiere de un mayor esfuerzo, el cual corresponde a la carga máxima en el ensayo de tensión.

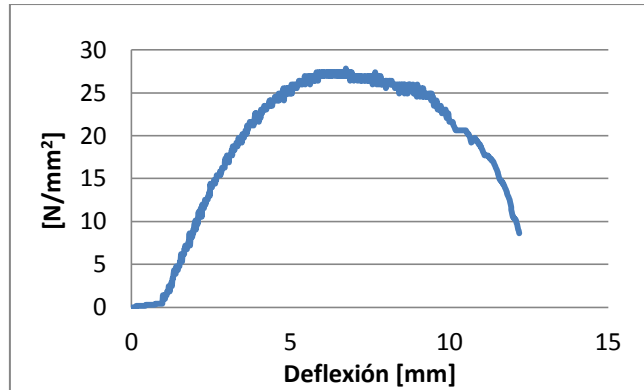
2.4.3 Impacto Los resultados del impacto Izod de energía absorbida (ver Tabla 13) indicaron valores en el rango de 1 lbs-ft a 1.1 lbs-ft. Los modos de rotura fueron repetitivos y las interacciones del pre-preg fueron consistentes.

Tabla 13. Resultados ensayo de Impacto del pre-preg

Energía Absorbida (lbs-ft)	Angulo (grados)
1 - 1,1	110 - 111

2.4.4 Flexión De este ensayo se puede obtener información acerca de la resistencia a la flexión, longitud de fractura y módulo de flexión del material. En la Figura 6 se muestra la curva resistencia a la flexión vs deflexión correspondiente al ensayo de flexión.

Figura 6. Resistencia a la Flexión Vs Deflexión del pre-preg



El módulo de flexión se calcula de la región elástica de la curva. También se puede ver que en la fractura comienza a una deflexión de aproximadamente 6,9 mm. En la curva se ve que la fractura del material comienza a una deflexión de 6,9 mm, la cual corresponde al punto máximo de esfuerzo que es aproximadamente 27 N/mm².

En la Tabla 14 se encuentran los resultados obtenidos del ensayo de flexión.

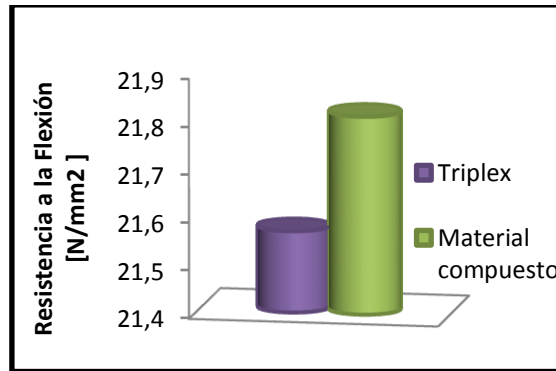
Tabla 14. Resultados ensayo de Flexión del pre-preg

$\sigma = \frac{3FL}{2wh^2}$		$E_{flexión} = \frac{L^3 F}{4wh^3 \delta}$		δ
[N/mm ²]	[psi]	[N/mm ²]	[psi]	[mm]
21,813	3163	516,94	75000	6,9

En la literatura se reporta que el Triplex tiene una resistencia a la flexión de 21,57 N/mm² (Pizano, 2013); al comparar este valor con el resultado obtenido para el material compuesto se puede ver que los valores son muy cercanos, es decir que estos dos materiales requieren de un esfuerzo similar para romperse.

En la figura 7 se muestra una comparación de la resistencia a la flexión del material compuesto y el Triplex.

Figura 7. Comparación Resistencia a la Flexión del Material compuesto y el Triplex



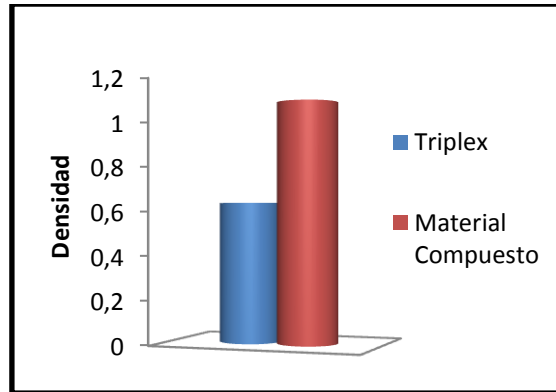
2.4.5 Densidad Real La Tabla 15 se presenta los resultados de la densidad del pre.preg.

Tabla 15. Resultados prueba de densidad real del prepreg

PESO (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)
14,9	13,5	1,1

De acuerdo a la tabla anterior la densidad real calculada para el pre-preg es de 1,1 g/ml, este valor es un poco mayor a los valores de densidad del ABSp (1,03 g/ml-1,05 g/ml) reportados en la literatura (Alser Plásticos, 2013) y es superior al valor reportado para el Triplex, el cual tiene un valor de 0,64 g/ml (Pizano, 2013). En la Figura 8 se muestra una comparación de la densidad del material compuesto y el Triplex.

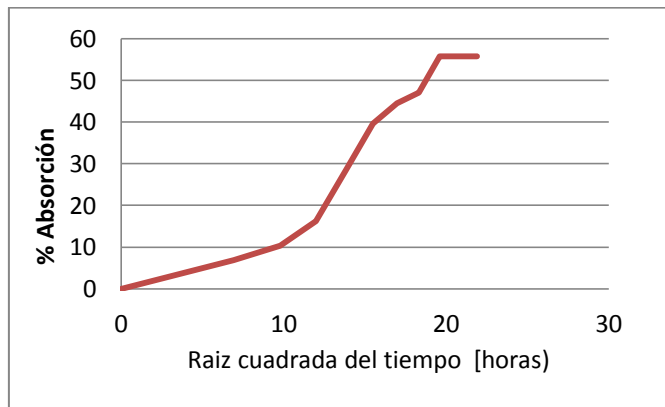
Figura 8. Comparación Densidad del Material compuesto y el Triplex



2.4.6 Absorción e hinchamiento en agua De acuerdo a los resultados de la Tabla 18 (Anexo J), este material presenta hinchamiento del 14,47%, absorción del 55,8% y sufre un cambio en sus dimensiones luego de haber estado inmerso en agua durante veinte días

La Figura 9 es un gráfico del aumento de peso como una función de la raíz cuadrada de cada tiempo de inmersión.

