

Artículo de investigación

Reformulación y caracterización de una resina acrílica estirenada a partir de la recuperación de poliestireno expandido (EPS)

C. González¹ , A. Moreno¹ , C. Zapata² , F. García³ , J. Medina³ 

1 Laboratorio de Investigación y Tecnologías de Suelos y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Naguanagua, Venezuela. 2 Laboratorio de Polímeros, Departamento de Polímeros, Instituto Universitario de Tecnología de Valencia, Carabobo, Venezuela. 3 Departamento de Química, Estudios Básicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela.

Resumen

El objetivo de la investigación fue reformular una resina acrílica estirenada a partir de la recuperación de poliestireno expandido (EPS), cuya disolución se llevó a cabo haciendo uso de un solvente orgánico, tal como el, d-limoneno. Para esto, se desarrolló la polimerización en emulsión del monómero acrilato de butilo, y se sustituyó el monómero estireno por su forma ya polimerizada, es decir, el EPS recuperado. El avance de la reacción se determinó por gravimetría dando un porcentaje de sólidos final de 26,1 %. El producto obtenido se caracterizó aplicando diversas pruebas fisicoquímicas, arrojando como resultado un pH de 6,96 y una densidad de 0,92 g/mL. El color, olor y la apariencia del material fueron característicos de este tipo de resinas. Los resultados indican, que el uso de EPS para la reformulación de una resina acrílica estirenada genera una emulsión con propiedades similares a productos comerciales empleados a nivel industrial.

Palabras clave: Resina, polimerización, reformulación, emulsión, poliestireno expandido.



Recibido: 15 de diciembre del 2022

Aceptado: 1 de febrero del 2023

Publicado: 9 de junio del 2023

Conflicto de intereses: los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

DOI:

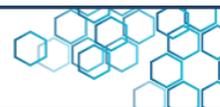
<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.8355997>

***Autor para correspondencia:**

Constanza González; Jhonny Medina

e-mail

constanzamleona@gmail.com;
jhonymedina@yahoo.com



Research article

Reformulation and characterization of an acrylic resin stretched from the recovery of expanded polystyrene (EPS)

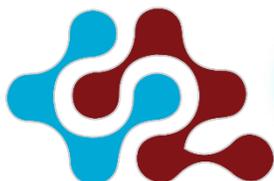
C. González ¹ , A. Moreno ¹ , C. Zapata ² , F. García ³ , J. Medina ³ 

1 Laboratorio de Investigación y Tecnologías de Suelos y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Naguanagua, Venezuela. **2** Laboratorio de Polímeros, Departamento de Polímeros, Instituto Universitario de Tecnología de Valencia, Carabobo, Venezuela. **3** Departamento de Química, Estudios Básicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela.

Abstract

The objective of this research was to reformulate a styrenated acrylic resin from the recovery of expanded polystyrene (EPS), whose dissolution was carried out using an organic solvent, in this case, d-limonene. Therefore, the emulsion polymerization of the butyl acrylate monomer was developed, and the styrene monomer was replaced by its polymerized form, that is, the recovered EPS. The progress of the reaction was determined by gravimetry, giving a final percentage of solid of 26,1 %. The product obtained was characterized by applying various physicochemical tests, obtaining a pH of 6,96 and a density of 0,92 g/mL. The color, smell and appearance of the material were characteristic of this type of resins. The results indicate that the use of EPS for the reformulation of styrenated acrylic resin generates an emulsion with properties similar to commercial products used at an industrial level.

Keywords: Resin, polymerization, reformulation, emulsion, expanded polystyrene.



CIENCIA EN REVOLUCIÓN

Received: December 15, 2022

Accepted: February 01, 2023

Published: June 9, 2023

Conflict of interest: the authors declare that there are no conflicts of interest.

