

**PREPARACIÓN DE UNA EMULSIÓN POLIMÉRICA A PARTIR DE RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS DE POLIESTIRENO (6) OBTENIDO DE VASOS DE
YOGURT CON APLICACIÓN EN PINTURAS.**

**SAIDY CRISTINA AYALA DURAN
OMAR DAVID MORENO RINCON**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2010**

**PREPARACIÓN DE UNA EMULSIÓN POLIMÉRICA A PARTIR DE RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS DE POLIESTIRENO (6) OBTENIDO DE VASOS DE
YOGURT CON APLICACIÓN EN PINTURAS.**

**SAIDY CRISTINA AYALA DURAN
OMAR DAVID MORENO RINCÓN**

Trabajo presentado como requisito para optar el título de Químico

**JOSE CARLOS GUTIERREZ GALLEGO
Químico M.Sc.
Director**

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

2010

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos mostrar nuestros más sinceros agradecimientos:

A nuestro director de tesis, el profesor José Carlos Gutiérrez por todo el apoyo, dedicación e interés requerido en la realización de este trabajo. Agradecemos igualmente el habernos aceptado como estudiantes de proyecto.

A nuestros compañeros de laboratorio y amigos Hernán Rojas, Johansson Owen, Fabio Silva, por estar siempre disponibles, por toda la ayuda y colaboración que de ellos hemos recibido y sobre todo por tantas cosas compartidas.

DEDICATORIA

*A mi familia por ser el pilar de mi vida,
A mis padres Jesús y Elizabeth por darme siempre mas de lo que he necesitado,
A Julián por ser más que mi hermano,
A mi tía Shela por brindarme posibilidades, por enseñarme responsabilidades y a tener
independencia,
A Hernán Darío por ser mi todo y más que todo,
A mis Amigos José Antonio, Lina María, Mauricio y Oscar M. Por creer en mi desde el
comienzo, por su compañía y porque se les quiere.
A todos aquellos que sin mencionar saben que están en mi corazón*

Muchas gracias

SAIDY CRISTINA AYALA DURAN

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia por su apoyo durante todo este tiempo, a los docentes y compañeros por sus conocimientos brindados y a mis amigos con los que compartir diferentes momentos.

Dedico

En este lugar de formación
Dedico por que aprendí mi vocación
A divulgar y compartir mi pensamiento
Por lo cual agradecimiento es lo que siento.

OMAR DAVID MORENO RINCON

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 CONTAMINACION POR POLIMEROS EN COLOMBIA Y EN EL MUNDO	2
2.2 REUTILIZACIÓN DE PLÁSTICOS	4
2.3 POLIESTIRENO	5
2.3.1 Polimerización Del Poliestireno	5
2.3.2 Propiedades del poliestireno	6
2.3.3 Transformación del poliestireno	7
2.3.3.1 Extrusión	7
2.3.3.2 Inyección	7
2.3.3.3 Extrusión con soplado	7
2.3.4 Código De Identificación Del Poliestireno	7
2.4 EMULSIONES	8
2.4.1 Definición y aspectos generales	8
2.4.2 Tipos de Emulsión y distribución de Tamaños	9
2.5 TENSION INTERFACIAL	11
2.6 AGENTE EMULSIFICANTE	11
2.6.1 lecitina de soya	12
2.7 BALANCE HIDROFÍLICO-LIPOFÍLICO (HLB)	13
2.7.1 Cálculos de HLB	14
2.8 ESTABILIDAD DE UNA EMULSIÓN	14
2.8.1 Análisis de Emulsiones	15
2.9 PINTURAS	15
2.9.1 Definición Pinturas	15
2.9.2 Tipos De Pintura	16

2.9.2.1 Según la base	16
2.9.2.1.1 Agua	16
2.9.2.1.2 Solvente	17
2.9.3. Según el secado del solvente	17
2.9.4 Según la cantidad de pigmento blanco TiO_2	17
2.9.5. Composición Química De La Pintura	18
2.9.5.1 Materias Prima	18
2.9.5.1.1 Pigmentos	18
2.9.5.1.1.1 Pigmentos sintéticos o naturales	19
2.9.5.1.1.2 Pigmentos Orgánicos o Inorgánicos:	19
2.9.5.1.2 Aditivos	20
2.9.5.1.3. Surfactantes	20
2.9.5.1.4 Agente solubilizante	21
2.9.5.1.4.1. Propilenglicol	21
2.9.5.1.5.Solvente	21
2.9.5.1.6 Cargas o Entendedores	21
2.9.5.1.6.1 Carbonato de Calcio	22
2.9.5.1.6.2. Silicato de Aluminio o Caolín	23
3. CARACTERIZACION DE MATERIALES POLIMERICOS DE POLIESTIRENO	24
3.1 TESTS PRELIMINARES	24
3.1.1. Solubilidad	24
3.1.2 Densidad	25
3.1.3. Test de llama	25
3.1.4 Test de pirolisis	26
3.1.5. Técnicas Instrumentales	27
3.1.5.1. Espectroscopia de infrarrojo	28
3.2. ANALISIS PARA PINTURAS	29
3.2.1 Pruebas de hilo	29

3.2.2	Tiempo de secado	30
3.2.3	Pruebas de adherencia en diferentes materiales	30
3.2.4	Humedad total	30
3.2.5	Formulación	31
3.2.5.1	La Relación Pigmento/ Vehículo.	31
4.	DISEÑO EXPERIMENTAL	33
4.1	RECOLECCION, FRAGMENTACIÓN Y LAVADO DEL POLIESTIRENO RECICLADO	34
4.1.1	Recolección	34
4.1.2	Fragmentación	34
4.1.3	Lavado	35
4.2	CARACTERIZACIÓN DEL POLIESTIRENO	35
4.2.1	Solubilidad	35
4.2.2	Densidad	36
4.2.3	Test de llama	36
4.2.4	Test de pirolisis	37
4.2.5	Espectro Infrarrojo	38
4.3	PREPARACIÓN DE EMULSIONES PS/XILENO-AGUA-LECITINA	38
4.3.1	Procedimiento Preparativo Definitivo. Reproducibilidad De Las Emulsiones	40
4.3.2	Proporciones PS/xileno-agua-lecitina de soya	41
4.3.3	Estabilidad de las Emulsiones	41
4.3.4	Determinación de Índice HLB	42
4.4	OBTENCIÓN DE LA PINTURA	43
4.4.1	Pruebas de Hilo	44
4.4.2	Pruebas de Adherencia para diferentes materiales	44
4.4.3	Determinación de tiempos de secado	45
4.4.4	Determinación de Humedad total	45

5. ANALISIS DE RESULTADOS	46
5.1 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE PS	46
5.1.1 Pruebas De Solubilidad	46
5.1.2 Densidad	48
5.1.3 Test De Llama	48
5.1.4. Test De Pirolisis	49
5.2. ESPECTRO INFRARROJO PS	49
5.2.1 Espectro Infrarrojo Ps/Xileno	52
5.3 PREPARACIÓN DE EMULSIONES PS/XILENO-AGUA-LECITINA	54
5.3.1 Proporciones emulsiones PS/Xileno-agua-lecitina	54
5.3.2 Estabilidad de las emulsiones	56
5.3.3 Determinación del índice HLB	62
5.4. OBTENCIÓN DE LA PINTURA	63
5.4.1 Formulaciones	63
5.4.1.1 Pintura Verde	63
5.4.1.2. Pintura Roja	64
5.4.1.3 Pintura Rosada	65
5.4.1.4. Pintura Blanca	65
5.4.1.5. Pintura amarilla	66
5.4.1.6. Pintura Naranja	66
5.5. Pruebas de Hilo	67
5.5.1 Pintura Verde	67
5.5.3 Pintura Rosada	69
5.5.4 Pintura Blanca	70
5.5.5 Pintura Amarilla	71
5.5.6 Pintura Naranja	72
5.6. FORMULACIONES	74
5.7 PRUEBAS TEXTURAS PARA DIFERENTES MATERIALES	75
5.7.1. Textura sobre papel	75
5.7.2. Textura sobre madera	76

5.7.3 texturas sobre cemento	77
5.7.4. Texturas en vidrio, cerámica y metal	77
5.8. Determinación de tiempos de secado	78
5.9. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD TOTAL	79
6. CONCLUSIONES	80
7. RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	84
ANEXOS	87

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Distribución mundial de plásticos, Universidad rey Juan Carlos	2
Figura 2. Distribución de Residuos sólidos urbanos en Colombia, Fuente: Cálculos del IDEAM, (2004).	4
Figura 3 Monómero de vinilbenceno	5
Figura 4 Polimerización de poliestireno	6
Figura 5 Código SPI para PS	8
Figura 6 Tipos de emulsiones	10
Figura 7 Formula estructural de la lecitina de soya	12
Figura 8 Escala HLB tradicional	13
Figura 9 Medición de la densidad de un polímero, utilizando el principio de Arquímedes	25
Figura 10 Test de llama	26
Figura 11 Test de pirolisis	27
Figura 12 Bandas de absorción infrarroja de interés en polímeros por sus frecuencias y longitudes de ondas aproximadas	29
Figura 13 Diagrama Diseño Experimental	33
Figura 14 Material de PS reciclado	34
Figura 15 Fragmentación del Polímero	35
Figura 16 Test de llama	37
Figura 17 Test de pirolisis	38
Figura 18 Emulsión PS/Xileno-Agua-Lecitina	39
Figura 19 Hamilton Beach, Scoville 730C	40
Figura 20 Pinturas	43
Figura 21 Prueba de Hilo	44
Figura 22 Pruebas de texturas para pinturas	45

Figura 23 Resultados de pH prueba de pirolisis	49
Figura 24 Espectro Infrarrojo del poliestireno	50
Figura 25 Espectro Infrarrojo lámina de PS/Xileno	52
Figura 26 Imagen de la emulsión tomada en un microscopio NIKON Eclipse E200, 40X	56
Figura 27 Estabilidad de emulsión 1 por centrifugación	59
Figura 28 Estabilidad de emulsión 2 por centrifugación	60
Figura 29 Estabilidad de emulsión 3 por centrifugación	60
Figura 30 Estabilidad de emulsión 4 por centrifugación	61
Figura 31 Pinturas elaboradas a base de emulsiones de residuos de vasos de yogurt	67
Figura 32 Prueba de Hilo pintura verde	68
Figura 33 Prueba de Hilo pintura Roja	69
Figura 34 Prueba de Hilo pintura rosada	70
Figura 35 Prueba de Hilo pintura blanca	71
Figura 36 Prueba de Hilo pintura amarilla	72
Figura 37 Prueba de Hilo pintura naranja	73
Figura 38 Aplicación de las pinturas en superficie de papel	75
Figura 39 Aplicación de las pinturas en madera	76
Figura 40 Aplicación de las pinturas en cemento	77

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tipos de pintura base agua	16
Tabla 2 Tipo de Pinturas base solvente	17
Tabla 3 Tipo de pinturas según secado del solvente	17
Tabla 4 Relación pigmento/vehículo para diferentes tipos de pinturas	32
Tabla No. 5 Reproducibilidad de las emulsiones	41
Tabla 6 Resultados de ensayos de solubilidad de los residuos de PS	46
Tabla 7 Determinación de densidad del polímero, por método de Arquímedes, a 27 °C	48
Tabla 8 Asignación de las bandas de absorción IR del poliestireno	51
Tabla 9 Asignación de las bandas de absorción IR de una película de PS/Xileno	53
Tabla 10 preparación de las emulsiones PS/xileno-agua-lecitina	54
Tabla 11 Proporción ideal de la emulsión	55
Tabla 12 Estabilidad de emulsiones por tiempo	57
Tabla 13 Estabilidad de emulsiones por centrifugación 10rpm por 3 minutos.	57
Tabla 14 Estabilidad de emulsiones por centrifugación 15rpm por 3 minutos.	58
Tabla 15 Estabilidad de emulsiones por centrifugación 30 rpm por 3 minutos.	58
Tabla 16 Estabilidad de emulsiones por centrifugación 40 rpm por 4 minutos.	58
Tabla 17 Estabilidad de emulsiones por centrifugación 70 rpm por 5 minutos.	59
Tabla 18 Formulación pintura verde	64
Tabla 19 Formulación de pintura Roja	64
Tabla 20 Formulación de pintura Rosada	65
Tabla 21 Formulación de pintura Blanca	65
Tabla 22 Formulación de pintura amarilla	66

Tabla 23 Formulación pintura Naranja	66
Tabla 24 % sólidos y % PVC para las pinturas	74
Tabla 25 Determinación de tiempos de secado	78
Tabla 26 Determinación de humedad total	79

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Espectro IR PS	87
Anexo B. Espectro Película PS/Xileno	88

ABREVIATURAS

HLB: Balance Hidrofílico- Lipofílico

IR: Infrarrojo

O/W: Emulsión agua en aceite

PE: Polietileno

PET: Polietilentereftalato

PMMA: Polimetacrilato de metilo

PP: Polipropileno

PS: Poliestireno

PS-BD: Poliestireno-butadieno

PVC: Policloruro de vinilo

W: Agua pura

W/O: Emulsión aceite en agua

RESUMEN

TITULO: PREPARACIÓN DE UNA EMULSIÓN POLIMERICA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE POLIESTIRENO (6) OBTENIDO DE VASOS DE YOGURT CON APLICACIÓN EN PINTURA

AUTORES: SAIDY CRISTINA AYALA DURAN **
OMAR DAVID MORENO RINCON **

PALABRAS CLAVES: reciclaje, poliestireno, emulsión, emulsificante, pinturas

El poliestireno (6) obtenido a partir de vasos de yogurt es un material plástico, que en general, posee elasticidad, cierta resistencia al ataque químico, resistencia mecánica, térmica y eléctrica, posee baja densidad y es utilizado en el sector del envase. Mediante la experimentación y la inquietud de encontrar en la maleabilidad del plástico, inagotables usos posibles sobre la base del reciclado se pretende dar una solución a la problemática generada por los residuos de PS en la producción de pinturas a base del polímero. Basándose en la disolución de PS con xileno, produciendo una emulsión de polímero con proporciones de PS 73.2 %, agua 25.2% y lecitina de soya 1.6%, que presento las mejores condiciones de estabilidad al envejecimiento y centrifugación, mínima viscosidad y un índice HLB de 5.87 indicando que la emulsión formada pertenece al tipo W/O, esta emulsión fue utilizada posteriormente como base en la elaboración de la pintura, cuyos componentes fueron dióxido de titanio, óxidos de hierro, carbonato de calcio, caolin, trementina y propilenglicol; La evaluación de las muestras permitió obtener características técnicas de la pintura, su factibilidad para ser utilizado sobre distintas superficies como madera, cemento y papel, a su vez resistencia al lavado. Al final de este proceso se obtuvo una pintura decorativa de calidad media con buena fluidez, con humedad de 36.95%, tiempo de secado máximo de 18 minutos Y que podrá venderse a bajo costo, ya que utiliza residuos postconsumo.

* Trabajo de grado,

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

ABSTRACT

TITTLE: PREPARATION OF AN EMULSION POLYMERS FROM URBAN SOLID RESIDUE OF POLYSTYRENE (6), OBTAINED OF YOGURT CUPS WITH APPLICATION IN PAINTING.