Figura 9. Incremento de peso Vs tiempo de inmersión del pre-preg



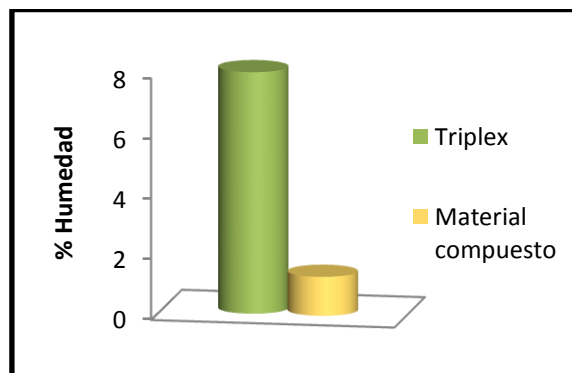
La pendiente inicial de esta gráfica tiene un valor aproximadamente de 1 y es proporcional a la constante de difusión de agua en el plástico. La región de la meseta con poco o ningún cambio en el peso como una función de la raíz

cuadrada del tiempo de inmersión representa el contenido de agua de saturación del plástico.

El Triplex reporta hinchamiento $\leq 8\%$ antes de las 24 horas (Pizano, 2013), al comparar este resultado con el material compuesto se puede decir que este es mejor ya que presenta un porcentaje menor en el mismo tiempo, ya que en la Tabla 15 (Anexo I) se puede ver que a las 24 horas el hinchamiento es del 1,29%; esto se debe al carácter hidrófobo del ABSp.

La Figura 10 muestra una comparación del porcentaje de Humedad del material compuesto y el Triplex.

Figura 10. Comparación % Humedad del Material compuesto y el Triplex



2.4.7 Prueba de Ignición Se observa una llama de alta intensidad color amarillo (Ver Anexo F, Imagen 26), se produce mucho humo, es decir que el pre-preg es fuliginoso, esto se debe a que el polímero es muy combustible, por otro lado se presenta un efecto de capilaridad como una mecha, el cual se debe al periódico y esto hace que la llama se alimente, por tal razón se requiere agregar protectores que hagan que el este adquiera carácter ignífugo.

2.4.8 Resistencia a soluciones químicas Las muestras que fueron sumergidas en las soluciones agua-jabón y agua-hipoclorito presentan hinchamiento debido al carácter hidrófilo del papel periódico, ya que la fibra del papel absorbió agua; la muestra sumergida en agua-jabón al tacto se siente resbalosa y tiene un olor característico debido a la descomposición de la solución; la muestra sumergida en hipoclorito de sodio un cambio en el color (aclaramiento), esto se debe a la acción blanqueadora del cloro; la muestra expuesta al varsol presenta un menor hinchamiento ya que absorbió muy poco esta sustancia.

3. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis espectroscópico con el IR se corrobora que las láminas de polímero recicladas son hechas de ABS.

Los resultados de selección del agente tensoactivo, muestran que el Nonilfenol vence la tensión superficial existente entre el ABS y el agua, permitiendo la emulsificación de estos.

Se encuentra que usando concentraciones de Nonilfenol inferiores al 30 % en peso, se producen emulsiones bifásicas del tipo O/W/O y hay formación de natas, lo cual no es favorable ya que hace que la emulsión se desestabilice.

La emulsión más estable se obtiene al usar una relación Nonilfenol agua de 3:7 en peso, una relación 7:3 en peso dispersión ABS_p-Aa solución Nonilfenol-agua y esta tiene una constante dieléctrica de 7,45 a una temperatura de rompimiento de 59,3 °C.

Las emulsiones simples preparadas presentan afinidad al agua y se dispersan con facilidad en ella, lo cual las clasifica como hidrófilas.

La caracterización físico-mecánica realizada al material compuesto, muestra que este se puede utilizar divisiones de espacios, ya que es una alternativa al Triplex puesto que las propiedades mecánicas son muy similares.

Este trabajo ofrece una alternativa al sector industrial, ya que contribuye con la problemática que existe respecto al reciclaje del ABS y del papel periódico, y a la vez permite darles un valor agregado al elaborar con ellos un material compuesto.

4. RECOMENDACIONES

Se debe profundizar más en el estudio de las emulsiones para poder realizar una caracterización más detallada de éstas.

Se recomienda agregar fosfato, ácido bórico o silicato de sodio a los pre-pregs para evitar que se queme la fibra de papel periódico.

Debido al carácter combustible del material, se debería buscar protectores que hagan que el este adquiera carácter ignífugo, ya que si se logra darle esta propiedad, el material podría usarse como alternativa al yeso que se coloca en techos (drywall).

Se sugiere aumentar la cantidad de matriz polimérica para reforzar la fibra de papel periódico, ya que de esta manera se podría obtener un material con diferentes características y propiedades físico-mecánicas.

Debido a que el material tiene afinidad al agua, se recomienda hacer un estudio de posibles impermeabilizantes que impidan que el material absorba agua y a la vez se hinche.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO R y RAMÍREZ A. *Estudio para la elaboración de emulsiones a partir de poliestireno expandido post-consumo*. Trabajo de grado Ingeniería Química. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2013. 60p.

