

**EVALUACIÓN DEL RECICLADO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO MEDIANTE LA
DISOLUCIÓN CON SOLVENTES PARA APLICACIÓN COMO BASE DE PINTURA A
NIVEL LABORATORIO**

BRAYAN CAMILO CARMONA MORA

DIEGO STEVEN CORRECHA BOCANEGRA

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

DIRECTOR

OSCAR LIBARDO LOMBANA CHARFUELAN

INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Secretario general

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi familia porque han sido el apoyo incondicional que necesite desde que tome la decisión de irme de mi ciudad y comenzar a recorrer un camino sin poder estar con ellos en el día a día, logrando afrontar nuevas situaciones y los nuevos retos que se me presentaron desde el primer momento que pise esta nueva ciudad, que a pesar de que el camino fuera un poco más largo de lo esperado, cada momento lo tome como una experiencia más con los consejos y palabras de aliento que siempre me brindaba mi familia y poder lograr culminar esta etapa de mi vida, de igual forma no olvidarme nunca de agradecer a Dios por guiarme por el camino indicado y ayudarme a levantarme en cada una de las situaciones que más necesite de sus consejos.

A todas las personas que logre conocer en este largo camino, que me brindaron con total desinterés y honestidad su amistad, que a pesar de que se presentaron obstáculos en el camino se lograron afrontarlos, como también superarlos.

Brayan Camilo Carmona Mora

DEDICATORIA

Entrego y dedico este trabajo a Dios, por ser el orquestador de este sueño, guiándome y acompañándome en cada uno de mis pasos y decisiones en la vida.

En segundo lugar, dedico este trabajo con profundo agradecimiento a mi madre, la mujer que ha brindado su apoyo y amor incondicional a lo largo de mi existencia. Ella me ha enseñado a sortear las dificultades y ha cultivado en mí la resiliencia para alcanzar mis objetivos. Asimismo, agradezco el esfuerzo que ha hecho para respaldarme en este recorrido académico, fundamental en la construcción de mi proyecto de vida.

A mi tía, por abrirme sus puertas y brindarme su apoyo durante este camino.

Finalmente, a mis dos hermanos, quienes han sido mi motivación para seguir creciendo profesional y académicamente.

Diego Steven Correcha Bocanegra

AGRADECIMIENTOS

Queremos otorgar nuestros agradecimientos a:

Quiero agradecer primero que todo a mis papás que siempre han sido mi ejemplo a seguir desde como ser un buen ser humano, hasta ser un excelente y honesto profesional, nunca dejar de agradecer por su apoyo incondicional desde que tome la decisión de afrontar un nuevo desafío en mi vida, que era vivir solo y en una nueva ciudad, para con esto poder llegar a recopilar nuevas experiencias a mi vida, a mis hermanos que son el motor de mi vida y lo que me hizo levantarme cada mañana, teniendo siempre en mente en lograr el objetivo de ser un ejemplo para ellos primordialmente como persona y luego como profesional, logrando demostrarles que siempre deben seguir sus sueños.

Agradecer a esas personas que puedo llegar a llamarlos amigos, ya que lograron que mi nueva vida acá fuera de la mejor manera, llegando siempre aprender lo que más podía de cada uno de ellos y que me brindaron su apoyo siempre que lo necesite.

Brayan Camilo Carmona Mora

AGRADECIMIENTOS

Queremos otorgar nuestros agradecimientos a:

Agradezco a todos los docentes de la Universidad de América, cuya dedicación y experiencia ha sido fundamentales para nuestra formación académica y personal como ingenieros. Su compromiso ha dejado una huella imborrable en nuestro camino educativo.

Extendemos nuestro reconocimiento al comité de trabajo de grado, que, con su profundo conocimiento y exigencias, guiaron nuestro proceso de investigación por el sendero del rigor académico y la excelencia. Su orientación fue muy importante para alcanzar los estándares más altos en nuestro trabajo.

Diego Steven Correcha Bocanegra

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	16
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	18
1.1 Objetivo general	18
1.2 Objetivos específicos	18
2. MARCO REFERENCIAL	19
2.1 Marco legal	19
2.2 Marco teórico	19
2.2.1 <i>Reducción de residuos</i>	20
2.2.2 <i>Reciclaje y sostenibilidad</i>	20
2.2.3 <i>Economía circular</i>	20
2.2.4 <i>Ahorro de costos</i>	20
2.2.5 <i>Ahorro de recursos naturales</i>	20
2.2.6 <i>Beneficios medioambientales</i>	21
2.2.7 <i>Viabilidad económica</i>	21
2.3 Polímeros	21
2.4 Clasificación de los polímeros	24
2.4.1 <i>Polímeros naturales</i>	24
2.4.2 <i>Polímeros sintéticos</i>	25
2.4.3 <i>Termoplásticos</i>	25
2.4.4 <i>Elastómeros</i>	25
2.4.5 <i>Termoestables</i>	25
2.5 Poliestireno expandido	26

2.6	Historia del poliestireno expandido	27
2.7	Obtención del poliestireno expandido	28
2.7.1	<i>Polimerización por suspensión</i>	29
2.7.2	<i>Preparación del reactor</i>	29
2.7.3	<i>Polimerización e impregnación</i>	29
2.7.4	<i>Formación de partículas y estabilización</i>	29
2.7.5	<i>Perforado y maduración</i>	29
2.7.6	<i>Espumado final</i>	30
2.8	Propiedades del poliestireno expandido	30
2.9	Aplicaciones del poliestireno expandido	32
2.10	Problemática del poliestireno expandido	32
2.11	Disolventes orgánicos	33
2.12	Acetona	34
2.13	Aplicación de la acetona	35
2.14	Thinner	36
2.15	Aplicaciones del thinner	38
2.15.1	<i>Desengrasar y limpiar</i>	38
2.15.2	<i>Diluir y ajustar la viscosidad de pinturas y barnices</i>	38
2.15.3	<i>Remover pinturas, lacas o barnices previamente aplicados</i>	39
2.15.4	<i>Thinner para fabricación de pinturas, esmaltes, tintas o para pintado de bienes de consumo</i>	39
2.16	Etanol	39
2.17	Toxicidad de los solventes	39
2.18	Características de las resinas para pinturas	39
2.19	Diagrama del proceso de obtención del EPS	40

3.	METODOLOGÍA	42
3.1	Recolección de muestras de solventes acetona, etanol y thinner	44
3.2	Proceso de pruebas con relación de formulación 1:3,33, 1:6,66, 2:10	44
3.3	Proceso de agitación	45
3.4	Temperatura establecida en la plancha de calentamiento	45
3.5	Disolución de los solventes indicando sus propiedades fisicoquímicas	46
	3.5.1 <i>Pre experimentación</i>	46
	3.5.2 <i>Preparación de muestra</i>	46
	3.5.3 <i>Realización de ensayos de disolución</i>	46
3.6	Caracterización del poliestireno expandido (EPS)	47
3.7	Aspectos de apariencia de las resinas de poliestireno expandido después de la disolución	49
3.8	Análisis del contenido de sólidos	49
3.9	Tiempo de secado al taco de la muestra de resina (Norma ASTM D1640 – NTC598)	52
3.10	Evaluación del producto obtenido como disolvente orgánico	53
3.11	Decisión del solvente más viable según los datos experimentales	53
3.12	Mayor desempeño según los ensayos obtenidos	54
3.13	Evaluación según el comportamiento de la resina	55
4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	56
4.1	Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la producción de resina a partir de materia prima poliestireno expandido con solventes orgánicos	63
	4.1.1 <i>Evaluación de aspecto de resina</i>	63
	4.1.2 <i>Evaluación de resultados de porcentaje de sólidos para la resina</i>	65
	4.1.3 <i>Evaluación de secado bajo la Norma ASTM D1640 – NTC598 a los ensayos de resina</i>	66
	4.1.4 <i>Evaluación de la resina de poliestireno expandido con el disolvente orgánico (acetona)</i>	67

4.1.5 <i>Evaluación de la resina en base de pintura</i>	67
5. CONCLUSIONES	75
REFERENCIAS	76
ANEXOS	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>El polímero constituido de monómeros</i>	22
Figura 2 <i>Estructura lineal del polietileno.</i>	23
Figura 3 <i>Estructura ramificada de la polimerización del propileno con catalizadores Z/N y metalloceno.</i>	24
Figura 4 <i>El embalaje de poliestireno expandido abunda como desecho</i>	27
Figura 5 <i>Proceso de Obtención del EPS.</i>	40
Figura 6 <i>Proceso de Disolución del EPS.</i>	47
Figura 7 <i>Proceso de Porcentaje de Sólidos en la Resina.</i>	51
Figura 8 <i>Proceso de secado al tacto de la resina</i>	52

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Propiedades físicas del poliestireno expandido</i>	31
Tabla 2 <i>Clasificación de los disolventes más utilizados</i>	34
Tabla 3 <i>Propiedades físicas de la acetona.</i>	35
Tabla 4 <i>Principales componentes del thinner</i>	37
Tabla 5 <i>Propiedades fisicoquímicas del thinner</i>	38
Tabla 6 <i>Selección de EPS en dos empresas</i>	43
Tabla 7 <i>Estabilidad del EPS contra productos químicos</i>	48
Tabla 8 <i>Solubilidad de obtención de resina</i>	54
Tabla 9 <i>Proceso del EPS con solvente (Etanol) 1:3,33</i>	56
Tabla 10 <i>Proceso del EPS con solvente (Acetona) 1:3,33</i>	57
Tabla 11 <i>Proceso del EPS con solvente (Acetona) 1:6,66</i>	58
Tabla 12 <i>Proceso del EPS con solvente (Acetona) 2:10</i>	59
Tabla 13 <i>Proceso del EPS con solvente (thinner) 1:3,33</i>	60
Tabla 14 <i>Proceso del EPS con solvente (thinner) 1:6,66</i>	61
Tabla 15 <i>Peso inicial del EPS (thinner) 2:10.</i>	62
Tabla 16 <i>Proceso de EPS con solvente (thinner) 2:10.</i>	63
Tabla 17 <i>Proceso de porcentaje de sólidos de la resina.</i>	64
Tabla 18 <i>Aspectos de resina obtenida de poliestireno expandido</i>	64
Tabla 19 <i>Resultados de porcentajes de sólidos de la resina obtenida de EPS</i>	65
Tabla 20 <i>Resultados de secado de la resina obtenida de poliestireno expandido</i>	66
Tabla 21 <i>Evaluación de adición de resina de EPS con el solvente (Acetona) 1:3,33 a base de pintura</i>	68
Tabla 22 <i>Evaluación de adición de resina de EPS con el solvente (Acetona) 1:6,33 a base de pintura</i>	69
Tabla 23 <i>Evaluación de adición de resina de EPS con el solvente (Acetona) 2:10 a base de pintura</i>	70
Tabla 24 <i>Determinación de viscosidad de la pintura con el solvente (Acetona) 2:10.</i>	71
Tabla 25 <i>Resultados de viscosidad de la pintura con resina obtenida de EPS</i>	72

Tabla 26 <i>Proceso de sólidos</i>	73
Tabla 27 <i>Resultados de porcentaje de sólidos en la pintura con resina obtenida de EPS.</i>	74

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se analizan y discuten los resultados obtenidos de las pruebas para evaluar el proceso de reciclado del poliestireno expandido, obteniendo 20 kg de acumulación de residuo para la disolución en solventes orgánicos, con el propósito de utilizar este producto resultante en base de pintura. Se diseñaron los experimentos a nivel de laboratorio con el fin de disolver poliestireno expandido (EPS) utilizando diferentes solventes orgánicos, específicamente, etanol al 96%, acetona al 99,5% y thinner al 90%.

Para esto se realizaron pruebas de solubilidad con una cantidad específica de 22,5 gramos de poliestireno reciclado por cada 75 gramos de solvente orgánico, todo esto con una formulación respectiva de 1:3,33, 1:6,66, 2:10 estas relaciones se expresan en P/P, lo que hace referencia al gramo de soluto / gramo de la solución. La forma correcta de expresar cada relación es 0,30 P/P, 0,15 P/P y 0,20 P/P para cada ensayo en el solvente orgánico según la especificación de formulación y dos réplicas por cada experimento.

Se llevaron a cabo los análisis y las experimentaciones, donde a partir de los resultados se determinó que la acetona presenta mayor eficiencia entre un rango de 90% y 100% que indica un proceso óptimo para la obtención de resina a partir del poliestireno con el solvente orgánico.

PALABRAS CLAVES: Reciclado, poliestireno expandido, disolución, solvente, eficiencia.

INTRODUCCIÓN

Se planteó este proyecto para dar a conocer una de las problemáticas ambientales como sociales frente al manejo del poliestireno expandido dado que este material se suele usar una sola vez y tiene un campo de uso a gran escala en los que se puede destacar la juguetería, el transporte de alimentos, la industria automotriz. Uno de sus mayores usos es en la industria del embalaje ya que las diferentes compañías utilizan este material por sus múltiples beneficios y fácil acceso para el transporte en la comercialización de sus productos sin perder la calidad del mismo [1].

Conforme a esto, el gobierno nacional ha implementado diferentes regulaciones donde todas las empresas e instituciones productoras de envases deben acoplar, como lo es la resolución 1407 de 2018, donde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [2], requiere el cumplimiento para la disminución de residuos mal gestionados de los cuales conocemos como el papel, cartón, vidrio, plástico y metal. En cuanto se habla del reciclaje del poliestireno expandido, en Colombia en el año 2006 se estima que se descartaban 859.900 toneladas de plástico, solamente 240.520 toneladas son recicladas y de estas 500 pertenecen al poliestireno expandido, no obstante, el EPS es un material difícil de transportar, debido a su baja densidad y volumen, aumentando un costo considerable para su almacenamiento y transporte. Sin embargo, reciclar EPS es importante porque ayuda a reducir la cantidad que termina en los vertederos y reduce una considerable cantidad de energía necesaria para producir nuevos productos, se conocen de la existencia de entidades con iniciativas de reciclaje de EPS en Colombia, como la Alianza Internacional del Poliestireno Expandido (INEPSA), que realiza una labor para mejorar los estándares ambientales de reciclaje de la EPS [3].

Con esto poder analizar la adecuada selección y funcionamiento, dando a conocer a una industria que tiene bastante campo y un comercio asequible para poder utilizarlo y encontrar soluciones que ayuden una mitigación e impacto ambiental favorables.

1. OBJETIVOS

En este capítulo se presenta el objetivo general y los objetivos específicos para dar cumplimiento al estudio realizado.

1.1 Objetivo general

Evaluar el reciclado de poliestireno expandido mediante la disolución con solventes para aplicación como base de pintura a nivel laboratorio.

1.2 Objetivos específicos

- Seleccionar las materias primas del poliestireno expandido reciclado para las condiciones de proceso en la producción de resina de solventes orgánicos.
- Realizar la disolución con los diferentes solventes indicando sus propiedades fisicoquímicas del poliestireno expandido reciclado en la producción de resina.
- Evaluar el producto obtenido como disolvente orgánico para pintura de poliestireno expandido reciclado.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco legal

Resolución 1407 del 2018

Tiene como objetivo una reglamentación para realizar la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques tales como el papel, cartón, plástico, vidrio, metal en Colombia. Donde es obligación por parte de las empresas de presentar un plan de gestión sobre los empaques y envases dentro del territorio colombiano por parte de toda personal natural y jurídica, que haga una elaboración, ensamblé, manufactura, importe o pongan productos que integren este tipo de materiales [4].

Proyecto de ley 05 del 2017

El congreso de la república de Colombia realiza un proyecto de ley 05 del 2017, con el fin de prohibir la utilización de poliestireno expandido (icopor), en las diferentes actividades de comercio, con enfoque en la implementación del reciclaje de icopor y logrando buscar la reutilización del poliestireno expandido en los diferentes sectores, dando un nuevo producto o valor agregado [5].

2.2 Marco teórico

La selección de materia prima poliestireno expandido (también llamado Icopor en Colombia) como material para el proceso en la producción de una resina a partir de solventes orgánicos, desempeña un papel crucial como envase en las diferentes industrias, especialmente con el auge de la comercialización. En este contexto, se enfrenta al desafío de cumplir con las metas de aprovechamiento de residuos, que incluyen un objetivo anual del 10% hasta el año 2021 y un aumento adicional del 2% anual hasta 2029 dentro del territorio nacional [6]. A pesar de tener un ciclo de vida corto y ser de un solo uso, el EPS contribuye de manera significativa al volumen de residuos en los rellenos sanitarios en Colombia, representando el 13% de los plásticos desechados. Este problema se agrava por el hecho de que el EPS ocupa mayormente espacio debido a que está compuesto en un 98% por aire [7]. Así las cosas, al reciclar EPS se evidenció que el empaque de los productos químicos al momento de ser transportados, han presentado beneficios por cuanto se ha logrado transformar un nuevo producto como lo es la resina a partir del poliestireno expandido por lo que ello resulta ser provechoso dada las siguientes razones:

2.2.1 Reducción de residuos

Reutilizar el poliestireno expandido evita que termine en vertederos o incineradoras, lo que contribuye a la reducción de residuos plásticos y alivia la presión sobre los sistemas de eliminación de desechos [8]. Debido a que existen grandes cantidades, la separación de otros residuos es simple por su baja densidad y fácil identificación [9].