AUTHORS: SAIDY CRISTINA AYALA DURAN
OMAR DAVID MORENO RINCON****

KEY WOARDS: Recycling, polystyrene, emulsify, emulsifier, painting

The polystyrene (PS) obtained from yogurt packaging is a plastic material that has properties such as elasticity, low density, resistance to mechanic, thermal and electric stresses as well as certain resistance to chemical damage. Trough experimentation and restlessness to find in the malleability of plastic, inexhaustible potential uses based on recycling in order to solve problems generated by PS residues, the use of a paint derived from that polymer has been proposed. A polymer emulsion was prepared as follows: 73.2% of PS, 25.2% of water and 1.6% of soy lecithin. Than present the best conditions of stability to aging and centrifugation, the latter showed the best stability, minimal viscosity and a HLB index of 5.87, indicative of type W/O emulsions. This emulsion was used as a base in the preparation of paint. The latter was composed by titanium dioxide, iron oxides, calcium carbonate, kaolin, turpentine and propylene glycol; The evaluation of the samples allowed to obtain technical features if the painting, its feasibility for use on different such as wood, cement and paper, in turn resistance to washing at the end of this process good quality and decorative or paint was obtained. This paint has 36.95% humidity, good fluidity, and a maximal drying time of 18 minutes. It can be used on several surfaces such as wood, paper and cement and can be sold at a low price because its preparation requires recycled residues .

* Trabajo de grado,

** Faculty of Sciences, School of Chemistry, Gutiérrez Jose Carlos, The Director

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por la protección del medio ambiente ha constituido una de las inquietudes más importantes de la sociedad contemporánea. Problemas de carácter estructural, como la crisis energética han venido a sustituir prioritariamente a la contaminación.

La sociedad de consumo, junto con la revolución tecnológica, ha dado lugar a la mayor producción de residuos de toda la historia de la humanidad. Los nuevos modelos de desarrollo deberán basarse en tecnologías de producción sin residuos, o con un mínimo de ellos. Esto permitirá resolver simultáneamente los problemas de la contaminación y el de la escasez de recursos naturales y de energía.

El concepto de "residuo" es relativo. Surge del mundo de la economía, del valor que se le asigna, de las posibilidades de utilización conforme a los conocimientos científicos y técnicos del momento. Lo que hoy es llamado residuo mañana puede ser materia prima, si adquiere un valor en el mercado. Es por esto que nace la idea de dar una aplicación rentable, sostenible y económica que permita lograr prolongar la vida útil de los envases de yogurt, reutilizándolos para otras aplicaciones antes de su disposición final como desechos sólidos.

Obteniendo un producto de poliestireno recuperado que ofrece ser incluido, como sustituto parcial de una materia prima en elaboración de pinturas plásticas de uso doméstico y que pueda ser vendida a bajo costo, que presenten buenas características técnicas de calidad como alta fluidez, baja viscosidad, minimización del solvente, menor tiempo de secado y con alta factibilidad para ser aplicado en diferentes superficies.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONTAMINACION POR POLIMEROS EN COLOMBIA Y EN EL MUNDO

En las últimas décadas debido al gran aumento en el desarrollo tecnológico se ha generado a su vez un consumo indiscriminado de polímeros o plásticos en la sociedad moderna, sin embargo aunque se ha intentado, todavía no se ha llevado un método de prevención de reciclado de residuos sólidos urbanos.

Una rápida reflexión sobre la situación actual en el aprovechamiento de los polímeros que contienen dichos plásticos, lleva a la siguiente conclusión: Los plásticos, por su composición polimérica y su origen derivado del petróleo y por tanto de una materia prima agotable, son un residuo de alto valor, relativamente fácil de recuperar y se encuentran en forma abundante.

Los cuales en su mayor proporción son polietileno (PE) y polipropileno (PP) y en menor proporción están el poliestireno (PS) cloruro de polivinilo (PVC) polietilentereftalato (PET), poliestireno-butadieno (PS-BD), poli (metacrilato de metilo) (PMMA).



Figura 1 Distribución mundial de plásticos, Universidad rey Juan Carlos

En nuestro país el crecimiento en el uso de estos materiales no ha sido acorde con la tecnología desarrollada para el aprovechamiento y desarrollo de estos, por lo cual ha surgido la necesidad de crear diferentes opciones para el proceso de reciclaje con el fin de disminuir los niveles de impacto en el entorno y ofrecer nuevas alternativas de empresa.

A lo largo de muchos años, se ha dado en Colombia un crecimiento del consumo de los plásticos y la generación de la basura per-cápita/día oscila 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. Esto sin tener en cuenta los desechos originados por empresas petroquímicas, que en su proceso de producción de materias primas plásticas generan retales que no cumplen ninguna función y no tienen las especificaciones requeridas para salir al mercado como producto terminado, generando problemas para su almacenaje y/o posterior eliminación.²

El consumo per-cápita de plásticos en Colombia es de 11,3 Kilos anuales, muy por debajo del de Estados Unidos (99 Kilos), Italia (65,7 Kilos), Japón (97 Kilos) y países latinoamericanos como México (25,5 Kilos) y Venezuela (18 Kilos). La capacidad instalada por producción de resinas plásticas en Colombia es de 421000 TM/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 TM/año) del mercado total colombiano, en 1993.

² Arandes José, Bilbao Javier, López Danilo; Reciclado de residuos plásticos; Revista Iberoamericana de Polímeros. Volumen 5(1). Marzo 2004



Figura 2. Distribución de Residuos sólidos urbanos en Colombia, Fuente: Cálculos del IDEAM, (2004).

2.2 REUTILIZACIÓN DE PLÁSTICOS

La reutilización de residuos es cada vez más y desde hace algunos años, motivo de discusión. El objetivo de reutilización es, por un lado, impedir que los residuos producidos se desperdicien y, por otro lado, intentar emplearlos de nuevo como materia prima en la producción, después de una etapa de preparación. Estas reflexiones se recogen en un modelo idealizado de imitación de la naturaleza, en el que todas las sustancias vuelven a incorporarse a los ciclos biológicos. Gracias al reciclado pueden reducirse las cantidades de residuos así como las de materia prima y energía necesarias para la obtención de material nuevo. En este sentido, el reciclado es una manera de reducir las cargas sobre el medio ambiente³. El provecho que obtengan las personas y el entorno en que se

³ Arandes, José; Bilbao, Javier Y López, Danilo; Reciclado De Residuos Plásticos; Revista Iberoamericana De Polímeros, Volumen 5(1). Marzo 2004

mueven es, a pesar de todo, fuertemente dependiente de lo perfecta que sea la ejecución de estos ciclos, de los costosos que resulten y de la posible reutilización de los productos recuperados.

2.3 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 derretido a altas temperaturas para moldearlo por extrusión y después resolidificarlo.

El *monómero* utilizado como base en la obtención del *poliestireno* es el *estireno* (*vinilbenceno*): $C_6H_5 - CH = CH_2$

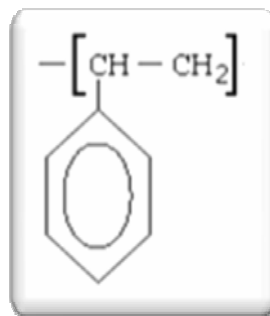


Figura 3 Monómero de vinilbenceno

2.3.1 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.

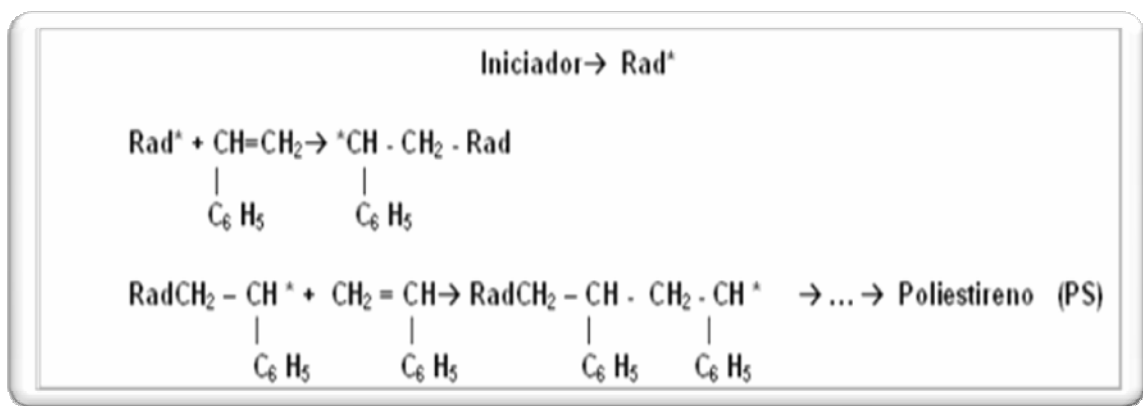


Figura 4 Polimerización de poliestireno

2.3.2 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 y 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.

2.3.3 Transformación del poliestireno

Las técnicas de transformación más utilizadas en la transformación de los plásticos son:

2.3.3.1 Extrusión: el polímero es calentado y empujado por un tornillo sin fin y pasa a través de un orificio con forma de tubo. Se producen por extrusión tuberías, perfiles, vigas y materiales similares.

2.3.3.2 Inyección: El polímero se funde con calor y fricción y se introduce en un molde frío donde el plástico solidifica. Este método se usa para fabricar objetos como bolígrafos, utensilios de cocina, juguetes, etc.

2.3.3.3 Extrusión con soplado: En primer lugar se extrusiona un tubo de plástico que se introduce en un molde que se cierra alrededor del plástico. Entonces se introduce aire dentro del tubo de plástico, el cuál se ve obligado a adquirir la forma del molde. Esta es la forma en que se obtienen las botellas de plástico.

2.3.4 Código De Identificación Del Poliestireno

La Asociación de la Industria del Plástico (SPI, por sus siglas en inglés) introdujo su sistema de códigos para resinas en 1988 para atender a la solicitud de los recicladores, quienes ya habían comenzado a implementar algunos programas de reciclaje, buscando mejores tarifas en los tiraderos al disminuir el volumen de desechos.

De esta manera la SPI desarrolló un código capaz de identificar los contenidos de resinas de envases y contenedores para su separación, además de satisfacer las necesidades de los recicladores, y proporcionar un sistema uniforme para los fabricantes.⁴

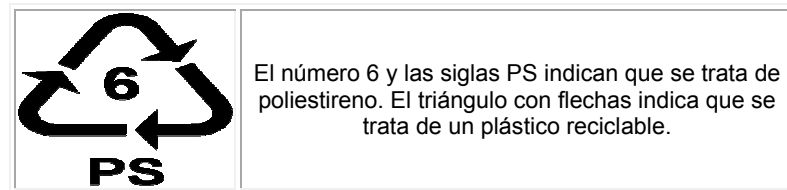


Figura 5 Código SPI para PS

2.4 EMULSIONES

2.4.1 Definición y aspectos generales

En forma general se usará el término emulsión puede referirse a una macroemulsión. Una emulsión es un sistema que contiene dos fases líquidas inmiscibles, una de las cuales está dispersada en la otra, y cuya estructura es estabilizada por un agente surfactante llamado emulsionante⁵.

La noción de estabilidad es por supuesto relativa, pero se refiere a una casi ausencia de cambio durante un tiempo suficientemente largo para el propósito de la aplicación práctica, lo cual puede variar de algunos minutos a algunos años.

En ausencia de surfactante, una dispersión líquido-líquido coalesce rápidamente. En presencia de un agente emulsionante, la emulsión puede presentar una cierta

⁴ [on line] Disponible en: [www. Ambienteplástico.com](http://www.Ambienteplástico.com)

⁵ Vernor Jaime, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad de Iztapalapa, Ingeniería Química, Laboratorio Operaciones Industriales.

segregación gravitacional pero la coalescencia de las gotas es notablemente retardada, aun cuando se tocan.

Las cantidades relativas de fase dispersa y de fase continua (referidas también como fase interna y fase externa) influyen notablemente sobre las propiedades. Debajo del 20% de fase interna se habla de una emulsión de bajo contenido de fase interna. En tales emulsiones se puede considerar que hay poca interacción de las gotas entre si, lo que permite modelizar ciertos comportamientos.

Al otro extremo están las emulsiones de alto contenido de fase interna, en las cuales las gotas de la fase interna ocupan más del 60-70% del volumen. En tales emulsiones las interacciones entre gotas dominan los efectos. Mas allá del 75%, las gotas están literalmente al contacto y la emulsión se torna muy viscosa.

La concentración del agente emulsionante es variable, pero en la práctica existen dos límites. Debajo de una concentración mínima del orden de algunos miles de ppm (0.1%) mas allá del 5 % no se gana nada aumentando la concentración del surfactante. En las aplicaciones prácticas se encuentra una concentración de emulsionante en el rango de 0.2 al 3%. Por razones de eficiencia y de costos se usa en general un emulsionante compuesto de una mezcla de varios surfactantes.

2.4.2 Tipos de Emulsión y distribución de Tamaños

En la mayoría de los casos en los cuales se hace una emulsión con dos líquidos inmiscibles, uno de los líquidos es una fase acuosa y el otro una fase aceite u orgánica. Se usaran las abreviaturas W (water) y O (oil) para dichas fases.

Si la emulsión contiene gotas de aceite (O) dispersadas en agua (W) se llamaran emulsión O/W. Si la fase dispersada es el agua, se llama emulsión W/O⁶.

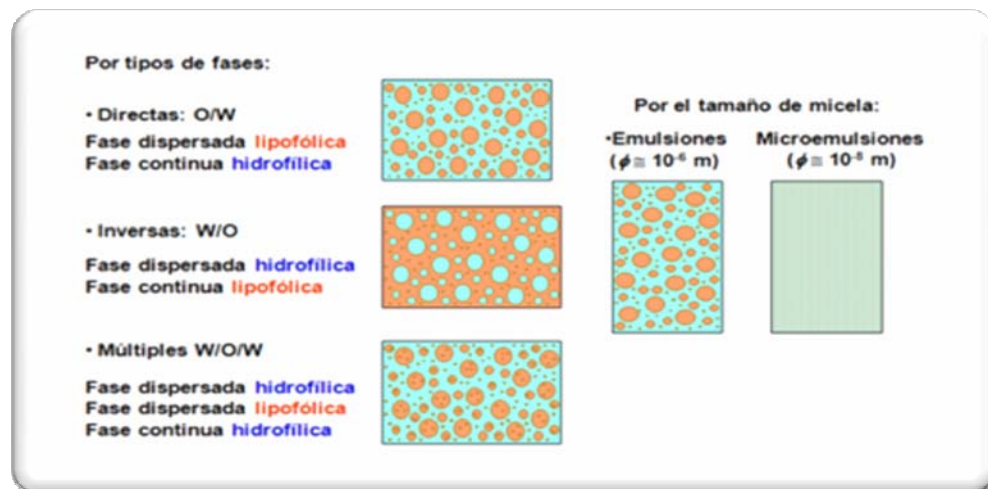


Figura 6 Tipos de emulsiones

Existen algunos sistemas que forman emulsiones tan fácilmente que se les llama emulsificables espontáneamente aunque en realidad todavía es necesario agitar ligeramente para producir la emulsión. Dentro de estos sistemas emulsificables espontáneamente quedan las microemulsiones, de las cuales no nos ocuparemos sino sólo para decir que son dispersiones con gotitas de alrededor de 10 nm y no presentan dispersión de luz. Su potencial utilidad estriba en la recuperación terciaria de petróleo.

⁶Asociación técnica de emulsiones, Presentación institucional. [on line]. Disponible en Internet: www.ateb.es/clients/showsection.aspx?OriginId=2735.

2.5 TENSION INTERFACIAL

En la interfase entre dos líquidos inmiscibles existe una cantidad de energía libre que surge del desbalance en las fuerzas cohesivas entre los dos líquidos. Esta energía causa que la interfase se contraiga para formar la área interfacial más pequeña posible. En una emulsión la fase dispersa siempre tiende a formar glóbulos esféricos ya que de esta manera se tiene el área superficial más pequeña por unidad de volumen de líquido.