ALIREZA A, AMIR N. *Characteristics of wood–fiber plastic composites made of recycled materials*. En: Waste Management. Elsevier Ltda. Enero, 2009, vol. 29, p. 1291–1295

ALSER PLÁSTICOS, S.L. *Acrilonitrilo Butadieno Estireno* [citado 2 Septiembre de 2013]. [Online]. Disponible en Internet: <http://www.plasticosalser.com>

ARANBERRI I, BINKS B.P, CLINT J.H, FLETCHER P.D.I. *Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos*. En: Revista Iberoamericana de Polímeros. Agosto, 2006, vol. 7 N° 3, p. 211-231

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM International- Standards Worldwide [online]. Disponible en Internet: <http://www.astm.org>

ASKELAND D, PHULÉ P. *Propiedades y comportamiento mecánico*. En: Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 4 ed. México: Editores Thomson Internacional S.A de C.V. 2004. p. 240-263

CELIS M, MANCHEGO L, CONTRERAS M. *Efecto del polímero celulosa de sodio sobre la inversión de emulsiones*. En: Revista ciencia e Ingeniería. Abril-Julio, 2008, vol. 29 N° 2, p. 115-122

CEMPRE. Papel y Cartón [online]. [citado 30 Agosto de 2013]. Disponible en Internet:

<http://www.cempre.org.co/documentos/Ficha%20Papel%20y%20Cart%C3%B3n.pdf>

CEMPRE. Plásticos [online]. [citado 30 Agosto de 2013]. Disponible en Internet:

<http://www.cempre.org.co/documentos/ficha%20pl%C3%A1stico.pdf>

CLAUSSE M y BECHER P. *Encyclopedia of Emulsion Technology*. New York: Marcel Dekker Ltd., 1985.

GONZÁLEZ L Y GONZÁLEZ C. *Aprovechamiento y Reutilización de ABS post-consumo en la fabricación de aglomerados usando como carga cascarilla de arroz*.

Trabajo de grado Ingeniería Química. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2010. 110p.

GROOVER M.P. Polímeros termoplásticos. En: *Fundamentos de manufactura moderna materiales, procesos y sistemas*. 1 ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A, 1997. p. 196-199

GRIFFIN W. C. "Calculation of HLB values of non-ionic Surfactants," *J. Soc. Cosmetic Chemists*, vol. 5, pp. 249-355, 1954.

LOBO H, BONILLA J, DEKKER M. *Handbook of plastics analysis*, p236 [Online].

Eds., Taylor & Francis e-Library [New York, U.S.A]: Google Books, 2005 [citado 10 Junio de 2013]. Disponible en Internet: <http://books.google.com.co/books?id=-0Fi8L2gHXcC&pg=PA236&lpg=PA236&dq=false>

MINISTERIO DE AMBIENTE. *Por un planeta más verde* [citado 24 Julio de 2013]. [Online]. Disponible en Internet:

<http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=7783&catID=796>

MIRAVETE A, CUARTERO J. *Asociación española de materiales compuestos. Materiales compuestos. Volumen 1*, 2003.

OCHOA M. *Reciclado mecánico de Materiales Compuestos con Fibras de Celulosa*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, 2005. 254p.

PERAZA F. *Recubrimientos de Tableros*. En: Asociación de la Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, 2011. [Citado Octubre 19 de 2013]. [Online]. Disponible en Internet: http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1649_17382.pdf?PHPSESSID=02cb05cffbdc8253f216abe65a39a108

PIZANO S.A. *La Madera con Ingeniería*. 2013. [Citado octubre 18 de 2013]. [Online]. Disponible en Internet: http://www.pizano.com.co/productos/madecor/madecor_rh/default.as

RAMÍREZ, Luz Adriana. *Uso de Acrilonitrilo Butadieno Estireno Post-consumo en la obtención de derivados poliméricos con valor agregado*. Trabajo de grado Ingeniería Química. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2011. 70p.

SHU-KAI Y, SUSHANT A, RAKESH K. G. *Wood-plastic composites formulated with virgin and recycled ABS*. En: Composites Science and Technology . Elsevier Ltda. Junio, 2009, vol. 69, p. 2255-2230

SALANGER J y FERNANDEZ A. *Surfactantes Generalidades y Materias primas*. Venezuela: Laboratorio FIRP. Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Los Andes, 2004.

SALANGER J. L., y ANTÓN R. E., Ionic Microemulsions. En: Handbook of Microemulsions Science and Technology, P. Kumar & K. Mittal Eds., Cap. 8. p. 247-280, Surfactant Science Series, M. Dekker, New York ,1999.

SALANGER J. L., y ANTÓN R. E., Formulación:HLB,PIT y R de Winsor. En: Handbook of Microemulsions Science and Technology, P. Kumar & K. Mittal Eds., Cap. 7., Surfactant Science Series, M. Dekker, New York ,1998.

TORAL M. T. *Fisicoquímica de Superficies y Sistemas Dispersos*: Ed.URMO, 1985.

VEGA A. F, MIRANDA J. *Emulsiones Farmacéuticas*. Universidad Autónoma de México. Facultad de Química, 2009. [Online]. Disponible en Internet: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Emulsiones_5452.pdf