2.2.2 Reciclaje y sostenibilidad

La reutilización del poliestireno expandido como materia prima reduce la necesidad de producir más a partir de materias primas vírgenes, lo que puede ahorrar recursos naturales y energía [9]. La solubilización del EPS en diversos disolventes desempeña un papel crucial en el proceso de reciclaje del poliestireno, ofreciendo una alternativa distintiva en comparación con la incineración y el reciclado mecánico. Esta metodología no solo se destaca por ser la opción más económica, sino también por su menor impacto ambiental, constituyendo como una alternativa más sostenible y menos contaminante en la gestión de estos materiales [10].

2.2.3 Economía circular

La práctica de reciclar poliestireno expandido contribuye a la economía circular, en la que los materiales se mantienen en uso durante el mayor tiempo posible y se reciclan en lugar de ser desechados después de un solo uso [10]. La economía circular ha buscado simplificar y fortalecer los flujos de reciclaje del poliestireno expandido para garantizar que sean recuperados [11].

2.2.4 Ahorro de costos

Utilizar poliestireno expandido reciclado puede ser más económico en comparación con la adquisición de nuevo material. Esto puede reducir los costos de producción y, en algunos casos, ayudar a aumentar la rentabilidad [12].

2.2.5 Ahorro de recursos naturales

Al utilizar material reciclado en lugar de materias primas vírgenes, se ahorran recursos naturales como petróleo crudo, que es una de las materias primas para la producción de poliestireno expandido [13].

2.2.6 Beneficios medioambientales

La reducción de la producción mediante el uso de materias primas vírgenes contribuye a disminuir la huella de carbono y la demanda de recursos no renovables, generando beneficios ambientales significativos [13].

2.2.7 Viabilidad económica

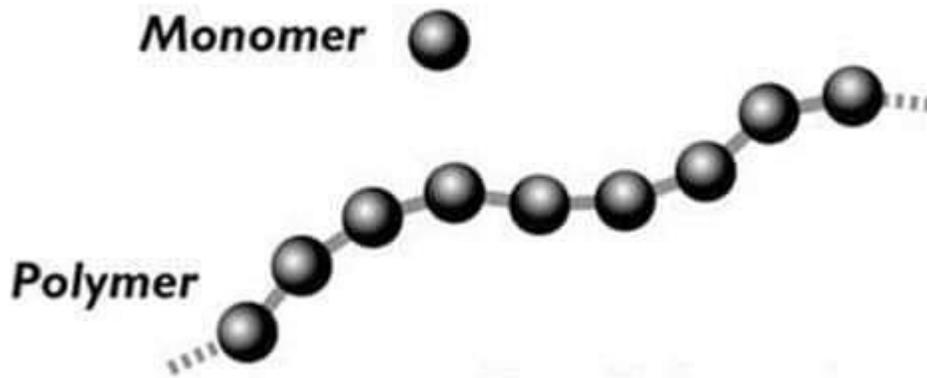
El uso del EPS puede ser económicamente viable, ya que puede reducir los costos de producción al aprovechar material reciclado en lugar de comprar materiales nuevos. Los criterios para utilizar poliestireno expandido reciclado para producir resina de poliestireno expandido es beneficioso tanto desde el punto de vista medioambiental como económico. Contribuye a la reducción de residuos, ahorra recursos, disminuye la huella de carbono y promueve la sostenibilidad a través de la economía circular [12].

2.3 Polímeros

Los polímeros se dieron a conocer por los antiguos griegos; y derivan la palabra como pol y meros, que significa respectivamente muchos y partes o segmentos. Un polímero está compuesto de grandes moléculas o macromoléculas formadas por la repetición de unidades más pequeñas llamados monómeros y constituidas por la unión de enlaces covalentes de uno o varias unidades simples de monómeros, estos enlaces covalentes contienen estabilidad a la estructura del polímero [14]. La estructura de un polímero se forma con la repetición de las unidades básicas llamadas monómero las cuales son una pequeña molécula que se une a otras para formar las cadenas de polímeros. Estas macromoléculas tienen propiedades mecánicas notables debido a las fuerzas de atracción entre sus cadenas, los polímeros se componen de unidades repetidas las cuales se llaman monómeros [15]. Estos se unen para formar cadenas largas y ramificadas, se tiene otra forma de estructura de cadena como redes poliméricas tridimensionales o en forma de escalera [16].

Figura 1

El polímero constituido de monómeros

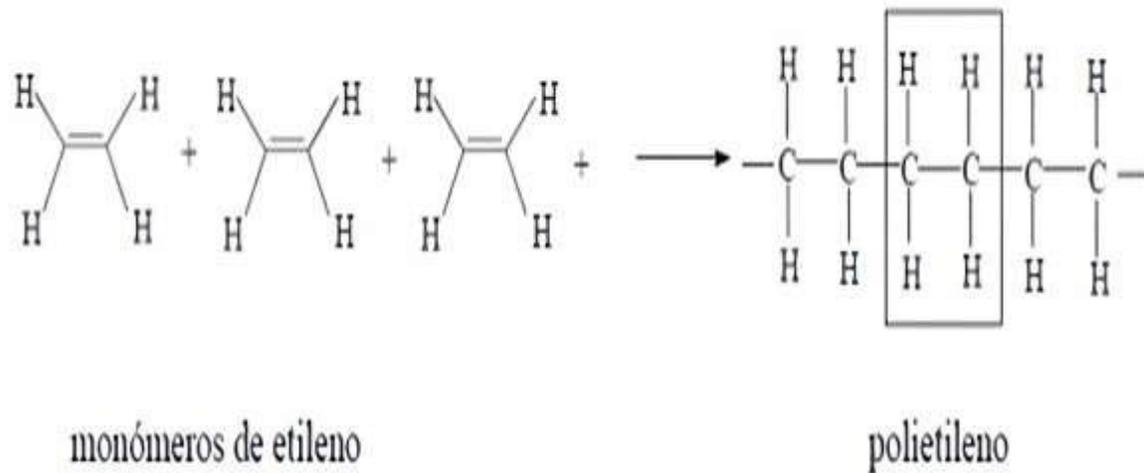


Nota. La figura representa la molécula de monómero antes de formar un polímero. Tomado de: L. D. Colombia, «Logan Drilling Colombia, » 2024. [En línea]. Available: <https://logandrillinggroup.com/colombia/polimeros/>. [Último acceso: 23 01 2024].

En una estructura lineal del polímero, los monómeros se enlazan unos tras otros en una cadena recta y sin ramificaciones laterales significativas [17]. La cadena lineal puede ser cortas o largas, depende de la cantidad de monómero unido. El polietileno es un ejemplo de un polímero con estructura lineal, donde los monómeros de etileno se enlazan repetidamente formando una cadena continua [18].

Figura 2

Estructura lineal del polietileno.

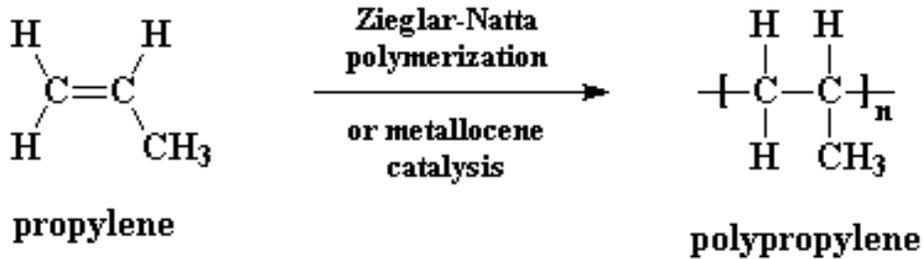


Nota. La figura representa la estructura lineal del polietileno a partir del monómero de etileno. Tomado de: «isomeros de ciencias de las naturalezas,» 2017. [En línea]. Available: <https://isomerosdelacienciasdelasnaturaleza.blogspot.com/p/polimeros.html>. [Último acceso: 23 01 2024].

En la estructura ramificada del polímero, se presenta cuando las unidades de monómeros están conectadas lateralmente creando ramificaciones en la cadena principal. El polipropileno es un ejemplo de un polímero con estructura ramificada [17].

Figura 3

Estructura ramificada de la polimerización del propileno con catalizadores Z/N y metalloceno.



Nota. La figura representa como el monómero de propileno se polimeriza de forma ramificada el polipropileno a partir de un catalizador. Tomado de: [En línea]. Available: <https://pslc.ws/spanish/pp.htm>. [Último acceso: 23 01 2024].

En las redes poliméricas tridimensionales, las cadenas poliméricas están unidas por enlaces covalentes, proporcionando mayor estabilidad y rigidez al polímero. Esto mejora sus propiedades mecánicas y resistencia térmica. Un ejemplo común es el caucho vulcanizado, donde la vulcanización forma enlaces cruzados entre cadenas, mejorando su durabilidad y aplicaciones, como neumáticos [19].

Los polímeros en escalera, o polímeros Inter penetrados, se crean cuando dos cadenas poliméricas diferentes se entrelazan y enlazan mediante varios tipos de enlaces, ya sea covalentes o fuerzas intermoleculares. Esta configuración única permite propiedades mejoradas, como una mayor resistencia mecánica o resistencia al calor, al combinar características de ambos polímeros individuales [19].

2.4 Clasificación de los polímeros

Los polímeros se pueden clasificar de diversas maneras según diferentes criterios o puede establecerse según el origen del polímero. Atendiendo a la composición de sus monómeros:

2.4.1 Polímeros naturales

Son macromoléculas que se encuentran en la naturaleza y desempeñan funciones vitales en organismos vivos. Algunos ejemplos de polímeros naturales son: Proteínas, polisacáridos (celulosa, almidón), ácidos nucleicos (ADN, ARN), la lana, la seda, el caucho natural [20].

2.4.2 Polímeros sintéticos

Son macromoléculas creadas artificialmente mediante procesos químicos controlados. Algunos ejemplos comunes de polímeros sintéticos son: Polietileno, polipropileno, PVC, poliestireno, policloruro de vinilo (PVC), politetrafluoroetileno (PTFE), polimetilmetacrilato (PMMA), poliamidas (Nylon), polietileno tereftalato (PET), los plásticos, el caucho sintético, las pinturas y recubrimientos, los adhesivos, los pegamentos, los materiales textiles sintéticos, las resinas endurecibles [21].

También se obtienen a partir de monómeros y catalizadores, para formar enormes cadenas de diferentes formas ramificadas [16].

Teniendo en cuenta la clasificación más aceptada se basa en el comportamiento térmico del polímero, como la termo-dependencia de sus propiedades (comportamiento y procesabilidad) [21].

2.4.3 Termoplásticos

Es un tipo de polímero que, cuando se calienta, se vuelve flexible y moldeable, permitiendo su conformación en diversas formas antes de enfriarse y solidificarse. Este comportamiento se debe a su estructura molecular única. Algunos ejemplos en común son: poliestireno (amorfo), polietileno (cristalino), bolsas de plástico, botellas, juguetes, textil y fibras textil [19].

2.4.4 Elastómeros

Son un tipo especializado de polímeros que exhiben propiedades elásticas significativas. A diferencia de los termoplásticos, los elastómeros pueden experimentar una deformación sustancial y luego regresar a su forma original cuando se elimina la fuerza aplicada. Algunos ejemplos son: caucho natural, neopreno y silicona [19].

2.4.5 Termoestables

Son un tipo de polímero que se caracteriza por su capacidad de retener su forma y resistir altas temperaturas después de un proceso irreversible llamado "curado" o "endurecimiento". A diferencia de los polímeros termoplásticos, los termoestables no se vuelven moldeables o maleables nuevamente cuando se calientan después de este proceso. Algunos ejemplos son: Resinas Epoxi, poliéster reforzado con fibra de vidrio, baquelita y resina de fenol-formaldehído [22].

2.5 Poliestireno expandido

El poliestireno Expandido (EPS) es un material polimérico ampliamente utilizado y conocido por su estructura, propiedad única o plásticos celulares y rígidos o espumados, que se deriva de la polimerización vinílica de radicales libres partiendo de monómero de estireno (líquido incoloro) para utilizar perlas pre expandidas rellenas de aire y con una estructura cerrada, con el fin de producir envases, juguetes y muchas otras aplicaciones. Este material es conocido también como Telgopor o Corcho Blanco [23].

Una de las características más notables del EPS es su ligereza, a pesar de su baja densidad, el poliestireno expandido puede exhibir una sorprendente resistencia a la compresión, lo que lo convierte en una opción provechosa. Su estructura celular también le confiere excelentes propiedades de aislamiento térmico, haciéndolo ideal para su uso en la industria de la construcción y de transporte de mercancías. Se utiliza comúnmente en la fabricación de bloques aislantes, paneles y sistemas de aislamiento para contribuir a la eficiencia energética de edificios y la protección de los productos o mercancía [23].

Además de sus aplicaciones en construcción, el poliestireno expandido se utiliza debido a su ligereza y capacidad de amortiguación. Se encuentra en envases y contenedores protectores para productos delicados y frágiles. También está presente en productos de consumo cotidiano, como tazas de café, envases de alimentos [24].

En términos de sostenibilidad, el EPS es reciclable, y es importante fomentar prácticas adecuadas de gestión de residuos para mitigar su impacto ambiental. A pesar de sus beneficios, el uso del poliestireno expandido ha sido objeto de debate debido a preocupaciones relacionadas con la contaminación por plásticos y su descomposición lenta. Esto ha llevado a la exploración de alternativas más sostenibles y a la adopción de prácticas de reciclaje más efectivas [25].

Figura 4

El embalaje de poliestireno expandido abunda como desecho



Nota. La figura representa como abunda el embalaje como desecho en protección de algún equipo, material o producto. Tomado de: «GREENCEL, » 06 05 2022. [En línea]. Available: <https://greencel.com.mx/usos-del-empaque-de-unicel-o-poliestireno>. [Último acceso: 23 01 2024].

2.6 Historia del poliestireno expandido

En el año 1831, el estireno, un líquido incoloro, fue aislado por primera vez de la corteza de un árbol. Aunque inicialmente se obtenía de fuentes naturales, en la actualidad, su producción se realiza principalmente a partir del petróleo [26].

Desde el descubrimiento del estireno a mediados del siglo XIX, números de investigadores exploraron la capacidad para convertir un sólido plástico [27]. Sin embargo, las primeras descripciones de del proceso como "endurecimientos" resultaron ser incorrectas, ya que se limitaron a experimentos de laboratorio sin lograr una aplicación práctica [28].

En 1920, el químico alemán Hermann Staudinger (1881-1965) logró sintetizar el poliestireno con el desarrollo de diferentes ensayos en el laboratorio [29], con el fin de explicar el fenómeno que se presenta mediante la teoría de la polimerización [30].

La producción del poliestireno por primera vez a nivel industrial fue en el año 1930, realizada por la firma BASF (Alemania) por iniciativa del Dr. F. Stastny, el cual desarrolló el primer producto de poliestireno expandible, de acuerdo con la marca de Styropor. Se utilizó como aislante de construcción en la planta de BASF, allí se desarrollaron descubrimientos y estudios de sus propiedades del producto y se evidenció que luego de 45 años quedan intactas [31].

En la década de 1990, las crecientes preocupaciones sobre la sostenibilidad y la gestión de residuos llevaron a un aumento en los esfuerzos para abordar estos problemas. La presión para desarrollar prácticas de reciclaje más efectivas y reducir el impacto ambiental de este material se intensificó, impulsando la investigación en alternativas más sostenibles [25].

En el siglo XXI, se ha observado el enfoque a la innovación y el desarrollo de formas más sostenibles de EPS. La comunidad científica y la industria han explorado activamente procesos de fabricación más eficientes que minimizan el uso de recursos y reducen las emisiones. Además, se han mejorado los métodos de reciclaje del EPS, buscando cerrar el ciclo de vida del material de manera más efectiva [32].

Los avances reflejan un compromiso creciente hacia la sostenibilidad ambiental en la producción y el uso del EPS, destacando la importancia de encontrar soluciones que equilibren las propiedades útiles del material con consideraciones ambientales y de gestión de residuos [33].

2.7 Obtención del poliestireno expandido

El proceso de obtención del Poliestireno Expandido (EPS), inicia con la materia prima de Poliestireno Expandible. Este material se transforma principalmente a través de dos procesos fundamentales. En primer lugar, la polimerización suspendida del estireno resulta en la formación de perlas esféricas que contienen un agente detonador. Este proceso implica varias etapas y permite el transporte de las perlas preformadas a un sitio de expansión final, donde se expandirán dentro de un molde mediante vapor [34].

El segundo proceso implica la incorporación del agente detonante durante la extrusión del Poliestireno común. Este enfoque es más frecuentemente empleado en la fabricación de EPS. A continuación, se describen las etapas clave del proceso [34].