Estas gotas tienden a coalescerse para formar gotas más grandes, con el fin de reducir aun más el área interfacial. En una emulsión cruda este proceso continúa hasta que se logra la separación de las dos fases por completo.

Por el otro lado, la formación de la emulsión involucra la creación de un gran número de nuevas interfases, lo cual es contrario a la tendencia de disminuir el área interfacial. A mayor tensión interfacial menor estabilidad de la emulsión.

2.6 AGENTE EMULSIFICANTE

Tienen dos funciones generales:

- a) Reducir la tensión entre los líquidos a ser emulsificados
- b) Prevenir la coalescencia de las gotas dispersas.

Existen muchos tipos de agentes emulsificantes: proteínas, polisacáridos, fosfolípidos, esteres de sorbitan de ácidos grasos, sólidos finamente divididos como el carbón y la bentonita. La mayoría de los agentes emulsificantes consisten de moléculas que contienen una mezcla de grupos polares y no polares.

2.6.1 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.

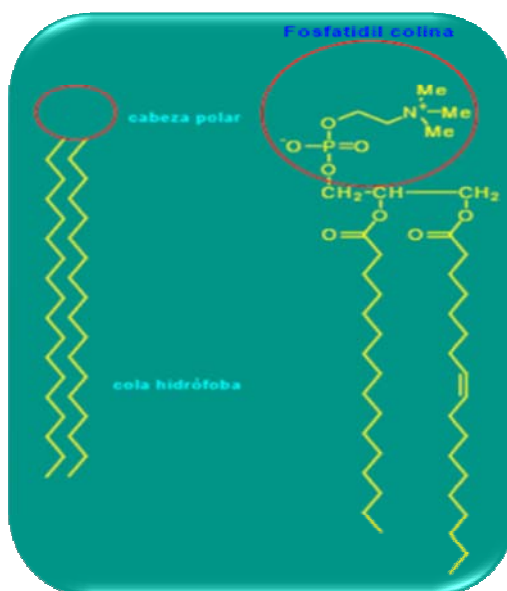


Figura 7 Formula estructural de la lecitina de soya ⁷

Esta constituida por lípidos, ácidos grasos esenciales poliinsaturados y fósforo (fosfolípidos). Es un fosfolípidos linoleico, fósforo y nitrógeno. La unión del inositol

⁷ [on line] Disponible en Internet: www.authorstream.com/Presentation/edaguilar-74596-lecitina-de-soya-aguilar-entertainment-ppt-powerpoint/.

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 fosforico y un compuesto nitrogenado, generalmente la colina.

2.7 BALANCE HIDROFÍLICO-LIPOFILÍCO (HLB)

El concepto de "Balance hidrofílico-lipofílico" expresa que en cualquier emulsificante existe una proporción definida entre su parte polar y su parte no polar. Valor que indica la solubilidad en agua o en aceite de un emulsificante, y por lo tanto indica que emulsión se tendera a formar. La primera parte del trabajo del sistema HLB es asignar un número a cada emulsificante ("su HLB"). El carácter lipofílo aumenta a medida que aumenta el valor de HLB. La segunda parte consiste en asignar un número a las sustancias emulsificables, esto es, las ceras o aceites esenciales que nos interesa dispersar.

La escala original del HLB va desde 1 a 20, aunque en algunos emulsificantes tienen valores mayores. El valor HLB es quizás el criterio mas empleado para clasificar y emplear emulsificantes; aquellos con HLB bajos (menor a 8) muestran mayor solubilidad en aceite y son por ello mas efectivos para preparar emulsiones W/O; por el contrario, los emulsificantes con HLB alto (mayor a 14) son mas solubles en agua y por lo tanto se recomiendan para preparar emulsiones O/W.

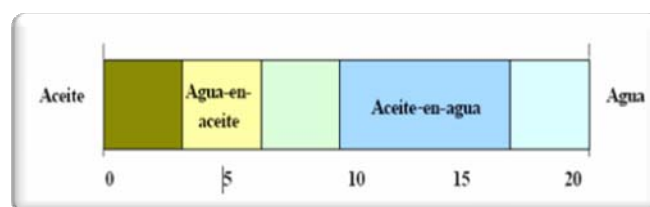


Figura 8 Escala HLB tradicional

2.7.1 Cálculos de HLB

El sistema original compara la proporción de la fracción soluble del aceite a aquella soluble en una molécula tensoactivo.

El sistema HLB, en su forma más básica, calcula HLB usando la siguiente formula:

$$\text{HLB} = \frac{\text{fracción (\%) hidrofílico por peso de molécula}}{5}$$

2.8 ESTABILIDAD DE UNA EMULSIÓN

Decimos que una emulsión es estable cuando mantiene sus propiedades durante un tiempo suficientemente largo para el propósito que motivó su preparación. La estabilidad de una emulsión depende de los siguientes factores: el tamaño de partícula, la diferencia de densidad de ambas fases, la viscosidad de la fase continua y de la emulsión acabada, las cargas de las partículas, la naturaleza, la eficacia y cantidad del emulsivo, y las circunstancias de almacenamiento, o sea, las temperaturas altas y bajas, la agitación y vibración, la dilución o evaporación durante el almacenamiento o el uso.

Existen algunas pruebas para comprobar la estabilidad de una emulsión:

1. Viscosidad contra tiempo
2. Centrifugación
3. Análisis del tamaño de gota por microscopio óptico
4. Almacenamiento a altas temperaturas

2.8.1 Análisis de Emulsiones

El análisis de las emulsiones tiene mucha relación con sus propiedades, por regla general se emplean métodos analíticos físicos y químicos. Aunque es variable el orden de importancia, según sea la emulsión que se esté analizando, por lo común es aplicable al siguiente orden:

Tipo de emulsión Es de mucha importancia averiguar en primer término si la emulsión es oleóacuosa o hidrooleosa, lo cual se logra de diversas maneras.

✚ El método más sencillo es averiguar la conductividad eléctrica.

✚ Otro método para determinar el tipo de la emulsión es averiguar su dispersabilidad en agua o en aceite. Las emulsiones oleóacuosas se dispersan en agua y las hidrooleosas se dispersan en aceite.

✚ También se puede efectuar la separación mediante la centrifugación, el calentamiento, la congelación, la dilución, la adición de sales o disolventes, y con respecto a una fase de aceite no volátil, por medio de la incorporación de la fase acuosa.

2.9 PINTURAS

2.9.1 Definición Pinturas

Se definen como un producto complejo que cuando se aplica sobre un soporte sólido tiene la propiedad de formar una capa continua, y de transformarse, por evaporación de algunas sustancias eventualmente por reacción química, en una película sólida, continua y adherida al soporte; son recubrimientos relativamente sólidos y opacos, que sirven para la aplicación de capas delgadas.

Las pinturas son también fluidos más o menos viscosos, que aplicados en capa delgada sobre una superficie secan formando una película adaptada sobre esta última, compacta y bien adherida, que oculta un aspecto primitivo, dándole color y apariencia distintos y protegiéndola frente al ataque de agentes externos. Estos recubrimientos tienen las siguientes propiedades en grados variables, dependiendo de la composición del recubrimiento: buen flujo y nivelación; proporción de aspersion y grosor de película satisfactorios; secado rápido, alta impermeabilidad, buena adhesión, flexibilidad y dureza, resistencia a la abrasión y durabilidad.

Las pinturas tienen dos componentes básicos: vehículo y pigmento. El vehículo, o emulsionador, se disuelve en un medio para formar la parte líquida de la pintura (que se polimeriza) para proporcionar la homogeneidad y la película protectora. Además, controla las propiedades deslizantes del revestimiento y ayuda a mejorar su dureza y resistencia.

2.9.2 Tipos De Pintura

2.9.2.1 Según la base

2.9.2.1.1 Agua

Tabla 1 Tipos de pintura base agua

TIPO DE PINTURA	VEHICULO SÓLIDO	DISOLVENTE	TIPOS DE PIGMENTO	USOS
Plásticas	Acetato de polivinilo	Agua	Oxido de cromo Azul ultramar	Interiores y exteriores
Acrílicas	Acrilatos	Agua	Oxido de cromo Azul ultramar	Decoración, madera, metal interiores y exteriores

2.9.2.1.2 Solvente

Tabla 2 Tipo de Pinturas base solvente

TIPOS DE PINTURA	VEHICULO SÓLIDO	DISOLVENTE	TIPO DE PIGMENTOS	USOS
Alquídicas de secado al aire	Resina gliceroftálica con aceites secantes	Aguarrás	Amarillo cromo Rojo molibdeno Amarillo zinc	Decorativa, anticorrosivas
Alquídicas de secado al horno	R. óleo-gliceroftálica + melamino-formol	Tolueno-xileno Butanol	Amarillo cromo Rojo molibdeno	Automotriz Electrodomésticos
Vinílicas	Polivinil-burital	Tolueno	Amarillo zinc	Anticorrosivos
Celulósicas (lacas)	Nitrocelulosa modificada con resinas y plastificante	Acetato de etilo Ciclohexanona Etiletilcetona	Amarillo cromo Rojo molibdeno	Decoración de muebles, automotriz
Cloro-caucho	Caucho clorado	Xileno Tolueno	Amarillo zinc	Pinturas antifugas Rev. Antiácidos, antiderrumbe
Poliuretano	Poliéster y poliisocianato	Cetonas, acetato de etilenglicol ,acetato de butilo	Amarillo cromo Rojo molibdeno Amarillo zinc	Pinturas marinas y para hormigón, protectoras de hierro y aluminio
Epóxicas	Poliamida o poliaminas con resina	Esteres, cetonas, alcoholes, glicoles		Pinturas marina, revestimiento, Estanques

2.9.3. Según el secado del solvente

Tabla 3 Tipo de pinturas según secado del solvente

CONVERTIBLES	NO CONVERTIBLES
Mezcla parcialmente polimerizada o no polimerizada	Mezcla polimérica dispersa en un medio que se evapora después de aplicadas
Ejemplo: aceites, aminas, epóxicos, alquímicos, fenólicos, poliuretanos y resinas de siliconas.	Ejemplo: resinas acrílicas y vinílicas, cauchos clorados.

2.9.4 Según la cantidad de pigmento blanco TiO₂

TIPO I: Se caracteriza por tener las mejores propiedades fisicoquímicas en cuanto a durabilidad y rendimiento, ofrece excelente acabado mate, lavable, rápido secamiento, resistencia a la intemperie y adherencia. Es de uso en interiores y exteriores.

TIPO II: Es usado en interiores de residencias y oficinas. Ofrece buenos acabados pero no es tan durable como el TIPO I.

TIPO III. Es la más económica. Es usada únicamente en interiores de residencia, en edificaciones provisionales, en lugares de poco tráfico.

2.9.5. Composición Química De La Pintura

Las fórmulas de la pintura moderna cuentan con diversas categorías de compuestos químicos. El aglutinante forma el recubrimiento fino adherente. El pigmento, dispersado en el medio fluido, dá a la película terminada su color y su poder cubriente. El disolvente o diluyente se evapora con rapidez una vez extendida la pintura. El aglutinante puede ser aceite no saturado o secante, que es éster formado por la reacción de un ácido carboxílico de cadena larga (como el ácido linoleico) con un alcohol viscoso, como la glicerina. El aglutinante puede ser también un polímero. Un material de relleno, que contiene componentes en polvo como el caolín o el sulfato de bario, mejora la resistencia de la película seca de pintura.

2.9.5.1 Materias Prima

2.9.5.1.1 Pigmentos

Son partículas sólidas que se dispersan en la resina y confieren color, opacidad, durabilidad, fuerza mecánica y protección en contra de la corrosión en el caso de un sustrato metálico.

Los pigmentos se distinguen entre:

- **Pigmentos:** son principalmente requeridos para conferir color y opacidad a una resina, pero también cumplen la función de inhibidores de la corrosión. Pueden ser subdivididos a su vez en dos grupos como materia colorante orgánica e inorgánica las cuales difieren en sus características y usos. Ambos tipos son ampliamente usados en los recubrimientos de superficie, pero la materia orgánica se utiliza principalmente en aplicaciones decorativas (látex, oleos, esmaltes, etc.). Lo opuesto son formulaciones de protección.
- **Extendedores:** son materiales insolubles en la mezcla y virtualmente no tienen color o función de opacidad y solo modifican ciertas propiedades de las pinturas.

Los pigmentos también se pueden clasificar en dos tipos, naturales o sintéticos y orgánicos o inorgánicos.

2.9.5.1.1.1 Pigmentos sintéticos o naturales: la diferencia entre estos radica en que los sintéticos son extraídos de la tierra y tienen una forma de cristal natural, en cambio los sintéticos son producidos químicamente y la forma de cristal es inducida; el natural contiene impurezas, mientras los sintéticos tienen una pureza cercana al 100%; el tamaño de partícula no es uniforme en los pigmentos naturales.

2.9.5.1.1.2 Pigmentos Orgánicos o Inorgánicos: Típicamente los pigmentos orgánicos se encuentran depositados sobre los pigmentos inorgánicos. Dentro de los pigmentos orgánicos se encuentran los amarillos, azul, verdes, rojos y dentro de los inorgánicos, los citados anteriormente mas los pigmentos blancos (TiO_2 , ZnO , Sb_2O_3).

■ **TiO_2 :** Dá a la pintura el poder cubriente. Entre sus propiedades se encuentran su fino tamaño de partícula (0,1-0,5 μm) gracias a la cual se producen mejores

dispersiones, alto poder colorante por su baja densidad, es estable, no es reactivo, no se afecta por la luz.

Las características principales deben ser: poder de tinción, opacidad, buen mezclado, índice de refracción, tamaño de partícula, reactividad química y estabilidad térmica. Las funciones principales: proveer color, tapar colores previos, mejorar la fuerza de la capa de pintura, mejorar la adhesión de la capa de pintura, mejorar la durabilidad, incrementar la protección contra la corrosión, reducir el brillo.

2.9.5.1.2 Aditivos

Son productos químicos de acción específica que se añaden a los componentes principales de la pintura en pequeñas proporciones para conseguir una mejora de calidad, evitar defectos, producir efectos especiales, acelerar el endurecimiento, conferir tixotropía.

Algunos aditivos importantes:

- ▀ **Humectantes y dispersantes:** Facilitan el “mojado” del pigmento por el ligante.
- ▀ **Espesantes :** se utilizan para conseguir tixotropía
- ▀ **Estabilizantes:** el objetivo es mantener “estable” la pintura en el envase hasta su utilización. El término de estabilidad se refiere a viscosidad, acidez y oxidación.

2.9.5.1.3. Surfactantes

Son moléculas químicas que tienen una gran diferencia de polaridad y solubilidad. Un extremo, denominado cola, consiste en una larga cadena hidrocarbonada soluble en compuestos orgánicos, no polares. El otro, llamado cabeza, a menudo es una sal de sodio o potasio, soluble en agua. Su función es permitir el puente

entre partículas dispersas y el agua, es decir, reducir la tensión superficial entre ellas, con lo cual se evita el defecto de cisura.

2.9.5.1.4 Agente solubilizante

El agente empleado en la fabricación de pinturas en el laboratorio fue el propilenglicol a cambio de sales de amonio.

2.9.5.1.4.1. Propilenglicol

Son empleados en la fabricación de pinturas, como un agente que aumenta la solubilidad. Se adiciona en solución con alcohol. Reemplaza a las sales de amonio que realizan la misma función, pero a cambio ofrece la ventaja que no se evapora de la película de pintura.

2.9.5.1.5.Solvente

Puede ser agua o algún otro tipo de solvente según el tipo de resina usada en la formulación de la pintura. Su misión consiste básicamente en permitir la aplicación de la pintura por el procedimiento adecuado, confiriéndole una consistencia apropiada ya que en general una pintura sin disolvente, solo hubiese pigmento y ligante tendría una viscosidad muy elevada. Otra de sus misiones es la de facilitar la fabricación de la pintura y mantener su estabilidad en el envase. Mantener baja la viscosidad.