DOI:

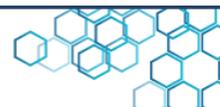
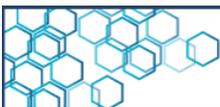
<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.8355997>

***Corresponding author:**

Constanza González; Jhonny Medina

e-mail

constanzamleona@gmail.com;
jhonnymedina@yahoo.com

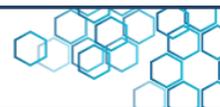


1. Introducción

El poliestireno expandido (EPS) es un material polimérico de alto consumo a nivel mundial, utilizado principalmente para envases y empaques, debido a su fácil manejo y bajo costo. Sin embargo, el EPS es químicamente inerte; es decir, no se descompone, lo que representa un importante problema ambiental, ya que si no se recicla genera una acumulación de residuos que puede permanecer por siglos en el lugar de disposición final [1].

Un método común para la recuperación del EPS, es su disolución en solventes, logrando reducir hasta 100 veces el volumen del material. No obstante, la mayoría de estos compuestos suelen ser contaminantes atmosféricos como el tolueno, el ciclohexano o el acetato de etilo. Por esta razón, se han planteado alternativas de recuperación utilizando solventes verdes que son más amigables con el medio ambiente [2].

El d-limoneno, es un aceite esencial proveniente de la extracción de la cáscara de cítricos como la naranja y el limón, de gran importancia en la industria debido a su fácil obtención y versatilidad. Además, es ampliamente usado como solvente por ser una valiosa alternativa verde, porque no se cataloga como contaminante ambiental [2, 3]. En esta investigación, se propone la recuperación de EPS en d-limoneno, de forma que pueda ser empleado en la síntesis de una resina de tipo acrílica estirenada, donde el EPS participe y aporte características al producto final de manera individual en su forma ya polimerizada.



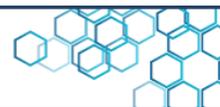
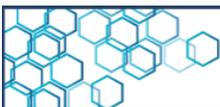
Las resinas de tipo acrílicas estirenadas son uno de los polímeros en emulsión más representativos en la industria, por sus excelentes ventajas técnicas, especialmente de durabilidad, resistencia y aspecto de película. Las características fisicoquímicas de estos productos, les permiten tener un amplio rango de aplicaciones como lo son recubrimientos, impermeabilizaciones, formulación de esmaltes, barnices, entre otros [4]. Uno de los procedimientos más empleados para la obtención de estas resinas, es la polimerización en emulsión vía radicales libres, la cual requiere de algunos componentes para llevar a cabo la reacción, como lo son: los monómeros, un iniciador, un medio de dispersión, un agente emulsionante (surfactantes iónicos y/o no iónicos) y aditivos [5].

En virtud de lo expuesto, se planteó como objetivo de esta investigación llevar a cabo la polimerización en emulsión únicamente del monómero acrilato de butilo y sustituir el monómero estireno por la resina de EPS recuperado en d-limoneno.

2. Metodología

2.1 Reactivos

Los compuestos empleados fueron los siguientes: Persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$), como iniciador, ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), como entrecruzante, genapol al 50 % ($C_{12}H_{25}NaO_3S$), como surfactante aniónico, alcohol láurico etoxilado 9M ($C_{22}H_{46}O_6$), como surfactante no iónico, gel de silicona como antiespumante, bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$), como regulador de pH y agua (H_2O) como solvente, utilizados tal y como se recibieron sin previa purificación. Como monómero de la reacción se



empleó acrilato de butilo (BuA), el cual fue lavado con una solución de hidróxido de sodio 2N ($NaOH$), secado con carbonato de calcio ($CaCO_3$) y destilado al vacío para eliminar el inhibidor presente. Como sustituto del monómero estireno, se empleó poliestireno expandido (EPS), recuperado en el solvente orgánico d-limoneno, como se mencionó previamente. Las bandejas de poliestireno recolectadas fueron lavadas, secadas y cortadas en trozos pequeños para eliminar cualquier contaminante presente y facilitar su disolución.

2.2 Polimerización

La polimerización en emulsión se llevó a cabo mediante un proceso semi continuo. El equipo consistió en un reactor de vidrio de 500 mL de 3 bocas donde se preparó la solución micelar, la cual se compone de agua, surfactantes, antiespumante, regulador de pH y EPS recuperado en d-limoneno. El reactor estuvo equipado con una plancha de calentamiento y agitación magnética con el fin de mantener el calor de la reacción y una completa homogenización de la mezcla.

