

**PRODUCCIÓN DE EMULSIONES POLIMÉRICAS A PARTIR DE POLIESTIRENO
POST-CONSUMO, CON POSTERIOR APLICACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE
AGLOMERADOS.**

LUIS ERNESTO CORTÈS CASTILLO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2011

**PRODUCCIÓN DE EMULSIONES POLIMÉRICAS A PARTIR DE POLIESTIRENO
POST-CONSUMO, CON POSTERIOR APLICACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE
AGLOMERADOS.**

LUIS ERNESTO CORTÉS CASTILLO

Trabajo presentado como requisito para optar el título de Químico

JOSÉ CARLOS GUTIÉRREZ GALLEGO

Químico, M.Sc.

Director

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUÍMICA

BUCARAMANGA

2011

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor JOSÉ CARLOS GUTIERREZ por sus acertados consejos, paciencia y la dirección de la investigación.

A la escuela de química por permitir el desarrollo de la investigación en sus instalaciones.

A la escuela de ingeniería química por permitir el uso de sus equipos en el desarrollo de la investigación.

A los compañeros de laboratorio de química industrial LINA, MARTHA, SOFIA, JULIANA.

A mis amigos JORGE, DIANA, CARLOS, VICTOR, LEONARDO, MARCELA, DEYSI, ANDRES, ANGEL, HADDER, LUDWING, EDWIN, LAURA, LAURITA, MARIO, JHONY, JOSE, JESSICA, JOHANSON, MELBA, JOHANNA, ELIZABETH.

Y a todos aquellos que contribuyeron de uno u otra manera en el desarrollo de la investigación.

Dedicatoria

Primero que todo a DIOS por permitirme alcanzar este logro tan importante, A todas aquellas personas que contribuyeron en mi proceso de formación especialmente y con gran cariño a mi madre María Isabel castillo a mi padre Francisco, a mis hermanos Edgar Francisco y Pablo Javier, a mi abuela Carmen, a las esposas de mis hermanos Margarita y Silvia y con especial amor y cariño al futuro de mi generación JUAN FELIPE, MARIA ISABEL, SILVIA SOFIA esto es para ustedes.

A mi maestro José Carlos por sus consejos y los buenos momentos

A mis grandes amigos María Pacheco, Jorge, Diana, José Luis, Jessica, Ángel, Hadder, Gustavo Adolfo

Gracias "Pochis"

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1 ESTADO DEL ARTE	18
2 MARCO TEÓRICO	20
2.1 Problemática de los polímeros en Colombia y el mundo	20
2.2 Reutilización de Plásticos	22
2.3 El poliestireno	22
2.3.1 Condiciones de procesamiento	23
2.3.2 Polimerización Del Poliestireno	24
2.3.3 Propiedades del poliestireno	24
2.4 Emulsiones	25
2.4.1 Estabilidad de las emulsiones	27
2.4.2 Agentes tensioactivos como emulsificantes	29
2.4.3 Clases de agentes tensioactivos	30
2.4.3.1 Lecitina de Soya	31
2.4.3.2 Nonilfenol	32
2.4.4 Acción de los tensioactivos en la emulsificación	33
2.4.5 Caracterización de emulsiones	33
2.4.6 Numero HLB	34
2.4.7 Criterios de selección de emulsionantes	37
2.4.7.1 Estructura Química	37
2.4.7.2 Solubilidad	37
2.4.7.3 Proporciones en volumen	37
2.4.7.4 Emulsionante iónico o no iónico	38
2.4.8 La regla de Bancroft	38
2.4.9 Las aplicaciones de las emulsiones	38

2.4.9.1	Características de un buen agente emulsionante y de un agente emulsificador	39
2.5	Aglomerado o madera Plástica	39
3.	Caracterización de materiales Poliméricos de poliestireno	41
3.1.1	Solubilidad	41
3.1.2	Densidad	41
3.1.3	Test de llama	42
3.1.4	Test de pirolisis	43
3.1.5	Técnicas Instrumentales	44
3.1.6	Espectroscopia de infrarrojo	44
4.	Caracterización de los aglomerados	46
4.1	Test de llama	46
4.2	Degradación química	46
4.3	Densidad	46
5.	Desarrollo Experimental	47
5.1	Recolección, Fragmentación, Lavado del PS reciclado	48
5.1.1	Recolección	48
5.1.2	Fragmentación, Lavado	48
5.2	Caracterización del Poliestireno	49
5.2.1	Solubilidad	49
5.2.2	Densidad	49
5.2.3	Test de llama	50
5.2.4	Test de pirolisis	51
5.2.5	Espectro Infrarrojo del PS/PC	51
5.3	Preparación de emulsiones PS/surfactante/Agua	52
5.3.1	Reproducibilidad De Las Emulsiones	53
5.3.2	Proporciones PS/xileno-agua-lecitina de soya	54
5.3.3	Estabilidad de las Emulsiones	54

5.3.4	Determinación de Índice HLB	56
6.	Análisis de Resultados	57
6.1	Caracterización de Residuos de PS	57
6.1.1	Pruebas De Solubilidad	57
6.1.2	Densidad	58
6.1.3	Test De Llama	59
6.1.4	Test De Pirolisis	59
6.1.5	Espectro infrarrojo PS/PC	60
6.2	Preparación de emulsiones PS-PC/Surfactante/Agua	62
6.2.1	Elección Agente Surfactante	62
6.2.2	Proporciones emulsiones Agente-Surfactante/PS-PC/ Agua	63
6.2.3	Estabilidad de las emulsiones	66
6.2.4	Estabilidad por temperatura	70
6.2.5	Determinación del índice HLB	71
6.2.6	Espectro Infrarrojo de las emulsiones PS-PC/Emulsificante/Agua	71
6.3	Producción de Aglomerados	86
6.3.1	Recolección de fibras naturales	86
6.3.2	Elaboración Emulsión/Cargas	86
6.3.3	Pruebas Químicas	87
6.3.3.1	Test de llama	87
6.3.3.2	Degradación Química	88
6.3.3.3	Densidad	89
7.	CONCLUSIONES	90
8.	RECOMENDACIONES	92
	BIBLIOGRAFIA	93
	ANEXOS	97

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Distribución de Residuos sólidos urbanos en Colombia	21
Figura 2	Distribución de Residuos Urbanos a Nivel Mundial	21
Figura 3	Monómero de vinil benceno	23
Figura 4	Reacción de Polimerización del estireno	24
Figura 5	Esquema de una emulsión	25
Figura 6	Fases y tipos de Emulsiones	26
Figura 7	Mecanismos que contribuyen a la inestabilidad de las emulsiones	27
Figura 8	Esquema Molecular de un tensoactivo	30
Figura 9	Forma estructural de la fosfatidilcolina	31
Figura 10	Estructuras químicas que conforman la lecitina de soya	32
Figura 11	Estructura del Nonilfenol	32
Figura 12	Escala HLB	36
Figura 13	Medición de la densidad de un polímero, utilizando el principio de Arquímedes	42
Figura 14	Test de llama	43
Figura 15	Test de pirolisis	43
Figura 16	Bandas de absorción infrarroja características en polímeros	45
Figura 17	Diagrama Diseño Experimental	47
Figura 18	Material de PS/PC	48
Figura 19	Material PS/PC fragmentado	48
Figura 20	Test de Solubilidad PS/PC	49
Figura 21	Densidad de un fragmento de PS/PC	50
Figura 22	Test de llama	50
Figura 23	Test de pirolisis PS/PC	51
Figura 24	Película delgada de PS/PC en Xileno; Análisis IR	52

Figura 25	Emulsión PS/PC-Xileno-Agua-Lecitina	53
Figura 26	Agitador Hamilton Beach, Scoville 937	53
Figura 27	Emulsiones tiempo de espera tres Meses	55
Figura 28	Centrifuga Marca hettich Modelo EBA20	56
Figura 29	Test de llama PS/PC	59
Figura 30	Test de pirolisis PS/PC	60
Figura 31	Espectro Infrarrojo del PS/PC	61
Figura 32	Emulsión 4L, PS-PC/Lecitina/Agua; 70/25/5	65
Figura 33	Emulsión 5L, PS-PC/Lecitina/Agua; 75/20/5	66
Figura 34	Emulsión 5L, PS-PC/Lecitina/Agua; 80/15/5	66
Figura 35	Estabilidad de emulsiones por centrifugación	69
Figura 36	Estabilidad Emulsión 6L por Centrifugación	69
Figura 37	Estabilidad Emulsión 7L por Centrifugación	70
Figura 38	Espectro Infrarrojo del Xileno Comercial	72
Figura 39	Espectro infrarrojo de la fosfatidilcolina	74
Figura 40	Películas Delgadas de Las Emulsiones Preparadas.	75
Figura 41	Espectro Infrarrojo de la Emulsión L1	76
Figura 42	Espectro Infrarrojo de la Emulsión L2	77
Figura 43	Espectro Infrarrojo de la Emulsión L3	78
Figura 44	Espectro Infrarrojo de la Emulsión L4	79
Figura 45	Espectro Infrarrojo de la Emulsión L5	80
Figura 46	Espectro Infrarrojo de la Emulsión L6	81
Figura 47	Espectro Infrarrojo de la Emulsión L7	82
Figura 48	Espectro Infrarrojo de la Emulsión L8	83
Figura 49	Espectro Infrarrojo de la Emulsión L9	84
Figura 50	Espectro Infrarrojo de la Emulsión L10	85
Figura 51	Aglomerados elaborados según proporciones propuestas en la tabla 16	87
Figura 52	Test de Llama Aglomerados circulares	88
Figura 53	Resistencia ante Agentes químicos	88

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Valor de HLB según las características de dispersión	35
Tabla 2	Aplicaciones de los tensioactivos en función de su valor HLB	36
Tabla 3	Reproducibilidad de las emulsiones	54
Tabla 4	Resultados Test de solubilidad PS/PC	57
Tabla 5	Determinación densidad de PS/PC por volumen desplazado a 27 °C	58
Tabla 6	Asignación bandas IR del PS/PC	62
Tabla 7	Preparación de las emulsiones, Lecitina de Soya-variable /PS-PC/Agua	63
Tabla 8	Preparación de las Emulsiones Nonilfenol/PS-PC/Agua	64
Tabla 9	Preparación de las Emulsiones, Lecitina de Soya-fija /PS-PC/Agua	64
Tabla 10	Estabilidad de las Emulsiones por Tiempo	67
Tabla 11	Estabilidad de las Emulsiones por Centrifugación 10 rpm por 3 minutos	67
Tabla 12	Estabilidad de las Emulsiones por Centrifugación 20 rpm por 6 minutos	68
Tabla 13	Estabilidad de las Emulsiones por Centrifugación 60 rpm por 8 minutos	68
Tabla 14	Asignación Bandas IR Características del Xileno Comercial	72
Tabla 15	Asignación Bandas IR Características de la Fosfatidilcolina	74
Tabla 16	Emulsiones Utilizadas en La fabricación de Aglomerados	86
Tabla 17	Comportamiento de los aglomerados ante agentes químicos	89
Tabla 18	Densidad de Aglomerados por el método de volumen desplazado	89

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Espectro Infrarrojo PS/PC.	97
Anexo B. Espectro Infrarrojo Base de datos.	98
Anexo C. Fotografías Emulsiones L1 – L10	99

ABREVIATURAS

P.S:	Poliestireno
G.P.P.S:	Poliestireno Cristal
H.I.P.S:	Poliestireno de Alto Impacto
E.P.S:	Poliestireno Expandido
O/W:	Emulsión Aceite en Agua
W/O:	Emulsión Agua en Aceite
HLB:	Balance Hidrofilico- Lipofilico
FTIR:	Infrarrojo Transformada de Fourier
PS/PC:	Poliestireno Post- Consumo
CED:	Densidad de Energía Cohesiva

RESUMEN

TITULO: PRODUCCIÓN DE EMULSIONES POLIMÉRICAS A PARTIR DE POLIESTIRENO POST-CONSUMO, CON POSTERIOR APLICACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE AGLOMERADOS¹.

AUTOR: LUIS ERNESTO CORTÉS CASTILLO**

Palabras claves: poliestireno alto impacto, emulsión, aglomerado

En las últimas décadas debido al desarrollo tecnológico, el hombre ha generado consumo indiscriminado de materiales poliméricos. Pese a las diferentes campañas de prevención propuestas por entes gubernamentales y sociedades protectoras de medio ambiente, no ha sido posible la implementación de un método de reciclado o manejo de residuos sólidos urbanos. Estadísticas sobre la problemática actual, permiten el aprovechamiento de los materiales poliméricos contenidos en productos plásticos derivados de la industria del petróleo, clasificándolos como materias primas agotables, convirtiéndolas en residuos de alto valor con alternativas fáciles de recuperación y de fácil consecución. En busca de soluciones a este problema, en este trabajo se decidió darle un empleo útil al poliestireno post-consumo empleándolo en la preparación de emulsiones poliestireno-agua-Emulsificante. Antes de comenzar con la preparación de la emulsión se experimentó hasta encontrar el mejor tensioactivo para el tipo de emulsiones que se deseaba preparar, escogiéndose la lecitina de soya por ser un emulsionante natural, biodegradable y de fácil consecución. Durante la preparación de la emulsión se llevaron a cabo diversos ensayos variando las proporciones de los componentes, hasta obtener emulsiones estables, disminuyendo al máximo la cantidad de solvente apolar y emulsificante para obtener un proceso amigable al ambiente. Posteriormente se realizó el análisis infrarrojo de las emulsiones para corroborar la formación de la emulsión donde se usaron las bondades de los emulsificantes anfotéricos. Seguidamente se fabricaron aglomerados a partir de cascarilla de arroz como matriz de refuerzo y usando la emulsión como agente de pegado.

¹ Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Director GUTIERREZ José Carlos

ABSTRACT

TITLE: PRODUCTION EMULSION POLYMER FROM POLYSTYRENE POST-CONSUMER WITH POST- APPLICATION IN THE MANUFACTURE OF AGGLOMERATE².

AUTHOR: LUIS ERNESTO CORTÉS CASTILLO**

KEY WORDS: polystyrene high impact, emulsion, particle board

In recent decades due to technological development, man has created indiscriminate use of polymeric materials. Despite the different prevention campaigns proposed by government agencies and environmental protection societies, has not been possible to implement a method of recycling or solid waste management. Statistics on the current problem, allow the use of polymeric materials in product plastics derived from petroleum industry, classifying them as non-renewables raw materials, making high-value waste recovery and easy alternatives easy to achieve. In search of solutions to this problem, this paper decided to give useful employment to post-consumer polystyrene used in the preparation of polystyrene-water-emulsions, emulsifier. Before starting the preparation of the emulsions experiment to find the best for the type of surfactant emulsions that wanted to prepare, choosing soy lecithin emulsifier being a natural, biodegradable and easy to achieve. During the preparation of the emulsion was carried out several tests by varying the proportions of the components, to obtain stable emulsions, decreasing the maximum amount of apolar solvent and emulsifier for environmentally friendly process. Later infrared analysis was performed to corroborate the emulsions formation which used the benefits of amphoteric emulsifiers. The pellets were produced from rice husks as reinforcement using the emulsion as bonding agent.

² Degree Project

** Faculty of Science , School of Chemical , Director GUTIERREZ José Carlos

INTRODUCCIÓN

La sociedad de consumo, junto con la revolución tecnológica constante, ha dado lugar a la mayor producción de residuos de toda la historia de la humanidad, generándose así inconvenientes de tipo medioambiental. La evolución de la sociedad debe implementar mejoras tecnológicas en la producción limpia o amigable al ambiente; reduciendo la producción de residuos o realizando procesos de mínima producción de los mismos.

La generación de soluciones paralelas a diversos problemas como la contaminación; y la constante búsqueda del cuidado de los recursos naturales no renovables; permiten elucidar posibles salidas a las problemáticas, acompañadas de las tradicionales.

El concepto de "Basura" es subjetivo. El cual surge de la sociedad de consumo, y del desconocimiento del valor o de las posibilidades que representa a la sociedad. Identificando que lo que algunos denominan residuo "basura"; surge como la materia prima del presente que con el transcurrir del tiempo adquiere valor en el mercado.

Los materiales reciclados pueden presentar características similares al nuevo producto entre las que se encuentran: calidad, tenacidad, desgaste, resistencia al agua, a temperatura, ignífugos, antifúngicos y demás factores que le permiten competir frente a los materiales tradicionales.

La obtención de un material de poliestireno post-consumo, que aporta sus capacidades físicas y químicas, como sustituto parcial de una materia prima de gran impacto en la elaboración de productos con aplicaciones en pinturas, maderas plásticas, aglomerados y aislantes.

1. ESTADO DEL ARTE

Varios estudios han demostrado que polímeros reforzados con fibras naturales, han sido de gran utilidad en la producción de composites; Entre los más importantes encontramos a Oksman y otros quienes estudiaron la influencia de diferentes fibras de plátano, yute, lino en el refuerzo de una matriz de polipropileno; encontrándose que la rigidez y la flexión incrementó al aumentar el contenido de fibras.

Adicionalmente Bengtsson, Oksman; se centraron en la optimización de aglomerados reforzados con diferentes cantidades de silano, encontrándose una relación mínima del 4 % en relación peso a peso; evidenciado un mejor entrecruzamiento al adicionarse.

Wambua y otros; reportaron que las propiedades mecánicas de aglomerados de polipropileno reforzados con fibras de coco, cáñamo, yute; presentaron mejor resistencia a la tracción a medida que se aumentaba el volumen de fibra. Entre los refuerzos estudiados concluyeron que el de fibra de coco presentaba menor variación de las propiedades, en comparación con las de cáñamo.

Córdoba y otros; proponen el aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclada, reforzada con fibra vegetal tetera, utilizando la fibra como refuerzo en la matriz polimérica; encontrando como conclusión importante que la proporción óptima en la producción del aglomerado o madera plástica es en la que se empleaban 70% de Polipropileno y 30% de polietileno. Evidenciando además la mejora de las propiedades de ductilidad al incorporar un porcentaje de fibra en la formulación.

Delgado, Cortés; propusieron la elaboración de materiales reforzados con carácter biodegradable a partir de polietileno de baja densidad y bagazo de caña modificado; recomendando estudiar el mecanismo de degradación del material obtenido y realizar trabajos exploratorios con agentes naturales.

Aranberri y otros; Elaboraron y caracterizaron emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos; argumentando la importancia de las emulsiones concentradas en la industria farmacéutica actual.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PROBLEMÁTICA DE LOS POLIMEROS EN COLOMBIA Y EL MUNDO

En las últimas décadas debido al desarrollo tecnológico, el hombre ha generado consumo indiscriminado de materiales poliméricos. Pese a las diferentes campañas de prevención propuestas por entes gubernamentales y sociedades protectoras de medio ambiente, no ha sido posible la implementación de un método de reciclado o manejo de residuos sólidos urbanos.

Estadísticas sobre la problemática actual, permiten el aprovechamiento de los materiales poliméricos contenidos en productos plásticos derivados de la industria del petróleo, clasificados como materias primas agotables, convirtiéndolos en residuos de alto valor con alternativas fáciles de recuperación y de fácil consecución.

En nuestro país el uso de estos materiales no ha sido acorde con la tecnología desarrollada para el aprovechamiento y desarrollo de estos. En Colombia, encontramos un aumento del consumo y la generación de residuos urbanos per-cápita/día oscilando entre 0.5 y 0.8 Kg, de los cuales 0.056 Kg corresponden a desechos plásticos, representando el 20% del volumen y de un 5 a un 7% del peso total de desechos generados a nivel urbano ^{[2], [21]}.

El consumo per-cápita de plásticos en Colombia es de 11,3 Kilos anuales, inferior a Estados Unidos (99 Kg), Italia (65,7 Kg), Japón (97 Kg) y países latinoamericanos como México (25,5 Kg) y Venezuela (18 Kilos). La capacidad instalada por producción de resinas plásticas en Colombia es de 421000 Mg/año, con una utilización del 84% con excepción del polietileno de baja densidad se satisface la demanda nacional y se dispone de excedentes importantes para la exportación. El sector de envases y empaques es el de mayor volumen, con una participación del 55% (213400 Mg/año) del mercado total colombiano, en 1993 ^{[2], [21]}.

Existe la necesidad de crear diferentes procesos para aprovechar estos residuos; para lograr disminuir el impacto al entorno y ofrecer nuevas alternativas de creación de industria.

Figura 1. Distribución de Residuos sólidos urbanos en Colombia ^[21].

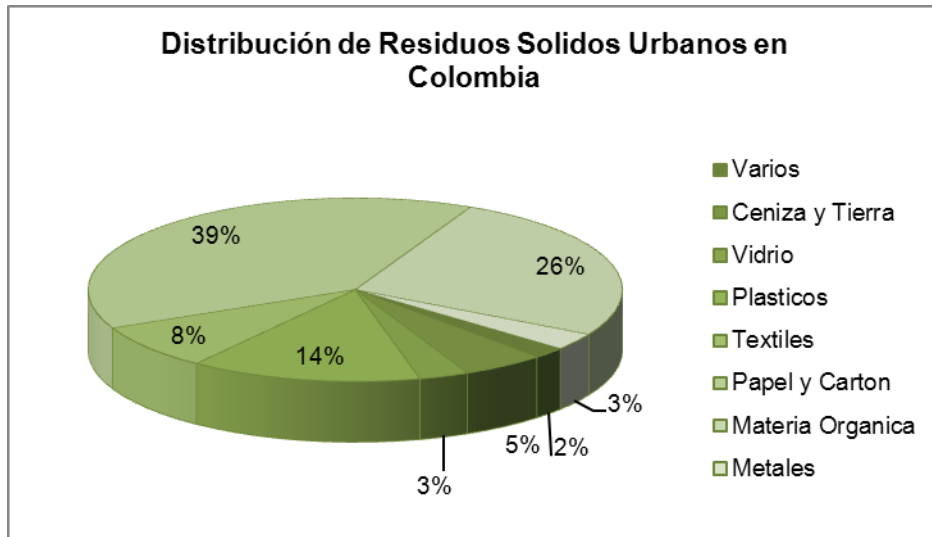
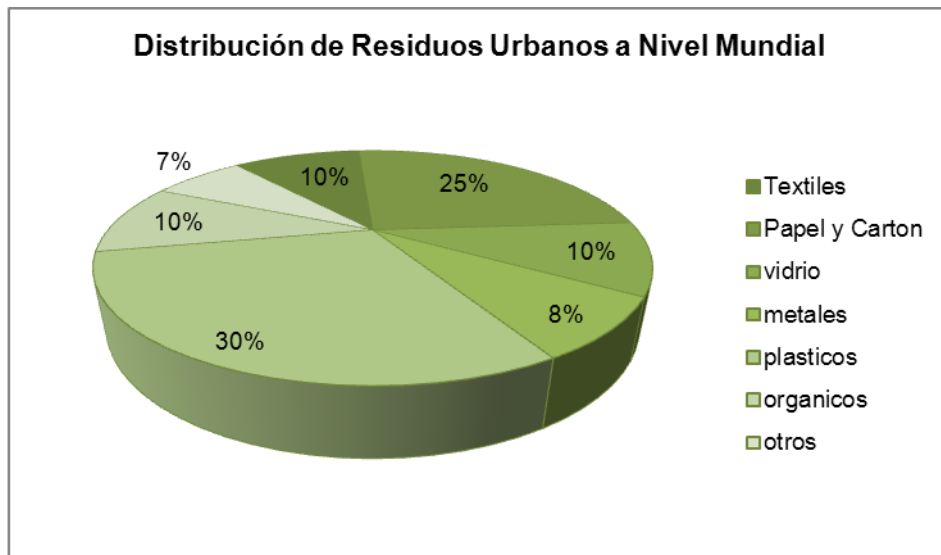


Figura 2. Distribución de Residuos Urbanos a Nivel Mundial ^{[2], [21]}.