2.9.5.1.6 Cargas o Entendedores

Materiales que generalmente son de origen natural, y que cumplen con el objetivo de extender el pigmento y contribuir con un efecto de relleno.

El material que se ocupa de origen mineral puede ser baritas, tizas, caolines, sílice, micas, talcos, etc. O material de origen sintético como creta, caolines tratados y sulfato de bario precipitado. Estas materias primas son molidas y seleccionadas atendiendo especialmente a su grado de blancura y de granulometría. El tamaño varía en función del uso a que se destina como por ejemplo en pinturas el tamaño medio es 10 micras.

Las cargas no proporcionan color ni opacidad por si mismos aunque pueden afectar a su valor, en cambio tienen una influencia decisiva en otras propiedades como la consistencia, peso específico, espesor de la película, resistencia a la abrasión y al deslizamiento.

2.9.5.1.6.1 Carbonato de Calcio

El Carbonato de Calcio proporciona mayor poder de cobertura, aumentando así el rendimiento en pinturas de alta calidad. Los Carbonatos son de gran blancura y al no interferir en el color de la pintura, contribuyen a su opacidad y a que la pintura cubra sin chorrear las superficies.

También son utilizados en sistemas de recubrimientos y pinturas ofreciendo un excelente brillo, con alta velocidad de incorporación y buenas propiedades de superficie en sistemas a base solvente y agua.

El carbonato de calcio ofrece a las pinturas un tratamiento superficial que hace que sus partículas sean hidrofóbicas, de forma que incrementen su compatibilidad en un medio orgánico facilitando su dispersión. Tiene gran aplicación como extendedores o cargas en pinturas a base de agua y de solvente.

2.9.5.1.6.2. Silicato de Aluminio o Caolín

El caolín es usado principalmente como pigmento extendedor blanco, reemplazando parcialmente el dióxido de titanio en pinturas.

El caolín contribuye dando brillo y opacidad a la pintura y, por lo tanto, los caolines usados en pinturas deben tener buen brillo y bajos niveles de impurezas, especialmente aquellos que deben liderar la formación de constituyentes oscuramente coloreados cuando el film de pintura se encuentra sometida a la intemperie.

Otros requerimientos adicionales para caolines para pintura es que deberían deflocular fácilmente y tener bajos niveles de sales solubles. El brillo entre el 80% y el 90% es generalmente requerido y la distribución del tamaño de las partículas tiende a ser 70% a 80% menor de dos micrones.

3. CARACTERIZACION DE MATERIALES POLIMERICOS 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 polímeros⁸.

3.1 TESTS 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.

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.

⁸ Wallace, Fred, Ciencia de los polímeros, Reverté, España: 2004.

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



Figura 9 Medición de la densidad de un polímero, utilizando el principio de Arquímedes

3.1.3. Test de llama

En la combustión de los residuos sólidos, puede suceder un paso inicial de pirolisis, 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. 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 10 Test de llama

3.1.4 Test de pirolisis

La pirolisis 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 pirolisis. El límite del proceso de la pirólisis en la superficie del polímero se define como el frente de pirolisis, 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.



Figura 11 Test de pirolisis

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.

3.1.5.1. 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, esta relacionada con la frecuencia en el infrarrojo en intervalos de longitudes de onda de 1-50 μm ⁹ 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.

Se muestran las longitudes de onda aproximadas de algunas bandas de absorción en el infrarrojo, que corresponden a los grupos funcionales y vibraciones atómicas en los polímeros.

⁹ Las longitudes de onda de la absorción infrarroja se expresan con frecuencia en numero de ondas ($1/\lambda$) en $\text{cm}^{-1} = 1 \mu\text{m} \cdot 10.000 \text{ cm}^{-1}$, $50 \mu\text{m} = 200 \text{ cm}^{-1}$.

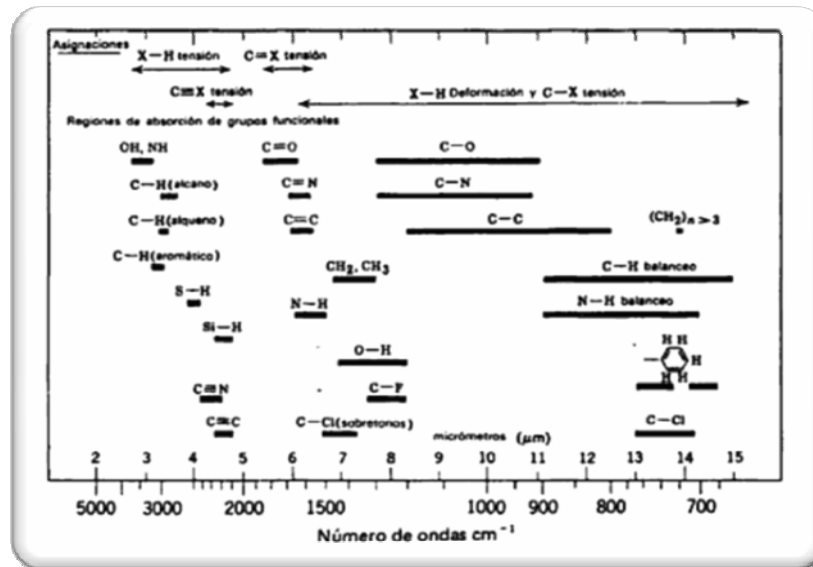


Figura 12 Bandas de absorción infrarroja de interés en polímeros por sus frecuencias y longitudes de ondas aproximadas.

3.2. ANALISIS PARA PINTURAS

3.2.1 Pruebas de hilo

Esta es una prueba de tipo cualitativo que determina la fluidez de una pintura, La poca fluidez es causada por:

- La gran tensión superficial en el vehículo
- mala mojabilidad del pigmento
- viscosidad de aplicación que es demasiado elevada
- disolventes que son muy rápidos
- falsa consistencia o viscosidad.

Una fluidez excesiva es tan perjudicial como lo es una fluidez escasa. Puede producir corrimiento, capas delgadas en los puntos altos de los substratos rugosos, insuficiente cubrimiento en los acabados por inmersión y flujo,

corrimiento fuera de la superficie a la cual se han aplicado dos tonos, y formación de colgaduras de pintura. Los aditivos que aumentan la viscosidad y tixotropocidad (falsa consistencia) normalmente reducen la fluidez.

3.2.2 Tiempo de secado

Velocidad de evaporación: La velocidad a la cual los disolventes se evaporan en los recubrimientos de superficies una vez aplicados, es una propiedad que limita su utilización, ya que influye sobre la fluidez y la uniformidad, el secado y otras características de comportamiento. Algunos se evaporan en pocos segundos, mientras que otros necesitan muchas horas para evaporarse. Cuanto más rápida es la evaporación más rápido es el secado y menor la tendencia del recubrimiento a correrse y formar arrugas; sin embargo, es más probable que aparezcan otros defectos de las películas, tales como las marcas de las brochas, etc. La necesidad de obtener un término medio entre los efectos buenos y malos es la razón por la cual es necesario mezclar diferentes disolventes en los recubrimientos de superficies.

3.2.3. Pruebas de adherencia en diferentes materiales

Esta prueba permite determinar si la fijación de una película de pintura, es adecuada para que permanezca adherida a distintas superficies ya sea madera, cerámica, papel, vidrio o metal. Impidiendo así el paso de agentes agresivos a la superficie del sustrato, así como evaluar la fijación entre capas.

3.2.4. Humedad total

El método consiste en someter láminas de madera, preparadas y pintadas previamente, a un ambiente de 94% de humedad relativa y luego evaluar el comportamiento de la pintura en la superficie.

Esta norma tiene por objeto determinar la humedad y cualquier otra materia volátil bajo las condiciones del ensayo, pesando la lamina antes y después de colocar por un tiempo de 30 minutos en un horno eléctrico a 110 ° C.

3.2.5 Formulación

En esta etapa se define el porcentaje de las materias primas, para obtener una pintura dentro de las especificaciones. Se toman como base el porcentaje de sólidos, que indica la cantidad de sólidos que permanecen en la película cuando el solvente se evapora. Es importante definirlo porque determina la cantidad de solvente, el espesor de aplicación, el rendimiento y el costo de una pintura.

El porcentaje de sólidos puede calcularse por peso y por volumen, así:

$$\text{Por peso} = \frac{\text{Peso de no volátiles}}{\text{Peso total de pintura}} \times 100$$

3.2.5.1. La Relación Pigmento/ Vehículo.

Esta relación es muy importante, porque influye en muchas propiedades, tales como brillo, flujo, poder cubriente, secamiento, lavabilidad, porosidad, flexibilidad, adherencia, brochabilidad, viscosidad, precio. Esta relación puede expresarse de dos maneras, así: PVC y relación Pigmento / vehículo (por volumen y por peso). El PVC es el porcentaje de pigmento, con respecto al volumen total de sólidos de la pintura. El volumen de sólidos de la pintura, se obtiene, restando los disolventes del volumen total.

$$\text{PVC} = \frac{\text{Volumen de pigmento} \times 100}{\text{Vol. pigmento} + \text{vol. vehículo sólido}}$$

Si la cantidad de resina es apenas suficiente para humectar y envolver el pigmento, se dice que el PVC es crítico, porque se aumenta o disminuye el pigmento y hay un cambio drástico en las propiedades, así:

- Para PVC superior al crítico, la pintura es porosa, sin brillo, la lavabilidad disminuye y el poder cubriente aumenta al quedar una parte de pigmento sin resina que lo envuelva.
- Para PVC menor que el crítico, la pintura no es porosa, la lavabilidad es buena y el brillo empieza a aumentar.

El PVC crítico se determina experimentalmente, variando el PVC de pintura, hasta observar el cambio drástico en las propiedades; este punto se toma como valor del PVC crítico. El PVC controla gran cantidad de factores como el brillo, reflejo, propiedades reológicas, capacidad de lavado y durabilidad. Sin embargo, los requerimientos inherentes del vehículo de la combinación pigmento- diluyente que se aplica afectan el PVC utilizado en una formulación dada. Como consecuencia, existe normalmente un intervalo de PVC para cada pintura, como se indica en la siguiente tabulación:

Tabla 4 Relación pigmento/vehículo para diferente tipos de pinturas

Pinturas opacas 50-75%	Pinturas domésticas de exteriores. 28-36%
Pinturas semibrillantes 35-45%	Primer para metal 25-40%
Pinturas brillantes 25-35%	Primer para madera 35-40%

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

La estructuración del proceso de desarrollo del proyecto se planteo en cuatro partes fundamentales:

- A. Recolección, fragmentación y lavado del polímero reciclado.
- B. Caracterización del polímero
- C. Preparación de las emulsiones polímero/xileno-agua.
- D. Producción de la pintura.

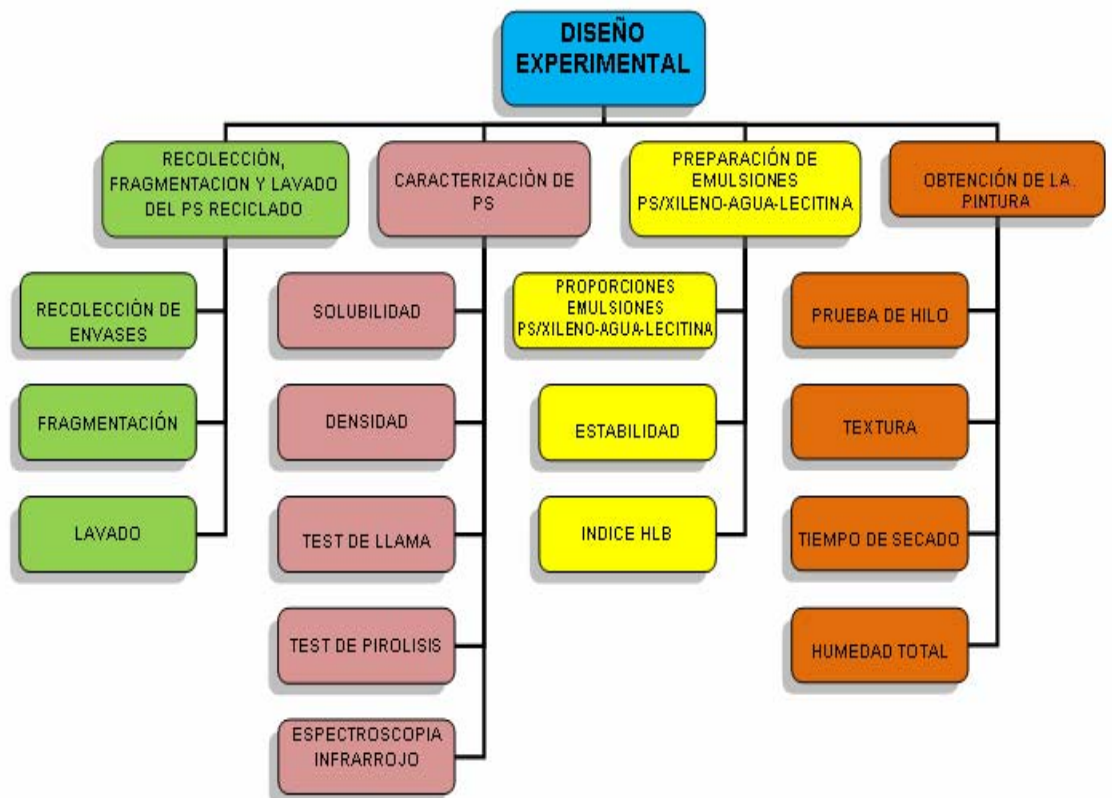


Figura 13 Diagrama Diseño Experimental

4.1 RECOLECCION, FRAGMENTACIÓN Y LAVADO DEL POLIESTIRENO RECICLADO.

4.1.1 Recolección



Figura 14 Material de PS reciclado

El material de poliestireno reciclado se obtuvo de residuos de vasos de bon yurt, freska leche y Regeneris. Que están clasificados en el fondo del recipiente con la marca de SPI de PS (6).

4.1.2. Fragmentación

El material seleccionado y previamente lavado se cortó en pequeñas porciones para luego ser fragmentado en el molino de cuchillas de marca WILEY MILL 0-1-600 (Arthur H. Thomas Co.) hecho en Filadelfia USA. Equipo que se encuentra en la Escuela de Ingeniería química.



Figura 15 Fragmentación del Polímero

4.1.3 Lavado

El lavado del polímero extrusado se hizo con detergente normal y se dejó secar.

4.2. CARACTERIZACIÓN DEL POLIESTIRENO

4.2.1. Solubilidad

Se realizaron pruebas empleando 0.05g/ml a una temperatura ambiente (26 °C) durante 3 días con los siguientes solventes:

- Thínner Acrílico
- Estireno
- Xileno
- Cloroformo

- Acetona
- Tetracloruro de Carbono
- Orto-Xileno
- Ciclohexano

4.2.2 Densidad

En la determinación de densidad del poliestireno, se inicio pesando los fragmentos del poliestireno, sumergiéndolas en un volumen inicial de agua en una probeta, se midió el volumen desplazado y se determino la densidad mediante la ecuación:

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

4.2.3. 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 16 Test de llama

4.2.4. Test de pirolisis

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 adicióno 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 pirolisis, medidos por un papel indicador de pH universal.