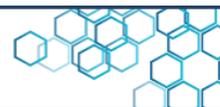
Además, se empleó un sistema de adición, constituido por una bureta de 10 mL para la pre-emulsión, que contenía una mezcla del monómero BuA, surfactantes, entrecruzante y agua, y una jeringa de 3 mL para la solución iniciadora que contenía una mezcla iniciadora y agua. El balón estuvo acoplado a un sistema de reflujo y un termómetro de bulbo. El montaje se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Equipo empleado en el proceso de polimerización en emulsión.

Una vez alcanzada la temperatura de reacción en el reactor (70 °C), se inició la adición de la solución iniciadora y de la pre-emulsión. La primera se agregó por medio de un goteo constante, mientras que la segunda se añadió al sistema en alícuotas de 10 mL, que se dosificaron en periodos de 10 minutos, manteniendo espacios de 6 minutos entre cada adición. Este proceso duró 50 minutos y el tiempo total de reacción fue de 1 hora y 25 minutos, para garantizar la completa interacción de los componentes y con una temperatura en un intervalo entre (70 – 80) °C.

El avance de la reacción se determinó por medio del porcentaje de sólidos obtenido por gravimetría, para lo que se aplicó la metodología indicada en la norma ASTM D2369-10, tomando muestras cada 4 minutos a lo largo del tiempo de reacción. La relación acrilato de



butilo y poliestireno (BuA/EPS) empleada, fue de 65/35 y las proporciones utilizadas de cada reactivo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Composiciones másicas empleadas para la producción de la resina acrílica reformulada

Solución	Fracción másica de cada solución (adim.)	Reactivo	Fracción másica de los reactivos en cada solución (adim.)
Micelar	0,4875	Agua	0,1495
		Genapol 50%	0,0092
		Alcohol etoxilado	0,0097
		Silicona	0,0007
		Bicarbonato de sodio	0,0098
		Poliestireno	0,2244
		d-limoneno	0,5968
Iniciadora	0,0518	Agua	0,9496
		Persulfato de potasio	0,0504
Pre-emulsión	0,3363	Agua	0,1882
		Genapol	0,0113
		Alcohol etoxilado	0,0269
		Acrilato de butilo	0,7615
		Ácido cítrico	0,0122

2.3 Caracterización

El pH se determinó según lo descrito en la norma COVENIN 1315:1979, haciendo uso de un pHmetro marca Dr. Meter. La densidad se determinó haciendo uso de una modificación de la norma COVENIN 737:1999, empleando un balón aforado de 10 mL que se llenó con la solución de estudio hasta el aforo. Por último, para la determinación de

los grupos funcionales, se utilizó un espectrómetro de infrarrojo marca IRPrestige-21.

En lo que respecta a las propiedades organolépticas, la evaluación se llevó a cabo de forma cualitativa, basado en el estudio de aspectos como color, olor, textura y consistencia de la resina. La apariencia de la película se evaluó adicionando de manera uniforme con un pincel una pequeña cantidad de muestra sobre una placa de vidrio y dejándola secar a 80 °C por 2 horas.

3. Resultados y discusión

En la Figura 2, se aprecia el avance de la reacción, donde se evidencian puntos de inflexión, identificados en color negro, que corresponden a la perturbación realizada al sistema con la adición de la pre-emulsión; como se mencionó, fue añadida por etapas.

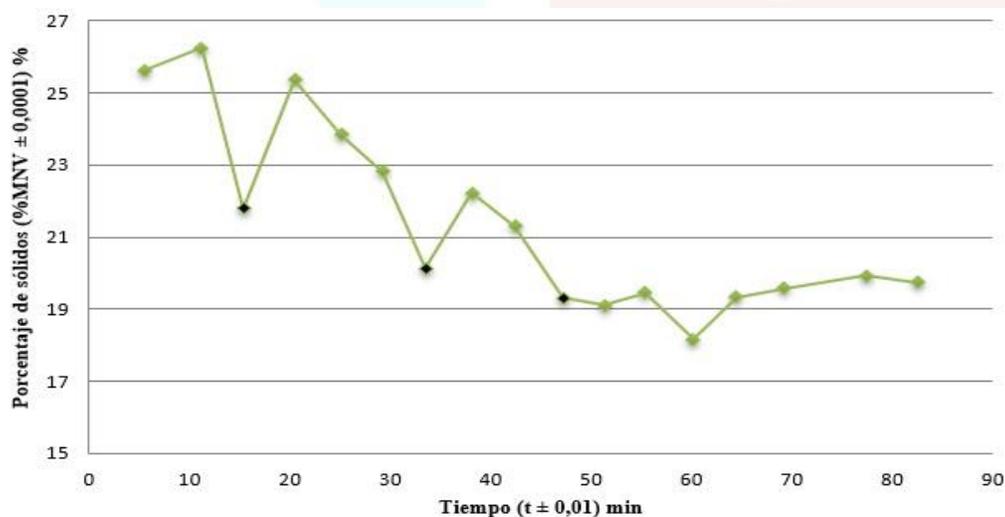
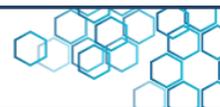