ANEXOS

ANEXO A. CARACTERIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO

Imagen 1. Test llama ABSp



Imagen 3. Espectrómetro de IR, BRUKER modelo Tensor 27



Imagen 2. Prueba de solubilidad



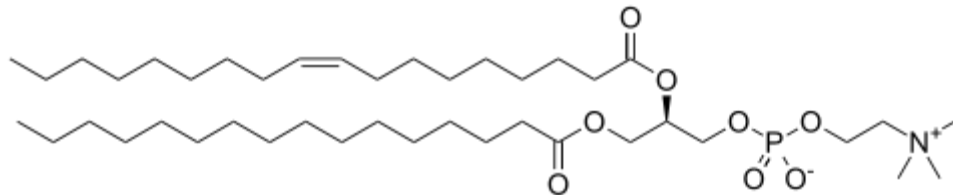
Imagen 4. Prueba de densidad ABSp



ANEXO B. AGENTES TENSOACTIVOS

1. Lecitina de soya

Imagen 5. Estructura Lecitina de Soya

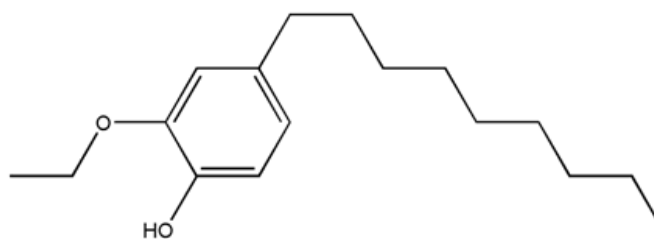


2. Nonilfenol

Los nonilfenoles son una familia de compuestos orgánicos relacionados de la familia de los alquil fenoles. Esta serie de sustancias son ingredientes comunes en numerosos detergentes, aunque la legislación europea los ha prohibido recientemente debido a su impacto sobre el medio ambiente. La característica química de los nonilfenoles es su estructura compuesta de un fenol unido a una cadena hidrocarbonada de nueve átomos de carbono.

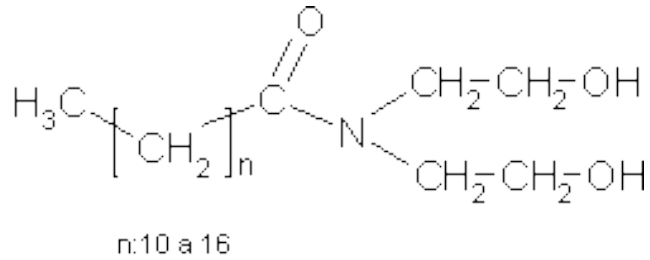
Fórmula: C₁₅H₂₄O

Imagen 6. Estructura Nonilfenol Etoxilado



3. Cocoamida

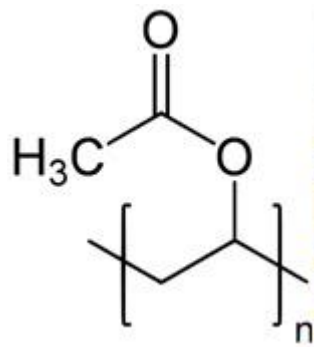
Imagen 7. Estructura Cocoamida



4. Alcohol Polivinílico

Alcohol Polivinílico (PVA) es un polímero sintético soluble en agua.

Imagen 8. Estructura Alcohol Polivinílico



ANEXO C. PREPARACIÓN DE EMULSIONES

Imagen 9. Ultra Turrax, IKA modelo T-25



Imagen 10. Emulsiones



ANEXO D. MEDICIÓN DE LA CAPACITANCIA A VARIACIONES DE TEMPERATURA

Imagen 11. Equipo de medición



Imagen 12. Medición de la capacitancia



ANEXO E. ELABORACIÓN DE PREPREGS

Imagen 13. Impregnación del papel periódico



Imagen 16. Cortadora SKIL



Imagen 14. Prensa hidráulica BEISTOR



Imagen 17. Calibrador digital



Imagen 15. Pre-pregs



ANEXO F. CARACTERIZACIÓN PREPREGS

Imagen 18. Durómetro analógico Shore tipo D



Figura 11. Forma y dimensiones de las probetas tipo IV

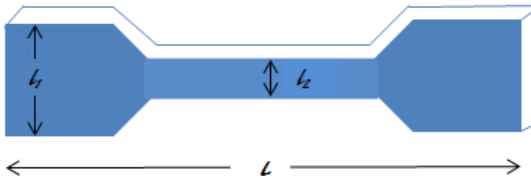


Imagen 19. Probetas ensayo de tensión



Imagen 20. Equipo TINIUS OLSEN modelo H25KS



Imagen 21. Equipo ensayo de Impacto Izod



Imagen 22. Ensayo de flexión



Imagen 23. Equipo ensayo de Flexión



Imagen 24. Prueba de densidad real del prepreg



Imagen 25. Hinchamiento en agua



Imagen 26. Prueba de ignición

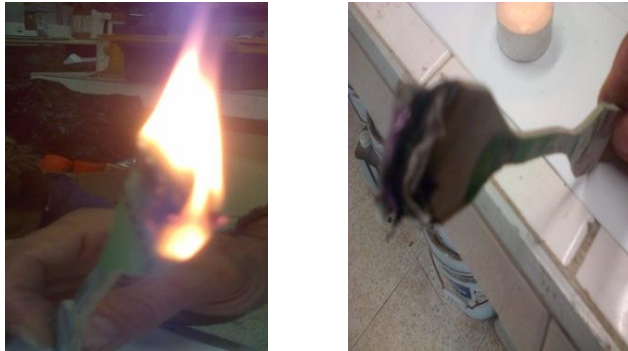


Imagen 27. Resistencia a soluciones químicas



ANEXO G. ESPECIFICACIONES DE LAS NORMAS ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS)

1. DUREZA

1.1 ASTM D 2240: Método de prueba estándar Dureza –durómetro

Importancia y uso

Este método de ensayo se basa en la penetración de un tipo específico de penetrador cuando se ven obligados en el material bajo condiciones específicas. La dureza de penetración es inversamente proporcional a la penetración y es dependiente del módulo elástico y el comportamiento visco-elástico del material. La geometría del indentador y la fuerza aplicada influir en las mediciones de tal manera que no existe una relación simple entre las mediciones obtenidas con un tipo de durómetro y los obtenidos con otro tipo de durómetro o de otros instrumentos utilizados para medir la dureza . Este método de ensayo es una prueba empírica destinada principalmente para fines de control. No existe una relación simple entre dureza de penetración determinado por este método de ensayo y cualquier propiedad fundamental del material ensayado. Para propósitos de especificación, se recomienda que el método de prueba D785 ser utilizado para los materiales distintos de los descritos en 1.1.