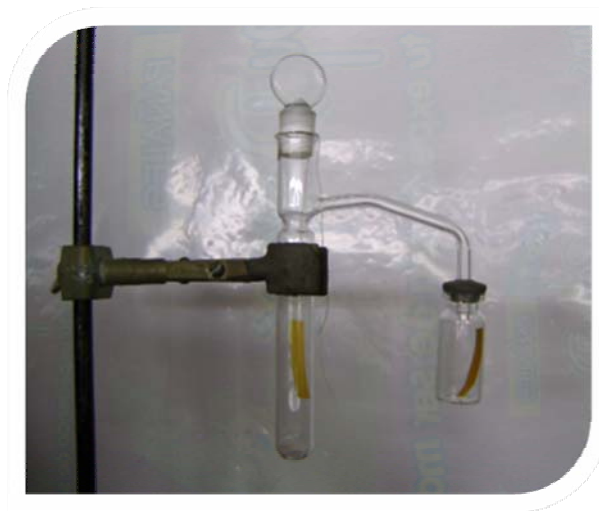


Figura 17 Test de pirolisis

4.2.5. Espectro Infrarrojo

Para realizar el análisis por medio de la espectroscopia infrarrojo se adegalzó una lamina de poliestireno. El equipo utilizado fue el PERKIN ELMER FT-IR PARAGON 500.

4.3 PREPARACIÓN DE EMULSIONES PS/XILENO-AGUA-LECITINA

Las emulsiones siempre se prepararon añadiendo los diferentes componentes en el siguiente orden: en primer lugar la disolución del poliestireno en xileno, a continuación el emulsionante utilizado la lecitina de soya y finalmente el agua. Completando el volumen hasta los 75 ml.

La agitación se realizó mecánicamente con un agitador u homogenizador mecánico denominado emulsificador HAMILTON BEACH SCOVILL, modelo 730C Chrome. Que consta de un selector de velocidad de agitación con dos posiciones alta de 17.000 rpm y baja de 14.000 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 1 minuto a 17.000 rpm. (Posición 2 del equipo). La elección de este tiempo y velocidad-potencia del equipo se fundamenta en que, de este modo se elimina una posible fuente de variabilidad en los resultados al asegurar, con un elevado margen de confianza, independencia respecto de estos valores del tiempo y la velocidad de agitación en la preparación de la emulsión. Aumentando el tiempo de agitación o la velocidad.



Figura 18 Emulsión PS/Xileno-Agua-Lecitina



Figura 19 Hamilton Beach, Scoville 730C

4.3.1 Procedimiento Preparativo Definitivo. Reproducibilidad De Las Emulsiones

Se estableció definitivamente, a partir de los resultados obtenidos en el estudio anterior, el procedimiento a emplear para la preparación de todas las emulsiones que fueron objeto de estudio. Dicho procedimiento se resume en la tabla 4. Es importante indicar que tras cada preparación el equipo de agitación fue cuidadosamente limpiado con un par de enjuagues con agua caliente, otro con varsol para solubilizar posibles restos del polimero y finalmente con agua destilada.

Tabla No. 5 Reproducibilidad de las emulsiones

ORDEN DE ADICION DE COMPONENTES	1 ^o) disolución de poliestireno/xileno 2 ^o) lecitina de soya 3 ^o) agua
MECANISMO	EMULSIFICADOR , Hamilton Beach Scovill, modelo 730C Chrome
INTENSIDAD DEL TRATAMIENTO	17.000 rpm, 1 minuto
RECIPIENTE	Vasos de vidrio (compota)

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

4.3.2 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

4.3.3 Estabilidad de las Emulsiones

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

- ↗ Se dejaron las emulsiones cerradas por un tiempo de 2 meses

En los estudios de estabilidad de las emulsiones en función del tiempo transcurrido desde la preparación, las muestra simplemente se cerraban y se situaban en la oscuridad a temperatura ambiente entre (23 y 25 °C).

➤ Por temperatura se dejaron las emulsiones por 1 hora en una estufa a 50 °C.

En los estudios de estabilidad de las emulsiones en función de la temperatura las muestras, una vez preparadas en los frascos, se introducirían en tubos de ensayo y estos a su vez en baño termostático a una temperatura determinada durante el tiempo planificado. Estas muestras no se realizaron debido a la naturaleza de los solventes utilizados.

➤ Por centrifugación se probaron diferentes velocidades a diferentes tiempos.

Se estudió la desestabilización de emulsiones al someter a estas a procesos de centrifugación combinando diferentes tiempos y velocidades. En los estudios de estabilidad de las emulsiones con las centrifugación, las muestras una vez preparadas por el procedimiento habitual, se introducían los tubos para la centrifuga empleada (modelo Dynac Centrifuge, Clay adams). Las replicas para una misma emulsión se han realizado con el menor intervalo de tiempo entre unas y otras, con el fin de minimizar la posible influencia del envejecimiento, y en cualquier caso, la aceptación de esta posible incidencia parece mas oportuna que la variación introducida por la toma de muestras de varias preparaciones.

4.3.4. Determinación de Índice HLB

Para la determinación del balance Hidrofílico-Lipifílico 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.

4.4 OBTENCIÓN DE LA PINTURA

Como primera medida no se tomó como punto de partida una formulación teórica; en el laboratorio fueron suministradas diferentes composiciones, con base en la cual se hicieron las posteriores pruebas.

Los materiales empleados para elaboración fueron:

- ↗ La emulsión mas estable
- ↗ TiO_2
- ↗ Propilenglicol
- ↗ Carbonato de calcio
- ↗ Caolín
- ↗ Agua
- ↗ Óxidos minerales
- ↗ Trementina



Figura 20 Pinturas

4.4.1 Pruebas de Hilo

Esta prueba de tipo cualitativa, dá un indicativo preliminar de la calidad de la pintura en relación a los porcentajes de los componentes. Se realizó respectivamente para cada pintura elaborada.

Esta prueba se realizo dejando caer desde una altura de 30 cm, la pintura y observando la fluidez al caer.



Figura 21 Prueba de Hilo

4.4.2 Pruebas de Adherencia para diferentes materiales

Estas pruebas se hicieron sobre superficies de madera, papel y cemento.

Se aplicaron las pinturas elaboradas sobre cada superficie, se tomó en cuenta brillo, aspecto y adherencia sobre cada material.



Figura 22 Pruebas de texturas para pinturas

4.4.3. Determinación de tiempos de secado

Esta prueba se realizó sobre una superficie de cemento, madera, papel, vidrio, cerámica y metal; se midió el tiempo de secado a temperatura de 25 °C.

4.4.4. Determinación de Humedad total

Esta prueba se realizó pintando la madera y procediendo luego a pesar. Se colocaron en la mufla a una temperatura de 110 °C, se dejó por media hora, Después de esto se pesaron las maderas secas. Por diferencia de peso se determina la humedad.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE PS

En esta etapa se realiza una caracterización fisicoquímica y estructural del material por diferentes pruebas y análisis, los resultados de estas pruebas son mostrados a continuación.

5.1.1 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 6 Resultados de ensayos de solubilidad de los residuos de PS

SOLVENTE	SOLUBILIDAD	INDICE HILDEBRAND δ
Thíinner Acrílico	Soluble	-
Xileno	Soluble	8.8
Estireno	Soluble	9.2
Cloroformo	Soluble	9.2
Acetona	Solvatación	9.8
Tetracloruro de Carbono	Soluble	8.6
o-xileno	Soluble	8.8
Ciclohexano	Soluble	8.2

La disolución de un polímero es un proceso lento que ocurre en dos etapas. En la primera, las moléculas de disolvente se difunden lentamente dentro del polímero produciendo el hinchamiento del mismo. El proceso de disolución puede detenerse en esta fase, si las fuerzas intermoleculares polímero-polímero (reticulación, cristalinidad o enlaces por puentes de Hidrogeno) son lo suficientemente grandes como para impedirlo. En caso de que estas fuerzas puedan superarse por la formación de interacciones intensas polímero-disolvente, tendrá lugar la segunda etapa de la disolución. En esta, el polímero hinchado se desintegra gradualmente convirtiéndose en una verdadera disolución. El proceso de disolución puede ser bastante lento (días o semanas) para materiales de muy alto peso molecular.

El valor del enfoque del parámetro de solubilidad es que puede calcularse tanto para el polímero y para el solvente. La estructura polar del PS, lo hace soluble a todos los solventes orgánicos utilizados anteriormente. Como ya se ha mencionado, en estos polímeros las moléculas adquieren cohesión debido a la existencia de uno o más tipos de fuerzas o enlaces secundarios, denominadas dipolos C-H alifáticos, predominan las fuerzas de dispersión. Muchos polímeros y disolventes son polares porque contienen dipolos y éstos pueden aumentar la atracción intermolecular. Debido a que su uso específico es para pinturas por ello el solvente ideal que se eligió para solubilizar totalmente el polímero fue el Xileno ya que mediante sus fuertes interacciones entre las cadenas del mismo, ayudan las interacciones con el xileno, por ello se alcanzan las dos etapas de solubilización.

Esto a su vez concuerda con los parámetros de solubilidad de Hildebrand (δ) basados en la densidad de energía de cohesión (CED) de los solventes y el polímero, los cuales son mostrados en la tabla No. 4 indicando que los materiales plásticos se disuelven mejor en un solvente donde sus parámetros de solubilidad sean los mas cercanos entre si.

El índice de solubilidad del poliestireno en el xileno fue de 0.263 g/ml quedando el polímero fluido en el solvente.

5.1.2 Densidad

Tabla 7 Determinación de densidad del polímero, por método de Arquímedes, a 27 °C

PESO PS (g)	VOLUMEN INICIAL (ml)	VOLUMEN FINAL (ml)	VOLUMEN DESPLAZADO (ml)	DENSIDAD (g/ml)
1.7	3.0	4.6	1.6	1.06
1.5	4.1	5.5	1.4	1.07
2.1	10	12	2	1.05
0.5	3.0	3.5	0.5	1.00
DENSIDAD PROMEDIO				1.05

La densidad teórica del poliestireno es de 1.08-1.06 g/ml según normas ASTM indicando que la densidad experimental 1.05 g/ml no se aleja de los resultados reportados¹⁰.

5.1.3 Test De Llama

Se tomó el polímero en un alambre de cobre en forma de espiral, y se colocó directamente a la llama, en primer lugar se observó una llama azul brillante y no muy humosa, indicando que entre sus aditivos no se encuentran halógenos. El polímero ardió suavemente y se fundió. Cuando ya se fundió totalmente el polímero se pudo observar una llama totalmente amarilla indicando que el

¹⁰ ASTM, normas, Caracterización de materiales de PS

polímero se había consumido totalmente y solo se encontraban residuos de la combustión del polímero.

5.1.4. Test De Pirolisis

Se tomó el polímero en un tubo de ensayo con salida lateral debidamente cerrado por otro tubo en el que contenía un indicador de papel pH universal y se colocó a fuego directo, cuando hubo descomposición total del polímero debido a la pirólisis, se midió el pH respectivo de los vapores generados. El pH obtenido fue de 4 indicando que es ácido concordando con los resultados esperados para el poliestireno.



Figura 23 Resultados de pH prueba de pirolisis

5.2. ESPECTRO INFRARROJO PS

Se realizó un espectro IR del poliestireno reciclado de vasos de yogurt. El resultado del espectro se muestra en la figura No. 25 donde se aprecian, las bandas de absorción características. Ver ANEXO A

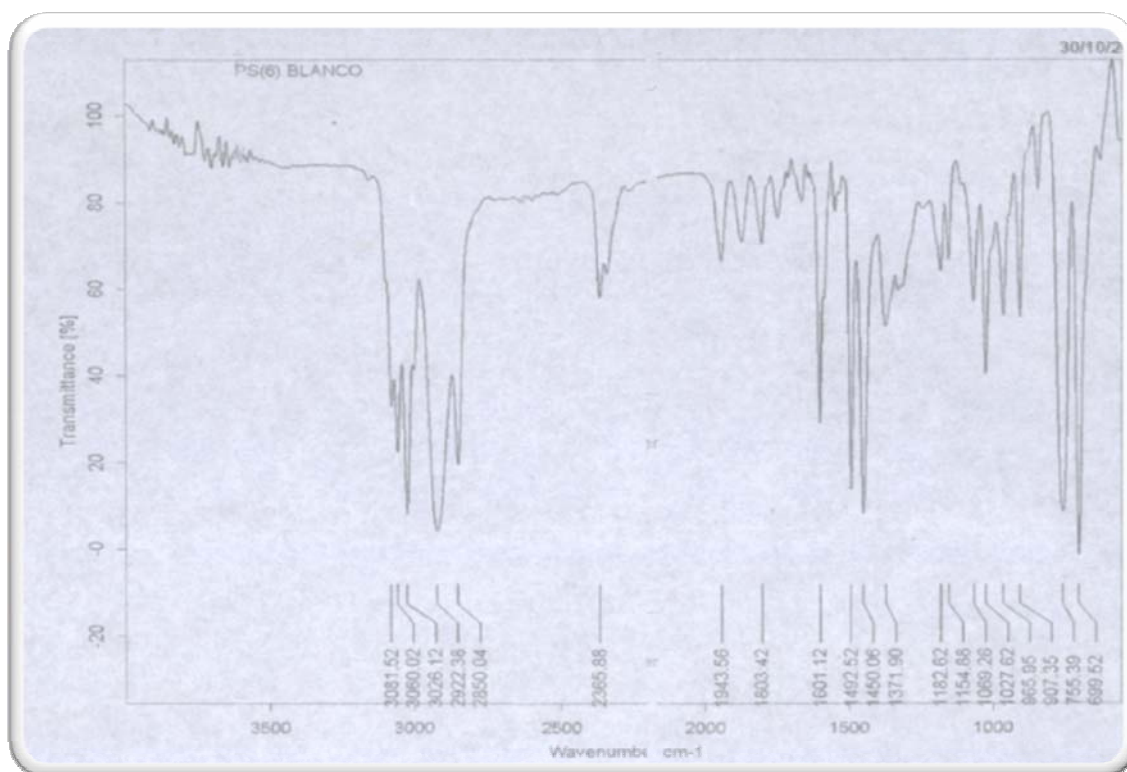


Figura 24 Espectro Infrarrojo del poliestireno

Como bandas características se destacan la banda de absorción a 3026.12 cm^{-1} ($3.3\ \mu\text{m}$) correspondiente a la vibración tensión a los enlaces C-H aromáticos. Las bandas de absorción a 2922.38 y 2850.04 ($3.4\text{-}3.5\ \mu\text{m}$) se deben a la vibración tensión asimétrica C-H de los CH_2 de la cadena central del poliestireno. A 1601.12 cm^{-1} y 1492.52 cm^{-1} ($6.2\text{ - }6.7\ \mu\text{m}$) aparecen 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 1450.06 cm^{-1} y 1027.62 cm^{-1} ($6.9\text{ - }9.7\ \mu\text{m}$). Finalmente, las bandas características de vibración flexión de los C-H del anillo aromático fuera del plano aparecen a 907.35 , 755.39 y 699.52 cm^{-1} ($11\text{-}13\text{-}14\ \mu\text{m}$).