Figura 2. Avance de la reacción.



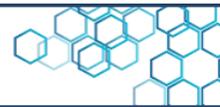
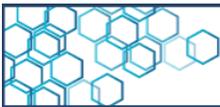
Es importante destacar que, al inicio de una polimerización en emulsión, el iniciador se descompone formando el radical que reacciona con el monómero gracias a las micelas generadas por el tensoactivo. A partir de allí, empieza la formación de cadenas poliméricas, por lo que la reacción tiene lugar dentro de las partículas que crecen de manera continua, consumiendo el monómero y tensoactivo del medio y dando comienzo a la etapa de crecimiento [6]. Esto se manifiesta en la Figura 2 por medio de un comportamiento lineal, que puede observarse posterior a la última perturbación realizada al sistema.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de la resina reformulada.

Pruebas	Valor experimental
Porcentaje de sólidos, (MNV \pm 1,3) %	26,1
Potencial de hidrógeno, (pH \pm 0,08) adim.	6,92
Densidad, ($\rho \pm 0,00005$) g/mL	0,92
Color	Blanco lechoso
Olor	Característico a d-limoneno
Textura	Aceitosa

Las características fisicoquímicas de las emulsiones de tipo acrílicas-estirenadas, varían y son muy versátiles dependiendo de la composición que tenga cada uno de los componentes de la mezcla, así como, la aplicación y disposición final que tendrá el producto. Es por esta razón, que en la industria existe un amplio rango de valores para este tipo de resinas.

El porcentaje de sólidos de estas emulsiones en el mercado suele variar entre (20 - 50) % [7,8]. Para el caso en estudio se observa un resultado



de sólidos totales de 26,1 %. Se debe tener en consideración que este parámetro indica la cantidad de sólidos que permanecen en la superficie una vez que se han evaporado los solventes presentes en el producto, por lo que, es importante destacar que la resina reformulada está conformada por dos solventes, uno acuoso (agua) y uno hidrófobo (d-limoneno), y la presencia de ambos influye directamente en el resultado conseguido, ya que, una mayor cantidad de solventes contribuye a una concentración más baja de sólidos. Análogamente se debe considerar que, a nivel de manufactura, gran parte de los productos son formulados en función a las propiedades de alguno de sus componentes, caso de ejemplo, las pinturas versus resinas, donde, en algunos casos, se le da especial atención al porcentaje de sólidos.

En cuanto al pH, se obtuvo un valor de 6,92. Es decir, que el mismo se aproxima considerablemente al neutro. Esto permite que la resina reformulada tenga una variedad de aplicaciones, de allí que puede destacarse el área de construcción, puesto que potenciales de hidrógeno muy ácidos pueden atacar los componentes de mezclas de morteros o concretos por medio de reacciones químicas de tipo ácido-base, lo que influye directamente en el tiempo de vida del material. Es por ello que este tipo de industrias requieren emulsiones de pH neutro a ligeramente básico [7,9].

Por otra parte, la densidad de las emulsiones acrílicas-estirenadas comerciales puede variar aproximadamente entre (1 - 3) g/mL [7,8]. Para el caso de estudio se obtuvo una densidad de 0,92 g/mL, un resultado ligeramente bajo, el cual se atribuye a diversos factores, entre los que se mencionan el tipo de polimerización empleada, la velocidad de adición del monómero y los aditivos utilizados, ya que dichos

parámetros afectan de forma directa a la distribución de las cadenas poliméricas, lo que puede generar cadenas amorfas o ramificadas que se traducen en un producto de baja densidad [10].