2.7.1 Polimerización por suspensión

El monómero en fase dispersa, típicamente estireno, experimenta la polimerización en un medio acuoso. Se introduce un agente iniciador, soluble en aceite, en este medio. La dispersión del monómero se logra mediante la acción de un agitador dentro del reactor y la presencia de un estabilizador soluble en agua. Este conjunto de condiciones favorece la formación de pequeñas gotas sólidas de polímero, dando lugar al inicio del proceso de polimerización [34].

2.7.2 Preparación del reactor

La polimerización por suspensión se lleva a cabo en un reactor batch de camisa, equipado con un mezclador y comúnmente dos deflectores. El reactor se llena con monómero de estireno y agua, junto con los aditivos necesarios. Se calienta gradualmente para iniciar la reacción de polimerización [34].

2.7.3 Polimerización e impregnación

El proceso se subdivide en dos etapas cruciales: la primera se centra en la formación de las partículas de poliestireno expandido (EPS), mientras que la segunda se dedica a la impregnación del agente detonante. Estas etapas emplean diferentes iniciadores para lograr resultados específicos. Para la formación de partículas, se utiliza dibenzol peróxido a una temperatura aproximada de 90°C. En la etapa de impregnación, el iniciador empleado es Ter-butyl peroxibenzoato, y las temperaturas oscilan entre 115 a 130°C. Este enfoque diferenciado garantiza un control preciso de cada fase del proceso de producción de EPS [34].

2.7.4 Formación de partículas y estabilización

En el proceso de fabricación de EPS, las perlas comienzan a formarse en el reactor por la energía cinética generada de la agitación molecular. A medida que el proceso avanza, estas perlas aumentan de tamaño. Sin embargo, alcanzan una fase de inestabilidad denominada "fase pegajosa" debido a la carencia de un estabilizador en la suspensión. Esta fase destaca como un punto crítico en el desarrollo de las perlas de EPS durante la producción [34].

2.7.5 Perforado y maduración

En esta etapa, las partículas de EPS se calientan con vapor saturado, expandiendo el agente detonador y formando celdas esféricas. Se genera un vacío debido al pentano remanente. En la maduración, la perla se enfría para permitir la entrada de aire y equilibrar la presión, asegurando la formación controlada del EPS [34].

2.7.6 Espumado final

La versatilidad del Poliestireno Expandido radica en su fácil manejo. Las perlas preexpandidas pueden adoptar cualquier forma dentro de un molde, expandiéndose para alcanzar su volumen final de manera controlada [34].

2.8 Propiedades del poliestireno expandido

El poliestireno expandido presenta propiedades que lo hacen atractivo para diversos sectores. Entre las más destacadas son las siguientes [35]:

- Muy buen aislante térmico.
- Buen comportamiento mecánico a compresión y flexión [36].
- Los artículos y productos de EPS se caracterizan por ser ligeros o resistentes al agua y duraderos en degradarse, por su estructura que está compuesta del 95% de aire.
- El material tiene excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío.
- Se caracteriza por ser liviano y por la flotabilidad.
- Los EPS no son estables en productos químicos como ácidos concentrados, disolventes orgánicos, hidrocarburos alifáticos, aceite Diesel y carburantes.
- El poliestireno expandido está expuesto a temperaturas mayores a 100°C, el producto se contrae y si aumenta la temperatura se funde hasta lograr emitir gases inflamables.

Tabla 1*Propiedades físicas del poliestireno expandido*

PROPIEDADES	UNIDADES	RANGO
Densidad nominal	kg/ m ³	10 – 35
Densidad mínima	kg/ m ³	9 – 31.5
Espesor mínimo	Mm	50 – 20
Conductividad térmica λ (10°C)	mW/(mK)	46 – 33
Tensión por compresión con deformación al 10%	KPa	30 -250
Resistencia permanente a la compresión con una deformación del 2%	KPa	15 – 70
Resistencia a la flexión	KPa	50 – 375
Resistencia al cizallamiento	KPa	25 – 184
Resistencia a la tracción	KPa	<100 – 580
Módulo de elasticidad	MPa	<1,5 – 10,8
Indeformabilidad al calor instantánea	°C	100
Indeformabilidad al calor duradera con 20.000 N/m ²	°C	80
Coefficiente de dilatación térmica lineal	1/k(xE-5)	5 – 7
Capacidad térmica específica	J/(kg K)	1210
Clase de reacción al fuego		M1 ò M4
Absorción de agua en condiciones de Inmersión	% (vol.)	0,5 – 1,5
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 28 días	% (vol.)	1- 3

Nota. Esta tabla muestra las propiedades físicas del poliestireno expandido teniendo en cuenta las unidades y los rangos que puede estar. Tomado de: D. M. E. A. F. C. Montoya, «repository,» 2013. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.eia.edu.co/server/api/content/bitstreams/ef4f0264-c2b6-41cb-803b-4fdeae3456ca/content. [Último acceso: 22 01 2024].

En las propiedades biológicas, el Poliestireno Expandido (EPS) destaca por su resistencia a los microorganismos y su durabilidad. No sirve de sustrato nutritivo, siendo imputrescible y resistente al moho y descomposición. Aunque puede transportar microorganismos en ambientes muy sucios, no participa en procesos biológicos ni se ve afectado por bacterias del suelo. Los productos de EPS

cumplen normativas sanitarias de las regulaciones vigentes, tales como reglamento (CE) No.1935/2014 y reglamento (UE) No.1616/2022 para uso seguro en empaques alimenticios [37]. Además, no genera impacto ambiental negativo y puede gestionarse mediante residuos domésticos o incineración. Mantiene su estabilidad dimensional hasta los 85°C, sin descomponerse ni liberar gases nocivos [38].

2.9 Aplicaciones del poliestireno expandido

El poliestireno expandido (EPS), debido a su versatilidad y facilidad de conformado, junto con sus excelentes cualidades y propiedades, encuentra una amplia variedad de aplicaciones en distintos sectores:

Envasado de alimentos: se utiliza láminas para producir artículos como bandejas, empaques de productos alimenticios como frutas y verduras, con el fin de conservar los alimentos y prevenir la condensación en el tiempo de la cadena de distribución, también previene el crecimiento de hongos, bacterias y microorganismos [39].

Aislamiento Térmico en casas o edificios: reduce el consumo de energía y mejora la calidad del aire [39].

Embalaje industrial: el material es el adecuado para la protección, almacenamiento y seguridad a la exposición del transporte y manipulación, teniendo en cuenta los golpes o impactos de los equipos electrónicos, equipos delicados, componentes electrónicos, farmacia, perfumería, cosmética, jardinería, muebles, herramientas, maquinaria, juguetes y productos alimenticios [39].

Otras aplicaciones: el poliestireno expandido se utiliza en las sillas de autos para bebés, asientos de coches deportivos, cascos deportivos, chaleco salvavidas y aislamiento de carga estructural [39].

2.10 Problemática del poliestireno expandido

Los residuos poliméricos, especialmente el EPS, contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, generando alrededor de 2.000 millones de toneladas de dióxido de carbono al año [40]. Además, se enfatiza que el EPS es perjudicial para el medio ambiente debido a su naturaleza inerte, ya que no se degrada bajo condiciones naturales. Su presencia en entornos acuáticos plantea riesgos, ya que los animales pueden ingerirlo, lo que lleva a problemas digestivos y, en última instancia, a la muerte por inanición [40].

A pesar de su abundancia y facilidad de reciclaje, solo se recupera aproximadamente el 12% [40]. La presencia de dioxinas en el EPS expandido también puede afectar la salud humana. Ante estos problemas, se exploran diversas alternativas de reciclaje, como el tratamiento primario, secundario, terciario y cuaternario, cada uno con sus propias implicaciones ambientales. Se analiza comparativamente el impacto ambiental de estas técnicas de reciclaje, destacando aquellas con menor impacto [40].

2.11 Disolventes orgánicos

Los disolventes orgánicos son compuestos orgánicos volátiles o sustancias a base de carbono que pueden disolver una o más sustancias (soluto) química para formar un sistema homogéneo compuesto. Los disolventes orgánicos utilizados como agentes de limpieza, para modificar la viscosidad, como plastificante o como agente tensoactivo, y se utilizan en pinturas, barnices, lacas, adhesivos, en productos de limpieza y desengrasados, en producción de tintes, polímeros, plásticos, textil, tintas de impresión, productos agrícolas y farmacéuticos [41].

Tabla 2*Clasificación de los disolventes más utilizados*

CLASES DE DISOLVENTES	EJEMPLOS DE LOS DISOLVENTES MÁS UTILIZADOS
Hidrocarburos Alifáticos	Pentano, hexano, heptano, decano
Hidrocarburos alicíclicos	Ciclohexano, metilciclohexano, (alfa-Pineno)
Hidrocarburos aromáticos	Benceno, tolueno, xileno, etilbenceno, estireno
Hidrocarburos halogenados	Cloruro de metileno, cloroformo, tricloroetileno, tetracloruro de carbono, 1,2-dicloroetano, freones, 1,1,1-tricloroetano, tetracloroetileno.
Alcoholes	Metanol, etanol, i-propanol, butanol.
Glicoles	Etilenglicol, dietilenglicol.
Éteres	2-metoxietanol, etoxietanol, butoxietanol, p-dioxano.
Esteres	Acetato de metilo, acetato de etilo, acetato de i-propilo, acetato de n-butilo, acetato de i-butilo, acetato de 2-etoxietilo, metacrilato de metilo.
Cetona	Acetona, butanona-2, 4-Metil-pentanona-2, hexanona-2, ciclohexanona.
Otros	Nitroparafinas, disulfuro de carbono.

Nota. Esta tabla muestra la clasificación de los disolventes que se tiene en el mercado comercial. Tomado de: A. y. S. Instituto Sindical de Trabajo, «PROYECTO Fittema – Antena de transferencia de tecnología – Disolventes,» [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://istas.net/descargas/Doc%20de%20FITTEMA%20-%20DISOLVENTES.pdf. [Último acceso: 17 09 2023].

2.12 Acetona

La acetona es un compuesto químico orgánico con formula química $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$. Es un líquido incoloro con distinto olor y sabor, el cual se evapora muy fácilmente, es un producto inflamable y presenta buena solubilidad en agua. Es una sustancia que se encuentra naturalmente en el medio ambiente y también se produce naturalmente en el cuerpo humano por medio del metabolismo de

grasas, otra forma de producir es sintéticamente a partir de diferentes procesos químicos como el proceso de hidrólisis en medio ácido del hidroperóxido de cumeno y el otro proceso es mediante la deshidrogenación catalítica del alcohol isopropílico [42].

Tabla 3

Propiedades físicas de la acetona.

PROPIEDAD	VALOR
Peso Molecular (g/mol)	58,08
Punto de ebullición (°C) (760 mmHg)	56,2; 760 mmHg
Punto de fusión (°C)	-94,6
Presión de vapor (mmHg)	181,72; 20 °C 231,05; 25 °C
Gravedad específica (Agua=1)	0,78998; 20 °C 0,78440; 25 °C 0,78003; 30 °C
Densidad del vapor (Aire=1)	2,0
Velocidad de evaporación (Acetato de butilo=1)	No reportado
Ph	2,5
Solubilidad en agua	Miscible; 20 °C
Log Kow	-0,24
Log Koc	0,73
Límites de inflamabilidad (%vol)	2,15 – 13; 25 °C
Temperatura de auto ignición (°C)	465
Punto de inflamación (°C)	-9; copa abierta -18; copa cerrada

Nota. Esta tabla presenta las propiedades físico químicas de la acetona teniendo en cuenta el valor reportado. Tomado de: D. Piñeres, 11 2019. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/434974412/Acetona>. [Último acceso: 22 01 2024].

2.13 Aplicación de la acetona

La acetona se usa en diferentes industrias debido a su propiedad muy versátil. Las aplicaciones por cada industria son:

Cosmético: uso de eliminación del esmalte en las uñas y se utiliza como ingrediente en productos para el cuidado de la piel y el cabello [42].

Industria química: se utiliza como disolvente de otras sustancias en la industria química y como materia prima Se utiliza para la producción de plásticos, fibras y medicamentos [43].

Construcción: se utiliza principalmente como disolvente en pinturas y resinas, también se puede utilizar como limpieza de las herramientas y superficies [42].

Industria alimentaria: se utiliza como disolventes en la producción de aditivos alimentarios y como edulcorante y agente de recubrimiento [42].

Industria textil: se utiliza como disolvente en la producción de tintes, y se usa para eliminar las manchas de tejidos y limpiar maquinaria de la industria textil [42].

2.14 Thinner

El thinner se conoce como diluyente, disolvente o diluyente, y como adelgazador o rebajador de pinturas. Es una mezcla de disolventes de naturaleza orgánica derivado del petróleo que conduce como un agente de dilución de sustancias no solubles en agua, como la pintura, los aceites y las grasas [44].

Está compuesto por un solvente activo, un cosolvente y un diluyente, las sustancias presentan una función en particular. El solvente activo es el que tendrá un efecto directo sobre lo que se está disolviendo, el cosolvente potenciará el efecto del solvente activo y el diluyente dará volumen al compuesto. Tiene como solvente principal al tolueno, como cosolvente al benceno y como diluyente a una serie de solventes, sustancias todas ellas tóxicas para el hombre [45].

Tabla 4

Principales componentes del thinner

SUSTANCIA	PORCENTAJE
Tolueno	5 – 50 %
Alcohol metílico	15 – 50 %
Cetonas	5 – 40 %
Hexano	5 – 30 %
Alcoholes	5 – 40 %
Xileno	5 – 20 %
Ésteres	3 – 50 %
Las cantidades varían según el producto deseado.	

Nota. Esta tabla muestra las principales componentes del thinner teniendo en cuenta el porcentaje para cada sustancia. Tomado de: «Corporativo químico global,» [En línea]. Available: <https://quimicoglobal.mx/745/>. [Último acceso: 17 09 2023].

Tabla 5

Propiedades fisicoquímicas del thinner

PROPIEDAD	VALOR
Estado fisico	Liquido
Aspecto	Aceitoso
Color	Incoloro
Olor	Característico
Temperatura de ebullición	98 °C
Temperatura de autoignición	480 °C
Solubilidad en agua	Parcialmente insoluble
Densidad relativa (kg/m ³)	0,79 – 0,83
Porcentaje de volatilidad por volumen	100
Gravedad	0,9
Porcentaje Presión vapor	9

Nota. Esta tabla muestra las propiedades fisicoquímicas del thinner teniendo en cuenta el valor reportado. Tomado de: «Bonnet,» 11 11 2013. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/372167262/Hoja-de-Seguridad-THINNER>. [Último acceso: 22 01 2024].

2.15 Aplicaciones del thinner

El thinner tiene diferentes usos o aplicaciones

2.15.1 Desengrasar y limpiar

Se usa para limpieza de las herramientas empleadas y remoción de manchas de grasa o aceite del lugar de trabajo cuando se ensucian con productos base solventes [46].

2.15.2 Diluir y ajustar la viscosidad de pinturas y barnices

Es utilizado con el fin de reducir la viscosidad de la pintura y barnices para disminuir costos y controlar la velocidad de evaporación, y el diluyente permita ajustar la consistencia, así tener un terminado deseado en productos base solventes [46].

2.15.3 Remover pinturas, lacas o barnices previamente aplicados

Para reparación o renovación de trabajos, teniendo en cuenta si el material es base solvente se utiliza un removedor de pinturas [46].

2.15.4 Thinner para fabricación de pinturas, esmaltes, tintas o para pintado de bienes de consumo

Es utilizado en la formulación de esmaltes, adhesivos, selladores, barnices, tintes y lacas [46].

2.16 Etanol

El etanol o alcohol etílico, es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro, volátil, con un olor etéreo muy penetrante, similar al ácido acético y es muy inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. Al mezclar con agua es muy miscible en diferentes proporciones, con una concentración de 96% en peso presenta una mezcla azeotrópica. El alcohol etílico es un compuesto químico alifático con un grupo funcional hidroxilo y forma parte de la familia de los alcoholes de fórmula C_2H_6O [47].

2.17 Toxicidad de los solventes

Los solventes orgánicos pueden llegar a ser tóxicos para los seres humanos y el medio ambiente, dependiendo de su composición química y la cantidad que se utilice. La toxicidad de un solvente aumenta con la exposición prolongada, por lo que es necesario contar con medidas de protección y bioseguridad [48].

El grado de exposición puede reducir, o incluso destruir, las funciones de las células nerviosas, alterar la función renal, hepática y de la médula ósea, entre otros efectos. Otra vía de ingreso a nuestro organismo puede ser a través de la piel [48].

Los efectos de los solventes en la salud varían según la sustancia, la dosis y la duración de la exposición. Los efectos agudos incluyen irritación en la piel, los ojos y las vías respiratorias, mareos, náuseas, dolores de cabeza y pérdida de conocimiento. La exposición crónica puede causar daño a órganos internos como el hígado, los riñones y el sistema nervioso, y aumentar el riesgo de Cáncer en algunos casos [49].