Alcance

Este método de ensayo cubre doce tipos de dispositivos de medición de la dureza de goma conocida como durezas: tipos A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S y R. El procedimiento para determinar la dureza de penetración de sustancias

clasificadas como elastómeras termoplásticas, vulcanizado (termoestable) de caucho, materiales elastómeros, materiales celulares, materiales de tipo gel, y algunos plásticos también se describe.

Este método de ensayo no es equivalente a otros métodos de dureza por indentación y tipos de instrumentos, específicamente los que se describen en la norma ASTM D1415.

Este método de ensayo no es aplicable a las pruebas de los tejidos recubiertos.

Todos los materiales, instrumentos o equipos utilizados para la determinación de la masa, la fuerza o dimensión deben tener trazabilidad con el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, u otras organizaciones reconocidas internacionalmente paralelos en la naturaleza.

Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como los estándares. Los valores entre paréntesis son sólo para información. Muchas de las dimensiones indicadas en SI son conversiones directas del sistema tradicional de EE.UU. para dar cabida a la instrumentación, prácticas y procedimientos que existían antes de la Ley de Conversión Métrica de 1975.

Esta norma no pretende dirigir todas las inquietudes sobre seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

1.2 ISO 868:2003

Especifica un método para la determinación de la dureza de penetración de plásticos y ebonita mediante durómetros de dos tipos: el tipo A se utiliza para

materiales más blandos y tipo D para materiales más duros. El método permite la medición ya sea de la indentación inicial o de la indentación después de un período especificado de tiempo, o ambos. Este método es un método empírico destinado principalmente para fines de control. No existe una relación simple entre dureza de penetración determinada por este método y una propiedad fundamental del material de prueba.

2. ASTM D 638: Método de prueba estándar para determinar las propiedades de tracción de los plásticos^[30]

Importancia y uso

Este método de ensayo está diseñado para producir datos de propiedades de resistencia a la tracción para el control y la especificación de los materiales plásticos. Estos datos también son útiles para la caracterización cualitativa y para la investigación y el desarrollo. Para muchos materiales, puede haber una especificación que requiere el uso de este método de ensayo, pero con algunas modificaciones de procedimiento que tienen prioridad cuando se adhiere a la especificación.

Las propiedades de tracción pueden proporcionar datos útiles para propósitos de diseño de plásticos de ingeniería. Sin embargo, debido al alto grado de sensibilidad exhibida por muchos plásticos a la tasa de esfuerzo y las condiciones ambientales, los datos obtenidos por este método de ensayo no pueden ser considerados válidos para aplicaciones que implican escalas de tiempo de carga o entornos ampliamente diferentes de los de este método de ensayo. En los casos de tal disimilitud, sin estimación fiable del límite de la utilidad se puede hacer para la mayoría de los plásticos. Esta sensibilidad a la tasa de esfuerzo y el medio ambiente requieren pruebas de más de una amplia escala de tiempo de carga (incluyendo impacto y fluencia) y la gama de condiciones ambientales, si las

propiedades de tracción son de suficiente para los propósitos de diseño de ingeniería.

Alcance

Este método de ensayo cubre la determinación de las propiedades de tracción de plásticos reforzados y reforzados en forma de probetas en forma de mancuerna estándar cuando se prueba bajo condiciones definidas de pre tratamiento, la temperatura, la humedad y la velocidad de la máquina de prueba.

Este método de ensayo se puede utilizar para materiales de cualquier espesor pruebas de hasta 14 mm (0,55 pulgadas). Sin embargo, para el análisis de muestras en forma de láminas delgadas, incluyendo la película de menos de 1,0 mm (0,04 pulgadas) de espesor. Los materiales con un espesor superior a 14 mm (0,55 pulgadas) deben reducirse en el mecanizado.

3. ASTM D256 -10: *Métodos de prueba estándar para la determinación de la Izod Pendulum Resistencia al impacto de plásticos*

Importancia y uso

Antes de proceder con estos métodos de prueba, debe hacerse referencia a la especificación del material que está siendo probado. Toda la preparación de muestras de ensayo, acondicionamiento, las dimensiones y las pruebas de los parámetros establecidos en la especificación de los materiales tendrán prioridad sobre los especificados en estos métodos de ensayo. Si no hay una especificación del material, se aplican las condiciones predeterminadas.

La prueba de impacto del péndulo indica la energía para romper probetas estándar del tamaño especificado en estipulado parámetros del modelo de montaje,

entallar, y el péndulo de velocidad en-impacto. La energía perdida por el péndulo durante la rotura de la muestra es la suma de lo siguiente:

- Energía para iniciar la fractura de la muestra.
- Energía para propagar la fractura a través de la muestra.
- Energía para tirar del extremo libre (o extremos) de la muestra rota ("tirar corrección ").
- Energía para doblar la muestra.
- Energía para producir vibraciones en el brazo del péndulo.
- Energía para producir vibración o movimiento horizontal del bastidor o base de la máquina.
- Energía para superar la fricción en el cojinete de péndulo y en el mecanismo indicador, y para superar resistencia aerodinámica (resistencia del aire péndulo).
- Energía de guiñón o deformar plásticamente la muestra en la línea de llegada.
- Energía para superar la fricción causada por el roce de la delantero (u otra parte del péndulo) sobre la cara de la probeta doblada.

Alcance

Esta norma cubre la determinación de la resistencia de los plásticos para "estandarizadas" (ver Nota 1) martillos de tipo péndulo, montado en el "estándar" de máquinas, en la ruptura muestras estándar con una oscilación del péndulo (ver Nota 2). Las pruebas estándar para estos métodos de prueba requieren muestras hechas con una muesca fresada (véase la Nota 3). En los Métodos de Ensayo A, C, y D, la muesca produce una concentración de tensión que aumenta la probabilidad de un quebradizo, en lugar de un dúctil, fractura. En el método de prueba E, la resistencia al impacto se obtiene mediante la inversión de la probeta con muesca 180 ° en el tornillo de banco de sujeción. Los resultados de todos los métodos de prueba se informan en términos de energía absorbida por

unidad de anchura de la muestra o por unidad de área de sección transversal debajo de la muesca. (Ver nota 4).