En la Figura 3, se muestra la resina reformulada obtenida, que en cuanto a las propiedades organolépticas presentó un color blanco lechoso característico de este tipo de productos en el mercado [7,8], así como, una apariencia homogénea y fluida, y una textura aceitosa que viene dada por la presencia de la fase oleosa en la que predominan componentes como el genapol y el d-limoneno. En cuanto al olor, prevaleció el del solvente orgánico empleado para la disolución del EPS, ya que este se encuentra en una elevada concentración en la emulsión.

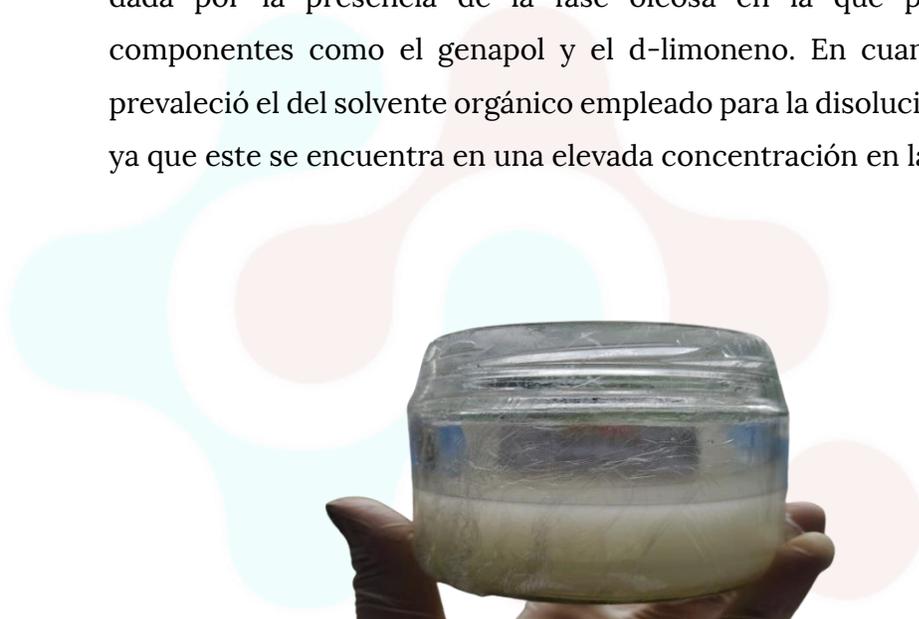


Figura 3. Resina acrílica estirenada reformulada

En la Figura 4, se presenta el espectro infrarrojo obtenido para la resina reformulada, donde se observa una banda de absorción a los 700 cm^{-1} , que corresponde al anillo aromático presente en el EPS y el d-limoneno, además, de la presencia de bandas débiles alrededor de los 3.000 cm^{-1} , que pertenecen a los enlaces carbono-hidrógeno (C-H), de los compuestos que conforman el producto obtenido. A su vez, se evidencia posterior a los 3.000 cm^{-1} , una banda de absorción amplia e intensa,

característica del grupo funcional de los alcoholes (O-H), que forma parte de la estructura química, tanto del alcohol láurico etoxilado, como del ácido cítrico [11,12]. Alrededor de los $(1.700 - 1.200) \text{ cm}^{-1}$, se observan bandas de absorción correspondientes al grupo funcional carbonilo (C=O) y al enlace carbono-oxígeno (C-O), presentes tanto en el monómero acrilato de butilo, como en el producto de reacción, el poliacrilato de butilo [13].