2.18 Características de las resinas para pinturas

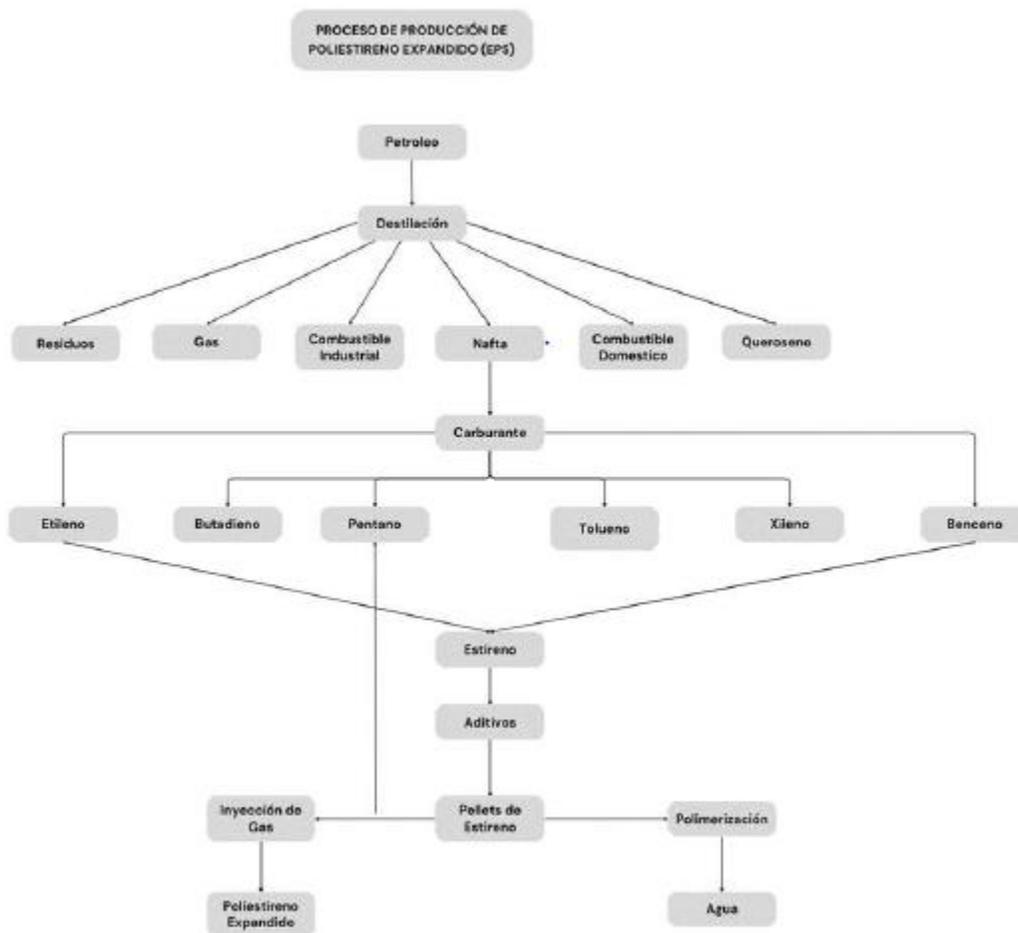
La resina utilizada en la industria se caracteriza para determinar la calidad de la pintura. Algunas de las características de las resinas para pintura son las siguientes [50]:

- Dureza: Resistencia al desgaste durante un período prolongado [50].
- Brillo: Presencia de brillo en la película de la pintura [50].
- Cualidades adhesivas: Capacidad de adherirse a la superficie que se pinta [50].
- Resistencia al calor: Resistencia a altas temperaturas [50].

2.19 Diagrama del proceso de obtención del EPS

Figura 5

Proceso de Obtención del EPS.



Nota. La figura indica el proceso adecuado para la producción de poliestireno expandido.

En la figura número 5 se evidencia el proceso de producción de poliestireno expandido el cual se deriva del petróleo que es su materia prima, este al pasar por un proceso de destilación donde

ocurre por volatilidad la separación de los compuestos obteniéndose residuos, gas, combustible industrial, nafta, combustible doméstico y queroseno.

Para el mencionado proceso se requiere de la mezcla de la nafta y del carburante donde se obtienen diferentes propiedades como el etileno, butadieno, pentano, tolueno, xileno y benceno, siendo necesaria la utilización del etileno y benceno para la formación de un hidrocarburo estireno pasando por un proceso de aditivos y posteriormente pasar hacia los pellets de estireno, el cual es un modificador y allí ocurren dos separaciones, la primera de polimerización de la que se obtiene agua y la segunda es una inyección de gas donde mediante dicho proceso se inserta al pentano, para luego de agregar gas lograr la obtención del poliestireno expandido.

3. METODOLOGÍA

En el siguiente capítulo, se llevó a cabo el desarrollo de diferentes especificaciones del proceso de la evaluación del EPS reciclado mediante un proceso de disolución con el solvente de etanol, acetona y thinner. A propósito de este enfoque es obtener resina de EPS y estudiar las diferentes capacidades que se lograron identificar, considerado el proceso más indicado para realizarlo.

Como primer paso para realización del proceso, se inició con una selección detallada de la materia prima disponible, enfocándose en el EPS reciclado. Se llevó a cabo una investigación en dos empresas distintas con el objetivo de conocer el tipo del poliestireno, el uso o manejo que le dan, las condiciones y las diferencias del material. Con esta información se busca implementar la reutilización de la materia prima, que de otro modo sería desechada [51].

Luego, inició una selección detallada del EPS reciclado. Para llevar a cabo este proceso, se establecieron criterios para determinar qué tipo de material sería óptimo. Se compararon los dos tipos de poliestirenos hallados y que pueden ser utilizados para el mismo propósito: poliestireno rígido y poliestireno de espuma rígida. Estos dos tipos pueden variar según la cantidad de gas y proceso de fabricación que marca la diferencia por su tipo de textura. El EPS se caracteriza por la formación de pequeñas esferas con una medida aproximada de 5 mm que se compactan entre sí, para adaptarse a los empaque o dimensiones tipo plancha y su usualmente es de color blanco [52].

Por su lado, el poliestireno de espuma rígida o XPS se encuentran en formatos más rígidos, menos espesores y de diferentes tipos de colores [52].

Tabla 6*Selección de EPS en dos empresas*

Criterios del EPS	Empresa de fragancias	Empresa de medicamentos
Tipo de poliestireno	Poliestireno rígido.	Poliestireno de espuma rígida.
Manejo o uso	Se utiliza en aplicaciones de embalaje (protección de algún producto o material) [53].	Se utiliza para la protección de los medicamentos delicados [53].
Condiciones	Se encuentra libre de contaminación.	Se encuentra libre de contaminación.
Diferencia	Se forman pequeñas esferas. Tienen formatos adaptados a los empaques o dimensiones tipo plancha y usualmente se encuentran en color blanco [52].	Se sabe que se encuentran en formatos más rígidos, menos espesores y de diferentes tipos de colores [52].
Beneficios	Material Inocuo. No tiene un proceso de descomposición. Baja densidad [54].	Material Inocuo. Células cubiertas logrando una eficiente impermeabilidad. Aislante térmico. Mayor densidad [54].

Nota. Esta tabla muestra la comparación de dos empresas que manejan poliestireno en su proceso, buscando la elección de la materia prima.

Se analizan las especificaciones de cada tipo: en la selección de cuál sería el más adecuado para este proceso, se sabe que ambos cuentan con poliestireno en sus composiciones químicas y físicas. Sin embargo, el XPS, debido a su mayor densidad y la presencia de células cubiertas, evita la incorporación de líquidos como el agua, convirtiéndolo en un excelente aislante térmico y adecuado para ciertos tipos de industrias. Por otro lado, el EPS, permite el paso de líquidos debido a su tipo de uso. Es un material inocuo que no experimenta un proceso de descomposición, siendo ampliamente utilizado en la mayoría de los tipos de industria [55].

Con base en la información presentada en la tabla 6, se seleccionó como materia prima el EPS proveniente de los residuos de embalaje de la empresa de fragancias, con el fin de reducir la acumulación mensual de este. Para algunas empresas, este material se utiliza de un solo uso para proporcionar protección a los productos durante su transporte y distribución, lo que dificulta la recolección y reciclaje. En muchos lugares la recolección puede ser limitada, debido a que el material es voluminoso y ligero dificultando su manejo y transporte para el reciclaje. Por ese motivo, a menudo resulta más fácil y conveniente para las empresas desecharlo en lugar de reciclarlo [52].

Durante la selección del residuo EPS, se debe revisar que esté libre de residuos de contaminantes de cualquier producto. La presencia de impurezas puede reducir la calidad del material reciclado y dificultar su procesamiento [53].

Finalmente se revisa que la calidad del poliestireno expandido sea de densidad baja, ya que presenta mayor resistencia mecánica, para la fabricación de producto de resina a partir del residuo EPS, lo que facilita su aprovechamiento [54].

3.1 Recolección de muestras de solventes acetona, etanol y thinner

Los solventes que se requieren para llevar a cabo las pruebas de obtención de resina a partir de solventes orgánicos reactivos de laboratorio, que presenta polaridad para disolver y pureza del solvente disponible, son: acetona al 99,5% de pureza con un punto de ebullición de 56,3 °C, índice de polaridad de 5,4 y una viscosidad 0,32 cP a 20 °C, etanol al 96% de pureza con un punto de ebullición de 78,3 °C, índice de polaridad de 5,2 y una viscosidad de 1,2 cP a 20 °C [56].

Finalmente, solvente thinner extrafino, del punto de venta Pinturas Súper, presenta un rango de pureza del 90% y con un punto de ebullición de 136 °C, según la formulación del fabricante y cumpliendo con la Norma Técnica Colombiana NTC 1102, manteniendo un máximo del 15% de metanol dentro de su composición [57].

Estos solventes utilizados en las propiedades del EPS presentan la propiedad de disolver o de contraer [58].

3.2 Proceso de pruebas con relación de formulación 1:3,33, 1:6,66, 2:10

Se realizaron pruebas de solubilidad establecidas con unas cantidades específicas de 22,5 g de poliestireno expandido reciclado por cada 75 g de solvente orgánico. Todo se llevó a cabo con una

relación de formulación química que indica la proporción de los dos componentes en una mezcla o compuesto de (1:3,33) 22,5 g de soluto y 75 gramos de solvente, (1:6,66) 22,5 g de soluto y 150 g de solvente y (2:10) 45 g soluto y 225 g de solvente. Cada ensayo se realizó para cada solvente, siguiendo las especificaciones de formulación [59].

La selección de las tres relaciones de formulación se tiene en cuenta por los buenos resultados de secado y escurrimiento de la resina en trabajo de investigación "resina a base de poliestireno expandido reciclado" [59].

3.3 Proceso de agitación

Se realizó un proceso de agitación respectiva con un agitador mecánico establecido a una velocidad de 200 RPM que utilizan un aspa de agitación de paletas. Con esto se logra una medición de tiempo de solubilidad [60].

La influencia de la agitación mecánica favorece la dispersión y la mezcla de los componentes de la disolución, teniendo la velocidad de 200 RPM con el tipo de aspa de agitación de paletas se selecciona para lograr una mezcla efectiva. Este proceso puede acelerar la solubilidad de la superficie de contacto entre el poliestireno expandido y el solvente [60].

La medición del tiempo de la solubilidad es relacionada con el periodo que transcurre desde el inicio del proceso de agitación hasta el punto en que el poliestireno expandido se disuelve completamente en el solvente. Se registró un tiempo en cada solvente por medio del proceso de agitación para los ensayos estándar de 20 minutos en agitación y solubilidad. El tiempo de solubilidad puede ser un indicador de la eficiencia del proceso de disolución. Un tiempo de solubilidad más corto podría indicar una mayor eficiencia en la dispersión y disolución de los componentes [61].

3.4 Temperatura establecida en la plancha de calentamiento

El tiempo de calentamiento es un estándar de 20 minutos desde el inicio de la agitación de la disolución en el proceso de obtención de resina a partir de poliestireno expandido reciclado. La temperatura a 25°C está vinculada a la estandarización y el control de las condiciones experimentales, con el objetivo de mantener constante y estable a lo largo del proceso experimental, asegurando resultados consistentes y reproducibles [62].

La temperatura 25 °C es comúnmente utilizada como punto de referencia para las condiciones ambientales. A menudo esta temperatura es considerada como una condición estándar para la cual se comparan y evalúan diversos experimentos [63]. Facilitando la comparación de resultados significativos para la disolver del EPS en solventes orgánicos la baja temperatura de disolución, alta solubilidad y corto tiempo de disolución [64].

3.5 Disolución de los solventes indicando sus propiedades fisicoquímicas

Se realizó una disolución con los diferentes solventes, para indicar las propiedades fisicoquímicas del poliestireno expandido reciclado durante el camino a la producción de la resina, estableciendo ciertos procesos para realizar el proceso adecuado [59].

3.5.1 Pre experimentación

La pre experimentación de la disolución del poliestireno expandido reciclado en diferentes solventes son: etanol, acetona y thinner. Estos solventes son utilizados para disolver el poliestireno expandido con el fin de evaluar la solubilidad y determinar el más adecuado en el proceso de obtención de la resina, empleando una muestra de 22,5 g de EPS y 75 g de solvente orgánico. El EPS que se utiliza es de baja densidad, debido a que presenta mayor facilidad de procesar y conformar nuevos proyectos. Se tiene en cuenta las relaciones de formulación de (1:3,33) 22,5 g de soluto y 75 gramos de solvente, (1:6,66) 22,5 g de soluto y 150 g de solvente y (2:10) 45 g soluto y 225 g de solvente para cada ensayo, obteniendo resina a partir de poliestireno expandido para su evaluación. Para la experimentación que se realizó se tuvo en cuenta las condiciones de la investigación de la resina a base de poliestireno expandido reciclado [59].

3.5.2 Preparación de muestra

Para la disolución en los solventes orgánicos a utilizar, se prepararon muestras del poliestireno expandido reciclado en un tamaño y forma adecuadas (partes pequeñas), libres de contaminantes o residuos que pueden afectar los resultados. Las muestras usadas son representativas del material que se utilizará en la producción de resina, fueron seleccionadas por medio del método de muestreo aleatorio. [65].

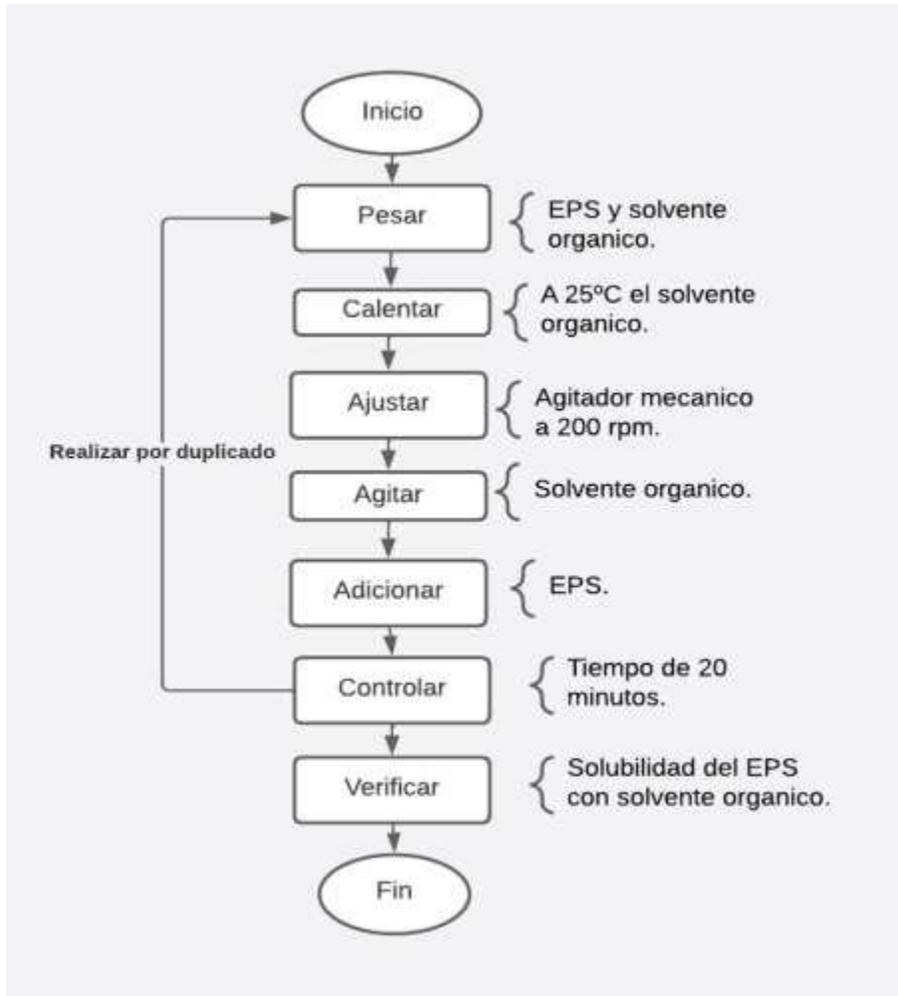
3.5.3 Realización de ensayos de disolución

Las muestras del poliestireno expandido reciclado son sumergidas en cada uno de los solventes seleccionados con las cantidades requeridas para cada ensayo y se registra el tiempo necesario para

que se disuelvan completamente. Es importante observar los cambios en la apariencia o propiedades del material que surjan durante la disolución [6].

