



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOLUBILIZACIÓN DEL  
POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN COMO MATERIAL DE  
RECUBRIMIENTO TIPO AISLANTE TÉRMICO.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIADOS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PRESENTAN:**

JAQUELINE LÓPEZ TORRES

FRANCISCO JESÚS LÓPEZ SILVA

**BAJO LA DIRECCIÓN DE:**

DR. JOSE AURELIO SOSA OLIVER

**EN CODIRECCIÓN DE:**

DR. JOSE RAMÓN LAINES CANEPA

VILLAHERMOSA, TABASCO. JUNIO 2025

## Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día 30 del mes de mayo del año 2025, a los que suscribe **Jaqueline López Torres y Francisco Jesús López Silva** alumnos del Programa de **Licenciatura en Ingeniería Ambiental** con número de matrículas **172G24142 y 172G24141** adscritos a la **División Académica de Ciencias Biológicas** de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autores de la **Tesis** presentada para la obtención del título de **Licenciatura en Ingeniería Ambiental** y titulada **“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOLUBILIZACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN COMO MATERIAL DE RECUBRIMIENTO TIPO AISLANTE TÉRMICO”** dirigidos por el **Dr. José Aurelio Sosa Oliver** y el **Dr. José Ramón Laines Canepa**.

### DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentado de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a 30 de mayo 2025.



Jaqueline López Torres

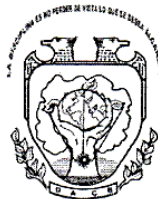


Francisco Jesús López Silva



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**2025**  
AÑO DE LA  
**Mujer**  
Indígena

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 08 de Abril de 2025

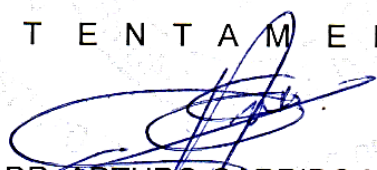
**ASUNTO:** Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON  
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION  
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES  
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a los **CC. JAQUELINE LÓPEZ TORRES y FRANCISCO JESÚS LÓPEZ SILVA** egresados de la Lic. en **ING. AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: **"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOLUBILIZACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN COMO MATERIAL DE RECUBRIMIENTO TIPO AISLANTE TÉRMICO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

**A T E N T A M E N T E**

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica  
C.c.p.- Interesado

U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

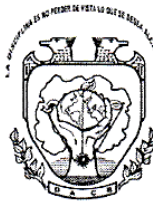


DIRECCIÓN



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**2025**  
AÑO DE LA  
**Mujer**  
Indígena

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

ABRIL 08 DE 2025

**C. JAQUELINE LÓPEZ TORRES**  
**C. FRANCISCO JESÚS LÓPEZ SILVA**  
**PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL**  
**P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarles que se les autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOLUBILIZACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN COMO MATERIAL DE RECUBRIMIENTO TIPO AISLANTE TÉRMICO"**, asesorado por el Dr. José Aurelio Sosa Olivier y Dr. José Ramón Laines Canepa, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por la Dra. Erika Escalante Espinosa, Dra. Melina del Carmen Uribe López, Dr. José Aurelio Sosa Olivier, Mtro. Antonio Hernández Cobián y QBP. Leonardo García Hernández.

**A T E N T A M E N T E**  
**ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA**  
**DIRECTOR**

U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
CIENCIAS BIOLÓGICAS

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
Archivo.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**



07 de abril de 2025

**C. Jaqueline López Torres  
C. Francisco Jesús López Silva  
Pasantes de la Lic. en Ingeniería Ambiental**

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se implementó la revisión del trabajo recepcional (Tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad y el Código Institucional de Ética para la Investigación.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones, el índice de similitud y el reporte de originalidad obtenido a través de la revisión en la plataforma iThenticate de su trabajo recepcional **"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOLUBILIZACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN COMO MATERIAL DE RECUBRIMIENTO TIPO AISLANTE TÉRMICO"**.

**OBSERVACIONES:**

Se incluyó citas, se excluyó bibliografía y fuentes pequeñas (o palabras), y se limitó el tamaño de coincidencias a 16 palabras.