2.2 REUTILIZACIÓN DE PLÁSTICOS

La reutilización de residuos es desde hace algunos años, motivo de discusión. El objetivo de la reutilización es, impedir que los residuos producidos se desperdicien. Empleándolos como materias prima en la producción, después de una etapa de preparación.

Gracias al reciclado pueden reducirse las cantidades de residuos así como las de materia prima y energía necesarias para la producción del nuevo material. En este sentido, el reciclado es una manera de reducir las cargas sobre el medio ambiente ^{[2], [21]}.

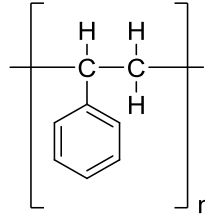
El beneficio que obtienen las personas y el entorno en que se mueven es fuertemente dependiente de lo perfecta que sea la ejecución de estos ciclos, de los costos que resulten y de la posible reutilización de los productos recuperados.

El reingreso de un material post-consumo a una cadena productiva permite, la reducción y minimización del impacto ambiental; generando nuevas oportunidades económicas y creando materiales con buenas propiedades físicas y químicas, con comportamientos similares al material obtenido por primera vez. Ofreciendo adicionalmente alternativas a pequeños empresarios en la creación de pequeñas industrias.

2.3 EL POLIESTIRENO

Se designa con las siglas PS. Estructuralmente, es una cadena larga de carbono e hidrogeno, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono. Es producido por polimerización vinílica de radicales libres a partir del monómero de estireno. A temperatura ambiente, el poliestireno es un sólido termoplástico, que puede ser fundido a altas temperaturas para moldearlo por extrusión y después resolidificarlo. El monómero utilizado como base en la obtención del poliestireno es el estireno (vinilbenceno): $C_6H_5 - CH = CH_2$ ^[20].

Figura 3. Monómero de estireno ^[20]



La polimerización del estireno produce un termoplástico transparente, incoloro, duro y rígido llamado poliestireno (PS), se conocen fundamentalmente tres tipos de poliestireno, poliestireno para uso general (*General-purpose polystyrene, GPPS*), para ciertas aplicaciones, se le añaden cauchos (diénicos y de otras clases), con el objeto de impartir extensibilidad, tenacidad y resistencia al impacto. Estos materiales se denominan "poliestirenos resistentes al impacto" (*high-impact polystyrene, HIPS*), el tercer tipo de poliestireno llamado expandible, (*Expandable polystyrene, EPS*), es mejor conocido comercialmente como anime ^[20].

2.3.1 Condiciones de procesamiento

Normalmente se usa alimentación por gravedad; los tamaños de los gránulos se controlan precisamente para proporcionar al procesador tamaños y densidades exactas en el material. Los GPPS y los HIPS tienen excelente estabilidad térmica, por lo que se usan en una gran variedad de equipos de extrusión y de moldeo.

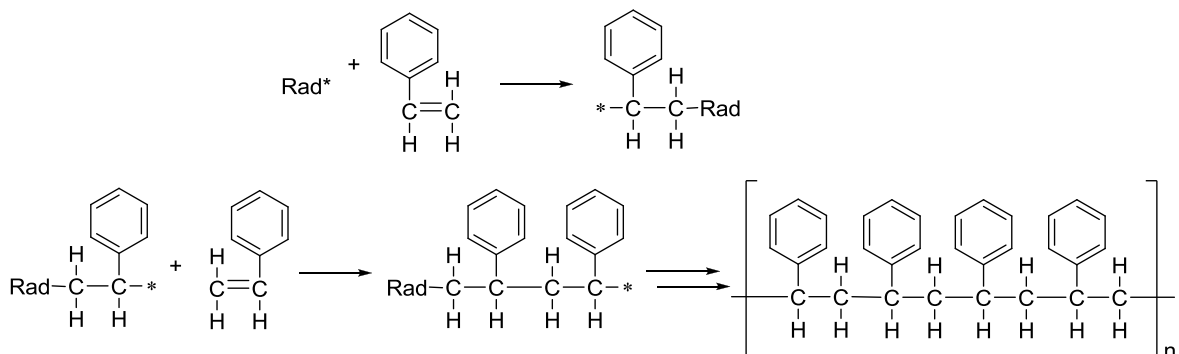
El material recuperado se maneja bien respecto a la resma nueva en proporción hasta de 30% en moldeo y 50% en extrusión. Las piezas de PS hechas con mezclas de material nuevo y recuperado normalmente no se distinguen de las que contienen únicamente material nuevo; el uso de material recuperado en artículos que han de estar en contacto con alimentos puede no estar permitido ^[20].

En general, los poliestirenos son compatibles entre ellos, pero no con otros polímeros, aunque hay algunas excepciones. La falta de compatibilidad produce piezas débiles y con propiedades no uniformes. Si un equipo fue utilizado para procesar otro material, debe purgarse muy bien con PS antes de procesar GPPS o HIPS en él.

2.3.2 Polimerización del poliestireno

A escala industrial, el poliestireno se prepara calentando el etilbenceno ($C_6H_5-CH_2-CH_3$) en presencia de un catalizador para dar lugar al estireno ($C_6H_5-CH=CH_2$). La polimerización del estireno requiere la presencia de una pequeña cantidad de un iniciador, entre los que se encuentran los peróxidos, que opera rompiéndose para generar un radical libre. Este se une a una molécula de monómero, formando así otro radical libre más grande, que a su vez se une a otra molécula de monómero y así sucesivamente. Finalmente se termina la cadena por reacciones tales como la unión de dos radicales, las cuales consumen pero no generan radicales ^[20].

Figura 4. Reacción de polimerización del estireno ^[20]



2.3.3 Propiedades del poliestireno

Hay que tener en cuenta que además de los enlaces covalentes que mantienen unidas a las moléculas de los monómeros, suelen producirse otras interacciones intermoleculares e intramoleculares que influyen notablemente en las propiedades físicas del polímero, que son diferentes de las que presentan las moléculas de partida. El poliestireno, en general, posee elasticidad, cierta resistencia al ataque químico, buena resistencia mecánica, térmica, eléctrica y baja densidad. El poliestireno es un polímero termoplástico. En estos polímeros las fuerzas intermoleculares son muy débiles y al calentar las cadenas pueden

moverse unas con relación a otras y el polímero puede moldearse. Cuando el polímero se enfría vuelven a establecerse las fuerzas intermoleculares pero entre átomos diferentes, con lo que cambia la ordenación de las cadenas ^[20].

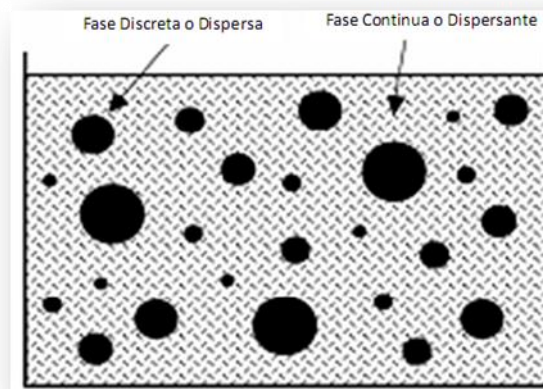
2.4 EMULSIONES

Las emulsiones son mezclas de componentes poco o nada miscibles, por lo que deben introducirse en su formulación sustancias que faciliten la dispersión de sus componentes de forma íntima y mantengan durante un cierto tiempo estable la emulsión. Tales sustancias se denominan emulsionantes o emulgentes. Su selección debe permitir conseguir emulsiones de las propiedades requeridas durante el tiempo deseado.

La selección de emulsionantes suele hacerse de forma empírica o intuitiva, basándose en la experiencia previa y realizándose posteriormente experimentación para probar si el producto seleccionado es satisfactorio. El conocimiento de los mecanismos por los que actúa una emulsión puede ayudar a su selección de forma más rápida y eficaz, ahorrándose tiempo y dinero.

Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, una es denominada fase continua o dispersante y la otra la fase discreta o dispersa ^{[3], [13]}.

Figura 5. Esquema de una emulsión ^[3]

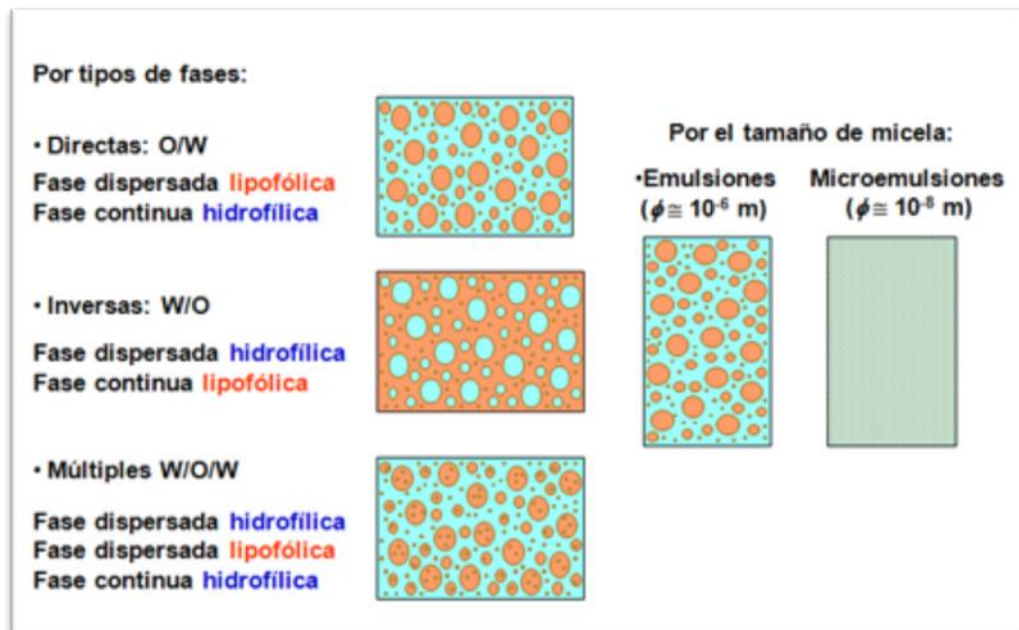


Generalmente el tamaño de la fase discreta tiene alguna dimensión lineal entre un nanómetro y una micra, son estos tamaños tan pequeños los que le dan a la emulsión sus importantes propiedades.

En la mayoría de las emulsiones una de las fases es acuosa y la otra es un aceite polar. 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*) [3], [15], [13].

El tipo de emulsión que se tiende a formar depende fundamentalmente de los volúmenes relativos de las dos fases presentes y del balance entre las propiedades hidrófilas e hidrófobas del agente emulsificante. Generalmente se suele cumplir la regla de Bancroft: la fase continua es aquella que solubiliza al agente emulsificante. También es posible la transformación de una emulsión *O/W* a *W/O* ó viceversa [3], [4], [6].

Figura 6. Fases y tipos de Emulsiones [13]



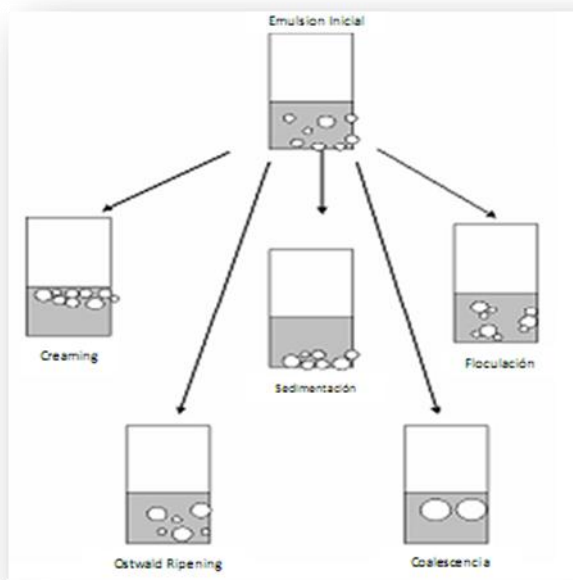
2.4.1 Estabilidad de las emulsiones

Las emulsiones son termodinámicamente inestables. En una emulsión la energía libre asociada a la superficie incrementa la energía libre total del sistema. Por tanto la emulsión tiende a romperse espontáneamente reduciéndose de este modo el área interfacial.

La emulsión se puede estabilizar mediante la introducción de agentes tensioactivos. Su acumulación en la interface aceite-agua reduce su tensión interfacial y, por tanto, la energía libre superficial del sistema es menor.

Una emulsión puede mantenerse estable durante un cierto tiempo, la disminución de temperatura mejora de forma considerable la estabilidad de las emulsiones al frenar el movimiento browniano de las partículas que las componen [3], [13], [15]. En la figura 7 se resumen algunos de los posibles mecanismos de rotura espontánea de una emulsión: “*creaming*” o sedimentación inversa, sedimentación, floculación, coalescencia, y engrosamiento de gotas (*Ostwald ripening*), que pueden ocurrir simultánea o secuencialmente y a velocidades muy variables y dependientes de muy diversos factores.

Figura 7. Mecanismos que contribuyen a la inestabilidad de las emulsiones [3]



A continuación se explican cada uno de los mecanismos de inestabilidad de las emulsiones:

- “*Creaming*”/sedimentación. Se trata de un proceso causado por la acción de la gravedad y produce un gradiente vertical de concentración de las gotas sin variar la distribución del tamaño de las mismas. Para las emulsiones o/w, las gotas de aceite son menos densas que la fase continua y acuosa y por lo tanto principalmente ocurre el “*creaming*”^[3].
- La floculación es la adhesión de las gotas sin fusionarse y no existe una variación en la distribución de tamaño de gotas. El proceso de la floculación está controlado por un equilibrio global entre las fuerzas de atracción electrostáticas de van der Waals, y repulsivas de tipo estéricas y de hidratación^[3].
- Coalescencia es la fusión de gotas para crear unas gotas más grandes con la eliminación de parte de la interfase líquido/líquido. Este cambio irreversible requeriría un aporte extra de energía para restablecer la distribución de tamaño de partícula original. A pesar de que el proceso de inestabilidad debido a la coalescencia no se comprende en su totalidad, se cree que está relacionado con la curvatura preferida y con la rigidez de la capa de tensioactivo que estabiliza la emulsión^[3].
- Engrosamiento de gotas (*Ostwald ripening*). Se debe al crecimiento de las gotas más grandes a costa de las más pequeñas hasta que éstas últimas prácticamente desaparecen. Este proceso ocurre a una velocidad que es función de la solubilidad de la fase dispersa en la fase continua y se debe a que la presión interna de las gotas (presión de Laplace) es mayor en las gotas más pequeñas^[3].

En general, el complejo proceso de la inestabilidad de las emulsiones suele ocurrir mediante la combinación de los cuatro posibles procesos de inestabilidad que pueden suceder simultáneamente a diferentes velocidades. De hecho, la mayoría de las veces, dos de los procesos anteriormente citados se suelen acoplar. Por ejemplo, las velocidades de flotación en las emulsiones diluidas son más rápidas en sistemas

floculados que en los no-floculados debido al aumento del tamaño de partícula flotante en el primer caso ^[9].

La estabilidad de las emulsiones vendrá determinada especialmente por la cinética de los procesos de floculación y de coalescencia. Los principales parámetros involucrados son:

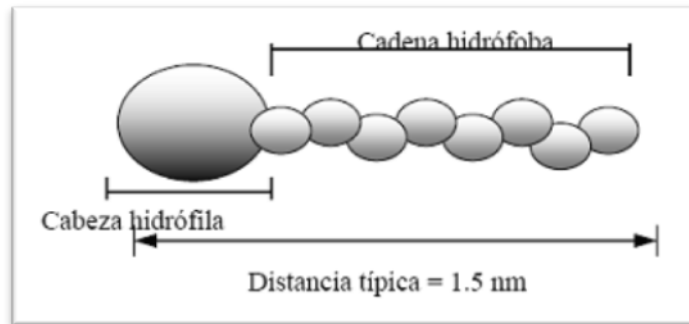
- La distribución del tamaño de gotas
- La temperatura
- La viscosidad de la fase continua y su variación con la temperatura
- La naturaleza de la película interfacial
- La existencia de barreras eléctricas o estéricas superficiales

La estabilización de una emulsión puede lograrse mediante tres tipos de especies químicas; partículas sólidas, o polímeros de peso molecular alto (como por ejemplo almidón o polialcoholes) que aumentan la viscosidad de la fase continua y compuestos anfifílicos de peso molecular medio o bajo llamados tensioactivos ^{[9], [22], [6]}.

2.4.2 Agentes tensioactivos como emulsificantes

Los agente tensioactivos, son moléculas que pueden adsorber en las interfaces, formar agregados y auto asociarse en soluciones acuosas ^[15]. Estas moléculas están caracterizadas por la posesión de dos partes de naturaleza opuesta, una polar y otra apolar. La parte polar o hidrófila de la molécula puede llevar una carga positiva o negativa, y es esta parte la que define al agente tensioactivo como catiónico o aniónico respectivamente. Otros agentes tensioactivos en cambio, no muestran carga iónica (no-iónicos). La parte apolar o hidrófoba de la molécula generalmente suele ser una cadena longitudinal de hidrocarburos. La Figura 8 muestra un esquema de una molécula de agente tensioactivo típico ^[3].

Figura 8. Esquema molecular de un tensoactivo ^[3]



2.4.3 Clases de agentes tensioactivos:

Los agentes tensioactivos se pueden clasificar en función de la naturaleza iónica de la cabeza:

i) Aniónicos: se trata de los agentes tensioactivos que presentan la cabeza hidrófila con carga negativa. Todos ellos poseen un contra-ion positivo que suele ser el Na^+ . A este tipo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfatos, los jabones (sales de sodio de ácidos grasos), los agentes espumantes como el lauril sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfatos, etc. ^[3]

ii) No-iónicos: En disolución acuosa no originan iones. Poseen grupos funcionales hidrófilos (tipo alcohol, fenol, éter o amida) con elevada afinidad por el agua, lo que los hace solubles en esta. El grupo hidrófobo es generalmente un radical alquilo o alquil benceno y a veces una estructura de origen natural como un ácido graso, sobre todo cuando se requiere una baja toxicidad, algunos de estos son productos de condensación del óxido de etileno con materiales fenólicos o grasos o los alquilpoliglucósidos. Son compatibles con todos los tipos de tensioactivos. En general presentan bajo poder espumante y pueden ser productos líquidos o pastosos. En muchas aplicaciones se añaden cotensioactivos (alcoholes, ácidos y aminas de cadena corta) para mejorar su actuación ^{[3], [15]}.

iii) Catiónicos: Tienen grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa originando iones con carga positiva y responsables de la actividad superficial. El contra ión

resultante, un anión, es generalmente del tipo halogenuro. Los tensioactivos Catiónicos son principalmente compuestos nitrogenados del tipo sal de amonio ^{[3], [15]}.

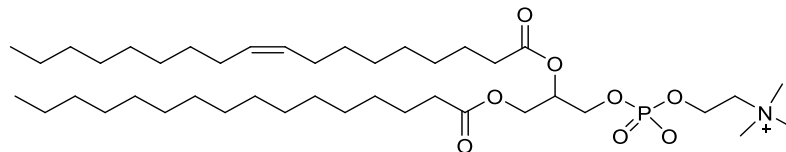
Presentan la ventaja que son compatibles con los tensioactivos no iónicos y anfotéricos y la desventaja de ser incompatibles, excepto casos especiales, con los tensioactivos aniónicos. Así mismo, su capacidad deterdora y su biodegradabilidad son bajas. Se suelen usar como agentes emulsionantes a pH inferiores a 7 ^{[3], [15]}.

iv) Anfotéricos: Combinan en una misma molécula los caracteres aniónicos y Catiónicos. Poseen grupos funcionales que pueden ionizarse en disolución acuosa confiriendo al compuesto el carácter aniónicos o catiónicos, según las condiciones del medio: ciertos anfóteros son insensibles al pH, otros son de tipo catiónicos a pH ácido y de tipo aniónicos a pH alcalino. Pertenecen a este grupo los aminoácidos y los fosfolípidos. Son compatibles con todos los tipos de tensioactivos ^{[3], [15]}.

2.4.3.1 Lecitina de Soya

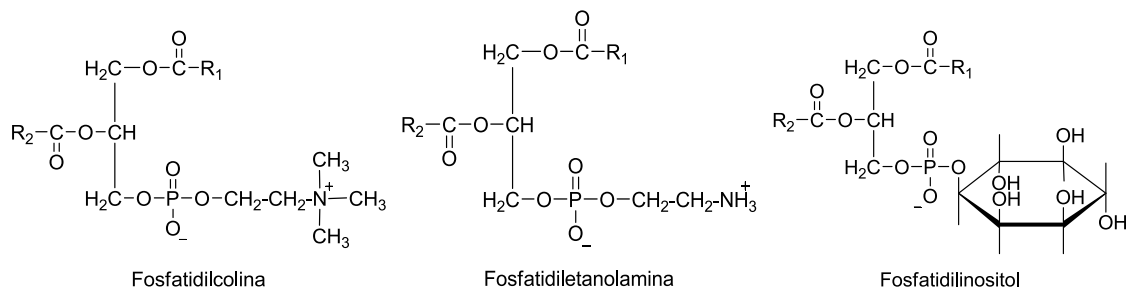
La lecitina de soya es un emulsificante natural utilizado como agente humectante, dispersante, lubricante, modificador de viscosidad, instantaneizador. La fosfatidilcolina, comúnmente denominada lecitina, es un componente importante de las membranas y lipoproteínas, es sintetizada en el organismo y no se considera un nutriente esencial ^[22].