Figura 6

Proceso de Disolución del EPS.



Nota. La figura representa el proceso de la disolución del EPS con el solvente orgánico

La figura 6 presenta el proceso de disolución en duplicado del EPS con el solvente orgánico, teniendo en cuenta la temperatura, la velocidad y el tiempo, para verificar la solubilidad del ensayo dependiendo de la relación de formulación.

3.6 Caracterización del poliestireno expandido (EPS)

Para la caracterización fisicoquímica del poliestireno expandido, se realiza la consulta en la página ECOTEC (EPS construction Technologies) [66]. Mediante la identificación de las distintas

propiedades se determina como actúa las sustancias químicas al contacto con el poliestireno expandido, y se tiene en cuenta el comportamiento del calor y frío del EPS apreciando diferentes variables. Observando cómo algunas sustancias químicas disuelven el poliestireno expandido de una forma rápida y en otras no presentan ningún tipo de relevancia al contacto esas sustancias.

Tabla 7

Estabilidad del EPS contra productos químicos

Sustancias Activa	Estabilidad
Solución salina / Agua de mar.	Estable: el EPS no se destruye por exposición prolongada.
Soluciones Jabonosas y humectantes.	Estables: el EPS no se destruye por exposición prolongada.
Hipoclorito, agua de cloro, solución de peróxido de hidrógeno.	Estable: el EPS no se destruye por exposición prolongada.
Ácidos diluidos	Estable: el EPS no se destruye por exposición prolongada.
Ácido clorhídrico (al 35%). Ácido nítrico (al 50%)	Estable: el EPS no se destruye por exposición prolongada.
Ácidos anhídridos, por ejemplo, ácido sulfúrico fumante, ácido acético glacial, ácido fórmico al 100%	Estable: el EPS se contrae y se disuelve de forma rápida.
Sosa cáustica, potasa cáustica, agua amoniacal.	Estable: el EPS no se destruye por exposición prolongada.
Disolventes orgánicos (acetona, acetato de etilo, benceno, xileno, diluyente de barnices, esteres tricloroetileno)	No estable: el EPS se contrae y se disuelve de forma rápida.
Hidrocarburos alifáticos saturados, bencina medicinal.	Relativamente estable: el EPS puede contraerse o verse agredida en el caso de exposición prolongada.
Aceite de parafina, vaselina	Relativamente estable: el EPS puede contraerse o verse agredida en el caso de exposición prolongada.
Combustible diésel	Relativamente estable: el EPS puede contraerse o verse agredida en el caso de exposición prolongada.
Combustible para motores de gasolina (normal y súper)	No estable: el EPS se contrae y se disuelve de forma rápida.
Carburantes	No estable: El EPS se contrae o se disuelve.
Alcoholes (metanol, etanol)	Estable: El EPS no se destruye con una acción prolongada.
Aceite de silicona	Estable: El EPS no se destruye con una acción prolongada.

Nota. Esta tabla muestra la estabilidad química del poliestireno expandido según en cada sustancia actúa frente al EPS. Tomado de: ECOTEC, «ECOTEC (EPS construction Technologies),» 2017. [En línea]. Available: <https://ecotecpanama.com/wp-content/uploads/2017/10/eps-propiedades-fisicas.pdf>. [Último acceso: 18 11 2023].

3.7 Aspectos de apariencia de las resinas de poliestireno expandido después de la disolución

Tras obtener resina a partir del poliestireno expandido reciclado, se examinan la apariencia del sistema acuoso. Se observó que el color de la resina puede cambiar en función de la formulación utilizada durante la fabricación. En este caso, se emplean materias primas de tonalidades claras, ya que el poliestireno expandido tiene un color blanco y el solvente es translúcido, de este modo se obtiene una resina de color transparente o incoloro.

3.8 Análisis del contenido de sólidos

Se realizó la toma de muestras de sólidos que fueron obtenidos en los ensayos previamente realizados, con el fin de dar a conocer el porcentaje de sólidos en la aplicación de la resina. Lo anterior se realiza mediante un horno de laboratorio, el cual debe tener una temperatura de 150 °C por un lapso de 15 minutos.

Se realizó la prueba de determinación de porcentaje de sólidos de los ensayos de la resina [67]. Los ensayos de obtención de resina a partir de poliestireno expandido de los diferentes solventes orgánicos (etanol, acetona y thinner), del cual solo el solvente de acetona logro obtener una disolución optima de la resina. Se le realiza la prueba de porcentaje de sólidos de los ensayos, utilizando una balanza analítica instrumento para medir con alta precisión la masa de la sustancia. En este caso se realizó el primer peso de cada papel de aluminio doblado en tres partes para esparcir la resina en la parte central, de cada ensayo en acetona [68].

Luego de realizar el esparcimiento de resina en el papel aluminio, se dobló nuevamente en tres partes y se lleva a cabo el segundo peso antes de ingresar al horno las muestras y después se ingresan.

El horno se emplea para eliminar el solvente presente en las muestras a evaluar. Esta herramienta, provoca la evaporación de los solventes (acetona), manteniendo una temperatura constante de 150 °C durante un periodo de 15 minutos. Una vez transcurrido el tiempo de secado, se retiraron las muestras y posteriormente se realizó el tercer peso, para determinar el porcentaje de solidos teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$\text{PORCENTAJE DE SÓLIDOS} = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_3 - M_1} \right) \times 100\%$$

Ecuación 1. Porcentaje de sólidos. Tomado de: M. T. Matheus, «University of Carabobo,» [En línea]. Available:

[https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fportal.facyt.uc.edu.ve%2Fpasantias%2Finformes%2FP59112336.pdf&psig=AOvVaw0v4D0J7Iw78nCoC-](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fportal.facyt.uc.edu.ve%2Fpasantias%2Finformes%2FP59112336.pdf&psig=AOvVaw0v4D0J7Iw78nCoC-8jo9P4&ust=1706570166055000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAgQrpoMahcKEwiAyPq0m4GEAxUAAAAAHQAAAAAQBA)

[8jo9P4&ust=1706570166055000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAgQrpoMahcKEwiAyPq0m4GEAxUAAAAAHQAAAAAQBA](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fportal.facyt.uc.edu.ve%2Fpasantias%2Finformes%2FP59112336.pdf&psig=AOvVaw0v4D0J7Iw78nCoC-8jo9P4&ust=1706570166055000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAgQrpoMahcKEwiAyPq0m4GEAxUAAAAAHQAAAAAQBA). [Último acceso: 26 01 2024].

DONDE

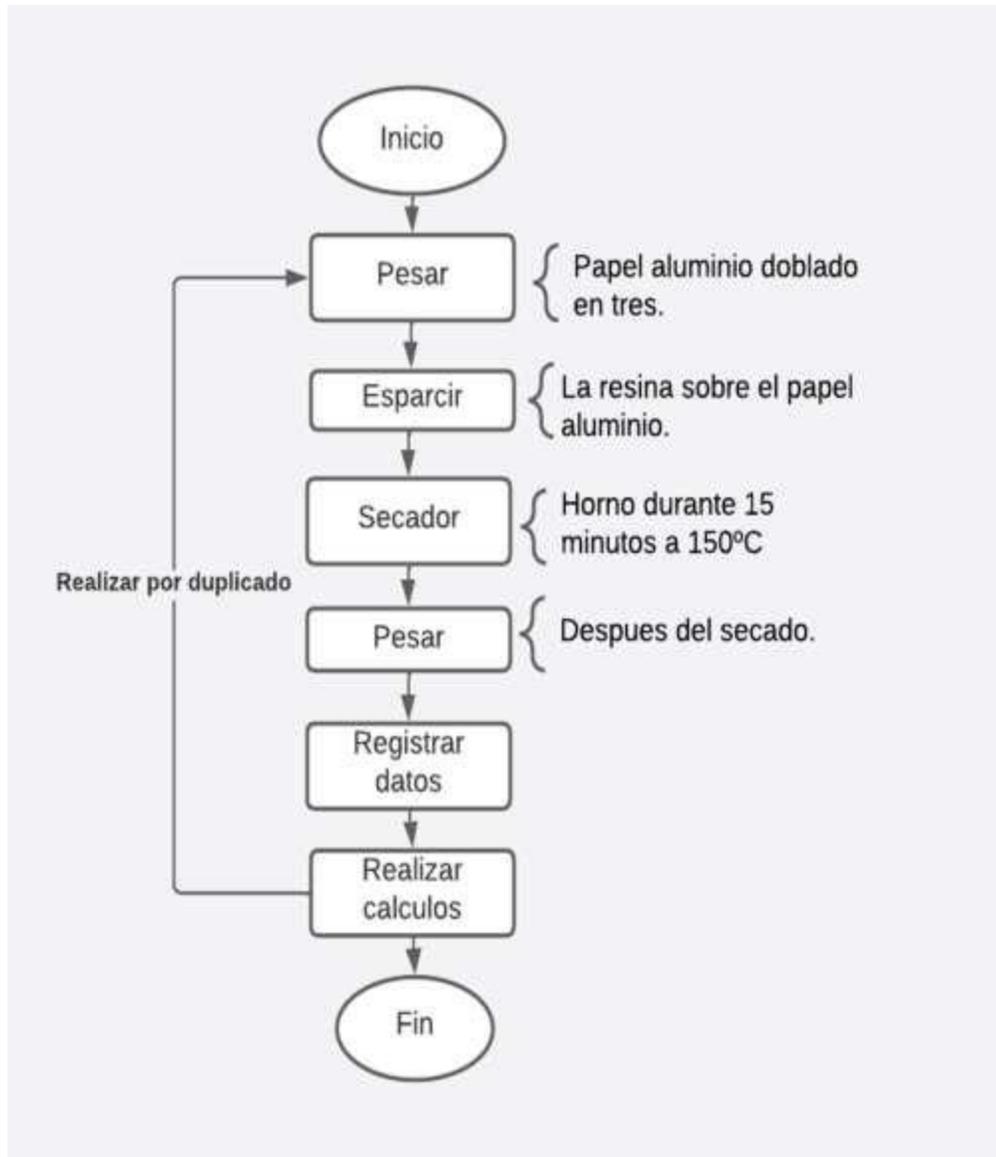
M1: Peso inicial del papel aluminio, en gramos.

M2: Peso de papel aluminio con resina esparcida, en gramos.

M3: Peso después del secado, en gramos

Figura 7

Proceso de Porcentaje de Sólidos en la Resina.



Nota. La figura representa el proceso de porcentaje de sólidos para la resina de poliestireno expandido.

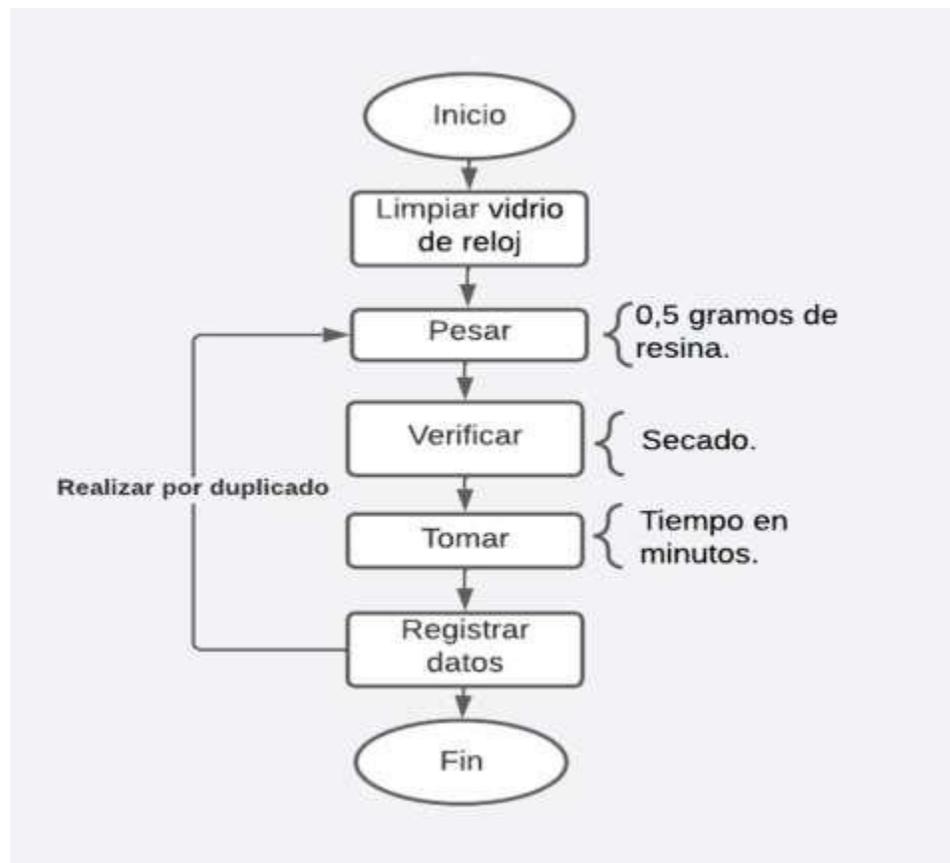
La figura 7 presenta el proceso porcentaje de sólidos para la resina por duplicado, teniendo en cuenta la temperatura del horno a 150 °C y el lapso de tiempo de 15 minutos.

3.9 Tiempo de secado al tacto de la muestra de resina (Norma ASTM D1640 – NTC598)

Se realizó un estudio para indicar el tiempo de secado por medio de tacto a la resina de poliestireno expandido. Se utilizó un vidrio de reloj para pesar 0,5 g y luego ser esparcidos en el material. Posteriormente se toma el tiempo apenas se termine de esparcir la muestra, con el fin de evaluar el tiempo de sacado al tacto. Una vez, la muestra está seca al tacto, se apoyan con mucho cuidado y sin ejercer presión la yema del dedo medio sobre la muestra sin dejar huella en el mismo [69].

Figura 8

Proceso de secado al tacto de la resina



Nota. La figura representa el proceso de secado de la resina de poliestireno expandido.

La figura 8 presenta el proceso de secado al tacto de la resina por duplicado, teniendo en cuenta la cantidad de la muestra y el tiempo en secar.

3.10 Evaluación del producto obtenido como disolvente orgánico

Con la información recopilada en cada prueba, se inicia una evaluación. Por parte de la acetona se demostró una solubilidad óptima y resultados esperados para el proceso como disolvente orgánico aplicado a pintura de poliestireno expandido.

3.11 Decisión del solvente más viable según los datos experimentales

Luego de realizar el paso a paso del proceso de experimentación, se logró determinar que el solvente con mayor solubilidad óptima al momento de realizar la disolución del poliestireno expandido fue la acetona. Al momento de realizar el primer paso de experimentación del etanol, no se logró un proceso satisfactorio en el tiempo establecido y con las mismas concentraciones. Realizando una réplica con el Etanol se encontró el mismo resultado que la primera prueba, lo que permitió descartar este solvente de forma inmediata. El proceso con thinner arrojó resultados, pero no cumplió con las expectativas, ya que no se logró la disolución del peso establecido del poliestireno expandido. Se logró determinar en el proceso de la relación de formulación (2:10) equivalente a la siguiente cantidad de 45 g EPS y 225 g solvente, donde se encontraba una mayor concentración del solvente, pero de igual forma, no se encontró la finalización esperada, pero sí se logró una mayor solubilidad óptima frente a las pruebas de la relación de formulación (1:3,33) equivalente a 22,5 g EPS y 75 g solvente y la relación de (1:6,66) equivalente a 22,5 g EPS y 150 g solvente. Con esta información recopilada, se analizan y determinan que el solvente acetona es el indicado, ya que, en sus diferentes tipos de pruebas, las cuales fueron las siguientes relaciones de formulación (1:3,33) 22,5 g EPS y 75 g solvente, relación (1:6,66) 22,5 g EPS y 150 g solvente y relación (2:10) 45 g EPS y 225 g solvente, se logró el mismo desempeño de solubilidad óptima en las tres. A los 4 segundos de agregar el material EPS, comenzaba de forma casi instantánea su disolución, logrando diluir cada uno de los pesos iniciales establecidos inicialmente. Así mismo, al llevar a cabo la réplica correspondiente, no se observó ninguna diferencia con respecto a la primera prueba, lo que evidencia su notable solubilidad. Esto se logra también, ya que la acetona es un disolvente primario y más fuerte en comparación a los otros dos solventes, ya que se utiliza en diferentes industrias para otros tipos de ensayos y pruebas en diferentes materiales, logrando una solubilidad más instantánea. Por otro lado, se reconoce que se evapora fácilmente en el aire. No obstante, es importante tener en cuenta que, al entrar en contacto con el agua, se disuelve.