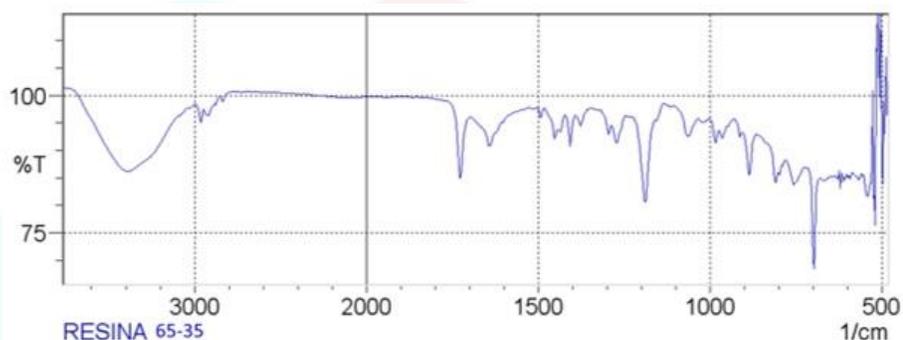


Figura 4. espectro infrarrojo obtenido para la resina reformulada.

En función de lo descrito, se corrobora con el espectro resultante que la resina contiene los grupos funcionales característicos de los reactivos y el producto de reacción esperado del proceso de polimerización.

En lo que respecta a la apariencia de la película, luego de someter la resina a un proceso de secado, se obtuvo el resultado que se evidencia en la Figura 5. La película formada fue uniforme, no presentó burbujas, su color era blanco con una sutil transparencia y era ligeramente flexible.

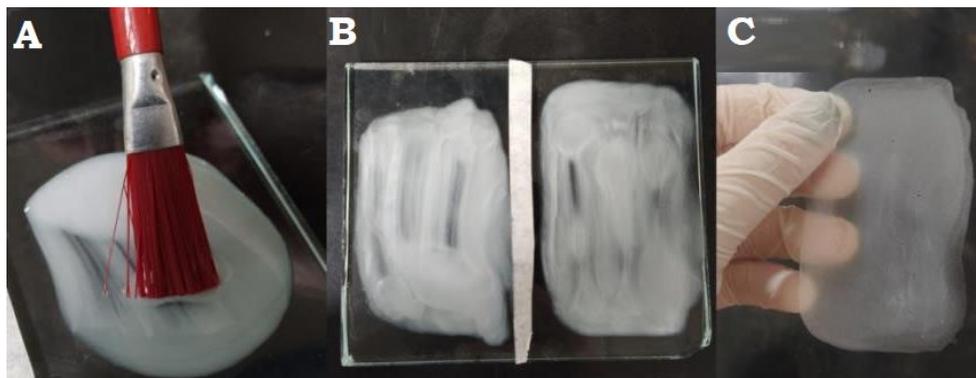
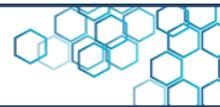
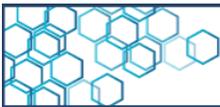


Figura 5. (A) Preparación de la muestra (B) Muestra sin secar (C) Película formada.

En lo que respecta a la apariencia de la película, luego de someter la resina a un proceso de secado, se obtuvo el resultado que se evidencia en la Figura 5. La película formada fue uniforme, no presentó burbujas, su color era blanco con una sutil transparencia y era ligeramente flexible.

Esto es un aspecto importante a tomar en cuenta, ya que, si se añade en la preparación en morteros, pudiera resultar en una disminución de la absorción al agua una vez seco el producto, gracias a la matriz polimérica que la emulsión puede ser capaz de formar, así como, la posibilidad de sellar los poros del material y por lo tanto funcionar como impermeabilizante, si es empleado como aditivo. Por otro lado, este parámetro permite tener una noción del comportamiento que podría presentar el material al ser aplicado de forma directa como recubrimiento en una superficie lisa.

En lo que respecta a las pinturas, las resinas juegan un papel fundamental, ya que son las encargadas de darle cuerpo y consistencia a las mismas, además de proporcionarle ciertas características particulares. Por ejemplo, el brillo. Es por esta razón, que se requiere de



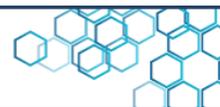
emulsiones con propiedades fisicoquímicas favorables, como una buena formación de película, de forma que como resultado se obtengan productos de calidad.

4. Conclusiones

La reformulación de una resina acrílica estirenada usando como sustituto del monómero estireno el EPS recuperado en d-limoneno, da como resultado una emulsión con apariencia y características fisicoquímicas muy similares a emulsiones empleadas a nivel comercial, tanto en la elaboración de pinturas como en morteros. Por consiguiente, la resina obtenida cumple con los parámetros que se requieren en estos productos y puede ser evaluado en diversas áreas de la industria, destacándose principalmente, el de la construcción.