Tabla 8 Asignación de las bandas de absorción IR del poliestireno

NÚMERO DE ONDA (cm⁻¹)	IDENTIFICACIÓN
3081.52	C-H aromático vibraciones de tensión
3060.02	C-H aromático vibraciones de tensión
3026.12	C-H aromático vibraciones de tensión
2922.38	C-H del CH ₂ vibración asimétrica de tensión
2850.04	C-H del CH ₂ vibración simétrica de tensión
1943.56	Vibraciones secundarias procedentes aromático-H
1803.42	Vibraciones secundarias procedentes aromático-H
1601.12	C-C tensión del anillo en el plano
1492.52	C-C tensión del anillo en el plano
1450.06	C-H tensión del anillo en el plano
1371.90	C-H flexión coplanar
1182.62	Combinación flexión C-H y tensión asimétrica C-C
1154.88	C-H vibración flexión en el plano del aromático
1027.62	C-H frecuencia flexión del anillo en el plano
965.95	C-H vibración flexión fuera del plano
907.35	C-H vibración flexión fuera del plano
755.39	C-H vibración flexión fuera del plano
699.52	C-H vibración flexión fuera del plano

5.2.1 Espectro Infrarrojo Ps/Xileno

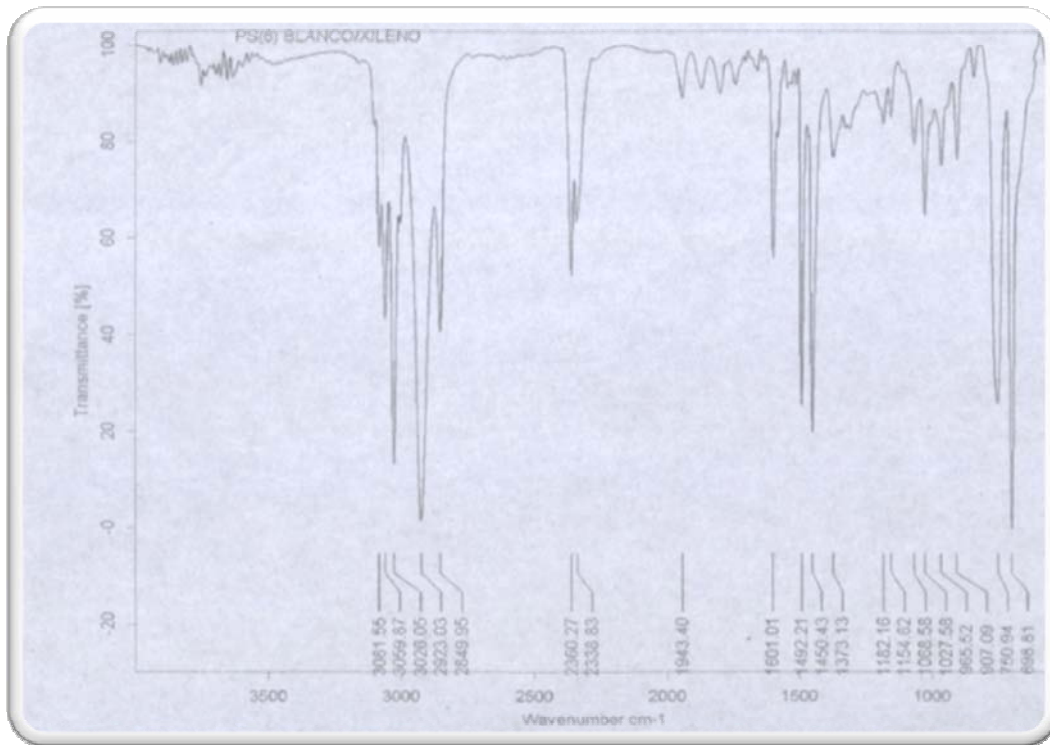


Figura 25 Espectro Infrarrojo lámina de PS/Xileno

Realmente no se observaron grandes diferencias entre el espectro de la figura 25 y el de la figura 26, observar ANEXO B.

Debido a que la película se hizo por evaporación del solvente Xileno comercial. Así que conserva las mismas bandas características del anterior. Como bandas características se destacan la banda de absorción a 3026.05 cm^{-1} ($3.3\text{ }\mu\text{m}$) correspondiente a la vibración tensión a los enlaces C-H aromáticos. Las bandas de absorción a 2923.03 y 2849.95 ($3.4\text{ - }3.5\text{ }\mu\text{m}$) se deben a la vibración tensión asimétrica C-H de los CH_2 de la cadena central del poliestireno. A 1601.01 cm^{-1} y 1492.21 cm^{-1} ($6.2\text{ - }6.7\text{ }\mu\text{m}$) aparecen 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 1450.43 cm^{-1} y 1027.58 cm^{-1}

(6.9 – 9.7 μm). Finalmente, las bandas características de vibración flexión de los C-H del anillo aromático fuera del plano aparecen a 907.09, 750.94 y 698.81 cm^{-1} (11- 13- 14 μm).

Tabla 9 Asignación de las bandas de absorción IR de una película de PS/Xileno

NUMERO DE ONDA (cm^{-1})	IDENTIFICACIÓN
3081.55	C-H aromático vibraciones de tensión
3059.87	C-H aromático vibraciones de tensión
3026.05	C-H aromático vibraciones de tensión
2923.03	C-H del CH_2 vibración asimétrica de tensión
2849.95	C-H del CH_2 vibración simétrica de tensión
1943.40	Vibraciones secundarias procedentes de aromáticos-H
1601.01	C-C tensión del anillo en el plano
1492.21	C-C tensión del anillo en el plano
1450.43	C-H tensión del anillo en el plano
1373.13	C-H vibración flexión
1182.16	Combinación flexión C-H y tensión asimétrica C-C
1154.62	C-H vibración flexión en el plano del aromático
1027.58	C-H frecuencia flexión del anillo en el plano
965.52	C-H vibración flexión fuera del plano
907.09	C-H vibración flexión fuera del plano
750.94	C-H vibración flexión fuera del plano
698.81	C-H vibración flexión fuera del plano

5.3 PREPARACIÓN DE EMULSIONES PS/XILENO-AGUA-LECITINA

5.3.1 Proporciones emulsiones PS/Xileno-agua-lecitina

Las emulsiones fueron preparadas utilizando el poliestireno disperso en xileno, agua y un agente tensoactivo como lo fue la lecitina de soya. Cada una de las emulsiones preparadas, mantuvieron un volumen constante de 75 ml, conservando el tiempo de dispersión de 2 minutos y la misma velocidad de dispersión. Las proporciones son mostradas a continuación, así como su comportamiento:

Tabla 10 preparación de las emulsiones PS/xileno-agua-lecitina

PS/Xileno (ml)	% V/V	H ₂ O (ml)	% V/V	LECITINA DE SOYA (ml)	% V/V	COMPORTAMIENTO
5	6.67	69	92	1	1.33	NO EMULSIONA
5	6.67	68	90.7	2	2.63	NO EMULSIONA
5	6.67	67	89.3	2	4.03	NO EMULSIONA
60	80	10	13.3	5	6.67	EMULSIONA
50	66.7	15	20	10	13.3	EMULSIONA
45	60	25	33.3	5	6.7	NO EMULSIONA
40	53.3	25	33.3	10	13.4	NO EMULSIONA
50	66.7	20	26.7	5	6.6	EMULSIONA
55	73.3	15	20	5	6.7	EMULSIONA

Se pudo observar que las emulsiones en las cuales el % de agua está entre (89.3 -92%) y el % de polímero en 6.67 %, independientemente del agente emulsificante que se mantuvo aparentemente estable, no forman emulsiones, produciendo la

separación de sus componentes. Mientras que las emulsiones con % de agua entre (13.3 y el 33 %) y de poliestireno entre (53.3 y 80%), sin tener en cuenta la cantidad de emulsificante utilizado pueden formar emulsiones. Sin embargo las emulsiones con un porcentaje de agua de 33.3 no emulsionaron, indicando que la cantidad de agua no puede sobrepasar este límite.

A partir de estas condiciones se procedió a la preparación de una emulsión ideal con proporciones específicas, con un porcentaje de fase continua (polímero) en rango de (73.2- 80%), una fase dispersa (agua) (18.4 -25.6%) y de emulsificante (lecitina de soya (0.8 -1.6 %)). Manteniendo un volumen constante de 25 ml, con la diferencia principal que esta vez se tuvo en cuenta la cantidad de lecitina de soya y la influencia de la misma en la emulsión.

Tabla 11 Proporción ideal de la emulsión

PS/Xileno (ml)	% V/V	H₂O	% V/V	LECITINA DE SOYA	% V/V
20	80	4.6	18.4	0.4	1.6
18.3	73.2	6.3	25.2	0.4	1.6
18.4	73.6	6.3	25.2	0.3	1.2
18.4	73.6	6.4	25.6	0.2	0.8

La emulsión que presentó las mejores condiciones de fluidez fue la de 18.3% de poliestireno/xileno, 25.2 % de Agua y 1.6 % de lecitina. Indicando que el tipo de emulsión formada es una emulsión con mayor fase interna, o que su fase continua (polímero) y su fase dispersa (agua) que esta clasificada dentro del rango W/O. Se procedió luego a observar estabilidad de las emulsiones anteriormente preparadas pero teniendo claro que la que se iba a utilizar en la preparación de la pintura sería la anterior.

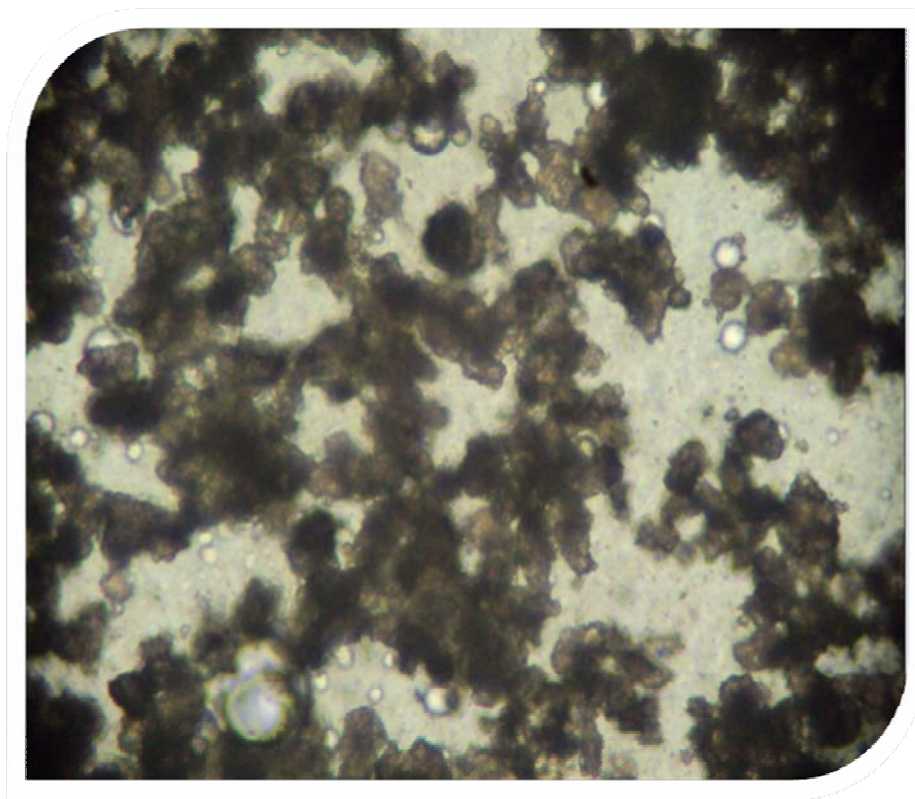


Figura 26 Imagen de la emulsión tomada en un microscopio NIKON Eclipse E200, 40X

5.3.2 Estabilidad de las emulsiones

La estabilidad de las emulsiones preparadas anteriormente fueron comprobadas con diferentes pruebas de estabilidad por envejecimiento y centrifugación, que ayudaron a verificar que permanecerían estables. Las pruebas de estabilidad con respecto al tiempo se conocen como envejecimiento, las emulsiones se dejaron a temperatura ambiente, bien cerradas durante un periodo de 2 meses no se observaron cambios de aumento de viscosidad, ni de cambios visibles en sus fases. A su vez se realizaron pruebas de estabilidad por centrifugación a diferentes velocidades entre 10-70 rpm, en periodos de tiempo comprendidos entre 3-5 min.

Tabla 12 Estabilidad de emulsiones por tiempo

PS/Xileno (ml)	% V/V	H₂O	% V/V	LECITINA DE SOYA	% V/V	ESTABILIDAD 2 MESES
20	80	4.6	18.4	0.4	1.6	ESTABLE
18.3	73.2	6.3	25.2	0.4	1.6	ESTABLE
18.4	73.6	6.3	25.2	0.3	1.2	ESTABLE
18.4	73.6	6.4	25.6	0.2	0.8	ESTABLE

Otra prueba en la determinación de estabilidad de las emulsiones fue la prueba de centrifugación, en la que se sometieron a centrifugación las emulsiones a una fuerzas de 10, 15, 30, 40 rpm por un tiempo entre 3-5min, esta prueba ayudo a evaluar la fuerza de la emulsión que la ayuda a mantenerse estable a una separación de fases. Aunque esta prueba emplea una 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.

Los resultados fueron:

Tabla 13 Estabilidad de emulsiones por centrifugación 10rpm por 3 minutos.

EMULSION	PS/Xileno (ml)	H₂O	LECITINA DE SOYA	ESTABILIDAD CENTRIFUGACIÓN
1	20	4.6	0.4	ESTABLE
2	18.3	6.3	0.4	ESTABLE
3	18.4	6.3	0.3	ESTABLE
4	18.4	6.4	0.2	ESTABLE

Tabla 14 Estabilidad de emulsiones por centrifugación 15rpm por 3 minutos.

EMULSION	PS/Xileno (ml)	H ₂ O	LECITINA DE SOYA	ESTABILIDAD CENTRIFUGACIÓN
1	20	4.6	0.4	ESTABLE
2	18.3	6.3	0.4	ESTABLE
3	18.4	6.3	0.3	ESTABLE
4	18.4	6.4	0.2	ESTABLE

Tabla 15 Estabilidad de emulsiones por centrifugación 30 rpm por 3 minutos.

EMULSION	PS/Xileno (ml)	H ₂ O	LECITINA DE SOYA	ESTABILIDAD CENTRIFUGACIÓN
1	20	4.6	0.4	ESTABLE
2	18.3	6.3	0.4	ESTABLE
3	18.4	6.3	0.3	ESTABLE
4	18.4	6.4	0.2	NO ESTABLE

Tabla 16 Estabilidad de emulsiones por centrifugación 40 rpm por 4 minutos.

EMULSION	PS/Xileno (ml)	H ₂ O	LECITINA DE SOYA	ESTABILIDAD CENTRIFUGACIÓN
1	20	4.6	0.4	ESTABLE
2	18.3	6.3	0.4	ESTABLE
3	18.4	6.3	0.3	ESTABLE
4	18.4	6.4	0.2	NO ESTABLE

Tabla 17 Estabilidad de emulsiones por centrifugación 70 rpm por 5 minutos.

EMULSION	PS/Xileno (ml)	H ₂ O	LECITINA DE SOYA	ESTABILIDAD CENTRIFUGACIÓN
1	20	4.6	0.4	NO ESTABLE
2	18.3	6.3	0.4	NO ESTABLE
3	18.4	6.3	0.3	NO ESTABLE
4	18.4	6.4	0.2	NO ESTABLE

En el siguiente análisis gráfico se pueden observar individualmente las estabildades por centrifugación de cada emulsión, la línea unida indica estabilidad y la punteada inestabilidad.