En los siguientes resultados se presenta la solubilidad al momento de realizar la disolución de los ensayos que se obtienen de la resina de poliestireno expandido a partir de los solventes orgánicos: etanol, acetona y thinner, con la relación de formulación y las dos réplicas por cada ensayo, se tiene en cuenta que la solubilidad al optima refleja muy buenos resultados:

Tabla 8

Solubilidad de obtención de resina

Relación de Formulación	Solubilidad
ENSAYO EPS 1:3,33 (22,5 g SOLUTO / 75 g SOLVENTE) ETANOL	No optima
ENSAYO EPS 1:6,66 (22,5 g SOLUTO / 150 g SOLVENTE) ETANOL	No optima
ENSAYO EPS 2:10 (45 g SOLUTO/ 225 g) ETANOL	No optima
ENSAYO EPS 1:3,33 (22,5 g SOLUTO/ 75 g SOLVENTE) ACETONA	Optima
ENSAYO EPS 1:6,66 (22,5 g SOLUTO/ 150 g SOLVENTE) ACETONA	Optima
ENSAYO EPS 2:10 (45 g SOLUTO / 225 g SOLVENTE) ACETONA	Optima
ENSAYO EPS 1:3,33 (22,5 g SOLUTO / 75 g SOLVENTE) THINNER	No optima
ENSAYO EPS 1:6,66 (22,5 g SOLUTO/ 150 g SOLVENTE) THINNER	No optima
ENSAYO EPS 2:10 (45 g SOLUTO/ 225 g SOLVENTE) THINNER	Medio optima

Nota. Esta tabla muestra el comportamiento la solubilidad en los diferentes ensayos de obtención de resina.

3.12 Mayor desempeño según los ensayos obtenidos

En referencia de toda la información encontrada en los datos experimentales mencionado anteriormente, se logró observar que el mayor desempeño obtenido fue por parte del solvente Acetona en su prueba 2:10 que se instauraron en los 45 g de EPS y los 225 g del solvente, ya que desde la primera prueba de la disolución del poliestireno expandido se lograba observar la eficacia que este daba al momento de agregarle el material junto a su temperatura establecida. Con esto se demostró que no se necesita una gran cantidad de tiempo para cumplir su función esperada. Al momento de realizar la prueba de solidos se logró analizar que el tiempo de secado en el horno de laboratorio a 150°C con un tiempo estimado de 15 minutos fue correcto, finalmente se culminó el

proceso con la prueba para poder evaluar su acción y comportamiento al incorporar la resina sobre una base de pintura y conocer otros datos experimentales.

De igual forma se demostró que en comparación con la prueba 1:3,33 que se instauraron 22,5 g de EPS con 75 g de solvente y con la prueba 1:6,66 donde al igual se implantaron 22,5 g de EPS con 150 g de solvente, se presentaron unas deficiencias en el proceso realizado presentándose grumos luego de aplicar estas resinas, descartándolo totalmente para la continuación con los próximos datos experimentales. Dado que con esto nos manifestaba el cambio abrupto y deficiente durante la prueba, se pudo anticipar la posible decisión sobre cuál presentaría un mejor rendimiento. A pesar de esta información confirmada, se procedió con las pruebas previamente establecidas con el fin de corroborar si este ensayo era realmente el más adecuado y si revelaría alguna alteración que demostrara alguna posible imperfección.

3.13 Evaluación según el comportamiento de la resina

La evaluación según el comportamiento de la resina se desarrolla experimentalmente utilizando una base de pintura, para adicionar 10% y 3% de la resina que se obtiene a la base de pintura con el fin de observar el comportamiento que se presenta.

Luego con los ensayos se presentaron buena incorporación o mezcla, se le realizaron las pruebas de viscosidad y porcentaje de sólidos, obtenido los resultados que permite escoger el que presenta mayor eficiencia y solubilidad.

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se investigó la compatibilidad de los tres solventes orgánicos a utilizar Etanol (96%), Acetona (99.5%) y Thinner (90%), con el poliestireno expandido, con lo cual se analiza que el etanol siendo un solvente polar según las propiedades químicas del EPS no se destruye de forma prolongada, debido que el poliestireno es un polímero no polar y su estructura física porosa y de aire encapsuladas, dificulta la penetración del solvente. Esto significa que sus enlaces químicos y su estructura molecular no tienen regiones significativamente cargadas eléctricamente [63]. Para llegar a comprobar datos teóricos se ejecutó ensayos experimentales, donde se evidencio que efectivamente el solvente de Etanol no presentó ningún cambio al momento de agregar icopor al proceso de la disolución, observando en la tabla 9.

Al analizar la solubilidad del EPS en solventes orgánicos, se utilizaron etanol y thinner, donde se obtuvieron buenos resultados [70]. Por otro lado, al producir resina a partir del EPS con acetona, se observó solubilidad total del material [70].

Tabla 9

Proceso del EPS con solvente (Etanol) 1:3,33

PROCESO DEL EPS CON SOLVENTE (ETANOL) 1:3,33				
				
PESO INICIAL POLIESTIER O EXPANDIDO	PESO INICIAL SOLVENTE (ETANOL)	VELOCIDAD A 200 RPM TEMPERATURA A 25°C	OBTENCION A LOS 20 MINUTOS	RESULTADO FINAL DEL PROCESO

Nota. Esta tabla muestra el proceso del poliestireno expandido con el solvente orgánico de etanol en la relación de formulación 1:3,33 (22,5 g soluto / 75 g solvente)

En este ensayo se realizó la evaluación experimentalmente de la relación de formulación 1:3,33 (22,5 g soluto/ 75 g solvente), utilizando el solvente de etanol y donde se observa que no presenta cambio significativo al momento de estar el poliestireno expandido con el solvente, para tener una certeza de estos ensayos y un resultado confiable se realizó duplicado por cada relación de formulación evidenciado que en los 6 ensayos realizados se observó el mismo resultado de no obtener una resina óptima.

Cuando se utilizó el segundo solvente acetona para la disolución de poliestireno expandido, en la obtención de la resina, se observó como este solvente efectivamente disuelve el EPS, de una forma muy rápida logrando una solubilidad optima en el proceso de disolución teniendo las variables constantes para el proceso las cuales son 25°C y 200 RPM durante 20 minutos, una vez terminado el tiempo se logró evidenciar la formación de la resina teniendo una sustancia viscosa o pegajosa con una concentración de 30 ppm.

Tabla 10

Proceso del EPS con solvente (Acetona) 1:3,33

PROCESO DEL EPS CON SOLVENTE (ACETONA) 1:3,33					
					
PESO INICIAL POLIESTIERO EXPANDIDO	PESO INICIAL SOLVENTE (ACETONA)	VELOCIDAD A 200 RPM	TEMPERATURA A 25°C	OBTENCION A LOS 20 MINUTOS	RESULTADO FINAL DEL PROCESO

Nota. Esta tabla muestra el proceso del poliestireno expandido con el solvente orgánico de Acetona en la relación de formulación 1:3,33 (22,5 g soluto / 75 g solvente)

En este ensayo se realizó una réplica para comprobar la obtención de la resina a partir de icopor reciclado obteniendo un resultado viable del proceso.

Para la relación de formulación 1:6,66 (22,5 g soluto/ 150 g solvente) del proceso de poliestireno expandido con el solvente de acetona e igualmente se evidenció como el solvente intenta disolver el EPS para la formación de la resina de una forma rápida, teniendo en cuenta las variables en todas las relaciones del proceso y obteniendo una resina viscosa con una concentración de 15 ppm.

Tabla 11

Proceso del EPS con solvente (Acetona) 1:6,66

PROCESO DEL EPS CON SOLVENTE (ACETONA) 1:6,66				
				
PESO INICIAL POLIESTIERO EXPANDIDO	PESO INICIAL SOLVENTE (ACETONA)	VELOCIDAD A 200 RPM TEMPERATUR A A 25°C	OBTENCION A LOS 20 MINUTOS	RESULTADO FINAL DEL PROCESO

Nota. Esta tabla muestra el proceso del poliestireno expandido con el solvente orgánico de Acetona en la relación de formulación 1:6,66 (22,5 g soluto/ 150 g) solvente.

En el ensayo de la tabla 11, se realizó el duplicado y se presenta una concentración menor al anterior ensayo, obteniendo resina a partir del poliestireno reciclado. En la relación de formulación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente) del proceso de poliestireno expandido con solvente acetona con mayor cantidad, se presenta que igualmente el solvente logra disolver el EPS para obtener resina de la forma rápida a pesar de tener mayor cantidad si se cumple con el requerimiento de tener una resina viscosa con una concentración de 20 ppm, con lo cual el cumplimiento de las variables en el proceso como la temperatura, se debe mantener a 25°C utilizando un termómetro, por otro lado la velocidad de agitación se establece en el equipo a 200 RPM para iniciar la homogenización de la mezcla, estas dos variables se monitorean continuamente.

Tabla 12

Proceso del EPS con solvente (Acetona) 2:10

PROCESO DEL EPS CON SOLVENTE (ACETONA) 2:10				
				
PESO INICIAL POLIESTIERO EXPANDIDO	PESO INICIAL SOLVENTE (ACETONA)	VELOCIDAD A 200 RPM TEMPERATU RA A 25°C	OBTENCION A LOS 20 MINUTOS	RESULTADO FINAL DEL PROCESO

Nota. Esta tabla muestra el proceso del poliestireno expandido con el solvente orgánico de Acetona en la relación de formulación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente).

Al observar los resultados obtenidos de los 3 ensayos a diferentes relaciones de formulación y duplicado por cada uno, cuando se utiliza el solvente de acetona, se observó una disolución de forma rápida así la cantidad sea mayor se logra el objetivo de obtener la resina a diferentes concentraciones.

La evaluación de solvente thinner para disolver poliestireno expandido (icopor) en la relación de formulación 1:3,33 (22,5 g soluto / 75 g solvente), se evidenció de forma oportuna como el solvente degrada al icopor, pero no presenta formación de la resina, a pesar que el thinner es una mezcla de solventes que común tiene acetona, tolueno o xileno; estos son conocidos por su capacidad para disolver polímeros, en este caso experimentalmente solo se obtiene degradación del EPS cumpliendo las variables del proceso y realizando duplicado en el ensayo para asegurar los resultados obtenidos [12].

Tabla 13

Proceso del EPS con solvente (thinner) 1:3,33

PROCESO DEL EPS CON SOLVENTE (THINNER) 1:3,33				
				
PESO INICIAL POLIESTIERO EXPANDIDO	PESO INICIAL SOLVENTE (THINNER)	VELOCIDAD A 200 RPM TEMPERATURA A 25°C	OBTENCION A LOS 20 MINUTOS	RESULTADO FINAL DEL PROCESO

Nota. Esta tabla muestra el proceso del poliestireno expandido con el solvente orgánico de thinner en la relación de formulación 1:3,33 (22,5 g soluto/ 75 g solvente).

El desarrollo experimental de la relación de formulación 1:6,66 (22,5 g soluto/ 150 g solvente) de poliestireno expandido con el solvente thinner, se logró obtener el idéntico resultado de la relación 1:3,33 (22,5 g soluto / 75 g solvente), observando como el thinner degrada el EPS, pero no hay formación de resina, garantizando este resultado con otro ensayo.

Tabla 14

Proceso del EPS con solvente (thinner) 1:6,66

PROCESO DEL EPS CON SOLVENTE (THINNER) 1:6,66				
				
PESO INICIAL POLIESTIERO EXPANDIDO	PESO INICIAL SOLVENTE (THINNER)	VELOCIDAD A 200 RPM TEMPERATUR A A 25°C	OBTENCION A LOS 20 MINUTOS	RESULTADO FINAL DEL PROCESO

Nota. Esta tabla muestra el proceso del poliestireno expandido con el solvente orgánico de thinner en la relación de formulación 1:6,66 (22,5 g soluto/ 150 g).

Para la relación de formulación 1:6,66 (22,5 g soluto/ 150 g solvente), se obtiene el mismo resultado que el solvente thinner degrada el poliestireno expandido y no forma la obtención de resina, de igual forma se realizó una réplica para revisar y comprobar si efectivamente no hay formación de resina siguiendo las condiciones del proceso.

Tabla 15

Peso inicial del EPS (thinner) 2:10.



Nota. Esta tabla muestra el peso del poliestireno expandido junto al solvente orgánico de thinner en la relación de formulación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente), con esta muestra se cumple con la cantidad requerida para la formulación descrita

En la tabla 15, se evidenció el muestreo aleatorio del EPS reciclado. Este procedimiento se llevó a cabo con el propósito de evaluar su viabilidad para integrarse en el proceso de la disolución del solvente orgánico. Este muestreo asegura que la cantidad obtenida cumpla con los requisitos necesarios para la formulación.

Tabla 16

Proceso de EPS con solvente (thinner) 2:10.

PROCESO DEL EPS CON SOLVENTE (THINNER) 2:10			
			
PESO INICIAL SOLVENTE (THINNER)	VELOCIDAD A 200 RPM TEMPERATURA A 25°C	OBTENCION A LOS 20 MINUTOS	RESULTADO FINAL DEL PROCESO

Nota. Esta tabla muestra el proceso del poliestireno expandido con el solvente orgánico de thinner en la relación de formulación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente).

En los ensayos de poliestireno expandido con el solvente de thinner, se observa como el solvente degrada de manera lenta el EPS reciclado, por otro lado, se evidencia que se requiere mucho más tiempo para degradar el residuo de poliestireno expandido para cada ensayo.

4.1 Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la producción de resina a partir de materia prima poliestireno expandido con solventes orgánicos

4.1.1 Evaluación de aspecto de resina

Los resultados de la prueba de aspecto de resina para los 3 ensayos con diferente relación de formulación para el solvente de acetona que logró obtener resultados óptimos, el cual se observó visualmente la apariencia del color textura y brillo, se logró analizar que la resina no afecta al producto terminado, pero si se observa una ligera coloración presentando problemas en la pintura blanca debido a la apariencia de la resina.

Tabla 17

Proceso de porcentaje de solidos de la resina.

			
PESO INICIAL DEL PAPEL DE ALUMINIO Y 2 PESO CON RESINA ESPARCIDA	PROCESO DE % DE SÓLIDOS A 150 °C DURANTE 15 MINUTOS	TERMINACIÓN DE PROCESO DE % DE SÓLIDOS	PESO FINAL DEL PAPEL ALUMINIO CON RESINA. CALCULAR PORCENTAJE DE SOLIDOS

Nota. Esta tabla muestra el proceso el proceso de porcentaje de solidos de la resina, utilizando la balanza analítica para realizar 3 presos y el horno a 150 °C durante 15 minutos.

Tabla 18

Aspectos de resina obtenida de poliestireno expandido

Aspectos	ENSAYO EPS 1:3,33 ACETONA	ENSAYO EPS 1:6,66 ACETONA	ENSAYO EPS 2:10 ACETONA
Color	Transparente	Transparente	Transparente
Textura	Líquida/viscosa	Líquida/viscosa	Líquida/viscosa
Brillo	Brillo medio	Brillo medio	Brillo medio

Nota. Esta tabla muestra los aspectos de resina obtenida de poliestireno expandido a partir de los ensayos con el solvente orgánico Acetona.

Lo que se demuestra son las propiedades fisicoquímicas de la resina de poliestireno expandido reciclado a partir del solvente orgánico acetona, se describe brevemente aspectos generales similares entre las tres formulaciones debido a que la concentración de cada relación es diferente.

4.1.2 Evaluación de resultados de porcentaje de sólidos para la resina

Tras observar los resultados de las pruebas de porcentaje de sólidos para las resinas del solvente orgánico de acetona, se evidenció que la relación de formulación 1:3,33 (22,5 g soluto / 75 g solvente), 1:6,66 (22,5 g soluto / 150 g solvente) presentan sólidos mayores a 55%.

Tabla 19

Resultados de porcentajes de sólidos de la resina obtenida de EPS

PRUEBA	UNIDAD	ENSAYO EPS 1:3,33 ACETONA		ENSAYO EPS 1:6,66 ACETONA		ENSAYO EPS 2:10 ACETONA	
		No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2
M1	g	0,5430	0,3002	0,7455	0,8786	0,5348	0,6484
M2	g	1,4128	1,0399	0,9874	1,1986	0,7380	0,9536
M3	g	1,1828	0,8449	0,9426	1,1393	0,6409	0,8097
Resultado individual porcentaje de sólidos	%	73,5571	73,6380	81,4800	81,4688	52,2146	52,8506
Promedio	%	73,5976		81,4744		52,5326	
Desviación estándar		0,0571		0,0079		0,4497	

Nota. Esta tabla muestra los resultados de porcentaje de sólidos de la resina obtenida a partir del poliestireno expandido con el solvente orgánico de Acetona

Luego de analizar las dos formulaciones con sólidos altos se puede concluir que la capacidad de cobertura para el producto terminado (pintura) va a requerir menor cantidad que el ensayo de la relación de la formulación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente). Por los sólidos elevados puede tener un tiempo de secado más prolongado debido a la mayor cantidad de material que debe solidificarse, otro lado permite que la aplicación de capas más gruesas en la pintura puede ser beneficioso en términos de resistencia y durabilidad, pero también requiere ajustes en la técnica de aplicación específicas.

Finalmente, se obtuvo duplicados en los resultados de porcentaje de sólidos en cada ensayo de acetona en poliestireno expandido, para tener dos datos significativos y conocer el promedio de estos datos el resultado obtenido, con lo cual se analizan los resultados obteniendo mayor

desviación en la relación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente). La desviación se evidenció por los resultados duplicados, donde se presentan errores experimentales durante la fase de pesaje o esparcimiento de la muestra de resina en el aluminio.