Nota 1-Las máquinas con sus martillos de tipo péndulo han sido " estandarizada " en que deben cumplir con ciertos requisitos, incluyendo una altura fija de caída del martillo que se traduce en una velocidad sustancialmente fija del martillo en el momento del impacto. Sin embargo, se recomiendan martillos de diferentes energías iniciales (producido mediante la variación de sus pesos eficaces) para su uso con muestras de diferente resistencia al impacto. Por otra parte, a los fabricantes de los equipos se les permite utilizar diferentes longitudes y construcciones de péndulos con las posibles diferencias en la rigidez del péndulo resultantes. (Vea la Sección 5.) Tenga en cuenta que pueden existir otras diferencias en el diseño de la máquina. Los especímenes son " estandarizada " en que se requiere que tengan una longitud fija, una profundidad fija, y un diseño particular de la muesca fresada. La anchura de las muestras se permite variar entre límites.

Nota 2-Resultados generados usando péndulos que utilizan una célula de carga para registrar la fuerza de impacto y por lo tanto la energía de impacto, pueden no ser equivalentes a los resultados que se generan utilizando probadores manualmente o digitalmente codificados que miden la energía que queda en el péndulo después del impacto.

Nota 3-La muesca de la muestra Izod sirve para concentrar el estrés, reducir al mínimo la deformación plástica, y dirigir la fractura de la parte de la muestra detrás de la muesca. Dispersión de este modo se reduce la energía de rotura. Sin embargo, debido a las diferencias en las propiedades elásticas y visco elástica de plástico, respuesta a una categoría dada varía entre los materiales. Una medida de la de un plástico " sensibilidad a la entalla " se puede obtener con el método de

prueba D mediante la comparación de las energías de romper las muestras que tienen diferentes radios en la base de la muesca.

Nota 4-Se debe tener precaución en la interpretación de los resultados de estos métodos de prueba estándar.

4. ASTM D790: *Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de los plásticos no reforzados y reforzados y materiales de aislamiento eléctrico*

Importancia y uso

Las propiedades de flexión según lo determinado por estos métodos de ensayo son especialmente útiles para los propósitos de control de calidad y especificación. Materiales que no fallan por la tensión máxima permitida por estos métodos de ensayo (3 puntos de curva) puede ser más adecuado para un ensayo de flexión de 4 puntos. La diferencia básica entre los dos métodos de ensayo está en la ubicación del momento máximo de flexión y tensiones máximas de fibras axiales. Las tensiones máximas de fibras axiales se producen en una línea debajo de la nariz de carga en flexión de 3 puntos y sobre el área entre las narices de carga en flexión de 4 puntos.

Las propiedades de flexión pueden variar con el espesor de la muestra, temperatura, condiciones atmosféricas, y la diferencia en la tasa de esfuerzo tal como se especifica en los Procedimientos A y B (véase también la Nota 7).

Alcance

Esta norma cubre la determinación de las propiedades de flexión de plásticos reforzados y reforzados, incluyendo compuestos de alto módulo y materiales aislantes eléctricos en forma de barras rectangulares moldeadas directamente o

corte de las hojas, placas o formas moldeadas. Estos métodos de ensayo son aplicables tanto a los materiales rígidos y semirrígidos general. Sin embargo, la resistencia a la flexión no se puede determinar para aquellos materiales que no se rompen o que no fallan en la superficie exterior de la muestra de ensayo dentro del límite de tensión 5,0% de estos métodos de ensayo. Estos métodos de ensayo utilizan un sistema de carga de tres puntos se aplica a una viga simplemente apoyada.

- Procedimiento A, diseñado principalmente para materiales que se rompen en la comparativamente pequeñas desviaciones.
- Procedimiento B, diseñado en particular para los materiales que se someten a grandes deformaciones durante las pruebas. -Las pruebas comparativas se pueden ejecutar de conformidad con cualquiera de los procedimientos, a condición de que el procedimiento se ha encontrado satisfactoria para el material que está siendo probado.
- El procedimiento A se utiliza para la medición de las propiedades de flexión, módulo especial de flexión, a menos que la especificación del material indica lo contrario. Procedimiento B se puede usar para la medición de sólo resistencia a la flexión.
- Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como el estándar. Los valores indicados entre paréntesis son sólo para información.

5. DENSIDAD REAL

La densidad es una propiedad tanto de sólidos, líquidos y gases; en un material compuesto es muy útil para determinar la resistencia y su grado de compactación. Además, es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado.

Para calcular la densidad de un material compuesto, se utiliza el método de Arquímedes, el cual emplea la diferencia de peso de la probeta en aire y en agua; para determinar su densidad con la ayuda de la fuerza de empuje ejercida por el líquido hacia el objeto:

$$\rho = \frac{P_s}{V_m}$$

P_s : Peso de la muestra seca

V_m : Volumen ocupado por la muestra

6. ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO DE AGUA

La absorción de agua en un material, conduce a afectar las propiedades térmicas y mecánicas del mismo. Dentro de los problemas más comunes causados por dicha absorción se encuentran: hinchamiento del pre-preg (fibra-matriz), formación de micro grietas, facilidad de fracturas en el material y otros defectos que impiden su uso a nivel industrial (Miravete y Cuartero, 2003).

El porcentaje de absorción e hinchamiento de agua se calculan de la siguiente manera:

$$\% Abs = \frac{P_H - P_s}{P_s} * 100$$

$$\% Hinch = \frac{e_H - e_s}{e_s} * 100$$

Donde,

P_H : Peso húmedo de la muestra; P_s : Peso seco de la muestra; e_H : Espesor húmedo de la muestra; e_s : Espesor seco de la muestra.

ENSAYO DE ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO DE AGUA NORMA ASTM D570

Importancia y uso

Este método de ensayo para la tasa de absorción de agua tiene dos funciones principales: para la proporción de agua absorbida por un material, en los casos en que las relaciones entre la humedad y las propiedades han sido determinadas y como una prueba de control de la uniformidad de un producto.