Figura 9. Forma estructural de la fosfatidilcolina ^[22]



Está constituida por lípidos, ácidos grasos esenciales poliinsaturados y fósforo (fosfolípidos). Es un fosfolípido linoleico, fósforo y nitrógeno. La unión del inositol mas la colina da origen a una fosfatidilcolina o lecitina. Cuando sufre hidrólisis, produce dos moléculas de ácidos grasos, una molécula de glicerol, una de ácido fosfórico y un compuesto nitrogenado, generalmente la colina.

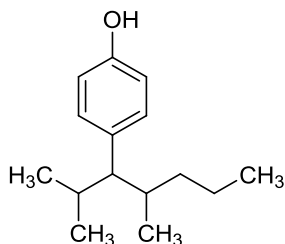
Figura 10. Estructuras químicas que conforman la lecitina de soya [22], [11]



2.4.3.2 Nonilfenol

Pertenece a una familia de compuestos orgánicos, subconjunto de los alquilfenoles; empleándose como precursor útil para ciertos detergentes. Adicionalmente presenta poca solubilidad en agua y moderada en alcohol [23].

Figura 11. Estructura del Nonilfenol [23]



Los alquilfenoles sometidos a etoxilación, producen alquilfenoles etoxilados; los cuales son utilizados como tensioactivos industriales. Entre sus aplicaciones se encuentra como agente emulsionante y útil en la polimerización por emulsión; en laboratorio para la fabricación de detergentes y pesticidas. Adicionalmente se utiliza como surfactante en la limpieza y productos cosméticos [23].

2.4.4 Acción de los tensioactivos en la emulsificación

La capacidad de estabilización de un tensioactivo depende tanto de la naturaleza del mismo como del tipo de emulsión sobre la que actúe. Una medida de la acción estabilizadora de un tensioactivo viene dada por la magnitud de su balance Hidrofílico - Lipofílico (HLB), que es un concepto que evalúa la fuerza relativa de dos extremos hidrofílicos y lipofílicos de su molécula.

En el caso de las emulsiones O/W con tensioactivos iónicos, su poder estabilizador viene dado fundamentalmente por la disminución de la velocidad del proceso de floculación. En cambio las emulsiones W/O no ven modificada su cinética de floculación por la presencia de tensioactivos: al ser la fase continua orgánica las moléculas de tensioactivo en la interfase están orientadas con su grupo lipofílico hacia el exterior de la gotita, con lo que no se reduce el potencial de repulsión ni, por tanto, la velocidad de floculación.

Una viscosidad interfacial alta dificultara la coalescencia. Este caso ocurre cuando se forma un cristal líquido en la superficie de las gotas, por ejemplo cuando se usa lecitina en determinadas emulsiones O/W o en el caso de una emulsión O/W estabilizada con algún tensioactivo oxietilenado.

2.4.5 Caracterización de emulsiones

La capacidad emulsionante de un determinado tensioactivo no es sencilla de definir, y se han dedicado grandes esfuerzos a la invención de algún criterio simple que permitiera comparar distintos emulsionantes entre sí y así poder cuantificar sus respectivas capacidades emulsionantes.

La constatación de que los tensioactivos permiten estabilizar emulsiones en base a su estructura con un extremo anfifílico y otro anfifático inspiró la idea de caracterizar su capacidad emulsionante mediante un índice que compara los pesos relativos de ambos extremos de la molécula, o, al menos, relacionara la capacidad emulsionante con otros parámetros conocidos. El **Balance Hidrofílico – Lipofílico** (“*Hydrophile – Lipophile Balance*”, HLB) es un concepto introducido por Clayton (1943). Observó que para una

aplicación particular y una temperatura dada, en una serie homologa de tensioactivos – por ejemplo los alquil-aril-éteres – hay uno específico que actúa de forma óptica. Para esta aplicación se considera que este tensioactivo es el que está balanceado, es decir, compensa sus “fuerzas” Hidrofílica y Lipofílica ^{[13], [3]}.

2.4.6 Número HLB

El método HLB o método del número HLB (NHLB) en su versión original consiste en asignar a cada tensioactivo un número determinado mediante un laborioso trabajo experimental o bien mediante aproximaciones empíricas. El valor del número HLB indica las características emulsionantes de la molécula considerada ^{[13], [3], [23]}.

Se suele definir el número HLB como sigue:

$$N_{HLB} = \frac{H}{H + L} \times 20$$

Donde H y L son las masas moleculares de los grupos hidrofílico y lipofílico de la molécula, respectivamente. El valor del número HLB variara, pues, entre 0 y 20. Los emulsionantes con un HLB de 10, según la definición, estarán equilibradamente distribuidos entre las dos fases presentes. La ecuación anterior es solo aplicable a tensioactivos no iónicos. Se dispone de ecuaciones empíricas que proporcionan el valor del número HLB para distintas familias de tensioactivos a partir de medidas analíticas disponibles con facilidad, como el índice de saponificación o el índice de acidez.

Tales ecuaciones tienen una restringida aplicabilidad: no pueden usarse para tensioactivos iónicos, ni para no iónicos que contengan grupos hidrofílicos con oxido de propileno, butileno, nitrógeno ni azufre. Estos tensioactivos dan valores de HLB que están muy por debajo del que tendrían en base a su comportamiento real. Se han propuesto factores de corrección como el de Heusch.

La determinación experimental del número HLB de un tensioactivo desconocido consiste en mezclarlo en proporciones conocidas con uno cuyo número HLB se conozca y ver su

eficacia emulsionante sobre un aceite conocido. Mediante la simple regla de actividad de Griffin se calcula el número HLB desconocido.

Un criterio simple, muy poco preciso, pero útil, consiste en observar las características de dispersión del tensioactivo en agua, y del aspecto de la dispersión deducir el valor del número HLB. Así:

Tabla 1. Valor de HLB según las características de dispersión

Características de las Dispersión	HLB
No se dispersa	Entre 1 y 4
Dispersión muy mala y poco estable	Entre 3 y 6
Dispersión lechosa después de vigorosa agitación	Entre 6 y 8
Dispersión lechosa estable	Entre 8 y 10
Dispersión traslúcida	Entre 10 y 13
Dispersión transparente	Superior a 13

El valor del número HLB indica aproximadamente la capacidad emulsionante del tensioactivo, y de, hecho, entre la información técnico – comercial suministrada por los fabricantes de tensioactivos se suele precisar el valor de HLB de sus productos. Existen tablas muy simplificadas que indican cual es el valor de HLB que debe tener un tensioactivo para una aplicación concreta (tabla 2). No obstante, tales valores son sólo aproximados, pues la eficacia emulsionante depende no sólo del tensioactivo, sino de las características concretas de la interfase en la que se absorbe. El tensioactivo que estabiliza la emulsión es el que se encuentra absorbido en la interfase y su concentración

dependerá, entre otros factores, de su solubilidad en las fases presentes. Por ello se han publicado también tablas que concretan los valores requeridos de HLB para la emulsificación de un tipo de aceite concreto ^{[13], [23]}.

Figura 12. Escala HLB



Tabla 2. Aplicaciones de los tensioactivos en función de su valor HLB

HLB	Aplicación
3-6	Emulsiones W/O
7-9	Agentes humectantes
8-18	Emulsiones O/W
13-15	Detergentes
15-18	Solubilizadores

Como se ha comentado anteriormente, el HLB de un tensioactivo no iónico varía considerablemente con la temperatura, ya que la interacción entre el agua y un grupo hidrofílico, o del aceite y un grupo lipofílico cambian con la temperatura. Para efectos de comparación los valores de HLB se determinan o calculan siempre a 25°C.

2.4.7 Criterios de selección de emulsionantes

Los factores que más comúnmente condicionan la selección de un emulsionante son los siguientes:

- Naturaleza química y concentración de las materias a emulsionar
- Fuerza iónica de la mezcla a emulsionar
- Temperatura de trabajo, y temperaturas a las que puede estar sometida la mezcla emulsionada antes de su empleo
- Características específicas requeridas del emulsionante:

Solubilidad

Toxicidad y potencial irritante

Características organolépticas

- Precio

2.4.7.1 Estructura Química

En ausencia de otros criterios, puede hacerse una primera selección de emulsionantes cuyos tipos químicos sean similares a los de las materias a emulsionar (ejemplo: los compuestos aromáticos se emulsionaran con tensioactivos con grupos aromáticos) ^{[13], [23]}.

2.4.7.2 Solubilidad: El emulsionante debe ser poco soluble en la fase interna, pero soluble – en términos relativos – en la fase externa (regla de Bancroft). Por otra parte como la variable que determina la capacidad de emulsificación es la concentración de tensioactivo en la interfase, son normalmente más eficaces por unidad de masa los tensioactivos que, satisfaciendo la regla anterior sean relativamente poco solubles – en términos absolutos – en la fase externa ^{[13], [23]}.

2.4.7.3 Proporciones en volumen: En términos generales, un exceso de aceite tiende a dar emulsiones W/O, que requerirá emulsionantes solubles en la fase orgánica. Si hay exceso de agua, se forman normalmente emulsiones O/W, que requerirán emulsionantes solubles en agua. Este criterio tiene muchísimas excepciones ^{[13], [23]}.

2.4.7.4 Emulsionante iónico o no iónico: Las emulsiones W/O se suelen preparar con emulsionantes no iónicos, ya que los iónicos no se muestran efectivos: al estar en el interior de las gotas las partes polares de las moléculas, estas no inducen repulsión entre gotas. Las emulsiones O/W pueden prepararse con ambos tipos de tensioactivos. Las mezclas de tensioactivos no iónicos, son por lo común, más efectivas que un único tensioactivo.

Las mezclas de un tensioactivo no iónico y otro aniónico han demostrado ser muy efectivas en muchos casos: con proporciones máxicas de 40-50% de aniónico en emulsiones O/W se obtiene una interfase flexible (por el no iónico) y estable por el iónico [13], [23].

2.4.8 La regla de Bancroft

Bancroft en 1930 fue el primer investigador que comprendió que la estructura de una emulsión, obtenida usando un tensioactivo, depende en gran medida de la naturaleza de dicho tensioactivo. Bancroft estableció una regla empírica en donde el líquido en el cual la solubilidad del tensioactivo es mayor actúa como fase continua de la emulsión. La regla de Bancroft muestra como la formación y la estabilidad de las emulsiones está estrechamente conectada con la elección del emulsionante [23].

2.4.9 Las aplicaciones de las emulsiones

Las aplicaciones de las emulsiones en sus distintas formas son extremadamente variadas en el campo industrial y tecnológico. Las emulsiones no solo mejoran, simplifican o abaratan métodos convencionales sino que en muchas ocasiones posibilitan el desarrollo de nuevas tecnologías. Los emulsionantes empleados son de particular interés ya que sus efectos son conseguidos con pequeñas cantidades de los mismos. De todos modos, es frecuente que sea necesaria la adición de agentes humectantes, Solubilizadores espesantes o agentes que impidan la degradación química o microbiológica [13].

En la formulación de sistemas en emulsión. Normalmente se distingue entre dos tipos de ingredientes: por un lado el “agente emulsionante” y, por otro, el “estabilizador”.

2.4.9.1 Características de un buen agente emulsionante y de un agente estabilizador

Para que un polímero o (una molécula pequeña) sea efectiva como agente emulsionante debe poseer actividad interfacial, esto es, debe tener la capacidad de disminuir la tensión en la interfase agua-fase oleosa, de manera sustancial a la vez que rápida. Hablando de un modo general, cuanto menor es la tensión interfacial mayor es la extensión sobre la cual las gotas pueden ser dispersadas durante una agitación intensa o en flujo turbulento. Además, para que una molécula tenga actividad superficial, esta debe tener carácter anfifílico ^{[13], [3], [23]}.

Los procesos fisicoquímicos implicados en la prevención de la agregación o coalescencia de las gotas son los clásicos mecanismos de estabilidad coloidal de estabilización estérica y estabilización electrostática. Para que una molécula sea más efectiva en la estabilización de partículas dispersas o gotas de emulsión, debería mostrar las siguientes cuatro características:

- Fuerte adsorción (grado sustancial de carácter hidrofílico).
- Recubrimiento completo de la superficie (presencia de suficiente polímero para saturar completamente la superficie).
- Formación de una gruesa capa de estabilización estérica (el polímero es predominantemente hidrofílico y de un alto peso molecular).
- Formación de una capa eléctricamente cargada estabilizante (la presencia de grupos cargados en el polímero es indispensable).

2.5 Aglomerado o madera plástica

La madera plástica es un producto de características físicas muy similares a la madera natural, pero además resistente a la corrosión, agua, ácido, al ataque bioquímico y a la intemperie. Puede cortarse con serrucho, segueta y sierra eléctrica.

Ayuda en el proceso de conservación de la naturaleza porque puede sustituir en muchas aplicaciones donde no se justifica sacrificar un invaluable recurso como es la madera natural.

El rápido crecimiento que viene presentando este tipo de materiales se explica mediante las ventajas que estos ofrecen en términos de costos, durabilidad e impacto ambiental. Algunas de estas ventajas son:

- Abundancia y bajo costo de la materia prima. Los materiales plásticos utilizados en este tipo de compuestos pueden provenir de un proceso de reciclaje, lo cual disminuye su costo.
- Bajo impacto ambiental. La utilización de este tipo de materiales promueve el reciclaje, hace uso de materiales biodegradables (en el caso de las fibras naturales) y evita la tala de bosques en la medida en que estos materiales se utilizan como reemplazo de la madera en algunas de sus aplicaciones.
- Baja densidad. La baja densidad, característica primordial de los productos espumados, permite diseñar componentes ligeros y de buena rigidez como los paneles tipo sándwich o estructuras en coextrusión. Muchos perfiles de madera plástica espumada son coextruidos con una capa no espumada exterior sobre un corazón espumado, ahorrando costos y disminuyendo peso sin sacrificar en mayor medida las capacidades estructurales del perfil.
- Apariencia y procesabilidad de la madera. La superficie de los productos de madera plástica se puede tratar como la madera: se le puede pegar un acabado en chapa, recubrir con barnices, clavar, atornillar, taladrar, cepillar. También se pueden formar artículos similares a los encontrados con los productos plásticos tradicionales.
- Durabilidad. Los compuestos de madera plástica requieren menor mantenimiento que las maderas comunes, ya que no se ven afectados ni por la humedad ni por los insectos. Lo anterior los hace apropiados para aplicaciones en las cuales los productos se someten a condiciones ambientales severas.
- Bajo nivel de abrasión de las fibras. Las fibras naturales poseen la ventaja de ser menos abrasivas que otros tipos de refuerzo basados en componentes minerales, promoviendo mayor duración de los equipos.
- Rigidez y estabilidad dimensional. Estas dos propiedades se verán incrementadas mediante la adición del refuerzo, siempre y cuando se promueva una buena adhesión en la interfaz matriz / refuerzo ^{[9], [16]}.

3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS DE POLIESTIRENO

La caracterización de polímeros abarca, desde su estructura microscópica, hasta sus propiedades útiles como materiales. La composición y estructura química, el tamaño y formas macromoleculares, la morfología en estado sólido, el comportamiento frente a temperatura, frente a esfuerzos o en flujo, las reacciones que pueden sufrir, son todos aspectos de la caracterización de polímeros ^[7]

3.1 Test preliminares

3.1.1 Solubilidad

La solubilidad de un polímero varía en función de su estructura química y del peso molecular, siendo más fácilmente solubles las fracciones de bajo peso molecular. Por tanto no es extraño que durante un proceso de disolución o de extracción de los aditivos se disuelvan las fracciones más ligeras de los polímeros, quedando insolubles las de alto peso molecular ^[20].

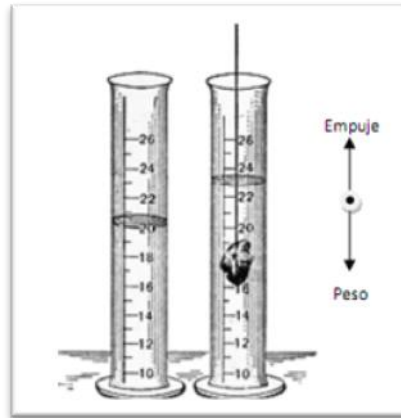
Los polímeros poseen 2 etapas de solubilización, la primera etapa es un hinchamiento lento llamado solvatación en el que el tamaño del polímero se multiplica. Los polímeros lineales y ramificados se disuelven en una segunda etapa, pero los polímeros de red se mantienen en una situación de hinchamiento.

La manera en que los diferentes solventes atacan a un polímero, nos pueden dar una idea del comportamiento y la naturaleza ^[20].

3.1.2 Densidad

Para obtener la densidad aparente de un material polimérico, se utiliza el principio de Arquímedes, este nos permite conocer la relación entre masa y volumen ocupado. Todo cuerpo sumergido experimenta un empuje vertical de igual magnitud pero en sentido contrario al peso del fluido que desaloja dicho cuerpo ^[20].

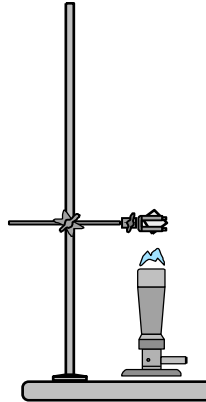
Figura 13. Medición de la densidad de un polímero, utilizando el principio de arquímedes ^[20]



3.1.3 Test de llama

En la combustión de los residuos sólidos, puede suceder un paso inicial de pirólisis, dando lugar a compuestos volátiles que experimentan más rupturas y combustiones. Los compuestos volátiles deben ser descompuestos en la cámara de la combustión por llama de los polímeros sólidos implica tres procesos consecutivos: calentamiento del polímero, descomposición/pirolisis térmica e ignición de los gases resultantes de la descomposición ^[20]. La fuente de ignición o retroalimentación térmica de la energía radiante desde la llama, suministra calor a la superficie polimérica, lo que provoca la ruptura termolítica de los enlaces químicos primarios en las moléculas del polímero. Los gases combustibles y no combustibles resultantes de la pirólisis, se mezclan y reaccionan con el aire en la zona de combustión sobre la superficie, liberando calor durante la producción de dióxido de carbono, agua y productos de combustión incompletos como monóxido de carbono y hollín.

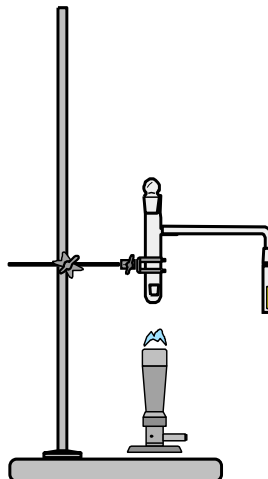
Figura 14. Test de llama



3.1.4 Test de pirólisis

La pirólisis es un proceso endotérmico en el que el polímero se ablanda, se decolora, se agrieta, se descompone se vaporiza. Y aparecen los productos de la pirólisis. El límite del proceso de la pirólisis en la superficie del polímero se define como el frente de pirólisis, se define a su vez como la gasificación del polímero. Este análisis permite examinar el comportamiento del polímero en calentamiento sin exposición directa a la llama ^[20].

Figura 15. Test de pirólisis



3.1.5 Técnicas Instrumentales

El análisis químico de los polímeros, básicamente no es distinto del análisis de los compuestos orgánicos de bajo peso molecular, si se efectúan las modificaciones adecuadas para asegurar la solubilidad, o la accesibilidad de los lugares de reacción. Los métodos ordinarios para grupos funcionales y análisis elemental son de aplicación general, así como algunas otras técnicas de uso corriente en el análisis químico.

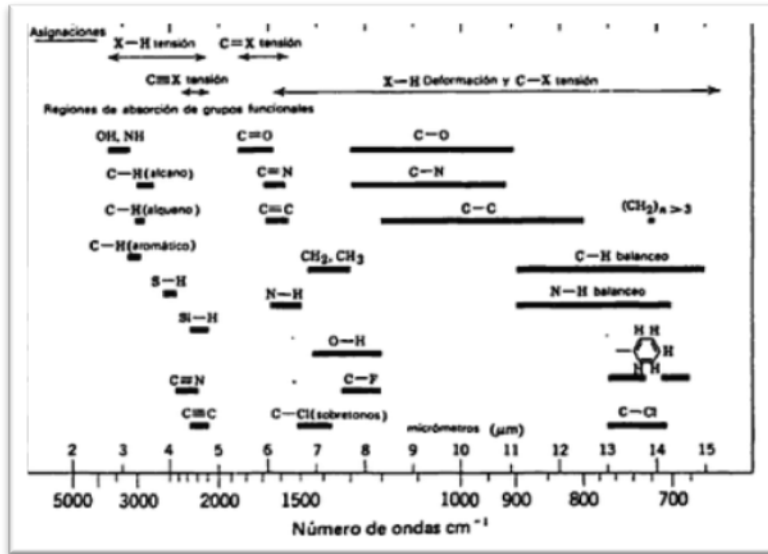
La caracterización del poliestireno contempla el análisis de su constitución molecular a partir de las bandas de absorción características por espectroscopia de infrarrojos con Transformada de Fourier (FTIR), su comportamiento frente al calor por análisis térmico diferencial (DSC), la determinación de su peso molecular promedio mediante cromatografía de exclusión molecular (GPC) y la medida del grado de fluidez mediante plastometría (MFI). También se determina el peso específico del poliestireno así como las propiedades mecánicas a partir de los resultados experimentales de los ensayos a tracción, flexión, impacto y dureza. Pero en este caso solo se realizaran caracterización por espectroscopia infrarroja.

3.1.6 Espectroscopia de infrarrojo

Los espectros de emisión o absorción aparecen cuando las moléculas experimentan transiciones entre estados cuánticos que corresponden a dos energías internas diferente. La diferencia de energía ΔE entre los estados, está relacionada con la frecuencia en el infrarrojo en intervalos de longitudes de onda de 1-50 μm Están asociadas a la vibración molecular y a los espectros de vibración-rotación.

En los polímeros, el espectro de absorción infrarroja es con frecuencia asombrosamente simple, teniendo en cuenta la gran cantidad de átomos implicados. Esta simplicidad de los resultados se obtiene, en primer lugar, por el hecho de que muchas de las vibraciones normales tienen la mayor parte de las veces la misma frecuencia y, como consecuencia, aparecen en el espectro como única banda de absorción: y en segundo lugar, por la rigurosidad de las reglas de absorción.

Figura 16. Bandas de absorción infrarroja características en polímeros [20]



4. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS

4.1 Test de llama

Este test nos permite observar el comportamiento del material ante la llama, consiste en tomar una pequeña cantidad de material con unas pinzas o espátula y someterlo a una llama, para esto se puede utilizar el mechero bunsen con la entrada del gas al mínimo, se puede analizar la inflamabilidad del material dentro y fuera de la llama, si se enciende, así como la formación de vapores.