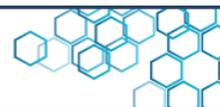
Agradecimientos

A la Profesora Neudis Subero del Laboratorio de Investigación y Tecnologías de Suelos y Ambiente (LITSA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. Al Lcdo. Juan Vicente Guerrero del Laboratorio Tecnológico del Ambiente (LABTA), por la colaboración prestada, a la Ing. Herminia Arévalo del Laboratorio de Química General, y al señor Freddy Waldrop, por su incondicional cooperación en el desarrollo de esta investigación.

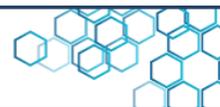


5. Referencias

- [1]. Martínez López C, Laines Canepa JR. Poliestireno expandido (EPS) y su problemática ambiental. *Kuxulkab*. 2014;19(36). <http://dx.doi.org/10.19136/kuxulkab.a19n36.339>.
- [2]. Gil-Jasso ND, Segura-González MA, Soriano-Giles G, Neri-Hipólito J, López N, Mas-Hernández E. Dissolution and recovery of waste expanded polystyrene using alternative essential oils. *Fuel (Lond)*. 2019;239:611–6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2018.11.055>.
- [3]. Golmakani M-T, Mendiola JA, Rezaei K, Ibáñez E. Pressurized limonene as an alternative bio-solvent for the extraction of lipids from marine microorganisms. *J Supercrit Fluids*. 2014;92:1–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2014.05.001>.
- [4]. Cardeño F, Rios L, Cardona JF, Ocampo D, Franco A. Efecto del Uso de Surfactantes Polimerizables en la Distribución de Tamaño de Partícula, pH, Viscosidad, Contenidos de Sólidos y de Monómero Residual de una Resina Estireno-Butilacrilato. *Polímeros*. 2013;23(3):352–7. <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2013.050>.
- [5]. Finch CA. Emulsion polymerization and its applications in industry. V. I. Eliseeva, S. S. Ivanchev, S. I. Kuchanov and A. V. Lebedev. Translated by Sylvia J. Teague, Consultants Bureau, New York, 1981. ISBN 0 306 10961 1. *Br Polym J*. 1982;14(4):186–186 <http://dx.doi.org/10.1002/pi.4980140412>.
- [6]. Kumar A, Gupta R. *Fundamentals of polymer engineering*. 3era edición: Taylor & Francis group. 2019.



- [7]. SIKA. Resina acrílica estirenada para mejorar adherencia, resistencia y permeabilidad en morteros, estucos y pinturas para aplicaciones en interiores y exteriores. 2018. Colombia: Sika Colombia S.A.S.
- [8]. ANDERCOL. Ficha técnica Texilan 559: Emulsión acrílica estirenada. 2009. Colombia: Andercol S.A.
- [9]. Sánchez C. Jiménez D. Ruíz J. Uso de un aditivo biológico para mejorar las propiedades físico-mecánicas y térmicas del hormigón. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*. 2005. p. 96-109.
- [10]. López F. Mendizábal E. Ortega P. Introducción a la ciencia de los polímeros. México, Primera edición: Universidad de Guadalajara. 2015.
- [11]. McMurry, J. *Química Orgánica*. México, 7^{ma} edición: CENGAGE learning. 2008.
- [12]. López S. Estrada A. Herrera J. Copolimerización en emulsión del acrilato de butilo y estireno. *Conciencia Tecnológica*. 2015. p. 32-37.
- [13]. Castro L. Ramírez J. Vázquez F. Avendaño J. Polimerización del acrilato de butilo en solución y la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*. 2017.
- [14]. ASTM D2369-10. Standard Test Method for Volatile Content of Coatings. American Society for Testing and Materials. 2002.
- [15]. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 1315-79. Alimentos. Determinación del pH. Venezuela: Fondonorma. 1979.



[16]. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 737. Pinturas, barnices, lacas y productos relacionados. Determinación de la densidad. Venezuela: Fondonorma. 1999.