El contenido de humedad de un plástico está íntimamente relacionado con las propiedades tales como la resistencia eléctrica de aislamiento, las pérdidas dieléctricas, resistencia mecánica, la apariencia, y las dimensiones. El efecto sobre estas propiedades depende en gran medida del tipo de exposición (por inmersión en agua o por la exposición a una humedad alta), forma de la pieza, y las propiedades inherentes del plástico.

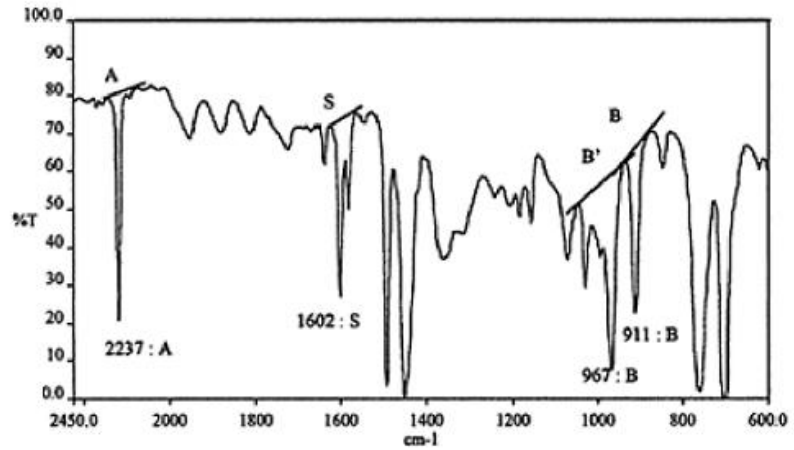
Alcance

Este método de ensayo cubre la determinación de la velocidad relativa de la absorción de agua por los plásticos cuando se sumerge. Este método de ensayo está destinado a aplicarse a las pruebas de todos los tipos de plásticos.

Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como los estándares.

ANEXO H. ESPECTROS ATR-IR

Figura 12. Espectro IR del ABS puro



Fuente: LOBO H, BONILLA J, DEKKER M: "Handbook of plastics analysis". Taylor & Francis e-Library. Google Books, 2005. p236.