4.2 Degradación química

En este caso se estudia el efecto que tienen diversos agentes químicos (ácidos, bases, entre otros) al entrar en contacto con los aglomerados sobre sus propiedades físicas y químicas.

4.3 Densidad

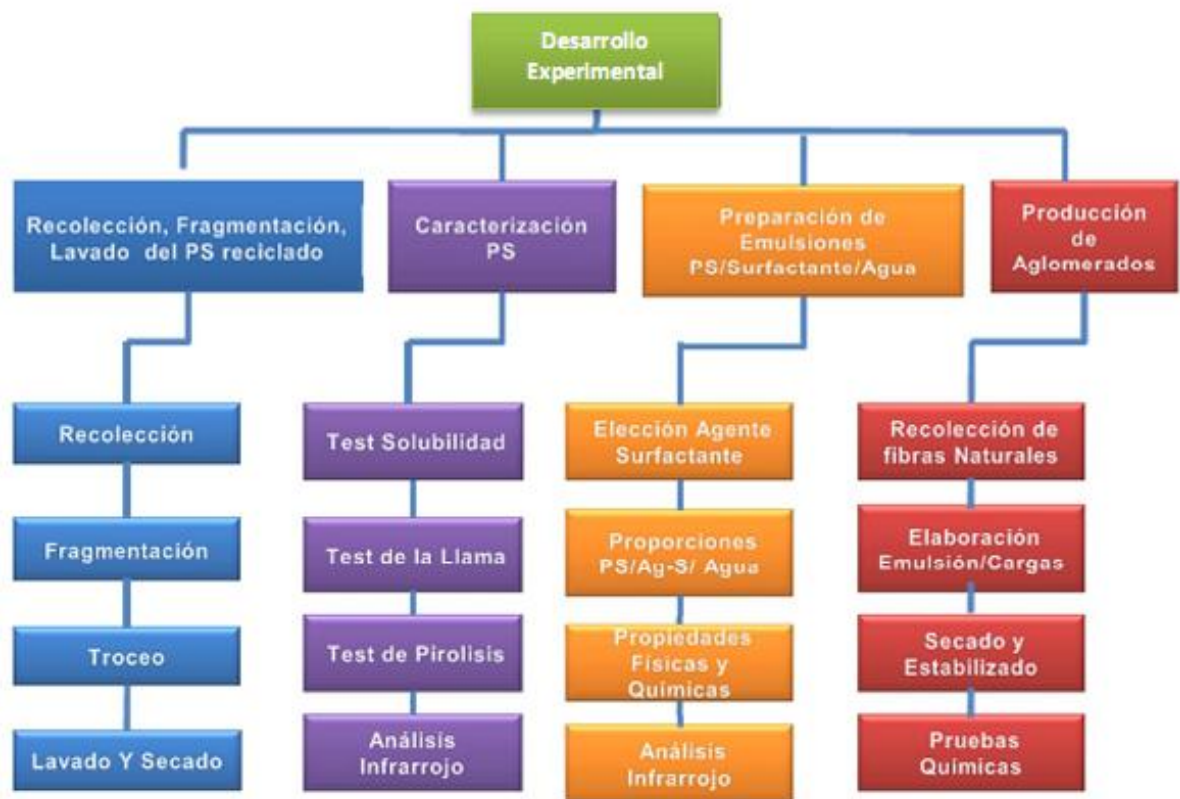
El método más intuitivo para calcular la densidad de un sólido es calcular su masa, medir su volumen y calcular el cociente entre ellos. Se puede calcular el volumen del sólido a partir de sus dimensiones si se trata de cuerpos geométricos conocidos. Obteniéndose la densidad de cada uno de los sólidos problema como cociente entre sus respectivas masas y los volúmenes calculados a partir de las dimensiones de los cuerpos. Podemos resaltar que si los cuerpos son de superficie irregular, la densidad calculada es aparente.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El diseño experimental para la elaboración del proyecto se dividió en cuatro partes fundamentales

- A. Recolección, Fragmentación, lavado del PS reciclado
- B. Caracterización PS
- C. Preparación de Emulsiones PS/Surfactante/Agua
- D. Producción de Aglomerados

Figura 17. Diagrama Desarrollo Experimental.



5.1 Recolección, fragmentación, lavado del PS reciclado.

5.1.1 Recolección

Figura 18. Material de PS/PC



El material de poliestireno reciclado se obtuvo de residuos de empaques de equipos de destilación, que se encontraban en el almacén de química de la Universidad Industrial de Santander.

5.1.2 Fragmentación, lavado

El material seleccionado previamente se lavó con agua y se secó a temperatura ambiente, posteriormente se troceó en pequeñas partes; tomándolas como material de partida en la etapa de caracterización.

Figura 19. Material PS/PC fragmentado



5.2 Caracterización del Poliestireno

5.2.1 Solubilidad

Se realizaron pruebas empleando 0.025 g/ml a una temperatura ambiente (26°C) durante 5 días con los siguientes solventes:

Estireno

Xileno

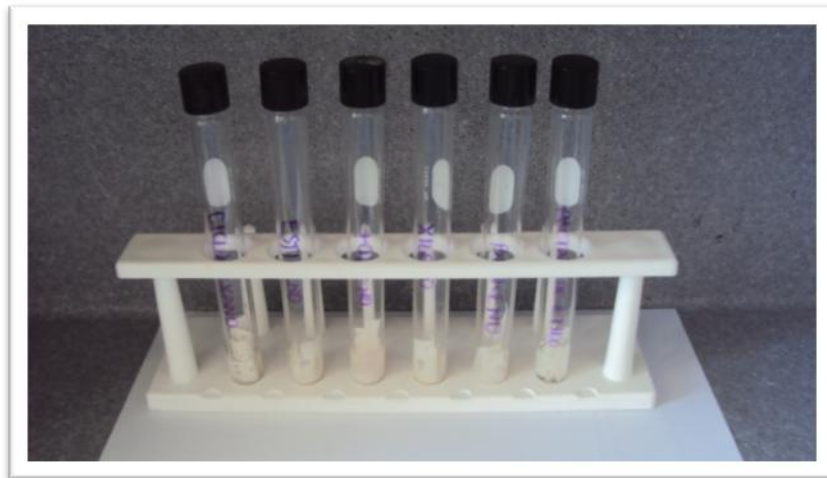
Ciclohexano

Tolueno

Acetato de Etilo

Benceno

Figura 20. Test de Solubilidad PS/PC



5.2.2 Densidad

En la determinación de densidad del poliestireno, se inició pesando los fragmentos del poliestireno, sumergiéndolas en un volumen inicial de agua en una bureta; se midió el volumen desplazado y se determinó la densidad mediante la ecuación:

$$\rho = \frac{\text{Masa de Residuo}}{\text{Volumen Desplazado}}$$

Figura 21. Densidad de un fragmento de PS/PC

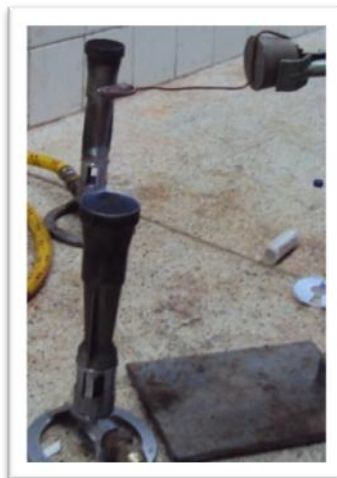


5.2.3 Test de llama

Se tomó una cantidad del polímero en un alambre de cobre, se colocó directamente al contacto con la llama y se observó la naturaleza, la coloración, el olor y forma de la llama.

El montaje fue el siguiente:

Figura 22. Test de llama



5.2.4 Test de pirólisis

Este ensayo se realizó con una cantidad de polímero, el cual se introdujo en un tubo de ensayo con salida lateral. En el extremo de la salida se adicionó otro tubo con el fin de capturar los vapores causados por llama directa, teniendo en cuenta el tiempo necesario para la degradación, la emisión de vapores productos de la pirólisis, medidos por un papel indicador de pH universal.

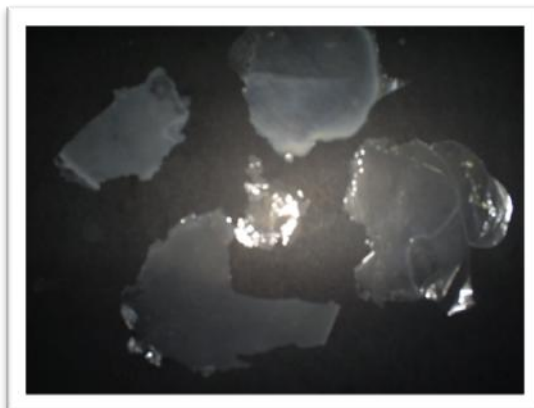
Figura 23. Test de pirólisis PS/PC



5.2.5 Espectro Infrarrojo del PS/PC

Para realizar el análisis por medio de la espectroscopia infrarroja se adelgazó una lámina de poliestireno disuelto en xileno. El equipo utilizado fue el PERKIN ELMER FT-IR PARAGON 500.

Figura 24. Película delgada de PS/PC en xileno; análisis IR



5.3 Preparación de emulsiones PS/surfactante/agua

Las emulsiones se prepararon añadiendo los diferentes componentes en el siguiente orden:

- a. Poliestireno disuelto en Xileno
- b. Agente Surfactante, Lecitina de Soya
- c. Agua

La agitación se realizó mecánicamente con un agitador u homogenizador mecánico denominado emulsificador HAMILTON BEACH SCOVILL, modelo 937. Que consta de un selector de velocidad de agitación con tres posiciones alta de 14.270 rpm, media 13.418 rpm y baja de 11.355 rpm y que posibilita la formación de la emulsión al disminuir progresivamente el tamaño de las gotas a través de un esfuerzo de cizalla que provoca la ruptura de las gotas para dar lugar a varias gotas más pequeñas.

Dentro del rango de velocidades y tiempos de agitación, las emulsiones se prepararon agitando los tres componentes indicados durante 2 minutos a 11.355 rpm. (Posición 3 del equipo).

Figura 25. Emulsión PS/PC-xileno-agua-lecitina



Figura 26. Agitador Hamilton Beach, Scoville 937



5.3.1 Reproducibilidad de las emulsiones

Estableciendo las condiciones definitivas y tomando en cuenta los resultados obtenidos en el estudio anterior; el protocolo seguido en la preparación de las emulsiones de estudio se resume en la tabla 3. Cabe resaltar la importancia de la limpieza del equipo que se realizó al terminar la preparación de cada muestra; realizando enjuagues al aspa mecánica con agua caliente, thinner para disolver restos de polímero presente y un último enjuague con agua destilada

Siguiendo el procedimiento descrito se ha conseguido una buena reproducibilidad en las propiedades de las emulsiones resultantes.

Tabla 3. Reproducibilidad de las emulsiones

Adición de Componentes.	1. PS disuelto en Xileno 2. Agente Surfactante 3. Agua
Mecanismo	Emulsificador; Hamilton Beach Scovill, Modelo 937
Intensidad del Tratamiento	11.355 rpm, 2 Minutos
Recipientes	Vidrio (Frascos Compota)

5.3.2 Proporciones PS/xileno-agua-lecitina de soya

Con la finalidad de obtener una emulsión ideal que cumpliera con todas las características, se realizaron diferentes proporciones de polímero / agua y lecitina variando:

Cantidad de polímero

Cantidad de Agua

Cantidad de Lecitina de soya

Tiempo de emulsificación

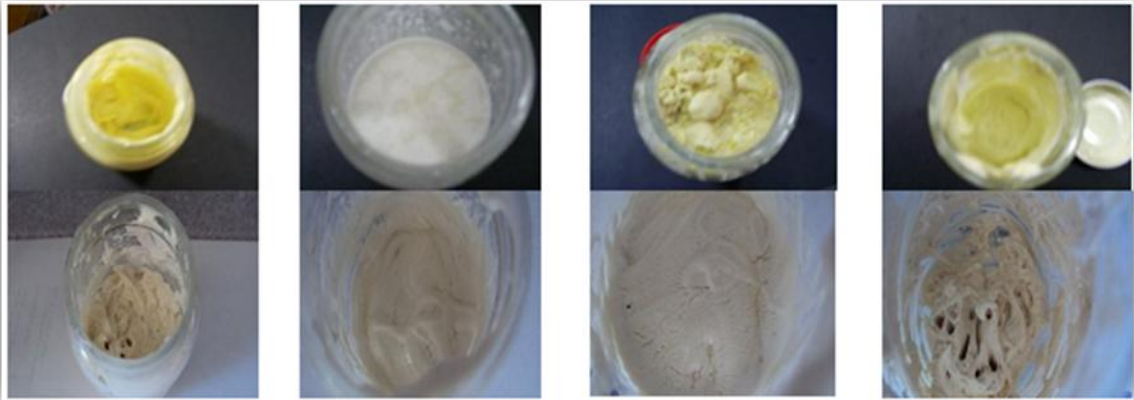
5.3.3 Estabilidad de las Emulsiones

En la determinación de las pruebas de estabilidad de las emulsiones se realizaron por 3 métodos:

Se dejaron las emulsiones no expuestas al aire por un tiempo de 3 meses

En los estudios de estabilidad de las emulsiones en función del tiempo transcurrido desde la preparación, los recipientes que contenían las emulsiones se mantenían cerrados y se situaban en la oscuridad a temperatura ambiente entre (23 y 26 °C).

Figura 27. Emulsiones tiempo de espera tres meses



Por temperatura se dejaron los recipientes que contenían las emulsiones por 1 hora en una estufa a 40 °C. Tomando como referencias el punto de ebullición del disolvente, agente surfactante y del estireno.

En los estudios de estabilidad de las emulsiones en función de la temperatura las muestras, una vez preparadas, se depositaron en tubos de ensayo que posteriormente se llevarían a temperatura controlada en intervalos de tiempos propuestos.

Por centrifugación, se realizó un barrido experimental a diferentes velocidades y tiempo. En los estudios de estabilidad con la centrifugación, las muestras una vez preparadas por el protocolo habitual, se introducían en tubos falcón para la centrifuga empleada (Marca hettich Modelo EBA20). Las mediciones para las emulsiones se realizaron en intervalos mínimos de tiempo respecto de una a otra, minimizando así la influencia de otras variables.

Figura 28. Centrifuga marca hettich modelo EBA20



5.3.4 Determinación de índice HLB

Para la determinación del balance Hidrofílico-Lipofílico, se tuvo en cuenta la molécula de fosfatidilcolina, su peso molecular total, su peso molecular de la parte hidrófoba y su peso molecular de la parte hidrofílica.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

6.1 Caracterización de residuos de PS

En el transcurrir de la primera etapa se realizó una caracterización fisicoquímica y estructural del material por diferentes pruebas y análisis, los resultados de estas pruebas son mostrados a continuación.

6.1.1 Pruebas de solubilidad

El comportamiento del poliestireno reciclado con los respectivos solventes fueron los siguientes. Según el índice de Hildebrandt, para el poliestireno es de: 9.1

Tabla 4. Resultados test de solubilidad PS/PC

Solvente	Solubilidad	Índice Hildebrand δ
Ciclohexano	Soluble	8.20
Estireno	Soluble	9.20
Tolueno	Soluble	-----
Xileno	Soluble	8.80
Benceno	Soluble	9.07
Acetato de Etilo	Soluble	9.04

La disolución de un material polimérico es un proceso que ocurre en dos etapas. En la primera, las moléculas del disolvente se incluyen lentamente dentro de la matriz polimérica generando así hinchamiento de la misma. Esta etapa inicial de disolución puede inhibirse, si las fuerzas intermoleculares polímero-polímero (reticulación, cristalinidad o enlaces por puentes de Hidrogeno) son lo suficiente para impedirlo. En caso de superarse esta barrera por la formación de interacciones intensas polímero-disolvente, tendrá lugar la etapa final de la disolución. En esta, el polímero hinchado se disgrega paulatinamente convirtiéndose en una total disolución. El proceso de disolución puede tardar (días o semanas) dependiendo del peso molecular.

El valor del parámetro de solubilidad de un polímero puede calcularse a partir del parámetro de solubilidad de solventes conocidos por la técnica del hinchamiento. La estructura polar del PS, lo hace soluble a todos los solventes orgánicos; haciendo uso del principio; “semejante disuelve semejante”. Tomando como base lo mencionado anteriormente, en los polímeros las moléculas adquieren cohesión debido a la existencia de uno o más tipos de fuerzas o enlaces secundarios, denominadas dipolos C-H alifáticos; predominando las fuerzas de dispersión. Varios polímeros y disolventes son polares porque contienen dipolos y éstos pueden aumentar la atracción intermolecular. En la fabricación de aglomerados se eligió el xileno ya que permite realizar el proceso de disolución completo; aunque el disolvente ideal y amigable al ambiente, el acetato de etilo no es posible utilizar ya que se encuentra restringido por políticas gubernamentales.

Esta elección concuerda con los parámetros de solubilidad de Hildebrandt (δ) basados en la densidad de energía de cohesión (CED) de los solventes y el polímero, los cuales son mostrados en la Tabla. 4 indicando que la disolución de un material plástico se favorece más en solventes que se encuentran en relación de parámetros de solubilidad cercanos.

6.1.2 Densidad

Tabla 5. Determinación densidad de PS/PC por volumen desplazado a 27 °C

Peso PS/PC (g)	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)	Volumen desplazado (ml)	Densidad (g/ml)
0.2184	12.0	12.25	0.25	0.84
0.1746	14.0	14.20	0.20	0.87
0.1969	18.0	18.24	0.24	0.82
Densidad Promedio				0.84

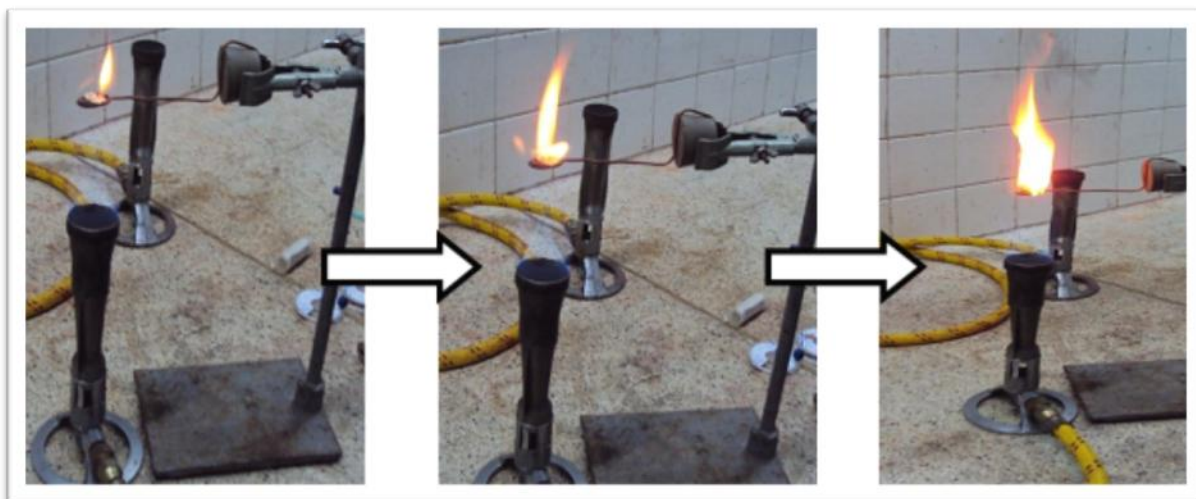
La densidad teórica del poliestireno se encuentra en el rango de 1.08-1.06 g/ml según las normas ASTM. La diferencia entre la densidad experimental 0.84 g/ml, puede ocasionarse

a la formulación de PS/PC debido a que presenta mayor carga, afectando así el valor experimental frente al reportado en la literatura.

6.1.3 Test de llama

Se tomó una lámina delgada de polímero en un alambre de cobre enrollado en forma de espiral, sometiéndolo directamente a la llama, observando inicialmente una llama amarilla fuliginosa característica de los compuestos aromáticos; que posteriormente ardió formando un cono de tamaño considerable, desprendiendo humo negro y residuos de hollín que se suspendían en el ambiente.

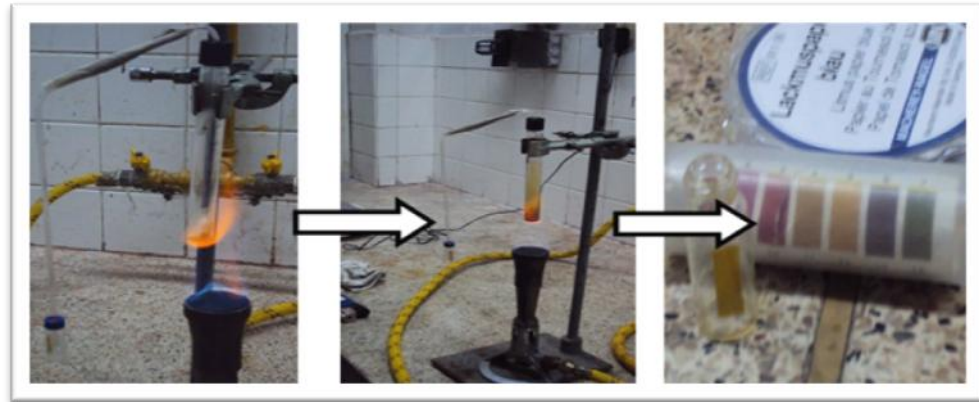
Figura 29. Test de llama PS/PC



6.1.4. Test de pirólisis

Se tomó el polímero en un tubo de ensayo y se dispuso a conseguir un tubo de vidrio que posteriormente se adaptó para realizar el montaje, haciéndose pasar los vapores de la pirólisis en una sección del tubo que se encontraba a menor temperatura; lográndose la condensación y recogiendo en un tubo de vidrio cerrado en el cual se encontraba papel indicador universal, realizando la medición del pH a descomposición total del polímero obteniendo un valor de 4, indicando su carácter ácido esperado para poliestireno. Cabe aclarar que el material crepita al ser sometido al calentamiento indirecto.