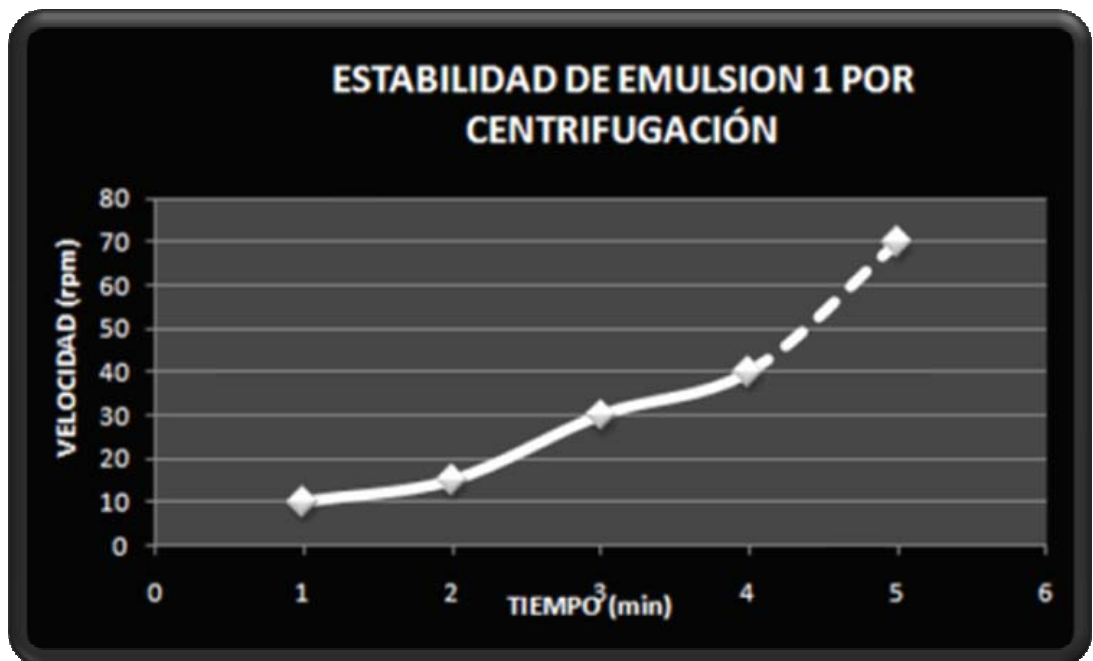


Figura 27 Estabilidad de emulsión 1 por centrifugación

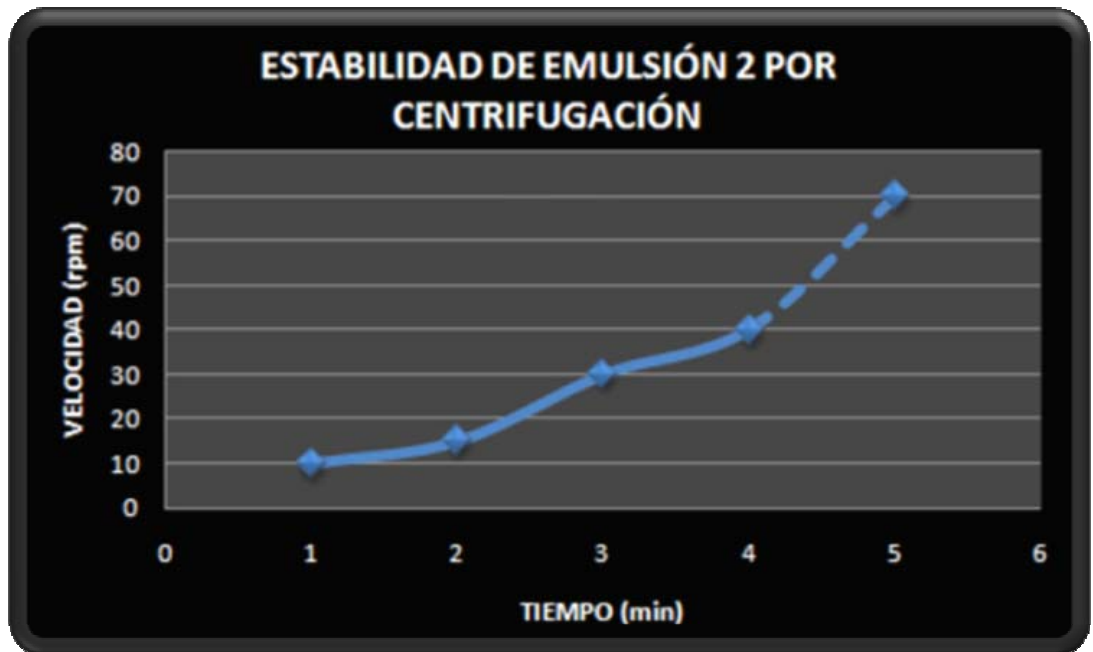


Figura 28 Estabilidad de emulsión 2 por centrifugación



Figura 29 Estabilidad de emulsión 3 por centrifugación



Figura 30 Estabilidad de emulsión 4 por centrifugación

Se pudo observar que las emulsiones tuvieron alta estabilidad con velocidades entre 10 y 40 rpm a tiempos cortos. A velocidades altas de 70 rpm con un tiempo de 5 minutos, las estabilidades no fueron buenas.

Se observa que a una velocidad entre 50-70 rpm hay una fuerza lo suficiente alta que causa la separación de fases, indicando un rompimiento o separación de la capa absorbida de emulsificante que rodea la gota. Estas condiciones de estabilidad son ideales en la elaboración de una pintura ya que permite establecer el comportamiento de la misma en un prolongado tiempo de almacenamiento. Por esta razón es importante prever el comportamiento de la emulsión que va a ser utilizada como base de la pintura.

Estabilidad por Temperatura

Las pruebas de estabilidad por almacenamiento a altas temperaturas no fue posible realizar ya que al someter una muestra a una temperatura de 50° C durante un mes, es imposible garantizar una prueba satisfactoria ya que los

solventes utilizados para la emulsión son xileno y agua, pueden evaporarse. Se decidió no realizar esta prueba ya que al dejar una muestra durante una semana a temperatura ambiente se forma una película de polímero en la superficie del material.

5.3.3 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 esta 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 No. 7.

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

$$\begin{array}{l} 759 \text{ g/mol} \rightarrow 100 \% \\ 223 \text{ g/mol} \rightarrow X \end{array} \quad \mathbf{X = 29.38 \%}$$

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

$$\text{HLB} = \frac{\text{FRACCIÓN (\%) HIDROFÍLICO POR PESO DE LA FOSFATIDILCOLINA}}{5}$$

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

$$\text{HLB} = 5.87$$

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.

5.4. OBTENCIÓN DE LA PINTURA

En la elaboración de las pinturas como primera medida no se tomó como punto de partida una formulación teórica; en el desarrollo experimental se fueron dando una composiciones, variando ciertas características como cantidades de emulsión, caolín, carbonato de calcio, TiO_2 , propilenglicol, trementina y colorantes.

5.4.1 Formulaciones

5.4.1.1 Pintura Verde

Para la elaboración de la pintura verde, El procedimiento fue el mismo para todas Solo se variaron las proporciones, estas se prepararon añadiendo los diferentes componentes en el orden siguiente: 1^o) emulsión de poliestireno/Xileno 2^o) óxidos de Hierro II y III, oxido de Cadmio 3^o) carbonato de calcio 4^o) Caolin 5^o) Propilenglicol 6^o) Trementina 7^o) dióxido de titanio 8^o) Agua.

La agitación se realizó mecánicamente con el mismo emulsificador utilizado en la elaboración de las emulsiones. Las pinturas se prepararon agitando los componentes durante 15 minutos, este tiempo permaneció constante en la

elaboración de todas las pinturas para asegurar la no variabilidad en los resultados.

Para 157 g de pintura

Tabla 18 Formulación pintura verde

COMPONENTE	% P/P	PESO (g)
Emulsión	63.7	100
Oxido de cadmio	3.19	5
Carbonato de calcio	4.46	7
Caolin	3.19	5
Propilenglicol	9.56	15
Trementina	4.46	7
Dióxido de Titanio	1.91	3
H ₂ O	9.56	15

5.4.1.2. Pintura Roja

Para 173 g de pintura

Tabla 19 Formulación de pintura Roja

COMPONENTE	% P/P	PESO (g)
Emulsión	67.05	116
Oxido de Hierro III	5.78	10
Carbonato de calcio	4.05	7
Caolin	2.89	5
Propilenglicol	2.89	5
Trementina	5.78	10
Dióxido de Titanio	0	0
H ₂ O	11.56	20

5.4.1.3 Pintura Rosada

Para 107 g de pintura

Tabla 20 Formulación de pintura Rosada

COMPONENTE	% P/P	PESO (g)
Emulsión	56.1	60
Pigmento oxido	9.34	10
Carbonato de calcio	3.73	4
Caolin	3.73	4
Propilenglicol	1.87	2
Trementina	11.2	12
Dióxido de Titanio	4.67	5
H ₂ O	9.34	10

5.4.1.4. Pintura Blanca

Para 127 g de pintura

Tabla 21 Formulación de pintura Blanca

COMPONENTE	% P/P	PESO (g)
Emulsión	55.13	70
Carbonato de calcio	4.73	6
Caolin	4.73	6
Propilenglicol	3.94	5
Trementina	7.87	10
Dióxido de Titanio	11.8	15
H ₂ O	11.8	15

5.4.1.5. Pintura amarilla

Para 208 g de pintura

Tabla 22 Formulación de pintura amarilla

COMPONENTE	% P/P	PESO (g)
Emulsión	69.73	145
Amarillo de Cromo A-156	0.96	2
Carbonato de calcio	1.92	4
Caolin	1.44	3
Propilenglicol	9.13	19
Trementina	4.81	10
Dióxido de Titanio	2.40	5
H ₂ O	9.61	20

5.4.1.6. Pintura Naranja

Para 212 g de pintura

Tabla 23 Formulación pintura Naranja

COMPONENTE	% P/P	PESO (g)
Emulsión	70.75	150
Molibdeno N -828 L	1.40	3
Carbonato de calcio	4.72	10
Caolin	2.36	5
Propilenglicol	4.72	10
Trementina	2.36	5
Dióxido de Titanio	2.36	5
H ₂ O	11.32	24



Figura 31 Pinturas elaboradas a base de emulsiones de residuos de vasos de yogurt

5.5. Pruebas de Hilo

Esta prueba de tipo cualitativa, da un indicativo preliminar de la calidad de la pintura en relación a los porcentajes de los componentes. Se realizó la prueba de hilo para asegurar la textura correcta de la pintura.

5.5.1 Pintura Verde

Esta prueba es la primera información que tenemos de las cualidades en general de la pintura obtenida. Dichos análisis son ópticos. En el primer análisis tenemos una percepción clara de la forma, el color, la fluidez de la pintura realizada.

Esta pintura mostró buena fluidez muy similar a la pintura vinílica comercial, lo que indica que la formulación es buena.



Figura 32 Prueba de Hilo pintura verde

5.5.2. Pintura Roja

La pintura roja en comparación con la verde presenta menos fluidez, en la tablas 19 y 20 se observa que las proporciones de las dos son muy similares, menos la del agente solubilizante (propilenglicol) que varia en un 7% de mas en la pintura verde. Dando un fuerte indicio de uno de los componente que pueden afectar la fluidez de una pintura.



Figura 33 Prueba de Hilo pintura Roja

5.5.3 Pintura Rosada

Esta pintura presenta una fluidez un poco menor que la pintura roja, se observa que se debe a una diferencia de proporciones de más 2 % de propilenglicol, 3 % de agua y 10% de Emulsión PS/xileno, todo esto en relación de las pinturas roja/rosada. Indicando que estas tres proporciones de componentes varían la fluidez de una pintura.



Figura 34 Prueba de Hilo pintura rosada

5.5.4 Pintura Blanca

La pintura presenta una fluidez igual a la de la pintura rosada, pudiéndose observar en las tablas 20 y 21, que las proporciones para las dos pinturas es casi igual.



Figura 35 Prueba de Hilo pintura blanca

5.5.5 Pintura Amarilla

La pintura amarilla presenta una mayor fluidez en comparación a todas las pinturas anteriores. Esta contiene 7% de más en emulsión de PS/xileno con respecto a la pintura verde. Manteniéndose iguales las proporciones de los otros componentes.

Razón por la cual se ratifica de nuevo que los componentes que afectan la fluidez de la pintura son: La emulsión PS/xileno, Propilenglicol, H₂O.



Figura 36 Prueba de Hilo pintura amarilla

5.5.6 Pintura Naranja

La pintura naranja de la misma forma que la amarilla presenta una buena fluidez, diferenciándose entre si en las proporciones de propilenglicol, pero al contrario de las otras pinturas esto se ve equilibrado por una mayor proporción de agua. Observar tabla 22 y 23.



Figura 37 Prueba de Hilo pintura naranja

Mediante análisis de fluidez se determina que la mejor formulación para la pintura corresponde a la amarilla.

En orden ascendente de fluidez mediante la prueba de hilo se tiene que:

ROSADA < ROJA < BLANCA < VERDE < NARANJA < AMARILLA

Como hemos visto las pinturas son sistemas complejos constituidos por un elevado número de componentes que pueden interaccionar entre ellos, los resultados demuestran que los principales componentes que afectan la fluidez de la pintura son:

- ✚ Proporciones de la emulsión formada por PS/xileno-agua-lecitina de soya
- ✚ Propilenglicol
- ✚ H₂O

5.6. FORMULACIONES

Para la determinación de % sólidos se realizó por peso, mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{\text{Peso no volátiles}}{\text{Peso total de pintura}} \times 100$$

Y para el análisis de la relación pigmento/vehículo:

$$\% \text{ PVC} = \frac{\text{Peso Pigmento}}{\text{Peso vehículo sólido}} \times 100$$

Tabla 24 % sólidos y % PVC para las pinturas

PINTURA	% SÓLIDOS	% PVC
Verde	12.74	40
Roja	15.60	37.04
Rosada	21.49	65.22
Blanca	21.25	55.56
Amarilla	6.73	50
Naranja	10.85	34.78

Se observa en las diferentes formulaciones para cada pintura que el porcentaje de sólidos se encuentra entre 6.73 y 21.49 %, indicando que las pinturas preparadas presentan un porcentaje mínimo de sólidos, con resultados de calidad para una pintura media. En cuanto a la relación pigmento/vehículo, los resultados mostraron que se encuentran entre 34.78 y 65.22 la tabla 4 muestra que las pinturas naranja, roja y verde se encuentran clasificadas entre las pinturas

semibrillantes y las pinturas amarilla, blanca y rosada se encuentran clasificadas en las pinturas opacas.

5.7 PRUEBAS TEXTURAS PARA DIFERENTES MATERIALES

Se analizó la textura de cada muestra de pintura realizada, para esto se pintaron diferentes superficies como papel, cemento, madera, vidrio, cerámica, metal.

5.7.1. Textura sobre papel

Las pinturas aplicadas en la superficie del papel mostraron un buen cubrimiento, buena pigmentación, buena adherencia. Se puede observar a su vez una humedad en la superficie, debido a que la pintura contiene agua. Indicando en general que las pinturas preparadas son buenas para este tipo de material.



Figura 38 Aplicación de las pinturas en superficie de papel

5.7.2. Textura sobre madera

La aplicación de las pinturas obtenidas en superficies como la madera, presentan buena adherencia, cubrimiento y pigmentación ya que no presenta un cambio de color al secarse.

Pero con el inconveniente que se observan algunas partículas en la superficie (grumos), esto es debido a partículas sólidas que pudieron quedarse sin dispersar en la emulsificación.



Figura 39 Aplicación de las pinturas en madera

5.7.3 texturas sobre cemento

Las pinturas fueron aplicadas en cemento mostrando de igual forma buena adherencia, pigmentación y cubrimiento, no se observan las partículas que se pudieron observar en la madera, debido a la superficie porosa del material.



Figura 40 Aplicación de las pinturas en cemento

5.7.4. Texturas en vidrio, cerámica y metal

En la superficie de cerámica no se presentaron buenos resultados ya que al secarse el solvente se levanta la película de la pintura, indicando que no es un material en el cual deba usarse la pintura, esta pintura elástica se desprende formando un hilo en forma de rollitos.

De la misma forma en vidrio y en metal no hay buenos resultados de adherencia de la pintura debido a que este tipo de materiales no son porosos, lo que no

permite que se fijen a la superficie. Al aplicarse forman película pero esta se desprende en rollitos al secarse, indicando que las pinturas obtenidas son pinturas con elasticidad.