4.1.3 Evaluación de secado bajo la Norma ASTM1640 – NTC598 a los ensayos de resina

El tiempo de secado para la resina se realizó utilizando una balanza, un vidrio de reloj y una micro espátula, para realizar el peso de la muestra y ser esparcido en la superficie del vidrio de reloj, teniendo en cuenta las condiciones ambientales del laboratorio. Se obtuvo los siguientes resultados por debajo de los 40 minutos, dando una ventaja antes de ser utilizada en el recubrimiento final que es el esmalte [69].

Tabla 20

Resultados de secado de la resina obtenida de poliestireno expandido

PRUEBA	UNIDAD	ENSAYO EPS 1:3,33 ACETONA		ENSAYO EPS 1:6,66 ACETONA		ENSAYO EPS 2:10 ACETONA	
		No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2
Tiempo de secado	Min	3,2	3,1	4,0	4,1	2,6	2,8
Promedio tiempo de secado	Min	3,2		4,1		2,7	

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos del secado de la resina de poliestireno expandido con el solvente orgánico de Acetona.

Analizando la tabla de resultados se concluye que el tiempo de secado en los ensayos de resina de EPS muestra cómo cambia de estado líquido acuoso a sólido, mediante la evaporación, donde los componentes volátiles como el disolvente orgánico, se seca y evapora para cambiar su composición, quedando el contenido de sólidos de la muestra aplicada por tal motivo entre mayor porcentaje de sólidos se demora más en secar la resina. La relación entre las dos variables mencionadas es el contenido de sólidos y el proceso de secado, las cuales son directamente proporcionales. Cuando se habla del porcentaje de sólidos quiere decir la concentración de la sustancia sólida en una solución o suspensión, en cambio en el proceso de secado implica la eliminación de la fase líquida, en este caso el solvente orgánico de la sustancia logró transformarse

en estado seco los sólidos. Por tal motivo entre mayor porcentaje de sólidos, implica más tiempo de secado de la resina, en algunos casos se requiere de un proceso más extenso para eliminar el exceso de líquido o solvente y obtener finalmente el producto seco.

4.1.4 Evaluación de la resina de poliestireno expandido con el disolvente orgánico (acetona)

Se determina que las tres relaciones de formulación para el solvente de acetona, logrando demostrar un proceso optimo en la obtención de resina, luego de evaluar el aspecto, porcentaje de sólidos del 42.64% y el tiempo de secado, para continuar con el proceso de aplicarla en base de pintura y observar su comportamiento y eficiencia en el esmalte.

4.1.5 Evaluación de la resina en base de pintura

Normalmente se utiliza un 26% de adición de resina a la base de pintura a nivel laboratorio de pinturas [71], pero de forma que se desconoce el comportamiento que presenta esta nueva resina se optó por un valor un inferior del porcentaje común para observar el comportamiento, se establece una adición del 10% de resina a la base de la pintura, para evaluar el desempeño de esta resina y determinar cuál cumple con la calidad del producto y no presentar cambios absurdos en el proceso.

Teóricamente, se planteó una adicción del 26% de resina para la base de pintura. Sin embargo, al optar por reducir la adición a menos de la mitad utilizando un 10%, se observó grumos en la mezcla. Este hallazgo indica un problema en la dispersión y posiblemente atribuido a un porcentaje de adición elevado. En consecuencia, se llevó a cabo una nueva prueba con una adición del 3%, logrando así una homogenización de los ingredientes.

Tabla 21

Evaluación de adición de resina de EPS con el solvente (Acetona) 1:3,33 a base de pintura

EVALUACIÓN DE ADICIÓN DE RESINA DE EPS CON EL SOLVENTE (ACETONA) 1:3,33 A BASE DE PINTURA	
	
PORCENTAJE DE ADICION DE RESINA AL 10%	REPLICA CON UN PORCENTAJE ADICION DE RESINA AL 3%

Nota. Esta tabla muestra la evaluación de adición del 10% y 3% de poliestireno expandido con el solvente orgánico de acetona en la formulación 1:3,33 (22,5 g soluto / 75 g solvente) en base de pintura.

En el ensayo de resina de formulación 1:3,33 (22,5 g soluto / 75 g solvente) con el solvente de acetona, se observa que el 10% de resina que se utiliza para la base de pintura presenta grumos en mayor cantidad dando a conocer que no es factible utilizar ese ensayo para el recubrimiento de pintura, ya que al momento de bajar la dosis de adición se presenta separación de la resina en la base de pintura.

En este ensayo no cumple la expectativa para seguir realizando pruebas de calidad.

Tabla 22

Evaluación de adición de resina de EPS con el solvente (Acetona) 1:6,33 a base de pintura

EVALUACIÓN DE ADICIÓN DE RESINA DE EPS CON EL SOLVENTE (ACETONA) 1:6,66 A BASE DE PINTURA	
	
PORCENTAJE DE ADICION DE RESINA AL 10%	REPLICA CON UN PORCENTAJE ADICIONAL DE 3%

Nota. Esta tabla muestra la evaluación de adición 10% y 3% de poliestireno expandido con el solvente orgánico de acetona en la formulación 1:6,66 (22,5 g soluto/ 150 g solvente) en base de pintura.

Con los resultados obtenidos de la adición de resina a la base de pintura de igual manera se presenta grumos con la adición del 10% y con la del 3% la resina no se incorpora en la base de pintura y presenta separación.

Tabla 23

Evaluación de adición de resina de EPS con el solvente (Acetona) 2:10 a base de pintura

EVALUACIÓN DE ADICIÓN DE RESINA DE EPS CON EL SOLVENTE (ACETONA) 2:10 A BASE DE PINTURA	
	
PORCENTAJE DE ADICION DE RESINA AL 10%	REPLICA CON UN PORCENTAJE ADICIONAL DE 3%

Nota. Esta tabla muestra la evaluación de adición 10% y 3% de poliestireno expandido con el solvente orgánico de acetona en la formulación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente) en base de pintura.

En este ensayo se evidenció un comportamiento diferente de la resina con una adición del 10%, lo que se observa son unos pequeños grumos siendo esto en presencia de la resina que no se logran incorporar totalmente en la base de la pintura, por otro lado, al realizar la réplica de la resina en la pintura se incorpora completamente logrando obtener un esmalte con una buena eficiencia. Después de observar este comportamiento se puede realizar la evaluación de la viscosidad y porcentaje de sólidos. Debido a que la resina a base de pintura no estaba completamente homogeneizada debido a la presencia de grumos, se realizó un criterio de cambio en la formulación, dando como resultado que no era óptima para el proceso esperado. Se decidió reducir la formulación para el contenido de los sólidos que fuera superior al 40%.

Tabla 24

Determinación de viscosidad de la pintura con el solvente (Acetona) 2:10.

DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD DE LA PINTURA CON EL SOLVENTE (ACETONA) 2:10		
		
AJUSTE DE TEMPERATURA A 25°C A LA PINTURA	MEDICIÓN DE VISCOSIDAD DE LA PINTURA	RESULTADO

Nota. Esta tabla demuestra la determinación de la viscosidad de la pintura, con la resina de poliestireno expandido a partir del solvente orgánico Acetona en una relación de formulación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente).

Con el viscosímetro Brookfield, se realizó la medición de la viscosidad captando el par de torsión necesario para hacer girar, a una velocidad constante, la aguja número 5 inmersa en el fluido de pintura para analizar, dando un valor de viscosidad en centipoise (cP). A una temperatura de 25°C [72].

Tabla 25

Resultados de viscosidad de la pintura con resina obtenida de EPS

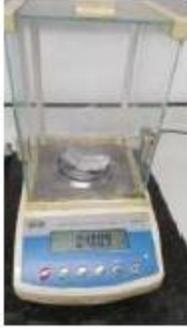
Medida	Unidad	Resultado No. 1	Resultado No. 2
Viscosidad	cP	1047	1047
Torque	%	15,7	15,7
Velocidad	RPM	60	60
Aguja		1	1

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos de la viscosidad de la pintura con la resina de poliestireno expandido a partir del solvente orgánico Acetona en una relación de formulación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente).

Para los esmaltes basados en resinas alquídicas, es común encontrar viscosidades elevadas, con valores que oscilan entre 1.000 y 5.000 cP [72]. Al evaluar el ensayo, se observó que la pintura tiene resina de EPS reciclado con el solvente orgánico acetona cumple con los estándares de viscosidad, de acuerdo con los parámetros establecidos en la norma NTC 559:2016 [73], dicha normativa aborda la medición de la viscosidad, la cual puede definirse como la resistencia de un líquido a derramarse. En este contexto, la pintura analizada presenta una viscosidad que se sitúa entre 560,5 cP y 4.861 cP, conforme a los límites específicos de la norma anteriormente mencionada.

Tabla 26

Proceso de sólidos

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS A LA PINTURA CON EL SOLVENTE (ACETONA) 2:10.	
	
PESO INICIAL DEL ALUMINIO	ADICIÓN DE PINTURA PARA EL PROCESO DE SÓLIDOS

Nota. Esta tabla muestra el proceso de porcentaje de sólidos de la pintura con la resina de poliestireno expandido a partir del solvente orgánico Acetona en una relación de formulación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente).

Tabla 27

Resultados de porcentaje de sólidos en la pintura con resina obtenida de EPS.

PRUEBA	UNIDAD	BASE ESMALTE		ESMALTE CON RESINA ENSAYO 2 EPS:10 ACETONA	
		No. 1	No. 2	No. 1	No. 2
M1	G	0,5260	0,4297	0,3998	0,3156
M2	G	0,7765	0,7094	0,5633	0,4639
M3	G	0,6012	0,5149	0,4700	0,3784
RESULTADO INDIVIDUAL PORCENTAJE DE SOLIDOS	%	30,0200	30,4612	42,9358	42,3466
PROMEDIO	%	30,2406		42,6412	

Nota. Esta tabla muestra el resultado de porcentaje de sólidos de la pintura con la resina de poliestireno expandido a partir del solvente orgánico Acetona en una relación de formulación 2:10 (45 g soluto / 225 g solvente) comparado los sólidos de la base de esmalte

Se observó que los resultados del porcentaje de sólidos en la base del esmalte, después de incorporar la resina de poliestireno expandido, se evidenció un aumento considerable del 12,40%. Este incremento presenta relevantes aspectos como la viscosidad de 1.047 cP, la eficiencia de cobertura y otros elementos vinculados con la aplicación y rendimiento global del esmalte.

5. CONCLUSIONES

Se determinó la selección de la materia prima de poliestireno, el cual es el poliestireno expandido reciclado proveniente del área de embalaje industrial teniendo un total de 20 kg que se acumulan como residuo, este es indicado para el proceso de producción de resina a partir de solventes orgánicos, debido que se llevó a cabo un proceso meticuloso de evaluación teniendo en cuenta su baja densidad y es un material de un solo uso que sirve para crear nuevos productos con el fin de reducir el impacto ambiental y los desafíos sostenibles asociados con su reciclaje.

Conforme a la transformación de un nuevo producto de resina a partir del poliestireno expandido (icopor), se identificó que, con los solventes orgánicos, entre ellos el etanol al 96%, la acetona al 99.5% y thinner al 90%, con las relaciones de formulación respectiva (1:3,33) 22,5 g soluto/ 75 g solvente, (1:6,66) 22,5 g soluto / 150 g solvente, (2:10) 45 g soluto/ 225 g solvente), para encontrar la formulación. Estas pruebas permitieron determinar la eficiencia entre un 90% y 100% para el solvente acetona según su respectiva formulación, proporcionando datos experimentales esenciales para la etapa siguiente del proceso.

En particular, la evaluación detallada reveló que la utilización de acetona con la formulación (2:10) 45 g soluto / 225 g solvente con una temperatura de 25 °C y velocidad de agitación de 200 RPM durante 20 minutos, se determina como la ruta más óptima para el proceso; de acuerdo a los resultados con dos replicadas realizadas de dos ensayos, demostrando resultados de 52,5326% en porcentaje de sólidos y 2,7 minutos del tiempo del secado al tacto. Estos hallazgos presentan la viabilidad y la eficiencia de la ruta seleccionada para la continuación del proceso de producción.

Teóricamente, se planteó una adición del 26% de resina para la base de pintura. Sin embargo, en el momento de reducir la adición a menos de la mitad utilizando una cantidad del 10 %, se evidencian partículas no deseadas en la mezcla las cuales afectan la apariencia física y calidad de esta. Este hallazgo indica un problema en la dispersión y posiblemente atribuido a un porcentaje de adición elevado. En consecuencia, se llevó a cabo una nueva prueba con una adición del 3%, logrando así una homogenización de los ingredientes.

REFERENCIAS

- [1] Icoformas. [En línea]. Available: <https://icoformas.com/productos/desarrollos-en-icopor/embalaje-industrial/>. [Último acceso: 27 11 2023].
- [2] L. G. Murillo, «Resolución 1407 de 2018,» GOV.CO Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 26 06 2018. [En línea]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1407-de-2018/>. [Último acceso: 17 11 2023].
- [3] J. Z. R. Tatiana Cruz Cuevas, «Universidad Central,» 2018. [En línea]. Available: https://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/download/2874/2835/6728. [Último acceso: 17 11 2023].
- [4] M. d. A. y. D. Sostenible, «Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible,» 26 07 2018. [En línea]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1407-de-2018/>. [Último acceso: 17 11 2023].
- [5] C. d. L. R. Colombia, «Congreso de La Republica Colombia,» 2017. [En línea]. Available: <https://leyes.senado.gov.co/proyectos/index.php/textos-radicados-senado/p-ley-2017-2018/845-proyecto-de-ley-005-de-2017>. [Último acceso: 17 11 2023].
- [6] Laura Cristina Narvaez Suarez, Jhorman Leonardo Manrique Hernández , «Ciencia Unisalle,» 28 05 2021. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2923&context=ing_ambiental_sanitaria. [Último acceso: 26 01 2024].
- [7] L. C. N. Suarez, «Ciencia Unisalle,» [En línea]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2923&context=ing_ambiental_sanitaria. [Último acceso: 02 10 2023].
- [8] «Technology Spain,» 17 09 2013. [En línea]. Available: <https://www.dicyt.com/noticias/una-salida-sostenible-para-los-residuos-de-poliestireno-expandido>. [Último acceso: 26 01 2024].
- [9] F. Quiroz, «Revista Politécnica,» 2015. [En línea]. [Último acceso: 30 01 2024].
- [10] J. Montoya, «revista El Empaque + Conversión,» 01 08 2022. [En línea]. Available: <https://www.elempaque.com/es/noticias/poliestireno-expandido-repensar-su-reciclaje-para-lograr-un-cierre-de-ciclo>. [Último acceso: 26 01 2024].

- [11] L. Flórez, «revistaialimentos,» 11 08 2022. [En línea]. Available: <https://www.revistaialimentos.com/es/noticias/es-el-poliestireno-un-material-100-circular>. [Último acceso: 30 01 2024].
- [12] J. L. A. LOPEZ, «Universidad Distrital,» 2019. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24415/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 30 01 2024].
- [13] N. P. Europeo, «Noticias Parlamento Europeo,» 24 05 2023. [En línea]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>. [Último acceso: 26 01 2024].
- [14] L. D. COLOMBIA, «LOGAN DRILLING COLOMBIA,» 2024. [En línea]. Available: <https://logandrillinggroup.com/colombia/polimeros/>. [Último acceso: 23 01 2024].
- [15] mexpolimero, «mexpolimero,» [En línea]. Available: <https://www.mexpolimeros.com/qu%C3%A9%20son%20los%20mon%C3%B3meros.html>. [Último acceso: 12 11 2023].
- [16] T. científicos, «Textos científicos,» 23 06 2013. [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/sinteticos>. [Último acceso: 25 04 2023].
- [17] U. d. I. laguna, «Ciencia y tecnología de los materiales,» CTMat, [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorio_archivos/polimeros.pdf. [Último acceso: 12 11 2023].
- [18] «isomeros de ciencias de las naturaleza,» 2017. [En línea]. Available: <https://isomerosdelacienciasdelasnaturaleza.blogspot.com/p/polimeros.html>. [Último acceso: 23 01 2024].
- [19] C. d. polimeros, «mexpolimeros.com,» [En línea]. Available: <https://www.mexpolimeros.com/poly/clasificaci%C3%B3n%20de%20los%20pol%C3%ADmeros.html>. [Último acceso: 12 11 2023].
- [20] C. E. C. Raimond B. Seymour, Introducción a la química de los polímeros, E. Reverte, Ed., Barcelona: Reverte, 1995, p. 736.