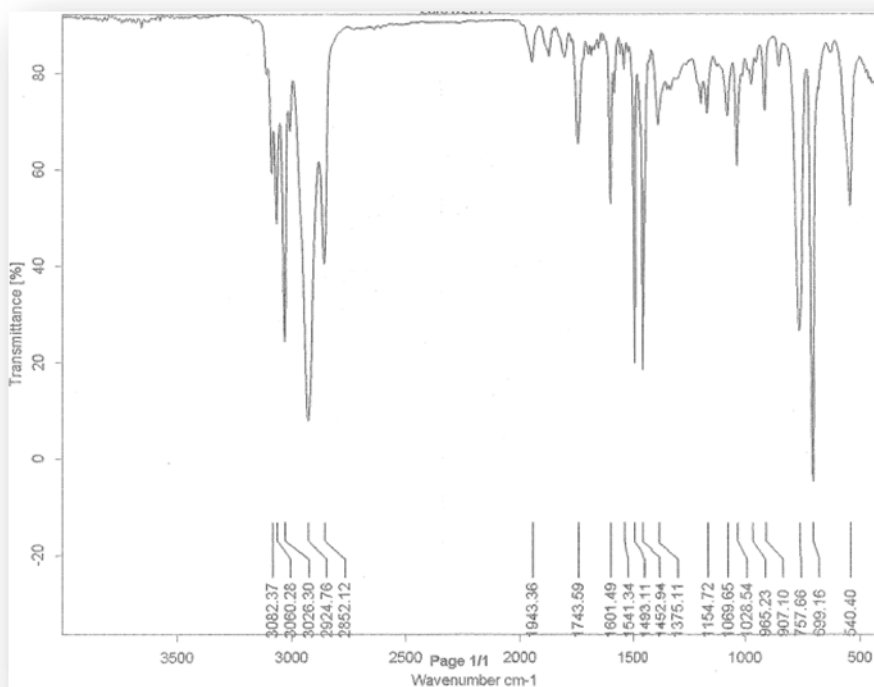
Figura 30. Test de pirólisis PS/PC



6.1.5 Espectro infrarrojo PS/PC

Se realizó un espectro IR del poliestireno post-consumo. El resultado se muestra a continuación en la figura 26, donde se observan las bandas de absorción características de material. Ver ANEXO A

Figura 31. Espectro Infrarrojo del PS/PC



Como bandas características se destacan la banda de absorción a 3026.30 cm^{-1} correspondiente a la vibración tensión a los enlaces C-H aromáticos. Las bandas de absorción a 2924.76 cm^{-1} y 2852.12 cm^{-1} , se deben a la vibración tensión asimétrica C-H de los CH_2 de la cadena central del poliestireno. A 1601.49 cm^{-1} y 1493.11 cm^{-1} aparece la banda de absorción tensión del enlace C-C del anillo. Así mismo, las vibraciones tensión y flexión de los enlaces C-H del anillo corresponden respectivamente a las bandas 1452.94 cm^{-1} y 1026.54 cm^{-1} . Finalmente, las bandas características de vibración flexión de los C-H del anillo aromático fuera del plano aparecen a 907.10 , 757.66 y 699.16 cm^{-1} . Es de resaltar que la película de PS/PC se realizó por evaporación del solvente xileno comercial. Adicionalmente se corroboró el espectro obtenido con el reportado en la literatura Ver ANEXO B evidenciándose bandas de absorción características que confirmaron la presencia del polímero.

Tabla 6. Asignación bandas IR del PS/PC

Numero de Onda cm⁻¹	Identificación
3082.37	C-H aromático vibraciones de tensión
3060.37	C-H aromático vibraciones de tensión
3026.30	C-H aromático vibraciones de tensión
2924.76	C-H del CH ₂ vibración asimétrica de tensión
2852.12	C-H del CH ₂ vibración asimétrica de tensión
1943.36	Vibraciones Secundarias procedentes de aromáticos-H
1601.49	C-C tensión del anillo del plano
1493.11	C-C tensión del anillo del plano
1452.94	C-H tensión del anillo en el plano
1375.11	C-H vibración flexión
1154.72	C-H vibración flexión en el plano del aromático
1028.54	C-H frecuencia flexión del anillo en el plano
965.23	C-H vibración flexión fuera del plano
907.10	C-H vibración flexión fuera del plano
757.66	C-H vibración flexión fuera del plano
699.16	C-H vibración flexión fuera del plano

6.2 Preparación de emulsiones PS-PC/surfactante/agua.

6.2.1 Elección agente surfactante

En la elección del agente surfactante se tomó en cuenta diferentes parámetros, entre los que podemos resaltar estabilidad, economía, biodegradabilidad entre otros. Eligiendo la lecitina de soya, debido a sus propiedades físicas y químicas; que al compararse con agentes tensioactivos como el nonilfenol y la cocoamida presentaban grandes ventajas como estabilidad de la emulsión, costo, no producción de espuma y disponibilidad en el mercado local.

6.2.2 Proporciones emulsiones agente-surfactante/PS-PC/ agua

Las emulsiones se prepararon utilizando el PS/PC disuelto en xileno, agente surfactante como la lecitina de soya y agua. Las emulsiones preparadas se llevaron a peso constante de 40 gramos para el estudio exploratorio, manteniendo el tiempo de agitación de 2 minutos e igual velocidad.

Tabla 7. Preparación de las emulsiones, lecitina de soya-variable /PS-PC/agua

Ident. Muestra	PS/PC (g)	% m/m	H ₂ O (g)	% m/m	Lecitina de soya (g)	% m/m	Comportamiento
1LV	25	62.5	12	30	3	7.5	Emulsiona
2LV	25	62.5	10	25	5	12.5	Emulsiona
3LV	25	62.5	8	20	7	17.5	Emulsiona Residuos-Aceite
4LV	25	62.5	6	15	9	22.5	Emulsiona Residuos-Aceite
5LV	25	62.5	4	10	11	27.5	Emulsiona Residuos-Aceite

Se pudo observar que las emulsiones permanecen estables en los rangos desde 1LV hasta 2LV, manteniéndose constante la cantidad de polímero post consumo, es de aclarar que la optimización que se realizó buscaba utilizar la menor cantidad de agente surfactante y agua. Igualmente podemos aseverar que las emulsiones con porcentajes de lecitina de soya a partir de 3LV, presentaban residuos de aceite que alteraban la emulsificación.

Posteriormente se realizó una preparación tomando como base los resultados anteriores y basándonos en resultados de investigaciones; utilizando 2 agentes surfactantes nonilfenol y lecitina de soya. Los resultados se reportan en la Tabla 8 y 9.

Tabla 8. Preparación de las emulsiones nonilfenol/PS-PC/agua

Ident. Muestra	PS/PC (g)	% m/m	H₂O (g)	% m/m	Nonil fenol (g)	% m/m	Comportamiento
1NF	18	45	20	50	2	5	Emulsiona Residuos Agua
2NF	22	55	16	40	2	5	Emulsiona
3NF	24	60	14	35	2	5	Emulsiona
4NF	28	70	10	25	2	5	Emulsiona
5NF	30	75	8	20	2	5	Emulsiona

De la tabla 8. Podemos afirmar que el porcentaje de agente surfactante es aceptable; y que las emulsiones 2NF a la 5NF emulsionaron con la cantidad mínima tensoactivo; adicionalmente resaltamos que las emulsiones 1NF hasta 5NF después de tiempo superior a treinta días se separaban las fases, quedando el tensoactivo/agua en la parte inferior del recipiente.

Seguidamente se preparó un grupo de emulsiones utilizando como agente surfactante la lecitina de soya, usando el PS/PC disuelto en xileno; a un peso constante de 30 gramos y manteniendo las condiciones de agitación y velocidad utilizadas en las preparaciones anteriores

Tabla 9. Preparación de las emulsiones, lecitina de soya-fija /PS-PC/agua

Ident. Muestra	PS/PC (g)	% m/m	H₂O (g)	% m/m	Lecitina de soya (g)	% m/m	Comportamiento
1L	15.0	50	13,5	45	1.5	5	Emulsiona Residuos Agua
2L	18.0	60	10,5	35	1.5	5	Emulsiona
3L	19.5	65	9.0	30	1.5	5	Emulsiona
4L	21.0	70	7.5	25	1.5	5	Emulsiona
5L	22.5	75	6.0	20	1.5	5	Emulsiona
6L	24.0	80	4.5	15	1.5	5	Emulsiona

7L	25.5	85	3.0	10	1.5	5	Emulsiona
8L	27.0	90	1.5	5	1.5	5	Emulsiona
9L	28.5	95	0.0	0	1.5	5	Emulsiona
10L	13.5	45	13.5	45	3.0	10	Emulsiona Residuos Agua

Se pudo observar que las emulsiones 2L a 9L con la cantidad de agente emulsificante fijo, mantuvieron en apariencia estable. A diferencia de las 1L y 10L en las que se utilizó una cantidad de agua equivalente al polímero post-consumo, observando que al transcurrir el tiempo las emulsiones exudan agua, indicando la desestabilización. Recopilando los datos obtenidos se procedió a seleccionar las emulsiones que cumplieran con los siguientes requisitos: menor cantidad de emulsificante, alta cantidad de polímero en disolución y considerable cantidad de agua que me permitiera reemplazar parte del solvente orgánico.

A partir de estas condiciones se procedió a la elección de las emulsiones ideales con proporciones específicas, en porcentaje de fase continua (polímero) en rango de (70-90%), fase dispersa (agua) (25 -5 %) y emulsificante (lecitina de soya (5%). Manteniendo un peso constante de 30 gramos. Resaltando que el tipo de emulsión formada presenta mayor fase interna, o que su fase continúa (polímero) y su fase dispersa (agua).

Posteriormente se evaluó la estabilidad de las emulsiones preparadas; tomando como punto de partida que las emulsiones 4L a 6L se iba a utilizar en la producción de aglomerados.

Figura 32. Emulsión 4L, PS-PC/Lecitina/Agua; 70/25/5



Figura 33. Emulsión 5L, PS-PC/Lecitina/Agua; 75/20/5



Figura 34. Emulsión 5L, PS-PC/Lecitina/Agua; 80/15/5



6.2.3 Estabilidad de las emulsiones

La estabilidad de las emulsiones se comprobó con algunos ensayos de estabilidad por envejecimiento y centrifugación, que permitieron verificar la estabilidad. Las pruebas de estabilidad frente al tiempo se denominan pruebas de envejecimiento, las emulsiones se sometieron a temperatura ambiente, cerradas, durante intervalos de tiempo 30-90 días, observando cambios de viscosidad, apariencia, y estabilidad. Adicionalmente se realizaron pruebas de estabilidad por centrifugación a velocidad y tiempo variable entre 1-60 rpm, en intervalos de tiempo entre 3-8 min. Las pruebas de estabilidad se realizaron a las emulsiones 1L a 10L.

Tabla 10. Estabilidad de las emulsiones por tiempo

Ident. Muestra	% m/m PS/PC	% m/m Agua	% m/m Lecitina de soya	Estabilidad 30-90 Días
1L	50	45	5	No Estable
2L	60	35	5	Estable
3L	65	30	5	Estable
4L	70	25	5	Estable
5L	75	20	5	Estable
6L	80	15	5	Estable
7L	85	10	5	Estable
8L	90	5	5	Estable
9L	95	0	5	Estable
10L	45	45	10	No Estable

A continuación se sometieron las emulsiones a pruebas de centrifugación a velocidades 10, 20,60 rpm, en intervalos de tiempo entre 3-8 min. La finalidad de la prueba consistía en evaluar la fuerza de la emulsión que la ayuda a mantenerse estable a una posible separación de fases. Aunque esta prueba emplea elevada fuerza gravitacional artificial sobre las emulsiones, puede determinar la fuerza de la emulsión que la ayuda a mantenerse estable a una separación de fases. Las pruebas se realizaron escogiendo las muestras 2L-8L debido al criterio de estabilidad por tiempo y el contenido de agua; descartando así la 1L, 10L y 9L

Tabla 11. Estabilidad de las emulsiones por centrifugación 10 rpm por 3 minutos

Ident. Muestra	% m/m PS/PC	% m/m Agua	% m/m Lecitina de soya	Estabilidad Centrifugación
2L	60	35	5	Estable
3L	65	30	5	Estable
4L	70	25	5	Estable
5L	75	20	5	Estable
6L	80	15	5	Estable

7L	85	10	5	Estable
8L	90	5	5	Estable

Tabla 12. Estabilidad de las emulsiones por centrifugación 20 rpm por 6 minutos

Ident. Muestra	% m/m PS/PC	% m/m Agua	% m/m Lecitina de soya	Estabilidad Centrifugación
2L	60	35	5	No Estable
3L	65	30	5	Estable
4L	70	25	5	Estable
5L	75	20	5	Estable
6L	80	15	5	Estable
7L	85	10	5	Estable
8L	90	5	5	Estable

Tabla 13. Estabilidad de las emulsiones por centrifugación 60 rpm por 8 minutos

Ident. Muestra	% m/m PS/PC	% m/m Agua	% m/m Lecitina de soya	Estabilidad Centrifugación
2L	60	35	5	No Estable
3L	65	30	5	No Estable
4L	70	25	5	Estable
5L	75	20	5	Estable
6L	80	15	5	No Estable
7L	85	10	5	Estable
8L	90	5	5	Estable

Figura 35. Estabilidad de emulsiones por centrifugación

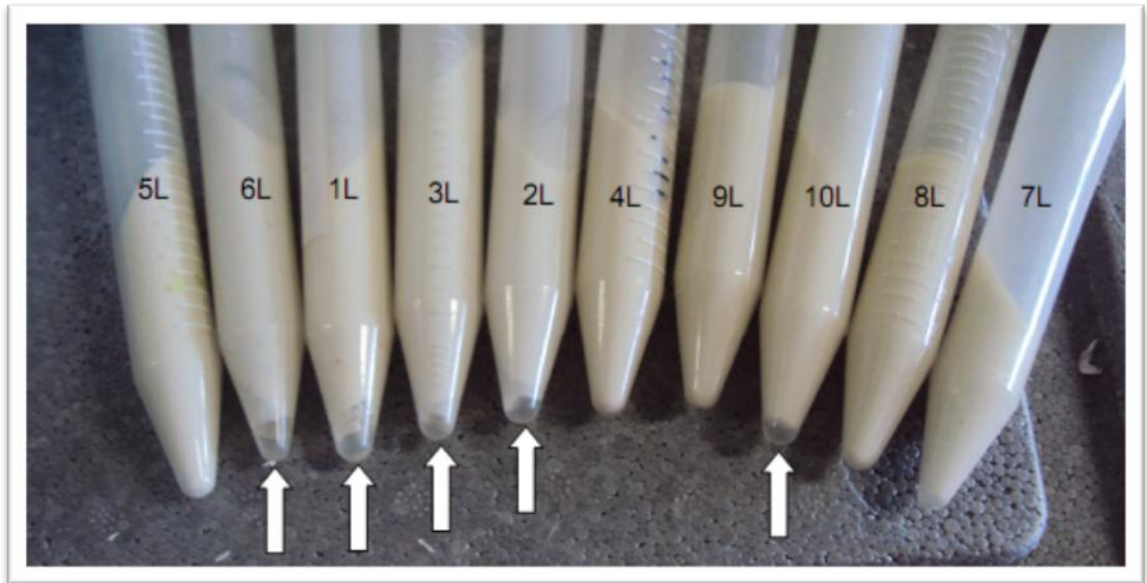


Figura 36. Estabilidad emulsión 6L por centrifugación

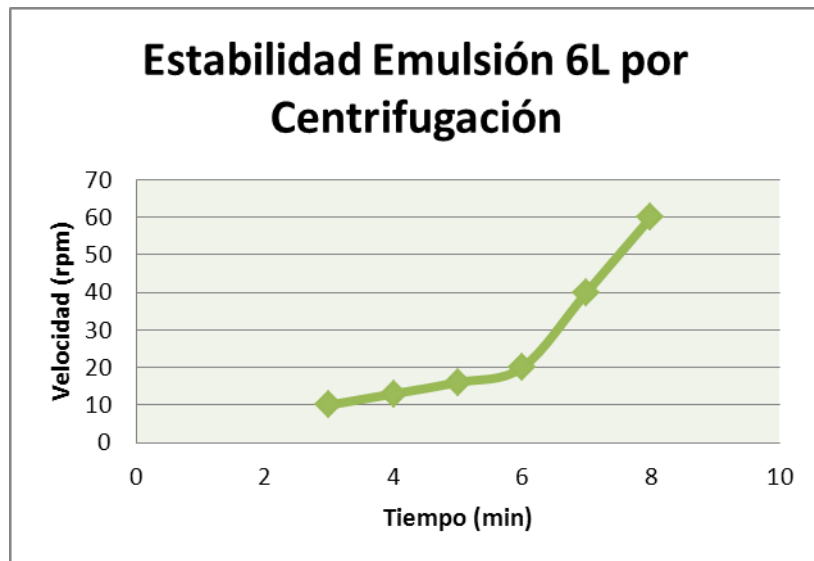
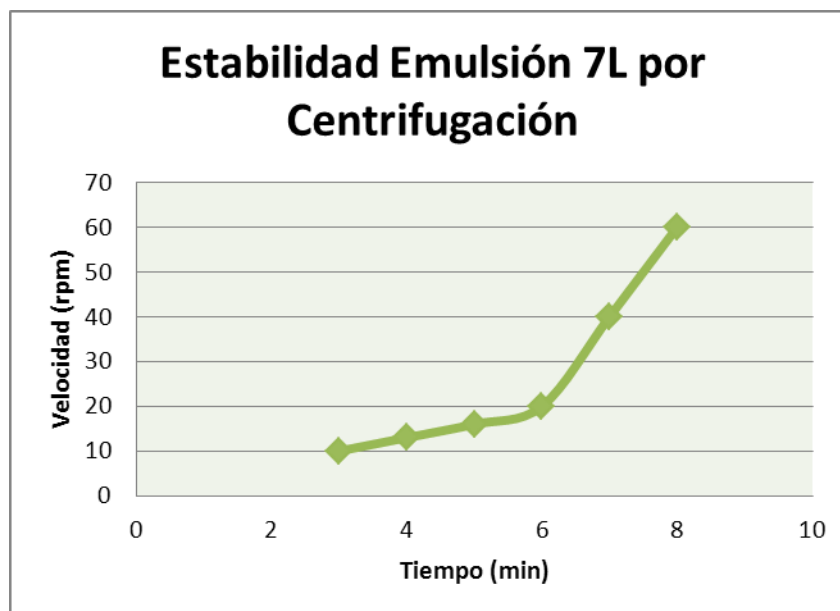


Figura 37. Estabilidad emulsión 7L por centrifugación



Se observó que las emulsiones presentaban buena estabilidad con velocidad entre 10 y 20 rpm a intervalos cortos de tiempo. Respecto a velocidades de 60 rpm con un tiempo de 5 minutos. Se observó que a una velocidad superior a 20 rpm hay una fuerza externa lo suficientemente alta que causa la separación de fases en la emulsión 6L. Indicando un rompimiento o separación de la capa absorbida de emulsificante que rodea. Es de gran importancia resaltar que las emulsiones obtenidas, presentaron un excelente comportamiento lo que permite ser usada como materia prima de partida en la elaboración de aglomerados.

6.2.4 Estabilidad por temperatura

Las pruebas de estabilidad por almacenamiento a altas temperaturas no se realizó debido a la naturaleza de los solventes, ya que al ser expuestos a temperatura no es posible obtener un resultado fiable; resaltando como observación valiosa que al transcurrir media hora de calentamiento se formó en la parte superior de la emulsión una pequeña capa de polímero. Manteniendo la parte inferior intacta.

6.2.5 Determinación del índice HLB

Para la determinación del índice HLB cabe recordar que el HLB indica la solubilidad en agua o aceite de un emulsificante, y por lo tanto que tipo de emulsión se tenderá a formar.

Calculo de HLB para la lecitina de soya:

El peso molecular de la fosfatidilcolina (lecitina de soya) es 759 g/mol, dicha molécula presenta una parte hidrofóbica que está representada por una cola y tiene un peso molecular de 536 g/mol y una cabeza polar que indica la parte hidrofílica que tiene un peso molecular de 223 g/mol. Lo anterior fue mostrado en la Figura 9.

Partiendo de la parte hidrofílica que es necesaria para la determinación del % hidrofílico por peso de la molécula de fosfatidilcolina tenemos que:

$$\% = \frac{100\%}{759 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \times 223 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 29.38 \%$$

Teniendo esto podemos proceder a la determinación del balance hidrofílico-lipofílico.

$$\text{HLB} = \frac{\text{fraccion \% hidrofílico por peso de la fosfatidilcolina}}{5}$$

$$\text{HLB} = \frac{29.38}{5} = 5.87$$

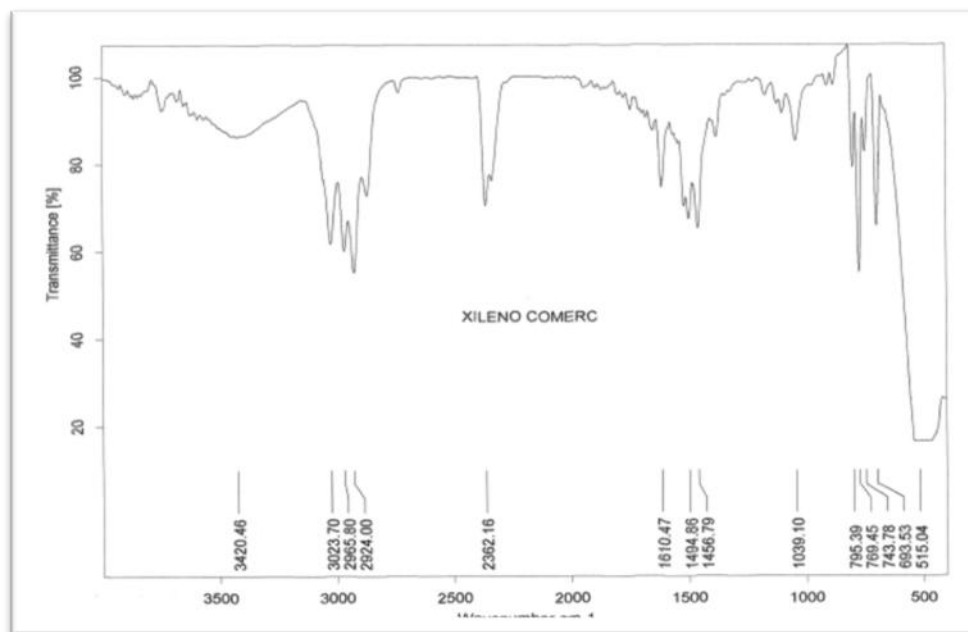
Este valor de 5.87 indica que el emulsificante muestra mayor solubilidad en aceite y son por ello más efectivos para preparar emulsiones tipo W/O, ratificando de nuevo que el tipo de emulsión formada clasifica dentro de las emulsiones W/O y que el emulsificante seleccionado fue el indicado.