Figura 13. Espectro ATR-IR ABS post-consumo

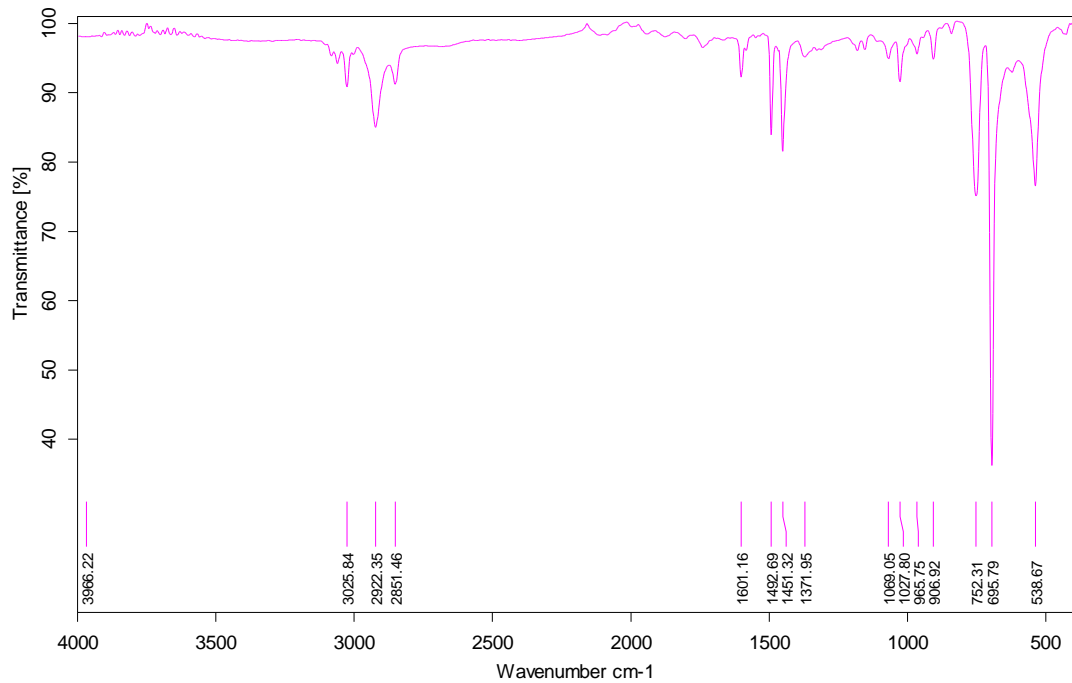


Figura 14. Espectro ATR-IR ABS disuelto en Acetato de Amilo

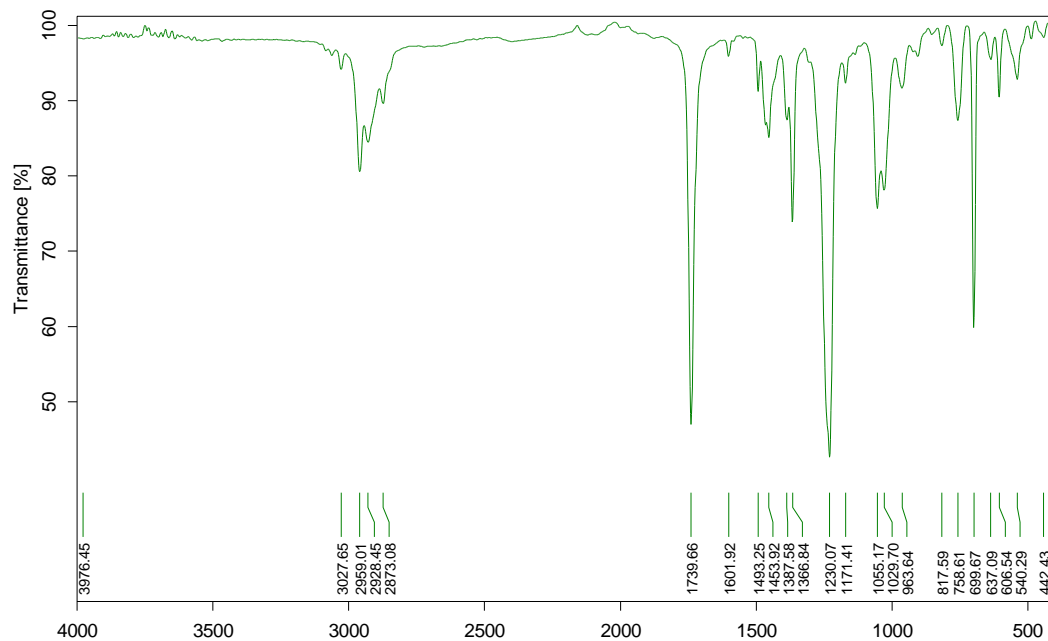


Figura 15. Espectros ATR-IR ABS Sólido y ABS disuelto en Acetato de Amilo

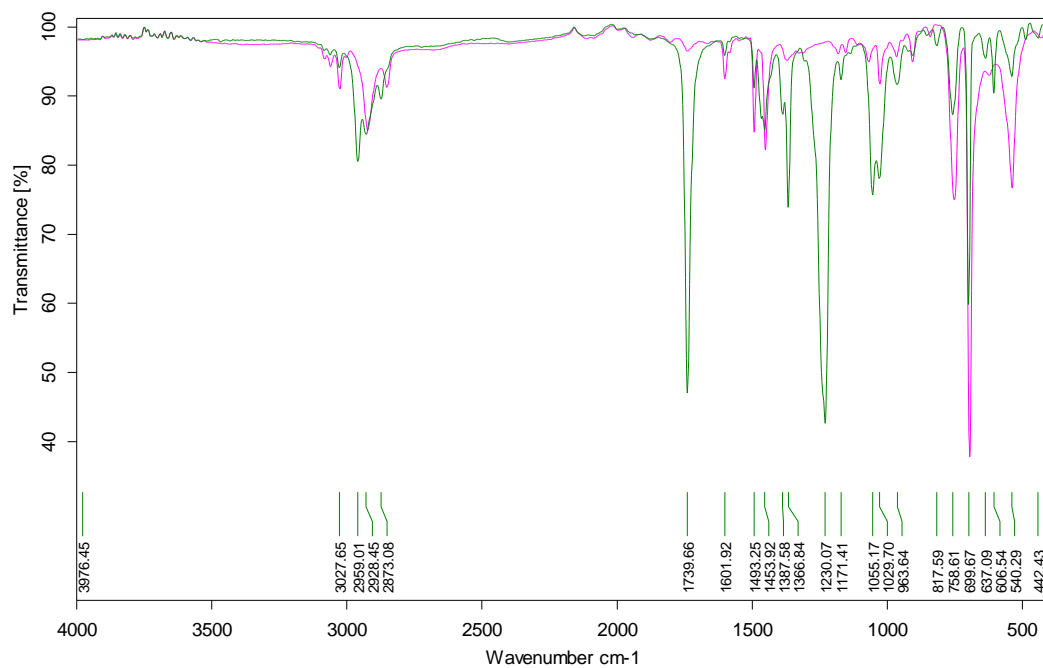


Tabla 16. Picos característicos del ABSp y ABS

Número de onda experimental (cm ⁻¹)	Número de onda literatura (cm ⁻¹)	Tipo de vibración
3025,84	3030	Vibraciones de tensión C-H Aromático
2922,35		Vibraciones de tensión C-H Alcano
1601,16	1602	Vibración de tensión del esqueleto aromático
1492,99	1494	Deformación tijera del CH ₂
1451,32		Tensión del enlace -C=C- del anillo aromático (conjugación con el anillo).
1371,95		Vibración flexión C-H
1099,05		C-H vibración flexión en el plano aromático
1027,80		Frecuencia flexión del anillo C-H en el plano
965,75	967	Vibración flexión C-H
906,92	911	Vibración flexión C-H
752,31	761	=C-H banda debido a la flexión fuera del plano.
696,79	699	Flexión del CH.

**ANEXO I. DATOS EXPERIMENTALES MEDICIÓN CAPACITANCIA Y
CÁLCULO CONSTANTE DIELECTRICA DEL BENCENO**

Tabla 17. Resultados experimentales del Benceno

Temperatura termocupla(°C)	Capacitancia (nF)	Constante Dieléctrica
33	0,955	2,1004
34	0,978	2,1510
35	1,021	2,2456
37	1,204	2,6480
39	1,551	3,4113
40	1,697	3,7324
41	1,782	3,9194
43	1,812	3,9853
45	1,899	4,1767
48	1,916	4,2141

**ANEXO J. DATOS EXPERIMENTALES PRUEBA DE ABSORCIÓN E
HINCHAMIENTO EN AGUA**

Tabla 18. Resultados prueba Absorción e Hinchamiento en agua

Prueba absorción e hinchamiento en agua				
V_{H2O} = 40 ml		P_s = 0,880 g		E_s = 3,87
Tiempo (h)	Peso (g)	Espesor (mm)	% Absorción	% Hinchamiento
0	0,880	3,87	0	0
48	0,94	3,92	6,82	1,29
96	0,971	3,96	10,34	2,33
144	1,023	3,98	16,25	2,84
192	1,132	4,03	28,64	4,13
240	1,229	4,11	39,66	6,20
288	1,276	4,24	44,55	9,56
336	1,294	4,31	47,05	11,37
384	1,371	4,43	55,80	14,47
432	1,371	4,43	55,80	14,47
480	1,371	4,43	55,80	14,47