- [21] A. Besednjak, Materiales Compuestos, UPC, S.L., Edicions ed., UPC, S.L., Edicions, 2009, p. 132.
- [22] L. P. L. R. J.M Laza, «Introducción y conceptos generales,» 2014. [En línea]. Available: https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/43964/mod_resource/content/1/Tema_1_Introduccion_y_conceptos_generales_2.pdf. [Último acceso: 12 11 2023].
- [23] F. Staff, «Usos de Poliestireno,» 01 09 2020. [En línea]. Available: <https://blog.fanosa.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-el-poliestireno-expandido-eps>. [Último acceso: 13 11 2023].
- [24] «GREENCEL,» 06 05 2022. [En línea]. Available: <https://greencel.com.mx/usos-del-empaque-de-unicel-o-poliestireno>. [Último acceso: 23 01 2024].
- [25] L. Arthuz-López, «Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial,» Revista SENA, 2019.
- [26] H. R. M. T. E. M. LAGOS., «UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL CALI,» 2021. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/19206/Icopor%20asesino%20silencioso%20de%20la%20vida.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 30 01 2024].
- [27] S. García, «Revista Iberoamericana de Polímeros,» 11 2008. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2009-garcia.pdf>. [Último acceso: 31 01 2024].
- [28] E. y. a. s. e. EPS, «Estudioeps,» 16 06 209. [En línea]. Available: <https://estudioeps.wordpress.com/2009/06/16/historia/>. [Último acceso: 14 11 2023].
- [29] «quimicafacil,» 15 02 2022. [En línea]. Available: <https://quimicafacil.net/infografias/biografias/hermann-staudinger/>. [Último acceso: 31 01 2024].
- [30] G. D. I. E. I. VERDE, «POLIESTIRENO -PS,» UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER, Santander, 2021.

- [31] [En línea]. Available: <https://xdoc.mx/preview/poliestireno-expandido-5c116b1f2a8a0>.
- [32] ANIQ, «Asociacion Nacional de la Industria Quimica A.C.,» [En línea]. Available: <https://unicel-aniq.mx/index.html>. [Último acceso: 31 01 2024].
- [33] Á. A. Castro, «plastics technology de mexico,» 22 01 2024. [En línea]. Available: [https://www.pt-mexico.com/articulos/claves-sobre-poliestireno-expandido-\(eps\)-fabricacion-usos-y-reciclaje](https://www.pt-mexico.com/articulos/claves-sobre-poliestireno-expandido-(eps)-fabricacion-usos-y-reciclaje). [Último acceso: 31 01 2024].
- [34] K. T. G. P.-. H. P. RESTREPO, Propuesta técnica y ambiental para el óptimo aprovechamiento Propuesta técnica y ambiental para el óptimo aprovechamiento del Poliestireno expandido pos consumo en Colombia, a partir de del Poliestireno expandido pos consumo en Colombia., Bogotá, 2019, p. 213.
- [35] INTEREMPRESAS, INTEREMPRESAS, 01 12 2002. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/2276-Las-propiedades-del-EPS.html>. [Último acceso: 11 05 2023].
- [36] D. M. E. A. F. C. Montoya, «repository,» 2013. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/ef4f0264-c2b6-41cb-803b-4fdeae3456ca/content>. [Último acceso: 22 01 2024].
- [37] anape. [En línea]. Available: <https://anape.es/envase-embalaje/>. [Último acceso: 31 01 2024].
- [38] I. d. C. G. R.-. D. L. L. R.-. G. S. Quintero, «repositorio.ecci.edu.co,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/2592/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 18 11 2023].
- [39] A. T. e. Argentina, «Aislamiento Térmico en Argentina,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.aislamientotermico.com.ar/materiales-aislantes/poliestireno-expandido>. [Último acceso: 12 05 2023].
- [40] L. Arthuz-López, «Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial,» 2014.

- [41] A. y. S. Instituto Sindical de Trabajo, «PROYECTO Fittema – Antena de transferencia de tecnología – Disolventes ,» [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://istas.net/descargas/Doc%20de%20FITTEMA%20-%20DISOLVENTES.pdf. [Último acceso: 17 09 2023].
- [42] Vadequímica, «Vadequímica,» 05 01 2023. [En línea]. Available: https://www.vadequimica.com/blog/todos-los-articulos/acetona.html. [Último acceso: 17 09 2023].
- [43] D. Piñeres, 11 2019. [En línea]. Available: https://es.scribd.com/document/434974412/Acetona. [Último acceso: 22 01 2024].
- [44] «Corporativo químico global,» [En línea]. Available: https://quimicoglobal.mx/745/. [Último acceso: 17 09 2023].
- [45] Quimica.Es. [En línea]. Available: https://www.quimica.es/enciclopedia/Thinner.html. [Último acceso: 17 09 2023].
- [46] Pochteca, 30 09 2021. [En línea]. Available: https://guatemala.pochteca.net/thinner-caracteristicas-y-usos/. [Último acceso: 17 09 2023].
- [47] P. lube. [En línea]. Available: https://pldistribucion.com.ar/web/producto/alcohol-etilico-etanol/. [Último acceso: 17 09 2023].
- [48] J. P. Arbañil, «Boletín de la Sociedad Peruana de Medicina Interna,» 2000. [En línea]. Available: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/spmi/v13n1/toxicidad.htm. [Último acceso: 06 02 2024].
- [49] D. Romano, «daphnia,» 2024. [En línea]. Available: https://www.daphnia.es/revista/46/articulo/830/Las-sustancias-disolventes-un-riesgo-para-la-salud-y-el-medio-ambiente-. [Último acceso: 05 02 2024].
- [50] Solventes y Mezclas, «Pochteca el salvador,» 20 08 2022. [En línea]. Available: https://elsalvador.pochteca.net/tipos-de-resinas-para-pinturas-y-sus-beneficios/#:~:text=Las%20resinas%20para%20pinturas%20son,la%20dispersi%C3%B3n%20de%20las%20pinturas.. [Último acceso: 06 02 2024].

- [51] LAURA KATHERINE CONTRERAS OSORIO , 2015. [En línea]. Available: INVESTIGACIÓN DE MERCADOS APLICADA A LA GESTIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO EN LA CIUDAD DE PEREIRA, AÑO 2015 . [Último acceso: 05 02 2024].
- [52] embalagic, «Embalagic Embalaje Técnicos,» Embalagic, 12 04 2023. [En línea]. Available: <https://www.embalagic.com/diferencias-entre-poliestireno-expandido-eps-y-extruido-xps/>. [Último acceso: 26 01 2024].
- [53] E. A. A. LARA y F. E. V. MARTELL, «Repositorio Institucional de la Universidad de el Salvador,» 07 2013. [En línea]. Available: <https://ri.ues.edu.sv/5033/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20alternativas%20de%20reciclaje%20de%20poliestireno%20expandido%20%28EPS%29.pdf>. [Último acceso: 27 11 2023].
- [54] J. S. R. MARTÍNEZ, «UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS,» 2023. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/50145/2023juanrodriguez.pdf?sequence=7>. [Último acceso: 27 11 2023].
- [55] «Expertos en aislamiento y suministro industrial,» 01 10 2018. [En línea]. Available: https://cir62.com/blog/26_diferencias-entre-poliestireno-expandido-y-poliestireno-extruido. [Último acceso: 05 02 2024].
- [56] Cienytech, «Studocu.com,» [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/quimica-general-i/tabla-indice-de-polaridad-5/63104759>. [Último acceso: 26 01 2024].
- [57] P. Super. [En línea]. Available: <https://www.pinturassuper.com/producto/thinner-super-extra/>. [Último acceso: 05 02 2024].
- [58] M. Á. B. Garrido, «polyfex-eps.com,» 29 08 2012. [En línea]. Available: <https://www.polyfex-eps.com/propiedades-quimicas-y-biologicas-del-eps/>. [Último acceso: 26 01 2024].
- [59] D. C. A. DÍAZ, «University of America,» 22 08 2017. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6568/1/6092250-2017-2-IQ.pdf>. [Último acceso: 05 05 2023].

- [60] G. Hincapié-Mejía, «Resvitas unicartagena,» 13 10 2021. [En línea]. Available: <https://revistas.unicartagena.edu.co/index.php/ing-nova/article/download/3725/3071/7982>. [Último acceso: 26 01 2024].
- [61] C. P. OCHOA DÍAZ, «Revista Universidad EAFIT,» 2023. [En línea]. Available: <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos-investigacion/article/download/1322/1193/4306>. [Último acceso: 26 01 2024].
- [62] J. L.-P. Ingrit Daniela Pardo Mendoza, «Revista Universidad Libre,» 04 10 2021. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Personal/Downloads/leilaramirez,+7420-Texto+del+art%C3%ADculo-21687-1-9-20211011+\(1\)+\(Recuperado+autom%C3%A1ticamente\).pdf](file:///C:/Users/Personal/Downloads/leilaramirez,+7420-Texto+del+art%C3%ADculo-21687-1-9-20211011+(1)+(Recuperado+autom%C3%A1ticamente).pdf). [Último acceso: 26 01 2024].
- [63] Ingrit Daniela Pardo Mendoza, «Universidad EAN, Bogotá, Colombia.,» 06 10 2021. [En línea]. Available: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/download/7420/7386?inline=1>. [Último acceso: 05 02 2024].
- [64] P. R. M. T. Daneila Lòpez, «Revista Investigaciones Aplicadas,» 30 06 2014. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/299773465_TRATAMIENTO_DE_RESIDUOS_DE_POLIESTIRENO_EXPANDIDO_UTILIZANDO_SOLVENTES_VERDES_WASTE_TREATMENT_OF_EXPANDED_POLYSTYRENE_USING_SOLVENT_GREEN. [Último acceso: 26 01 2024].
- [65] Tamara Otzen & Carlos Manterola, «scielo,» 2017. [En línea]. Available: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022017000100037. [Último acceso: 26 01 2024].
- [66] ECOTEC, «ECOTEC (EPS construction Technologies),» 2017. [En línea]. Available: <https://ecotecpanama.com/wp-content/uploads/2017/10/eps-propiedades-fisicas.pdf>. [Último acceso: 18 11 2023].
- [67] M. T. Matheus, «University of Carabobo,» [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fportal.facyt.uc.edu.ve%2Fpasantias>

%2Finformes%2FP59112336.pdf&psig=AOvVaw0v4D0J7Iw78nCoC-8jo9P4&ust=1706570166055000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAgQrpomMahcKEwiAyPq0m4GEAxUAAAAAHQAAAAAQBA. [Último acceso: 26 01 2024].

- [68] MAYERLY ANDREA DÍAZ CLAROS , 2018. [En línea]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6903>. [Último acceso: 26 01 2024].
- [69] icontec, «icontec,» 16 12 2021. [En línea]. Available: <https://tienda.icontec.org/gp-metodo-de-ensayo-para-la-determinacion-del-secado-curado-o-de-la-formacion-de-pelicula-de-recubrimientos-organicos-ntc598-2016.html>. [Último acceso: 26 01 2024].
- [70] M. M. G. H. L. R. R. SARAIVIA, «Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador,» 03 2021. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/23603/2/REDUCCI%C3%93N%20DEL%20POLIESTIRENO%20EXPANDIDO%20UTILIZANDO%20SOLVENTE.pdf>. [Último acceso: 07 02 2024].
- [71] Belén María Paricaguán, «INGENIERÍA UC,» 30 11 2018. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/707/70757670011/html/>. [Último acceso: 29 01 2024].
- [72] O. +. Batlle, «oliver Batlle,» 19 08 2020. [En línea]. Available: <https://oliverbatlle.com/controlar-viscosidad-y-caracteristicas-de-la-pintura/>. [Último acceso: 27 11 2023].
- [73] M. LTDA, «METRILAB LTDA,» [En línea]. Available: <https://metrilab.co/home/ensayos/>. [Último acceso: 30 01 2024].
- [74] N. Unidas, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible,» 24 05 2022. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>. [Último acceso: 21 11 2023].
- [75] N. Unidas, «Naciones Unidas,» 09 2015. [En línea]. Available: <un.org/es/chronicle/article/objetivo-12-garantizar-modalidades-de-consumo-y-produccion>. [Último acceso: 09 05 2023].
- [76] J. L. M. H. -. L. C. N. Suárez, Formulación de una propuesta de gestión de residuos de Formulación de una propuesta de gestión de residuos de poliestireno expandido Caso de

estudio Empresa dedicada a la poliestireno expandido Caso de estudio Empresa dedicada a la importación de alimento, Bogotá, 2021.

- [77] C. A. G. y. A. M. Pereyra, «Repositorio institucional CONICET Digital,» Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional - Argentina , 05 11 2009. [En línea]. Available: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/151137/CONICET_Digital_Nro.f7b5f952-494e-4d30-9c15-bb40589e5979_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y. [Último acceso: 21 11 2023].
- [78] E. A. A. L. F. E. V. MARTELL, «UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR,» 08 2013. [En línea]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5033/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20alternativas%20de%20reciclaje%20de%20poliestireno%20expandido%20\(EPS\).pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5033/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20alternativas%20de%20reciclaje%20de%20poliestireno%20expandido%20(EPS).pdf). [Último acceso: 17 11 2023].
- [79] J. L. A. LOPEZ, «repository.udistrital.edu.co,» 2019. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24415/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 17 11 2023].
- [80] J. M. G. Isabel Cristina Arcila Arcila, «Evaluación de la producción de pintura a partir de los residuos de poliestireno expandido utilizando un solvente amigable con el ambiente,» Medellín, 2015.
- [81] O. G. C. Recinos, 01 2015. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2014-44.pdf>. [Último acceso: 07 02 2024].

ANEXOS

El Objetivo de Desarrollo Sostenible número 12, "Producción y consumo responsables", busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. El reciclado de poliestireno expandido (EPS), también conocido como espuma de poliestireno o icopor [74].

El poliestireno expandido es un material plástico ligero y versátil que se utiliza comúnmente en la fabricación de envases, empaques y productos de aislamiento. Sin embargo, el EPS ha sido objeto de preocupación ambiental debido a su durabilidad y su contribución a los residuos plásticos [74].

El reciclado del EPS puede contribuir a abordar estos problemas ambientales. Algunos aspectos relacionados con el reciclado del poliestireno expandido [74]:

Proceso de Reciclado:

- El reciclado del EPS implica la recolección y procesamiento de los productos de EPS usados para darles una nueva vida útil.
- Uno de los métodos comunes de reciclado del EPS es la compactación mecánica o la fusión térmica. La compactación reduce el volumen del material, facilitando su transporte y manejo.

Usos del EPS Reciclado:

- El EPS reciclado se puede utilizar para fabricar nuevos productos, como molduras, tableros de construcción, y otros elementos de construcción.
- También puede emplearse en aplicaciones de relleno, contribuyendo así a reducir la demanda de nuevos materiales vírgenes.

Beneficios Ambientales:

- El reciclado del EPS contribuye a la reducción de residuos plásticos y la conservación de recursos naturales al disminuir la dependencia de materias primas nuevas.
- Al darle una segunda vida al EPS, se reduce la necesidad de fabricar productos completamente nuevos, lo que puede tener un impacto positivo en la huella ambiental.

Desafíos:

- Aunque el reciclado del EPS tiene beneficios ambientales, existen desafíos, como la logística de la recolección eficiente y la necesidad de instalaciones de reciclaje especializadas.

- La conciencia pública y la participación son fundamentales para aumentar la tasa de reciclaje del EPS.

Innovaciones Tecnológicas:

Investigaciones y desarrollos continúan para mejorar las tecnologías de reciclado del EPS y hacer que el proceso sea más eficiente y sostenible.

Teniendo en cuenta la gestión de los residuos sólidos que genera impacto ambiental debido a su largo tiempo de descomposición en los depósitos o rellenos sanitarios, se presenta un aumento de generación de estos, por esta razón se busca disminuir y mitigar el impacto; evitando la contaminación del poliestireno expandido, así reutilizar el desecho para alargar la vida útil dando valor agregado. De acuerdo a la generación de residuo, se implementa el ODS 12 que contribuye al consumo y la producción sostenible reduciendo el impacto [75], con un enfoque de un nuevo ciclo de vida del producto de resina para pintura, garantizando la reducción de los residuos sólidos de poliestireno expandido. También se contribuye con el ODS 13 para buscar el desarrollo sostenible hacia el cambio climático, debido a la reutilización del poliestireno expandido.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible número 13, "Acción por el clima", busca abordar el cambio climático y sus impactos. Un aspecto clave de este objetivo es la adopción de medidas urgentes para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a los cambios climáticos. Sin embargo, el ODS 13 no aborda directamente el proceso de reciclado de poliestireno expandido (EPS). Para información específica sobre el reciclado de EPS, se puede referir al ODS 12, "Producción y consumo responsables", que incluye la gestión sostenible de materiales, como el EPS, y fomenta prácticas de reciclaje para reducir el impacto ambiental de los residuos plásticos.

En el contexto del ODS 13, el enfoque principal es la reducción de emisiones y la promoción de prácticas sostenibles en diversos sectores para combatir el cambio climático. Esto puede incluir la transición a fuentes de energía renovable, la eficiencia energética, la promoción de la resiliencia climática y la concienciación pública sobre la importancia de la acción climática. La adaptación y mitigación son elementos clave para abordar los efectos actuales y futuros del cambio climático.

Para obtener información específica sobre el reciclado de EPS, se recomienda referirse a iniciativas y prácticas que se alineen con el ODS 12 y que promuevan el manejo sostenible de materiales, incluido el poliestireno expandido [74].