6.2.6 Espectro infrarrojo de las emulsiones PS-PC/Emulsificante/Agua

Para el análisis infrarrojo de las emulsiones se procedió, a la toma de los espectros del xileno disolvente del polímero, poliestireno post consumo disuelto, emulsificante lecitina de soya. Utilizando los aditamentos especiales para líquidos y películas delgadas. Posteriormente se extendieron las emulsiones en vidrios porta-muestras, buscando generar películas lo más delgadas posibles. Seguidamente se llevaron a la estufa a

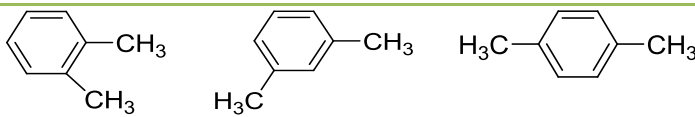
temperaturas de 40 ° C. Procediendo a tomar los espectros IR de las emulsiones y realizar un respectivo barrido de las muestras.

Figura 38. Espectro infrarrojo del xileno comercial.



El análisis del espectro infrarrojo se realizó a método comparativo consultando las bases de datos *spectral Database for Organic Compounds* y tomando como punto de partida que el disolvente utilizado es de grado comercial y se encontraba en proporción desconocida de los isómeros orto, meta y para del xileno.

Tabla 14. Asignación bandas IR características del xileno comercial

			
o-xileno	m-xileno	p-xileno	Identificación
2965.80 cm ⁻¹	2965.80 cm ⁻¹	2965.80 cm ⁻¹	C-H vibración estiramiento hidrogeno del anillo
2924.00 cm ⁻¹	2924.00 cm ⁻¹	2924.00 cm ⁻¹	C-H vibración estiramiento hidrogeno del anillo
1610.47 cm ⁻¹	1610.47 cm ⁻¹	1610.47 cm ⁻¹	C-H vibración estiramiento

			hidrogeno del anillo
1494.86 cm⁻¹	1494.86 cm⁻¹	-----	C-C vibración flexión disustituido
1456.79 cm⁻¹	1456.79 cm⁻¹	-----	C-C vibración flexión disustituido
-----	1039.10 cm⁻¹	-----	C-C vibración flexión disustituido
-----	-----	795.39 cm⁻¹	C-H vibración deformación hidrógenos del anillo
-----	769.45 cm⁻¹		C-H vibración deformación hidrógenos del anillo
743.78 cm⁻¹	-----	-----	C-H vibración deformación hidrógenos del anillo
-----	693.53 cm⁻¹	-----	C-H vibración deformación hidrógenos del anillo

En la toma del espectro de la lecitina de soya se sometió el emulsificante a un calentamiento de 50° C por 60 minutos; para obtener un espectro con la menor cantidad de humedad posible y así realizar una toma adecuada donde no se presentara solapamiento de las bandas. A continuación se reportan las diferentes bandas de absorción características de cada grupo funcional presente en la molécula del emulsificante.

Figura 39. Espectro infrarrojo de la fosfatidilcolina

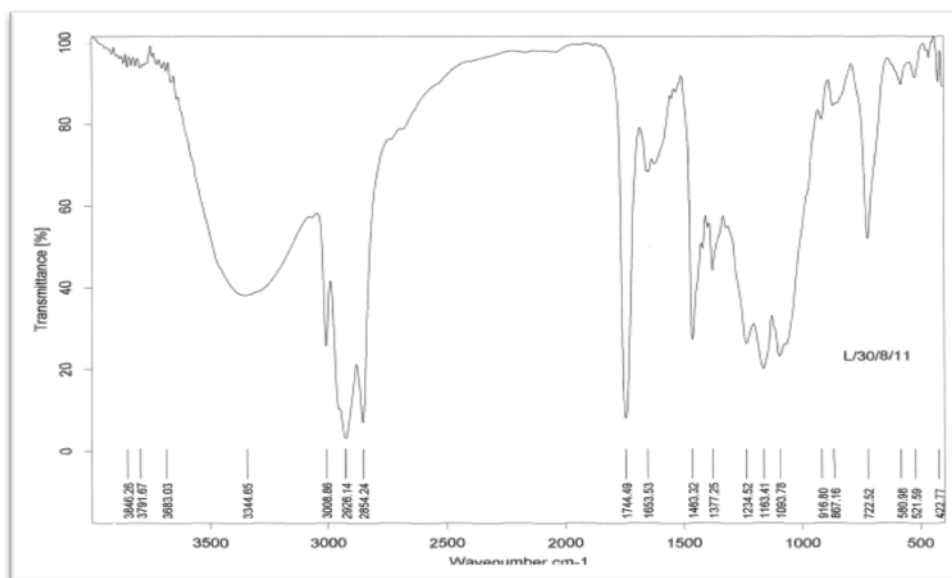


Tabla 15. Asignación bandas IR características de la fosfatidilcolina

Numero de Onda cm^{-1}	Identificación
3344.65 cm^{-1}	Sobretono C=O Vibración Estiramiento. Solapada por el –OH presente.
2926.14 cm^{-1}	Estiramiento Asimétrico del CH_2 del Alcano
2854.24 cm^{-1}	Estiramiento Asimétrico del CH_2 del Alcano
1744.49 cm^{-1}	Vibración Estiramiento del C=O del Ester
1653.53 cm^{-1}	Vibración Estiramiento- Asimétrico C=C del Alqueno disustituido
1463.32 cm^{-1}	Flexión Asimétrica CH_3 del Alcano
1377.25 cm^{-1}	Flexión Simétrica CH_3 del Alcano
1234.52 cm^{-1}	Vibración del CH_2 fuera del plano para Esteres
1163.41 cm^{-1}	Vibración de Estiramiento del C-N Amina Terciaria
1093.78 cm^{-1}	Vibración de Estiramiento del C-N Amina Terciaria
867.16 cm^{-1}	Vibración deformación del C-H del Alcano
722.52 cm^{-1}	Vibración de Balanceo, Deformación en el Plano $\text{CH}_2 \geq 6$ del Alcano

Seguidamente se tomaron los espectros infrarrojos de las emulsiones 1L a 10L y se realizó el análisis de las bandas características, comparadas con las bandas de absorción de los materiales de partida PS-PC/xileno y emulsificante; Para la toma de los espectros de las emulsiones se realizaron películas delgadas empleando una metodología recursiva que permitiera realizar el estudio.

Posteriormente se realizó el análisis, tomando como base que en el proceso de emulsificación, utilizaríamos las bondades del emulsificante para incorporar dos moléculas de distinta polaridad. Sin presentarse cambios significativos en las absorciones de las moléculas, debido a que no se realizaría una transformación química donde se generaría un nuevo producto.

Figura 40. Películas delgadas de las emulsiones preparadas.

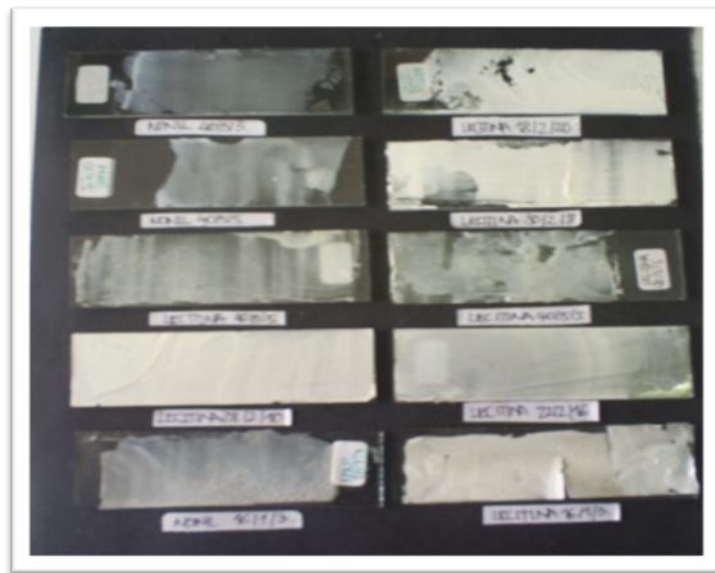
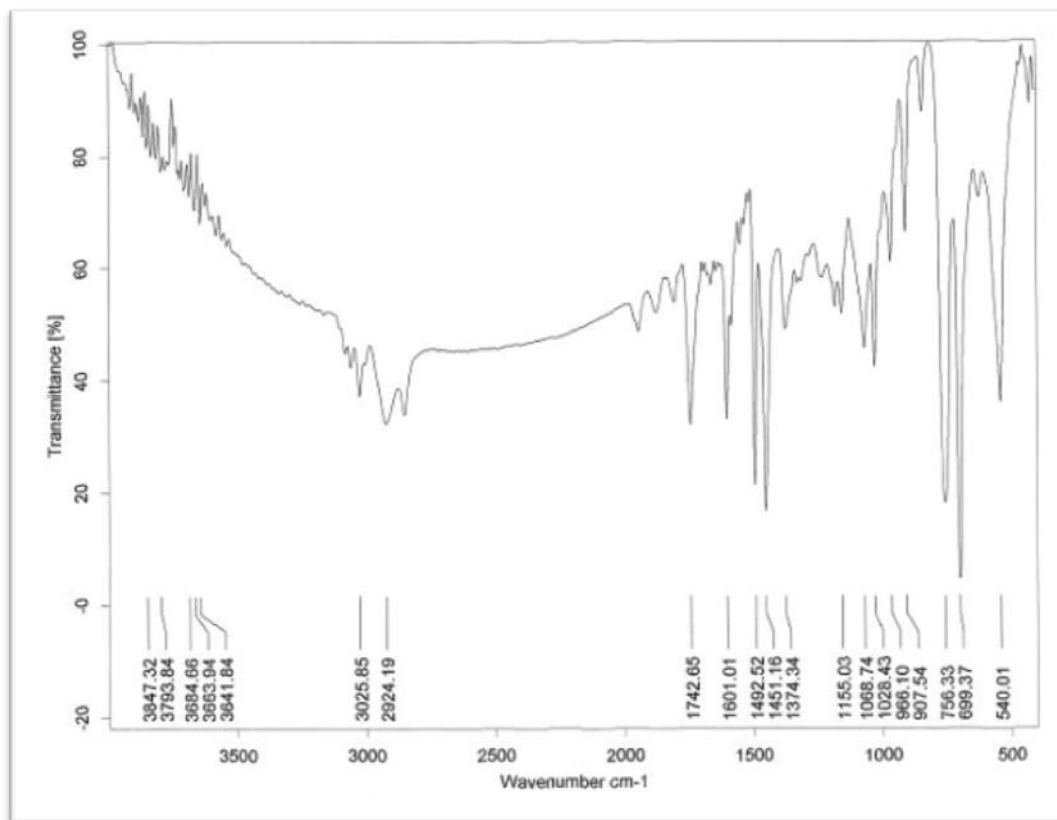
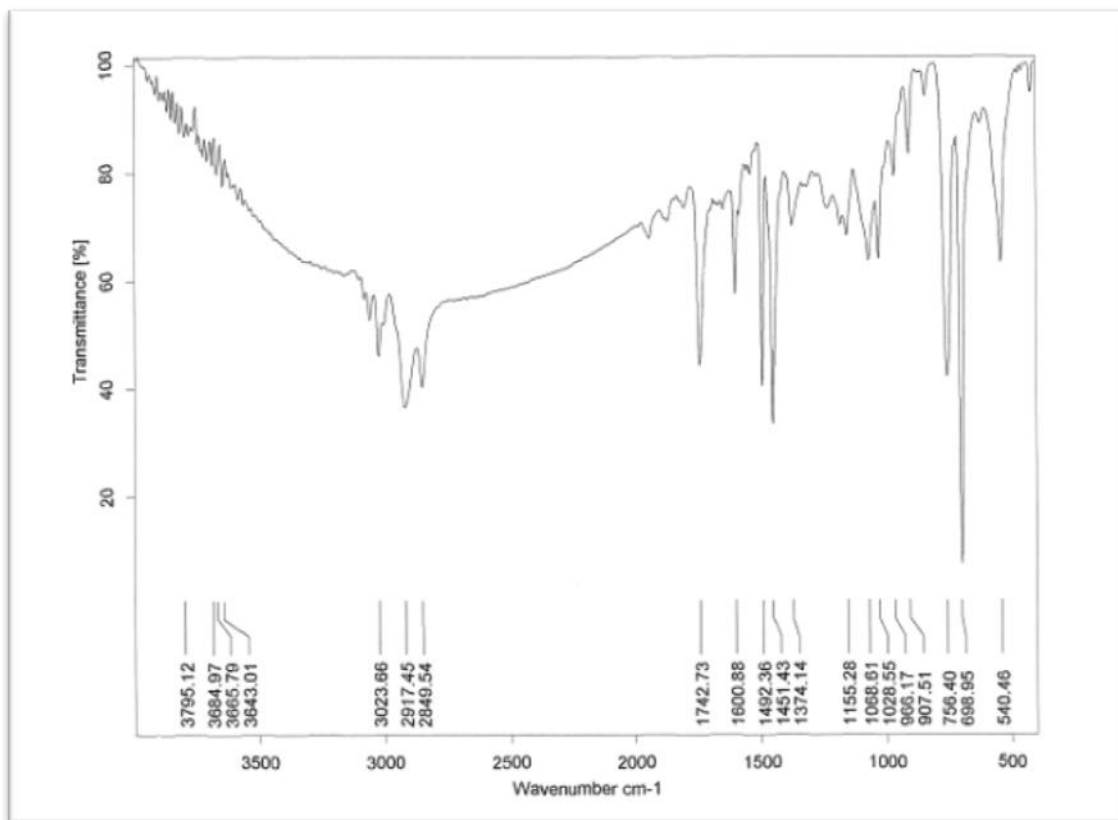


Figura 41. Espectro infrarrojo de la emulsión L1



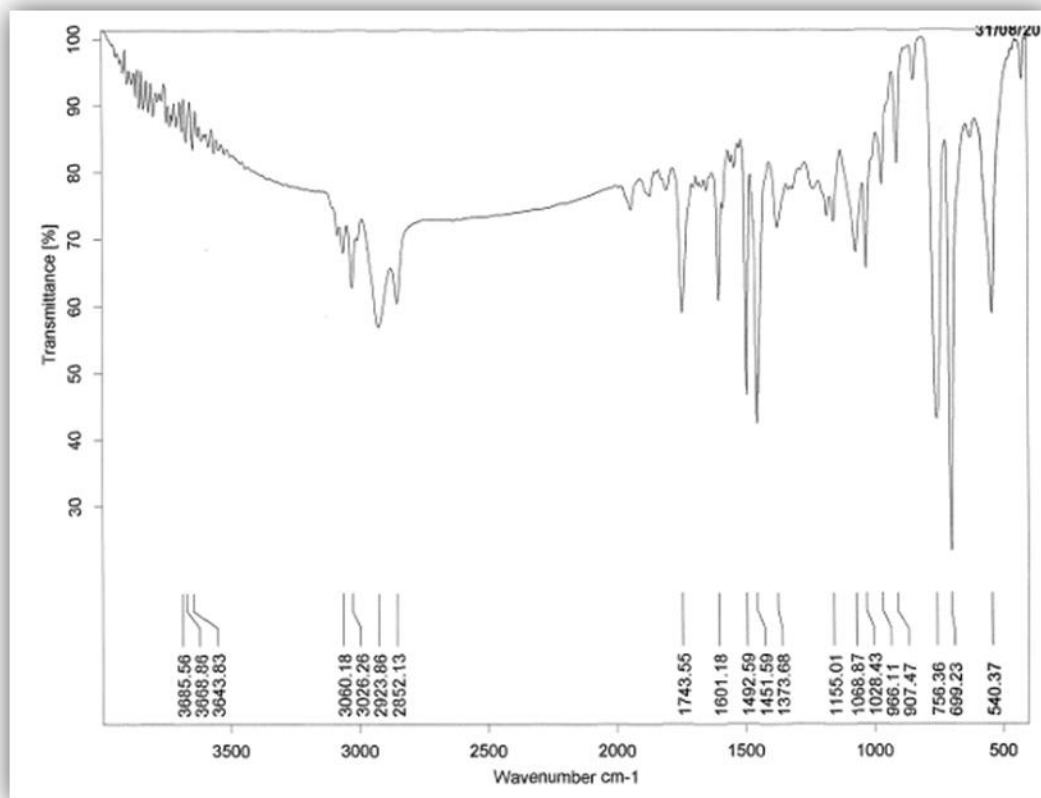
Del anterior espectro podemos observar las absorciones características 3025.85 cm^{-1} C-H Aromático Vibración de tensión, 2924.19 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 1742.65 cm^{-1} Vibración de estiramiento del grupo C=O del Ester, 1601.01 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del plano, 1492.52 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del Plano, 1451.16 cm^{-1} Tensión del anillo en el plano del C-H, 1374.34 cm^{-1} Vibración de flexión del C-H, 1155.03 cm^{-1} Vibración Flexión en el plano del aromático C-H; adicionalmente podemos aseverar del espectro que las bandas comprendidas entre $2000 - 3500\text{ cm}^{-1}$ no se presenta tan agudas e intensas debido a la cantidad de agua presente en la emulsión.

Figura 42. Espectro infrarrojo de la emulsión L2



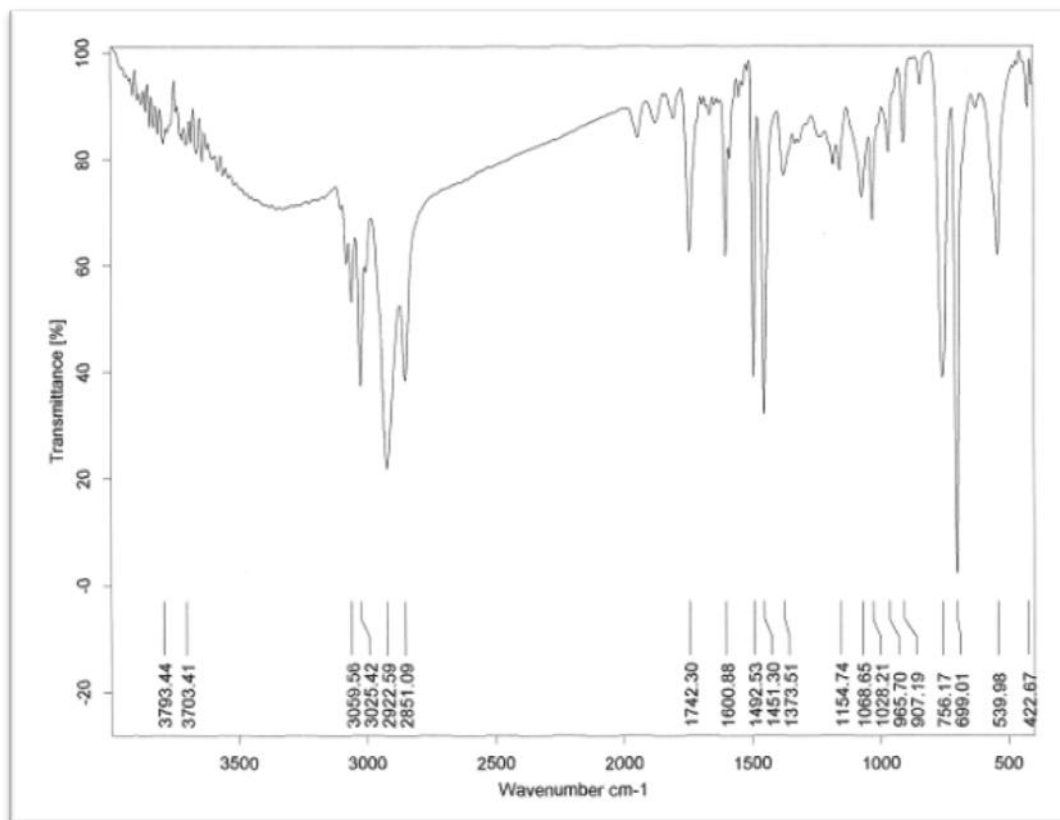
Del anterior espectro podemos observar las absorciones características 3023.66 cm^{-1} C-H Aromático Vibración de tensión, 2917.45 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 2849.54 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 1742.73 cm^{-1} Vibración de estiramiento del grupo C=O del Ester, 1600.88 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del plano, 1492.36 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del Plano, 1451.43 cm^{-1} ; Tensión del anillo en el plano del C-H, 1374.14 cm^{-1} Vibración de flexión del C-H, 1155.28 cm^{-1} Vibración Flexión en el plano del aromático C-H; adicionalmente podemos aseverar del espectro que las bandas comprendidas entre $2000 - 3500\text{ cm}^{-1}$ las bandas no se definen mejor debido a que el contenido de agua sigue siendo considerable en la emulsión

Figura 43. Espectro infrarrojo de la emulsión L3



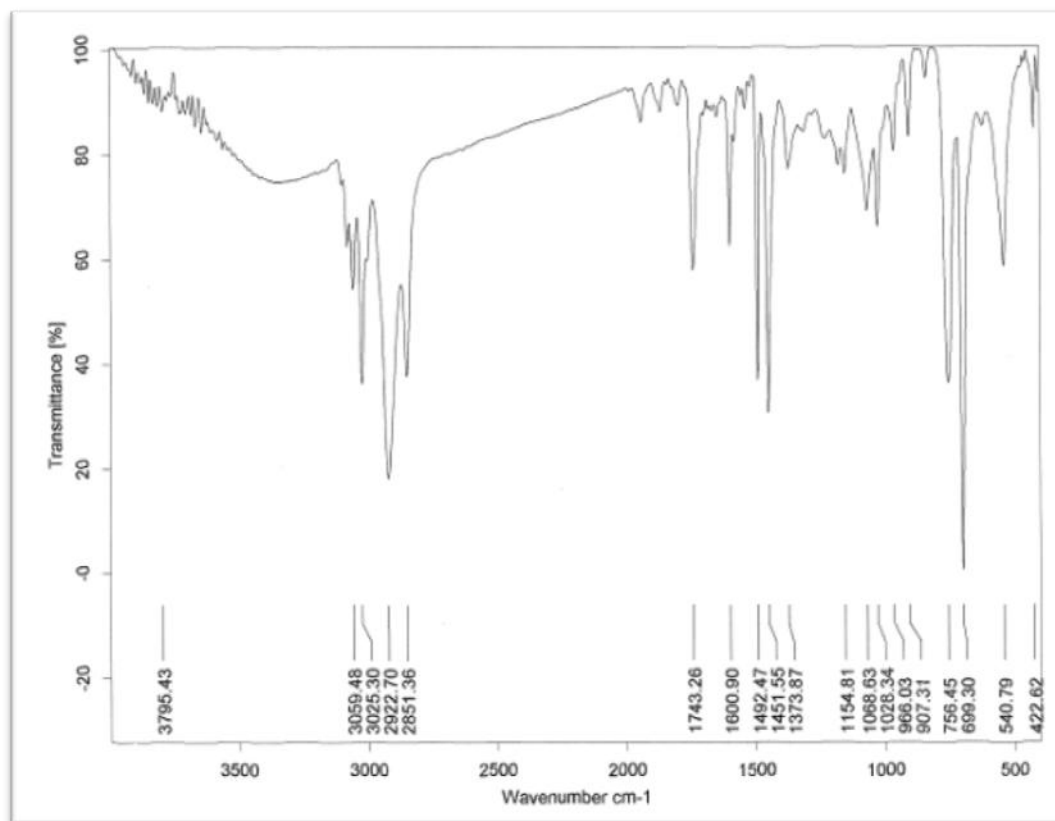
Del anterior espectro podemos observar las absorciones características 3060.18 cm^{-1} Vibración de tensión del C-H del aromático, 3026.26 cm^{-1} C-H Aromático Vibración de tensión, 2923.86 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 2852.13 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 1743.55 cm^{-1} Vibración de estiramiento del grupo C=O del Ester, 1601.18 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del plano, 1492.59 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del Plano, 1451.59 cm^{-1} Tensión del anillo en el plano del C-H, 1373.68 cm^{-1} Vibración de flexión del C-H, 1155.01 cm^{-1} Vibración Flexión en el plano del aromático C-H; Cabe aclarar que los espectros presentan características similares en las absorciones, resaltando la aparición de nuevas bandas de absorción debidas al aumento en las proporciones del polímero disuelto