5.8. Determinación de tiempos de secado

No solo la porosidad del sustrato influye en el proceso de secado, sino también el gradiente de temperatura que ejerce durante el proceso de secado.

Se midió el tiempo de secado de cada pintura sobre cada superficie aplicada. Este procedimiento se realizó a una temperatura de 28°C.

Tabla 25 Determinación de tiempos de secado

PINTURAS	PAPEL (min)	MADERA (min)	CEMENTO (min)	VIDRIO (min)	CERAMICA (min)	METAL (min)
Verde	9	15	10	15	18	16
Roja	10	15	12	18	15	18
Rosada	10	18	14	16	14	15
Blanca	12	15	10	16	15	15
Amarilla	12	15	12	15	18	16
Naranja	10	14	10	15	17	18

En la tabla 25 se puede observar que los tiempos de secado permanecen casi iguales sin importar el material en el cual fueron aplicados y varían entre 9-18 min. Esto se debe a que las cantidades de trementina utilizada no variaron mucho en todas las formulaciones.

5.9. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD TOTAL

Para la determinación del contenido de humedad, se utilizaron solo las muestras que fueron pintadas sobre madera. Dicha prueba fue realizada en un horno eléctrico llevado a una temperatura de 110 °C, con un tiempo de 30 minutos. Los resultados son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 26 Determinación de humedad total

PINTURA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL 30 min 110 °C (g)	% HUMEDAD
Verde	3.32	2.39	28.01
Roja	3.15	2.21	29.84
Rosada	3.26	2.54	22.08
Blanca	3.87	3.05	21.19
Amarilla	3.41	2.27	33.43
Naranja	2.95	1.86	36.95

Se puede observar en la tabla 26 que los porcentajes de humedad se encuentran en el rango entre 21.19-36.95% muy parecidos entre si debido a que se utilizó la misma emulsión para todos y solo se variaron las cantidades de agua agregadas posteriormente en la elaboración de la pintura.

6. CONCLUSIONES

- Los procedimientos actuales para reciclar poliestireno tienen el inconveniente adicional de degradar el material de manera que no es reutilizable para productos de tipo poliestireno del mismo grado o calidad del material de desecho. Esto devalúa más el material de tipo poliestireno recuperado.
- El presente procedimiento logró prolongar la vida útil de los envases de yogurt, reutilizándolos para otras aplicaciones antes de su disposición final como desechos sólidos. Obteniendo un producto de poliestireno recuperado que ofrece ser incluido, como sustituto parcial de una materia prima en elaboración de una pintura plástica de uso domestico, que puede ser usada en madera, papel o cemento.
- Con miras a convertir la iniciativa, en un proyecto de economía social sustentable y sostenible, mediante el reciclaje de material de poliestireno obtenido a partir de vasos de yogurt se logró la obtención de una pintura sintética.
- Se realizó la caracterización general del poliestireno, mostrando que es poco inflamable y muy soluble, según el índice de Hilbebrand (δ) en solventes donde sus parámetros de solubilidad sean los más cercanos entre si, esta fue la clave principal en la elección del xileno razón por la se escogió además de ser menos tóxico, utilizado en pinturas y de bajo costo.

- Las emulsiones en las cuales las proporciones de agua entre (89.3-92%), poliestireno/xileno (6.67%) y lecitina de soya (1-10%), no hay emulsificación.
- Las emulsiones en las cuales las proporciones de agua están entre (13.3-33%), poliestireno/xileno entre (53.3-80%), y lecitina de soya entre (5-10%), forman emulsiones. Sin embargo no hay emulsión cuando la proporción de agua superan el 33 %, indicando que el e agua no pueden superar este límite.
- La emulsión que presentó las mejores condiciones de fluidez presenta proporciones de 18.3% de poliestireno/xileno, 25.2 % de Agua y 1.6 % de lecitina. Clasificándose dentro las emulsiones tipo W/O en donde su fase continua (poliestireno/xileno) y su fase dispersa (agua).
- Las pruebas de estabilidad por degeneración y centrifugación mostraron que las emulsiones preparadas en la tabla No. 10, presentan una alta estabilidad por degeneración y por centrifugación a velocidades que oscilan entre 10-40 rpm, a velocidades mayores se presenta una separación de fases.
- La determinación del balance Hidrofilico-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.
- las pinturas son sistemas complejos constituidos por un elevado número de componentes, los resultados mostraron que los principales componentes que afectan la fluidez de la pintura son: la emulsión formada por PS/xileno-agua-lecitina de soya, propilenglicol y H₂O.

- Mediante la formulación se pudo obtener que en general las pinturas obtenidas se encuentran en la clasificación de mediana calidad por el % de sólidos y por la relación pigmento/vehículo, en general todas alta capacidad de lavado y durabilidad.

- La evaluación de las muestras de pintura elaborada permitió obtener características técnicas calidad del producto obtenido como su fluidez, su factibilidad para ser utilizado sobre distintas superficies como madera, papel y cemento, su humedad total, tiempo de secado.

- Las pinturas obtenidas a partir de poliestireno reciclado se basan en una disolución de polímero con xileno, que posteriormente se emulsifica con agua utilizando lecitina de soya como tensoactivo, con la finalidad de reutilizar polímeros post consumo y a su vez hacer una reducción casi del 50% de solvente xileno.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que al momento de preparar la emulsión con el fin de una buena reproducibilidad, se debe mantener constante la velocidad del equipo de dispersión y el tiempo en el cual se realiza el proceso.
- Luego de realizar la emulsión se recomienda mantener muy bien cerrado los recipientes donde serán guardados ya que puede haber evaporación del solvente y causar un aumento en la viscosidad de la emulsión.
- Se recomienda que la emulsificación para la obtención de la pintura no debe ser menor de 15 minutos a una velocidad de 17.000 rpm, ya que antes de este no alcanza a disminuir el tamaño de partícula ideal para una pintura y tienden a quedar grumos.
- Se recomienda en el momento de aplicar la pintura contar con una buena ventilación y utilizar protección adecuada.
- Luego de la emulsificación de la pintura es probable que queden algunos grumos, por lo cual es recomendado reducir de tamaño todas las partículas sólidas que van a ser agregadas para la producción de la pintura o pasar la pintura ya elaborada por un tamiz de nylon si se llega a presentar dicho caso.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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.

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.

ARAMBERRI, I; BINKS, B.P, CLINT, P.D.I, Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos; Revista Iberoamericana de Polímeros; volumen 7(3), 2006.

ARANBERRI, B.P. BINKS, J.H. CLINT, P.D.I. Fletcher; elaboracion y caracterización de emulsiones estabilizadas por polimeros y agentes tensoactivos, Surfactant & Colloid Group, The University of Hull, Hull, HU6 7RX, Reino Unido

A.S. KABALNOV "Coalescence in Emulsions in Modern Aspects of Emulsions Science", B.P. Binks (Editor), Cambridge, 1998, RSC

BITTENCOURT *Polimerización en emulsión* 512 *Rev. Iberoamer. Polím.*, 9(6), 512-525 (2008).

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.

BLACKLEY DC "*Emulsion Polymerization: Theory and Practice*", AppliedScience Ltda, Londres, 1975[3] Odian G "*Principles of Polymerization*". Wiley-Interscience, Nueva York 1981.

DICKINSON "*Gums and Stabilizers for the Food Industry*", G.O. Phillips, P.A. Williams y D. J. Wedlock (Editores), Cambridge, 1988, IRL Press

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.

EMULSIONES PROPIEDADES Y FORMULACION, cuaderno FIRP No. 231 pag 1-11. depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf.

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.

ELISEEVA vi, IVANCHEV ss, KUCHANOV si, Lebedev AV "Emulsion Polymerization and Its Applications in Industry", 1981

FERNANDEZ, E. Evans, D. Feustel, M. Natale, R. Klima, C. Baumann, U. Held, New green non-ionic surfactants for emulsion polymerization, in: Proceedings of the International Waterborne Symposium, New Orleans, 1999.

FERNANDEZ Ana Maria, Uwe HELD , Andreas WILLING , Wolfgang H. Breuer, New green surfactants for emulsion polymerization , Progress in Organic Coatings 53 (2005) 246–255

FUMINORI Ito, KIMIKO Makino, HIROYUKI Ohshima, Hiroshi Terada; Shinzo Omib, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 2 Hydrophilicity of composite latex particles prepared with a particular seeded emulsion polymerization techniques 42 (2004) 71–77

GILBERT RG "A Mechanistic Approach", Academic Press, Nueva York 1995

JAVAHERIAN Hamid, NAGHASH, Shadpour Mallakpour c, Nader Mokhtarian a, Synthesis and characterization of silicone-modified vinyl acetate–acrylic emulsion copolymers Progress in Organic Coatings 55 (2006) 375–381

KABALNOV "Coalescence in Emulsions, in Modern Aspects of Emulsion Science", Ed. B. P. Binks, Cambridge, 1998, RSC

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.

KISSA, E., Dispersions Characterization, Testing and Measurement, Surfactant Sci. Ser. 84, Marcel Dekker, New York, 1994, p. 165.

LOVELL P, EL-ASSER MS "Emulsion Polymerization and Emulsion Polymers".

POEHLEIN G "Emulsion Polymerization Mechanisms and Latex Technology" en "Advances in Emulsion Polymerization and Latex Technology". Curso sobre emulsión. Lehigh University

POEHLEIN GW "*Emulsion Polimerization*" en "*Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*" HF Mark, NM Bikales, CG Overberger, G Mendes (Editores), volumen 6, Interscience, Nueva York 1986.

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.

SAAM, J.C.; Huebner, D.J. Condensation polymerization of oligomeric polydimethylsiloxane in aqueous emulsion. *J. Polymer Sci.* 1982, 20, 3351–3364.

SALAGER J L., MORENO N., Anton R., MARFISI S. (2002). Apparent Equilibration Time Required for Surfactant-Oil-Water Systems to emulsify into the Morphology imposed by the Formulation. *Langmuir* 18: 607-611.

SAVIC, S., MILIC, J., Vuleta, G., PRIMORAC, M., 2002. Physical characteristics of o/w emulsions based on acrylate polymeric emulsifiers or combination polymeric emulsifier/non-ionic emulsifier. *S.T.P. Pharm. Sci.* 12, 321–327.

SCHORK FJ "*Kinetics of Free Radical-Initiated Polymerization*" en "*Advances in Emulsion Polymerization and Latex Technology*". Curso sobre emulsión. Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania.

SIMOVIC, S., Tamburic, S., MILIC-Askrabic, J., Rajic, D., 1999. An investigation into interactions between polyacrylic polymers and a non-ionic surfactant: an emulsion preformulation study. *Int. J. Pharm.* 184, 207–217.

SZU CSA, Maria GIUSEPPINA Sandrib, M. Cristina Bonferonib, Carla M. Caramellab, Patrizia Vaghic, Piroška Szabo´-Re´ve´sza, Istva´n Ero´s; Mucoadhesive behaviour of emulsions containing polymeric Emulsifier, *æuropean journal of pharmaceutical sciences* 3 4 (2008) 226–235

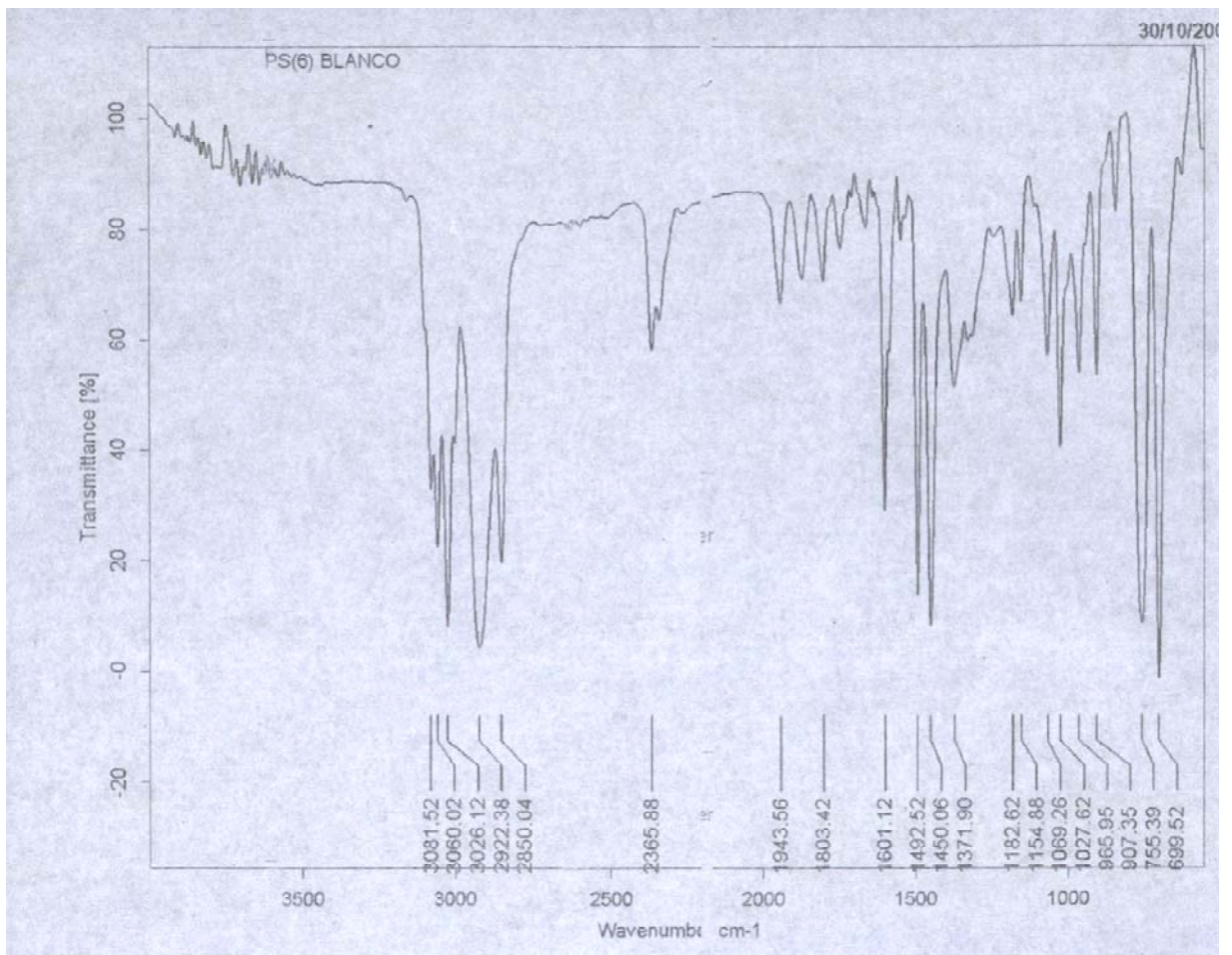
SZU CSA, Maria SANDRIB, Giuseppina M. Cristina Bonferonib, Carla M. Caramellab, Patrizia Vaghic, Piroška Szabo; Hydroresin dispersions: tailoring morphology of latex particles and films, ´-Re´ve´sza, Istva´n Ero´s, *Progress in Organic Coatings* 29 (1996) 201-208.

SZCYPULA Celia Regina, BUONO Botelho y BITTENCOURT; Edson emulsión con sustitución de los apes *Revista Iberoamericana de Polímeros* Volumen 9(6), Diciembre de 2008;

VALLADARES, Shirley , Estabilidad de emulsión relacionada con el proceso de deshidratación de crudos, Universidad de los Andes, Tesis Doctoral, 2005.

ANEXOS

Anexo A. Espectro IR PS



Anexo B. Espectro Película PS/Xileno