Figura 44. Espectro infrarrojo de la emulsión L4



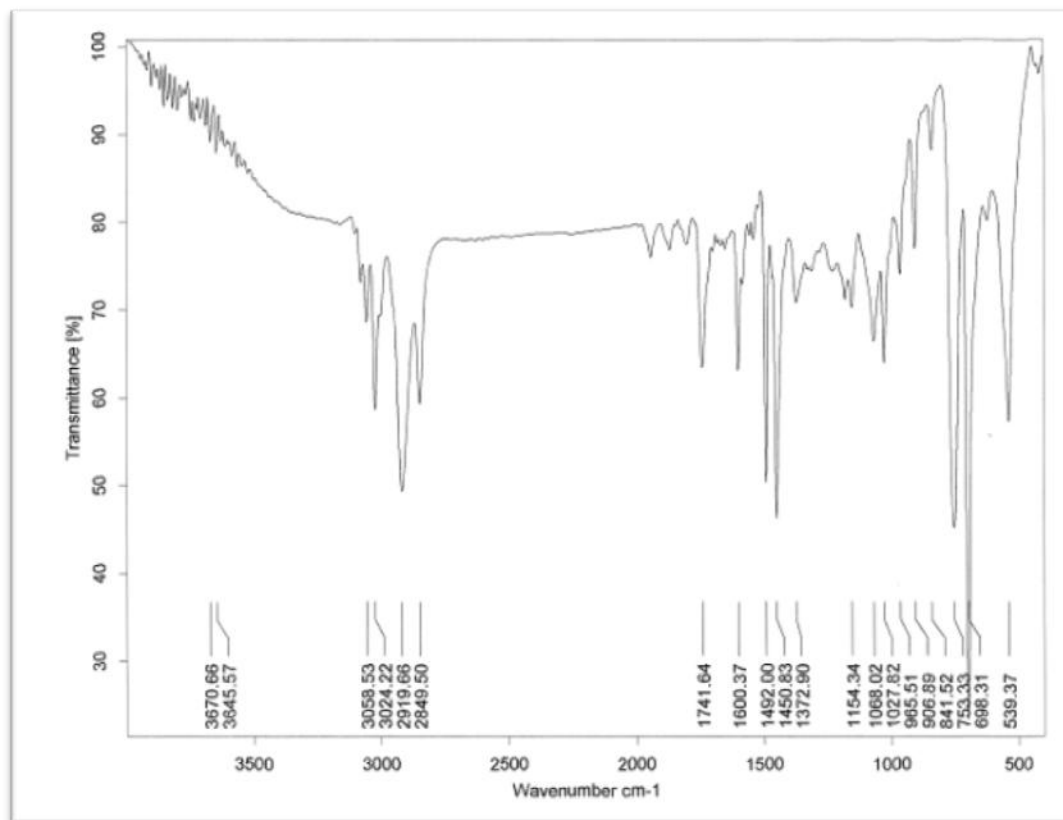
Del anterior espectro podemos observar las absorciones características 3059.56 cm^{-1} Vibración de tensión del C-H del aromático, 3025.42 cm^{-1} C-H Aromático Vibración de tensión, 2922.59 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 2851.09 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 1742.30 cm^{-1} Vibración de estiramiento del grupo C=O del Ester, 1600.88 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del plano, 1492.53 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del Plano, 1451.30 cm^{-1} Tensión del anillo en el plano del C-H, 1373.51 cm^{-1} Vibración de flexión del C-H, 1154.74 cm^{-1} Vibración Flexión en el plano del aromático C-H;

Figura 45. Espectro infrarrojo de la emulsión L5



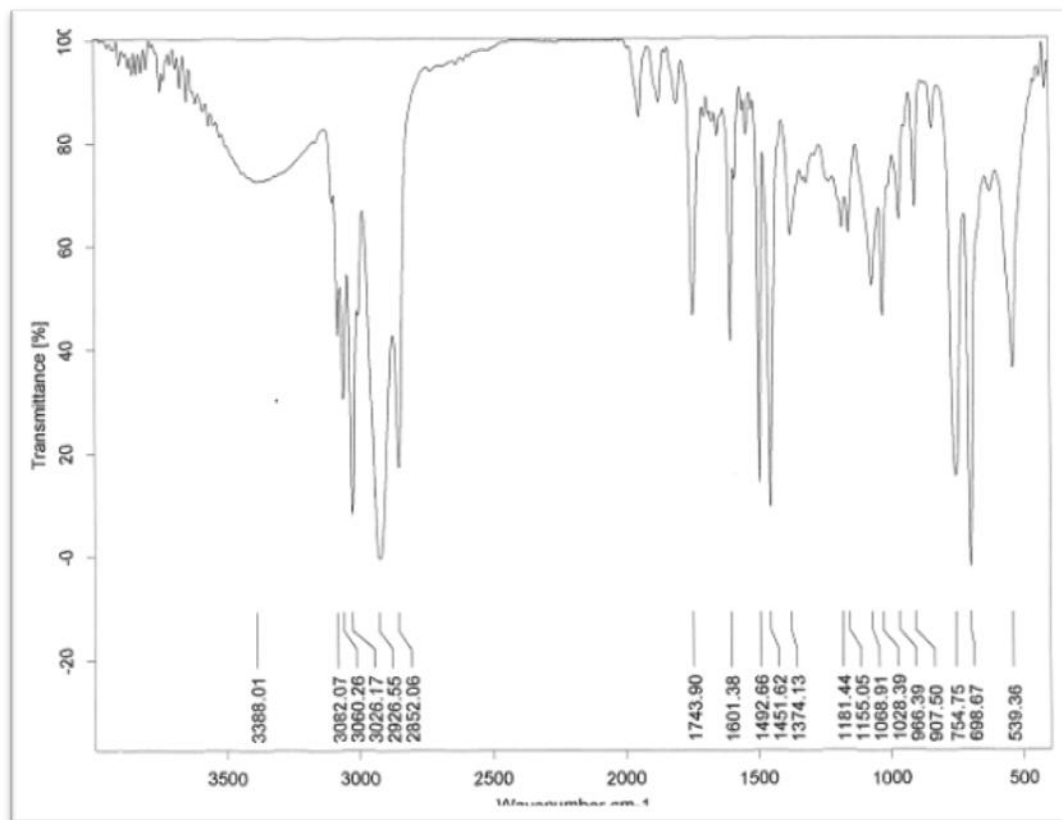
Del anterior espectro podemos observar las absorciones características 3059.48 cm^{-1} Vibración de tensión del C-H del aromático, 3025.30 cm^{-1} C-H Aromático Vibración de tensión, 2927.70 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 2851.36 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 1743.26 cm^{-1} Vibración de estiramiento del grupo C=O del Ester, 1600.90 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del plano, 1492.47 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del Plano, 1451.55 cm^{-1} Tensión del anillo en el plano del C-H, 1373.87 cm^{-1} Vibración de flexión del C-H, 1154.81 cm^{-1} Vibración Flexión en el plano del aromático C-H.

Figura 46. Espectro infrarrojo de la emulsión L6



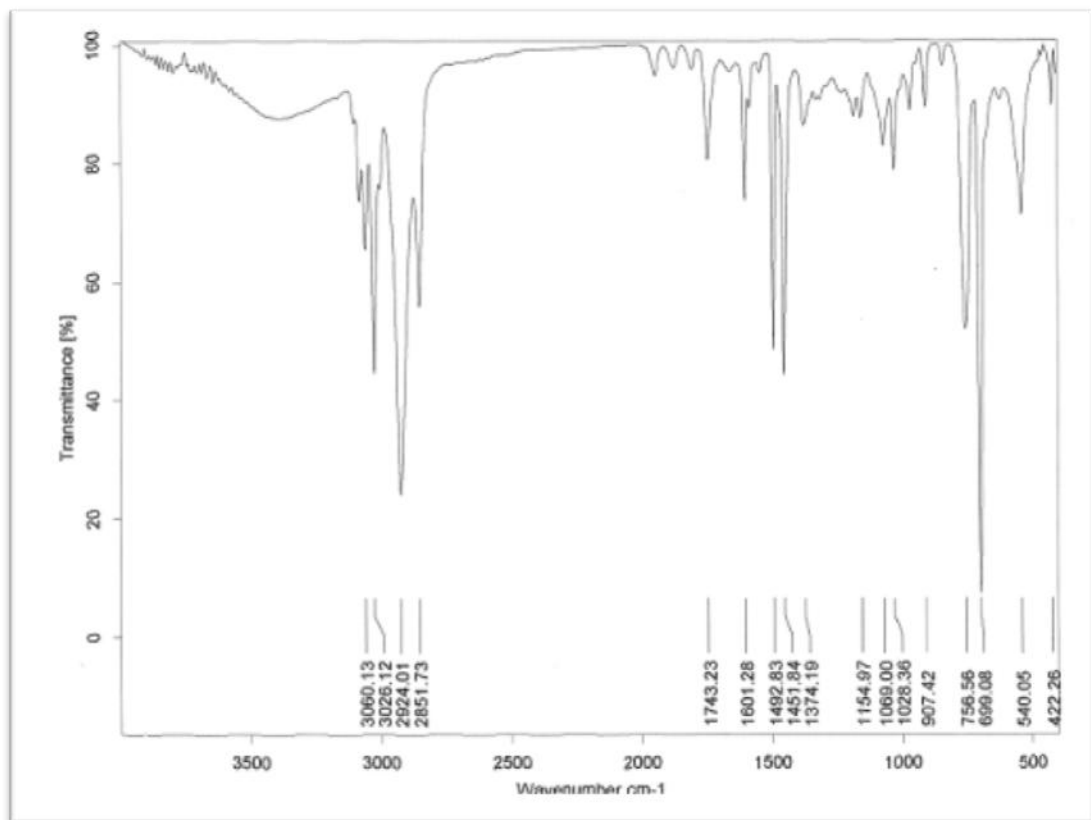
Del anterior espectro podemos observar las absorciones características 3058.53 cm^{-1} Vibración de tensión del C-H del aromático, 3024.22 cm^{-1} C-H Aromático Vibración de tensión, 2919.66 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 2849.50 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 1741.64 cm^{-1} Vibración de estiramiento del grupo C=O del Ester, 1600.37 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del plano, 1492 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del Plano, 1450.83 cm^{-1} Tensión del anillo en el plano del C-H, 1372.90 cm^{-1} Vibración de flexión del C-H, 1154.34 cm^{-1} Vibración Flexión en el plano del aromático C-H. Adicionalmente al análisis de las bandas en el espectro L6 se identifica un comportamiento diferente en la apariencia que se puede atribuir a diversos factores entre los que encontramos el cambio de la línea base, la escala en el eje de transmitancia o la desestabilización que se presentó al someter la emulsión a la centrifugación.

Figura 47. Espectro infrarrojo de la emulsión L7



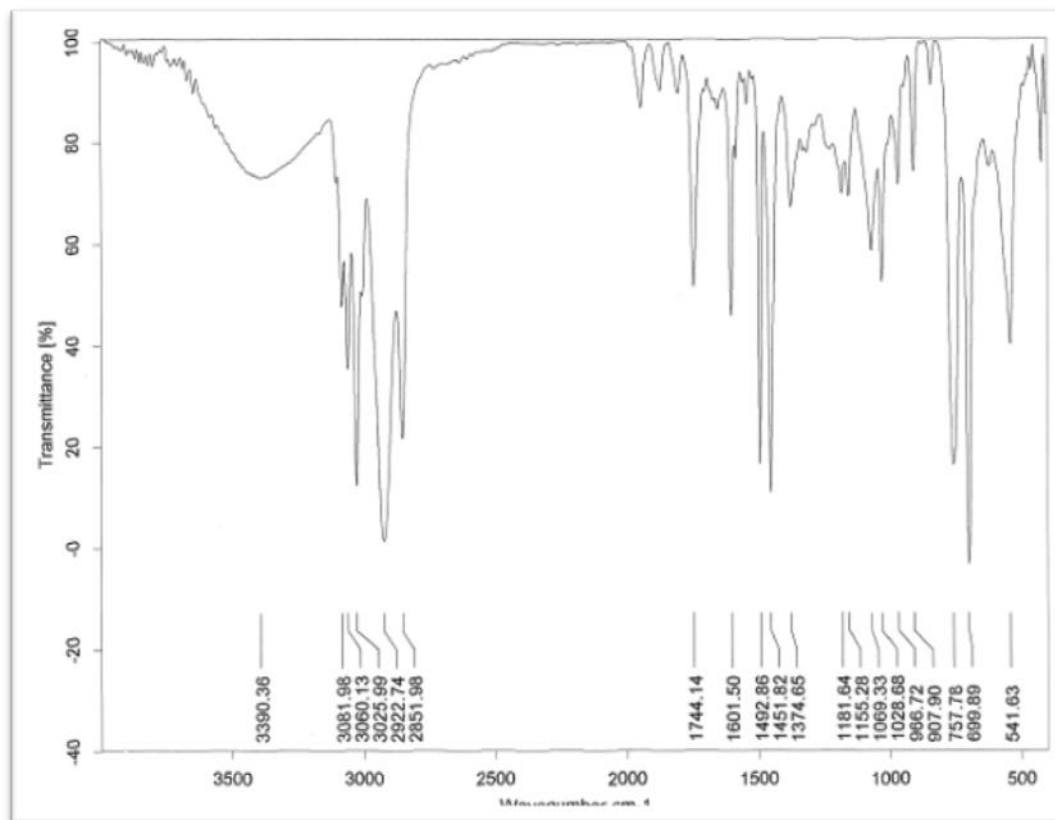
Del anterior espectro podemos observar las absorciones características 3082.07 cm^{-1} Vibración de tensión del C-H del aromático, 3060.26 cm^{-1} Vibración de tensión del C-H del aromático 3026.17 cm^{-1} C-H Aromático Vibración de tensión, 2926.55 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 2852.06 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 1743.90 cm^{-1} Vibración de estiramiento del grupo C=O del Ester, 1601.38 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del plano, 1492.66 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del Plano, 1451.62 cm^{-1} Tensión del anillo en el plano del C-H, 1374.13 cm^{-1} Vibración de flexión del C-H, 1181.44 cm^{-1} Vibración Flexión en el plano del aromático C-H. Adicionalmente se observó que el espectro L7 presento más bandas características del poliestireno lo que nos permite reconocer que las emulsiones están presentando variación en la concentración del PS/PC en la preparación.

Figura 48. Espectro infrarrojo de la emulsión L8



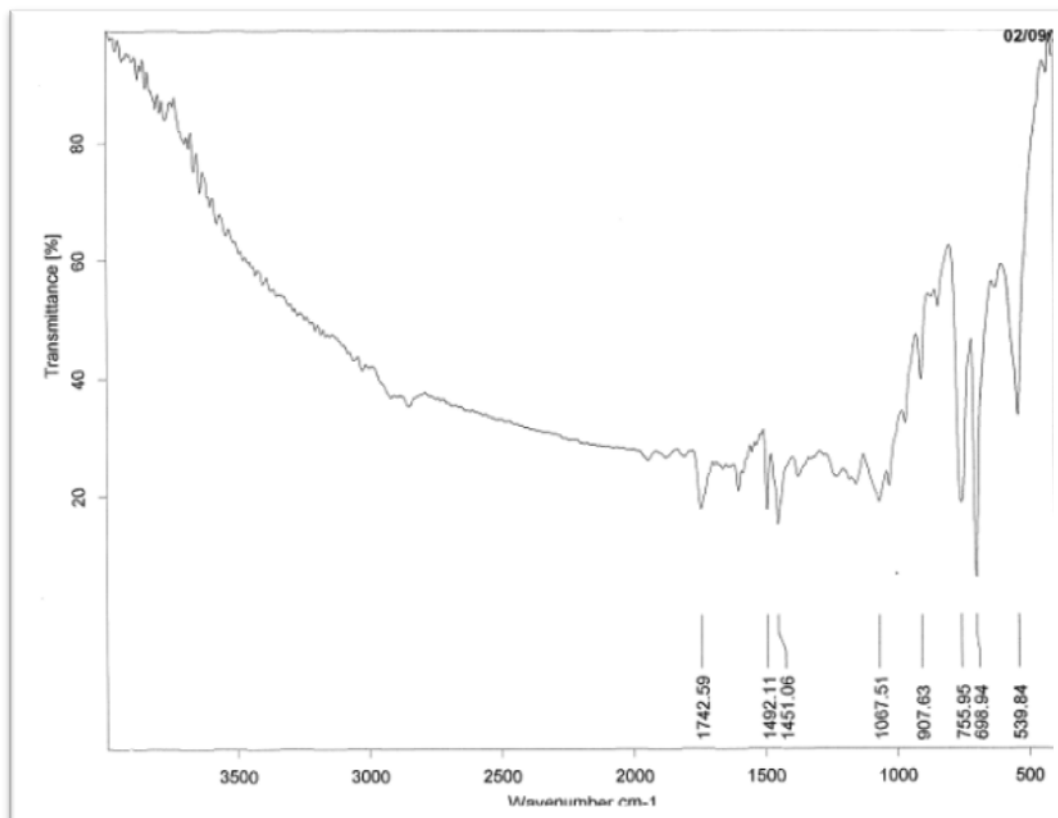
Del anterior espectro podemos observar las absorciones características 3060.13 cm^{-1} Vibración de tensión del C-H del aromático 3026.12 cm^{-1} C-H Aromático Vibración de tensión, 2924.01 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 2851.73 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 1743.23 cm^{-1} Vibración de estiramiento del grupo C=O del Ester, 1601.28 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del plano, 1492.83 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del Plano, 1451.84 cm^{-1} Tensión del anillo en el plano del C-H, 1374.19 cm^{-1} Vibración de flexión del C-H, 1154.97 cm^{-1} Vibración Flexión en el plano del aromático C-H. En el espectro de la emulsión L8. Se observó la no presencia de 2 bandas de absorción entre 3050 y 3400 cm^{-1} debido a que las condiciones de toma no tabulo pero que se evidencian en el espectro emitido por el equipo. Adicionalmente podemos aseverar que el espesor de la película influye en la resolución en el espectro de absorción.

Figura 49. Espectro infrarrojo de la emulsión L9



Del anterior espectro podemos observar las absorciones características 3081.98 cm^{-1} Vibración de tensión del C-H del aromático, 3060.26 cm^{-1} Vibración de tensión del C-H del aromático 3025.99 cm^{-1} C-H Aromático Vibración de tensión, 2922.74 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 2851.98 cm^{-1} C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión, 1744.14 cm^{-1} Vibración de estiramiento del grupo C=O del Ester, 1601.50 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del plano, 1492.86 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del Plano, 1451.82 cm^{-1} Tensión del anillo en el plano del C-H, 1374.65 cm^{-1} Vibración de flexión del C-H, 1155.28 cm^{-1} Vibración Flexión en el plano del aromático C-H. La emulsión L9 se encuentra en porcentajes 95% PS/PC-Xileno y 5% Emulsificante lo que se evidencia en la resolución de las bandas espectrales, rescatando así que el pico 3390.36 cm^{-1} se puede considerar como la humedad del emulsificante, Solapada con el Sobretono del carbonilo del Ester.

Figura 50. Espectro infrarrojo de la emulsión L10



Del anterior espectro podemos observar las absorciones características 1742.59 cm^{-1} Vibración de estiramiento del grupo C=O del Ester, 1492.86 cm^{-1} C-C Tensión del anillo del Plano, 1451.82 cm^{-1} Tensión del anillo en el plano del C-H. La emulsión L10 evidencia en su espectro la cantidad de agua presente en su formulación, generando así un espectro con las bandas de absorción entre 2000 y 3000 cm^{-1} solapadas por las bandas H-O-H; resaltándose como banda importante la referente al carbonilo del Ester del emulsificante y bandas del PS/PC a longitudes de ondas específicas.

Resumiendo los anteriores infrarrojos podemos destacar que acorde a la formulación de las emulsiones, los espectros de absorción infrarrojo presentaron cambios como aumento y disminución de la intensidad, adicionalmente solapamiento de bandas por interferencias de los medios.

6.3 Producción de aglomerados

6.3.1 Recolección de fibras naturales

En la elección y recolección de las fibras naturales se utilizaron los criterios de economía, fácil consecución y adicionalmente aquellos que se consideran desechos para la industria. La cascarilla de arroz (cas) residuo que se genera en el proceso de pilado y el aserrín (ase) que proviene de las industrias dedicadas a la comercialización de maderas.

6.3.2 Elaboración emulsión/cargas

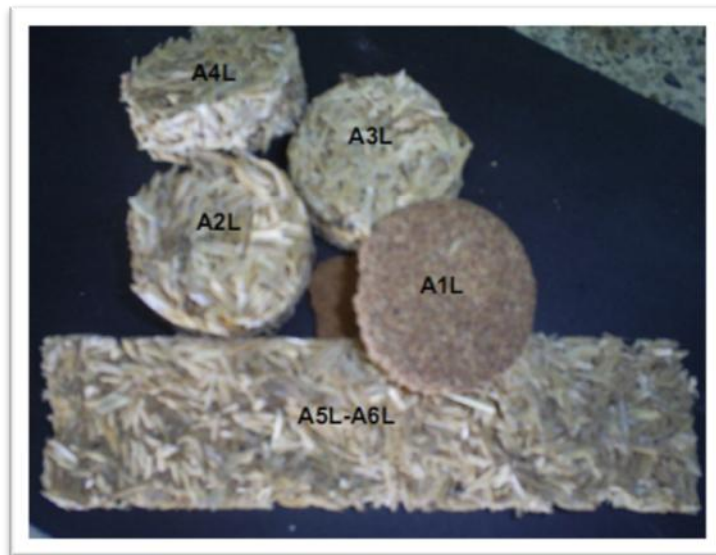
En la elaboración del aglomerado se utilizaron las emulsiones que contenían una mayor cantidad de polímero, considerando que se requerían emulsiones con poco contenido de agua para así evitar una etapa en la producción como el secado de la fibra. Realizando una buena agitación, con el objeto de conseguir una mezcla totalmente homogénea y lograr llevar a cabo un satisfactorio proceso de mezcla; posteriormente, todo el conjunto fue llevado a un molde para ser prensado bajo una presión determinada, durante intervalos cortos de tiempo en una prensa hidráulica. Finalmente, los aglomerados se llevaron a la estufa para ser horneados y obtener los aglomerados con las características finales. Las proporciones Emulsión - Carga, se variaron realizando los ensayos, para finalmente elegir la composición que cumpliera la condición de que al prensar el conjunto no presentara mayor exudación del fluido, buscando tener pérdida mínima de la emulsión, uniformidad estructural, y una terminación lisa en la superficie de contacto con el molde.

Tabla 16. Emulsiones utilizadas en la fabricación de aglomerados

Aglomerados	A1L	A2L	A3L	A4L	A5L	A6L
Emulsión	3L	4L	5L	6L	7L	8L
Fibras	ase	Cas	cas	cas	cas	cas
Tiempo	4h	4h	4h	5h	5h	5h
Temperatura	60 °C	60 °C	70°C	70 °C	70 °C	70 °C
Molde	circular	Circular	circular	circular	rectangular	rectangular

Adicionalmente se estableció que la cantidad de carga o fibras presentes no podrían superar el 20% de la mezcla. Se obtuvieron aglomerados con buena apariencia física que posteriormente se sometieron a pruebas químicas para evaluar su desempeño. Cabe anotar que se realizaron diversas combinaciones de emulsión carga, encontrando que las que presentaban mejor adherencia eran las realizadas con la cascarilla de arroz debido a la porosidad que se presentaba al aglomerar, logrando así un mejor secado.

Figura 51. Aglomerados elaborados según proporciones propuestas en la tabla 16

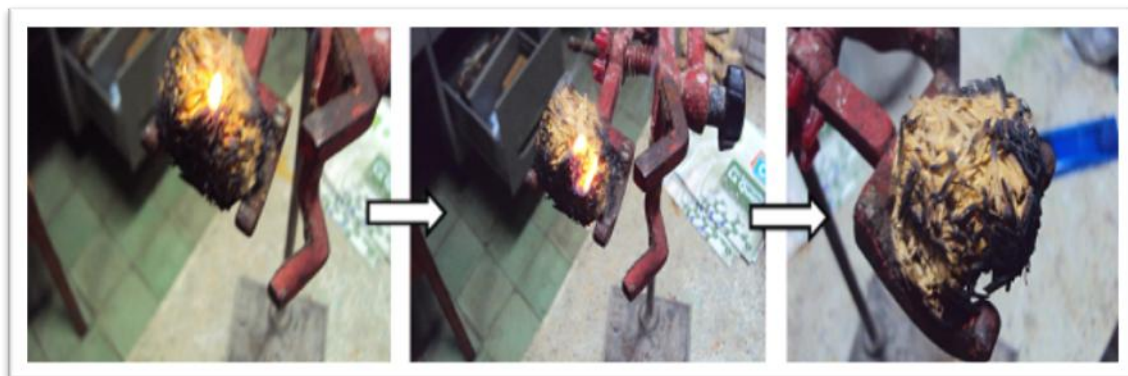


6.3.3 Pruebas Químicas

6.3.3.1 Test de llama

Se tomó el aglomerado y se colocó sobre una pinza, sometiéndolo directamente a la llama, observando inicialmente una llama amarilla que crepitaba, y a medida que transcurriría el tiempo se auto extinguía. Resaltando como hecho importante que los polímeros arden generando una llama fuliginosa lo que no ocurrió con el aglomerado elaborado a partir de las emulsiones.

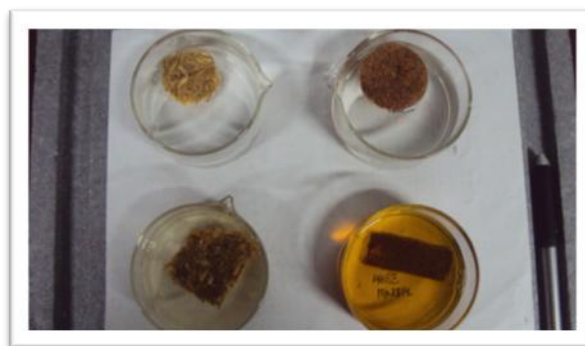
Figura 52. Test de llama aglomerados circulares



6.3.3.2 Degradación química

Se tomaron trozos de aglomerados y se llevaron a soluciones de ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio y se observaron los comportamientos presentados; permitiéndonos establecer parámetros para la caracterización del material.

Figura 53. Resistencia ante agentes químicos



Por pruebas realizadas en anteriores trabajos podemos predecir que los aglomerados presentan un ataque en el que se evidencia no solo la ruptura de la estructura física sino que ocurre el hinchamiento e inserción de los grupos químicos de la solución los cuales rompen los enlaces intermoleculares y solvatan las moléculas simples. Más específicamente, estos efectos son reflejados por la posible hidrólisis básica que puede sufrir la celulosa.

Tabla 17. Comportamiento de los aglomerados ante agentes químicos

NaOH 10 % P/V	HNO ₃ 10% V/V	H ₂ SO ₄ 10% V/V	Aceite Mineral
El aglomerado sometido, presenta deformación de su estructura rompimiento de la matriz soporte	Inalterado después de realizada la prueba; Flotaba	Inalterado después de realizada la prueba; flotaba	Permaneció inalterado después de realizada la prueba no flotaba

6.3.3.3 Densidad

Se tomaron diferentes aglomerados, los cuales se pesaron y se sumergieron en una probeta que contenía agua y se observó el volumen que desplazaban a continuación se reportan en la tabla 18, los diferentes valores de peso y volumen desplazado.

Tabla 18. Densidad de aglomerados por el método de volumen desplazado

	Peso (g)	V Desplazado (mL)	Densidad (g/mL)
A1	2.877 g	6 mL	0.4795
A2	2.678 g	4 mL	0.6695
A3	1.269 g	2.5 mL	0.5076
Densidad promedio			0.5522

Una característica esencial de los aglomerados es que tengan una baja densidad, así se permite diseñar posteriormente piezas ligeras, de buena rigidez para que incluso su transporte se haga más sencillo y así esta industria logre también incrementar su desempeño y ahorrar energía.

7. CONCLUSIONES

- La presente metodología logró introducir de nuevo al ciclo de vida útil materiales desechados, generando así un nuevo material híbrido con las propiedades de sus materiales precursores; sirviendo como materia prima para la fabricación de aislantes y pinturas.
- Se obtuvieron emulsiones estables, logrando reemplazar en la preparación el disolvente apolar e introduciendo un solvente polar en porcentajes desde el 5% hasta el 35 %; aprovechando las bondades de un agente emulsificante natural como la lecitina de soya en porcentaje invariable del 5%.
- La obtención de aglomerados con propiedades químicas aceptables; permite proponerlo como punto de partida en la consecución de nuevos materiales, enfocados a nuevos estilos de construcción urbana en lo que se abandere la reutilización de materiales post-consumo.
- Se realizó la caracterización general del poliestireno, evidenciando propiedades físicas y químicas, resaltando como aporte fundamental la solubilidad del material respecto a otros disolventes que se encuentran cercanos en la relación de Hildebrandt, con fácil consecución y reducción del impacto ambiental.
- Se ultimó que la lecitina de soya presentó las condiciones idóneas para ser elegido como un agente emulsificante debido a que cumplía con los requisitos planteados entre los que se resaltaron fácil consecución, economía y biodegradabilidad.
- La determinación del balance Hidrofílico-Lipofílico de la molécula de lecitina de soya (fosfatidilcolina), fue de 5.87 indicando que el emulsificante muestra mayor solubilidad en aceite, siendo más efectivos para preparar emulsiones tipo W/O.
- El estudio infrarrojo nos permitió evidenciar que la emulsificación se realizó de manera esperada, debido a que se logró identificar los grupos funcionales

característicos de las moléculas precursoras, resaltando que no se generó sub-producto.

- Es de gran importancia resaltar la metodología realizada para la toma de los espectros infrarrojos de las emulsiones, destacando que no se encuentra en la literatura procedimientos descritos; e igualmente señalar el aporte de los espectros de las emulsiones que se utilizaran de soporte en futuras investigaciones.
- La obtención de nuevos materiales a partir de basuras permite disminuir el impacto ambiental, evitando la tala de bosques y la acumulación de residuos sólidos que provienen de la industria petroquímica que pueden permanecer inalterados por millones de años.

RECOMENDACIONES

- Tomando como punto de partida la investigación se recomienda, proponer la iniciativa como un proyecto de economía social sustentable y sostenible, integrando diferentes áreas académicas, realizando un trabajo mancomunado entre la investigación y la industria.
- Se recomienda seguir con los estudios de estabilidad de las emulsiones obtenidas, utilizando técnicas instrumentales como potencial z y tamaño de partícula, determinando así criterios microscópicos corroborando los análisis realizados a nivel macroscópico.
- Se sugiere utilizar como solvente en la dispersión del poliestireno post consumo el acetato de etilo, debido a que presenta menores inconvenientes de tipo medio ambiental.
- Se recomienda proseguir con los trabajos de investigación en emulsiones poliméricas; sus usos y aplicaciones en la industria de los asfaltos logrando así la introducción de copolímeros post-consumo en las formulaciones manejadas a nivel industrial.

BIBLIOGRAFIA.

1. ALVAREZ G., ANTON R., Marfisi S., MARQUEZ L., Salager J.L (2004) apparente equilibration Time Required for Surfactant-Oil-Water Systems to emulsify into the Morphology imposed by the Formulation. Part 2: Effect of sec-Butanol Concentracion and initial Location. Langmuir 20: 5179-5181.
2. ARANDES, José M, BILBAO, Javier, LÓPEZ Valerio Danilo, Reciclado de residuos plásticos Laboratorio de Polímeros, POLIUNA. 1995. Normas ASTM utilizadas para el análisis de materias plásticas. Revista Iberoamericana de Polímeros; Volumen 5(1), Marzo de 2004.
3. ARANBERRI, I; BINKS, B.P, CLINT, P.D.I, Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos; Revista Iberoamericana de Polímeros; 7(3), 2006.
4. A.S. KABALNOV "Coalescence in Emulsions in Modern Aspects of Emulsions Science", B.P. Binks (Editor), Cambridge, 1998, RSC
5. BITTENCOURT Polimerización en emulsión; Revista Iberoamericana de Polímeros; 9(6), 512-525 (2008).
6. BOTELHO y BITTENCOURT Polimerización en emulsión Facultad de Ingeniería Química. Universidad Estatal de Campinas. Ciudad Universitaria Zeferino Vaz, Cx. 6066. CEP: 13083-970. Campinas. SP. Brasil.
7. BLACKLEY DC "Emulsion Polymerization: Theory and Practice", AppliedScience Ltda, Londres, 1975[3] Odian G "Principles of Polymerization". Wiley-Interscience, Nueva York 1981.

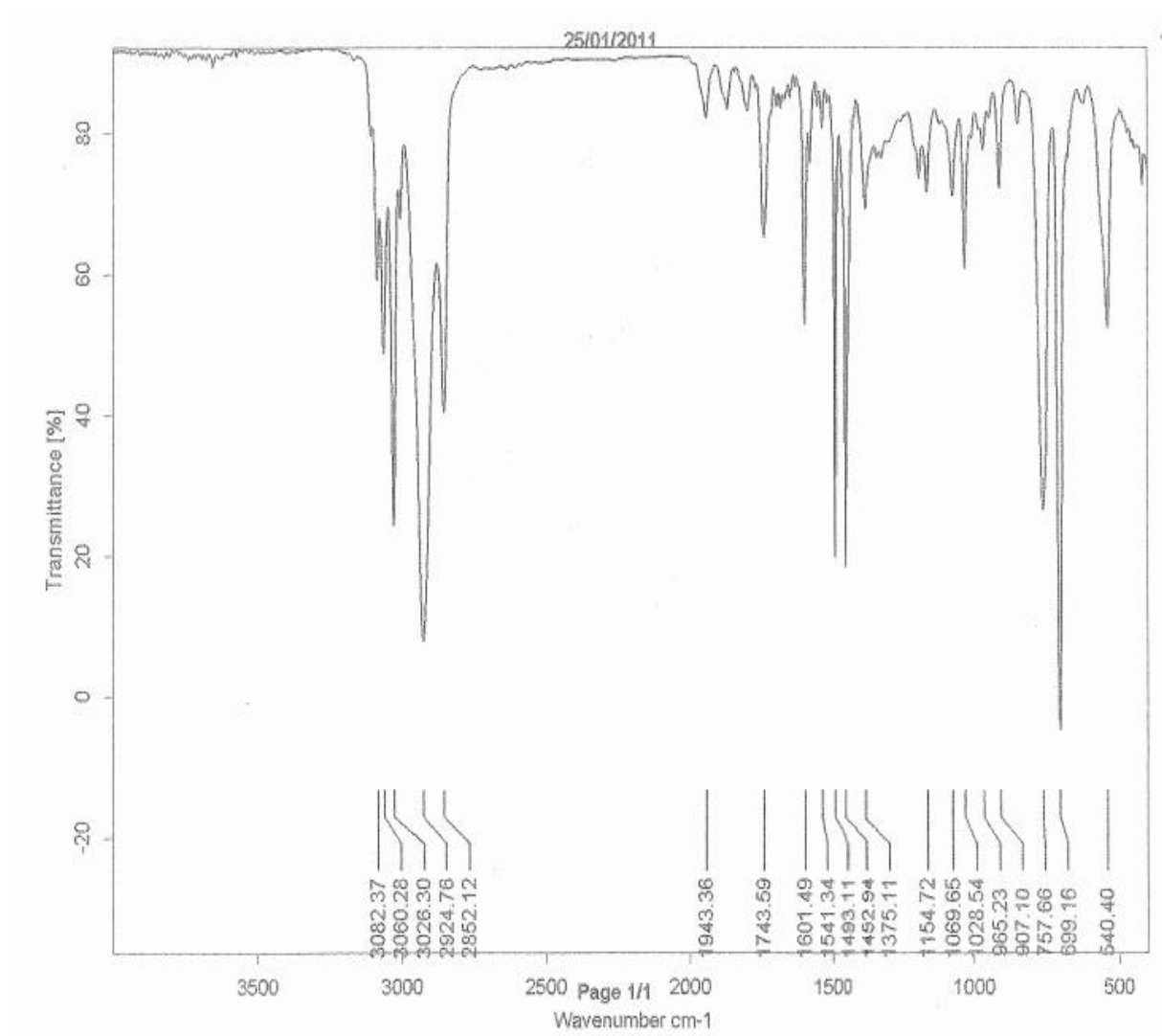
8. CORDOBA, Carlos; MERA, Jenny; MARTINEZ, Diego, Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclados, reforzados con fibra vegetal, tetera; Revista Iberoamericana de Polímeros; 11(7), 417-427 (2010)
9. DELGADO, René, CORTÉS, Laura, Elaboración de materiales reforzados con carácter biodegradable a partir de polietileno de baja densidad y bagazo de caña modificado; Revista Iberoamericana de Polímeros; 11(7), 520-531 (2010)
10. DICKINSON "Gums and Stabilizers for the Food Industry", G.O. Phillips, P.A. Williams y D. J. Wedlock (Editores), Cambridge, 1988, IRL Press
11. DICKINSON, E. y S. R. EUSTON "Food Polymers, Gels & Colloids", E. Dickinson (Editor), vol. 82, Cambridge, 1991, RSC Publications Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 7(3), Agosto de 2006 211.
12. EL AASSER M "The Role of Tensioactivos in Emulsion Polymerization" en "Advances in Emulsion Polymerization and Latex Technology". Curso sobre emulsión. Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania.
13. EMULSIONES PROPIEDADES Y FORMULACION, cuaderno FIRP No. 231 pág. 1-11. depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf.
14. FERNANDEZ Ana Maria, Uwe HELD, Andreas WILLING , Wolfgang H. Breuer, New green surfactants for emulsion polymerization , Progress in Organic Coatings 53 (2005) 246–255
15. KATIME, J.R. Quintana, M Villacampa, Revista Iberoamericana de Polímeros, 4, 123, (2003) 13 C. Tanford "The hydrophobic effect. Formation of Micelles and Biological Membranes" (2ª edición), New York, 1980, Wiley.
16. KRISTIINA Oksmana, AJJ P. Mathewa, RUNAR Långströmb, BIRGITHA Nyströmb; y KURUVILLA Joseph c; The influence of fibre microstructure on fibre

- breakage and mechanical properties of natural fibre reinforced polypropylene; Composites Science and Technology 69 (2009) 1847–1853.
17. MAGNUS, Bengtsson; y KRISTIINA Oksman; Silane crosslinked wood plastic composites: Processing and properties; Composites Science and Technology 66 (2006) 2177–2186.
18. PAUL, Wambua, JAN Ivens y IGNAAS Verpoest. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics; Composites Science and Technology 63 (2003) 1259–1264.
19. ROSALES Rivera Georgina y GUZMÁN Arellano, Luz Margarita, Los polímeros sintéticos en el siglo XX, Fondo de Cultura Económica, Estampas de la Ciencia Vol. 2, col. La Ciencia para Todos, núm. 174, México, 1999.
20. SEYMOUR, Raimond. Introducción a la Química de los polímeros. Hattiesburg: Reverté, 1995, 1-87; 121-177; 321-327
21. Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón. Bogotá, Diciembre de 2008; Manual 1,2 disponible en www.minambiente.gov.co
22. Que es la lecitina de Soya y sus beneficios importantes; presentación; Disponible en: <http://www.authorstream.com/Presentation/edaguilar-74596-lecitina-de-soya-aguilar-entertainment-ppt-powerpoint/>
23. Selección de Emulsificantes; Claudi Mans; Catedratic d Enginyeria Química, Universitat de Barcelona; disponible en: <http://www.angel.qui.ub.es/mans/Documents/Textos/Recerca/1988%20NPQ%20306.pdf>

24. VOGES, Heinz-Werner, Helmut Fiege, Toshikazu Hamamoto, Sumio Umemura, Tadao Iwata, Hisaya Miki, Yasuhiro Fujita, Hans-Josef Buysch, Dorothea Garbe, Wilfried Paulus "Phenol Derivatives" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2002, Wiley-VCH, Weinheim

ANEXOS.

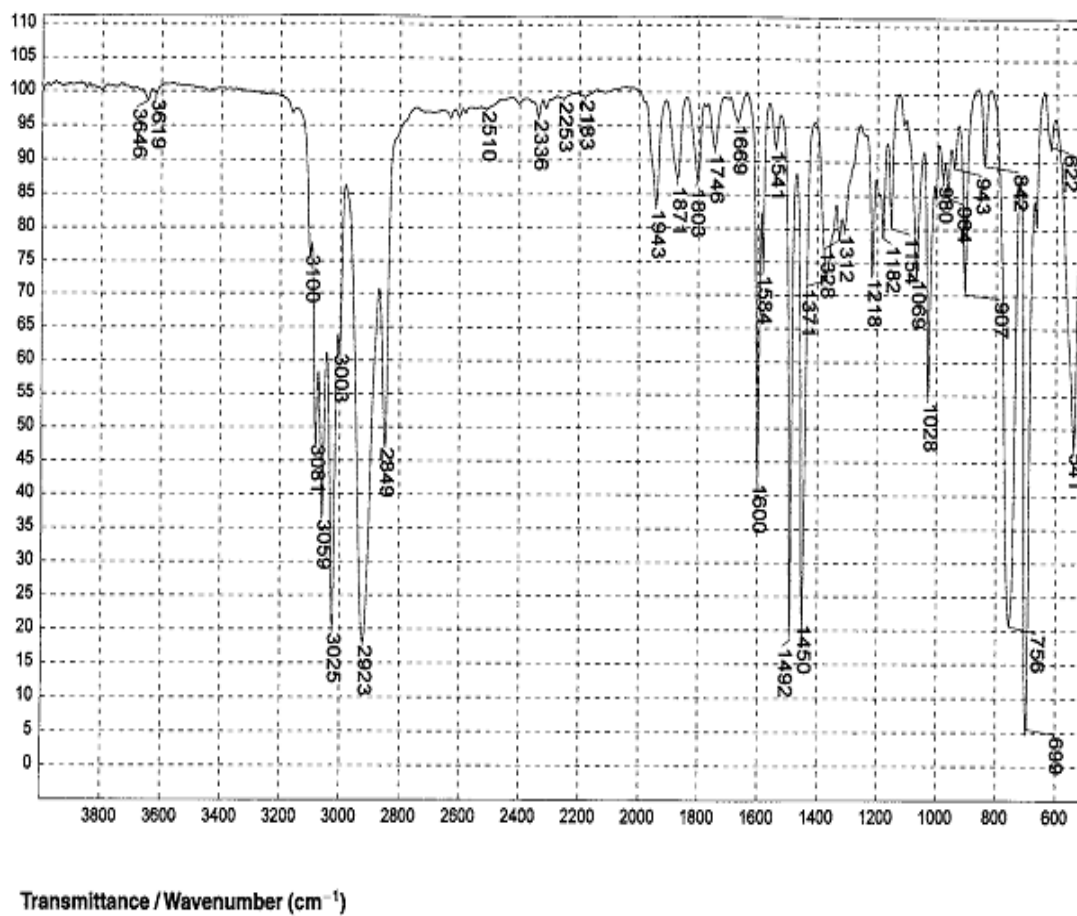
Anexo A. Espectro IR - PS/PC



Anexo B. Espectro IR- Literatura Poliestireno.

Poliestireno; *Spectral Database for Organic Compounds SDBS*; CAS: 9003-53-6;

Disponible en http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi



1294

Polystyrene

Anexo C. Emulsiones L1- L10