<b>RESULTADO DE SIMILITUD</b>	<b>11 %</b>
	<b>12283 palabras, 36 coincidencias y 21 fuentes</b>

Finalmente, se les solicita a los **C. Jaqueline López Torres y Francisco Jesús López Silva**, integrar en la versión final del trabajo recepcional, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"ESTUDIO EN LA DUDA/ ACCIÓN EN LA FE"

**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**DIRECCIÓN**

C.c.p. Dr. Jose Aurelio Sosa Oliver. Director de tesis  
C.c.p. Dr. Jose Ramón Laines Canepa. Codirector de tesis  
C.c.p. Archivo



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA  
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, e-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx

# EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOLUBILIZACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN COMO MATERIAL DE RECUBRIMIENTO TIPO AISLANTE TÉRMICO

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

ÍNDICE DE SIMILITUD

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://www.ptolomeo.unam.mx:8080">www.ptolomeo.unam.mx:8080</a> Internet	184 palabras — 2%
2	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet	170 palabras — 2%
3	<a href="http://aniq.org.mx">aniq.org.mx</a> Internet	116 palabras — 1%
4	<a href="http://repositorio.uct.edu.pe">repositorio.uct.edu.pe</a> Internet	109 palabras — 1%
5	<a href="http://www.mindomo.com">www.mindomo.com</a> Internet	91 palabras — 1%
6	<a href="http://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Internet	64 palabras — 1%
7	<a href="http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx">repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx</a> Internet	56 palabras — 1%
8	<a href="http://quimicoglobal.mx">quimicoglobal.mx</a> Internet	54 palabras — < 1%
9	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Internet	50 palabras — < 1%
10	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a>	

	Internet	44 palabras — < 1%
11	<a href="http://www.redalyc.org">www.redalyc.org</a> Internet	42 palabras — < 1%
12	<a href="http://aidisnet.org">aidisnet.org</a> Internet	41 palabras — < 1%
13	<a href="http://cienciauanl.uanl.mx">cienciauanl.uanl.mx</a> Internet	38 palabras — < 1%
14	<a href="http://vdocumento.com">vdocumento.com</a> Internet	34 palabras — < 1%
15	<a href="http://www.enporex.com.ar">www.enporex.com.ar</a> Internet	29 palabras — < 1%
16	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet	28 palabras — < 1%
17	<a href="http://digi.usac.edu.gt">digi.usac.edu.gt</a> Internet	27 palabras — < 1%
18	<a href="http://ruidera.uclm.es">ruidera.uclm.es</a> Internet	24 palabras — < 1%
19	<a href="http://tampang.xyz">tampang.xyz</a> Internet	21 palabras — < 1%
20	<a href="http://revistas.ujat.mx">revistas.ujat.mx</a> Internet	19 palabras — < 1%
21	<a href="http://www.bajacalifornia.gob.mx">www.bajacalifornia.gob.mx</a> Internet	18 palabras — < 1%

## Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 30 de mayo 2025.

Por medio de la presente manifiesto haber colaborado como AUTOR en la producción, creación y/o realización de la obra denominada "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOLUBILIZACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN COMO MATERIAL DE RECUBRIMIENTO TIPO AISLANTE TÉRMICO". Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un periodo de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

### COLABORADORES

Jaqueline López Torres \_\_\_\_\_


Francisco Jesús López Silva \_\_\_\_\_

Dr. José Aurelio Sosa Oliver \_\_\_\_\_

Dr. José Ramón Laines Canepa \_\_\_\_\_

### TESTIGOS

  
Melina del Carmen Uribe López \_\_\_\_\_

  
Juan Luis Guey Sanchez Teller \_\_\_\_\_

## DEDICATORIA

A nuestros padres;

porque han sabido formarnos con buenos sentimientos y valores lo cual nos ha ayudado a salir adelante y forjarnos en las personas que somos. Por que sin ustedes no hubiera sido posible.

A nuestros abuelos;

que desde lo alto nos guían y nos iluminan para seguir adelante con nuestros proyectos de vida.

A mi compañero/a;

de tesis y ahora esposo/a que a no ser de su apoyo no lo habría logrado.

A mi esposa Jaqueline López Torres por ser mi compañera de vida, estar conmigo en todo momento y creer en mí siempre.

A mi esposo y futuros hijos;

Por su paciencia y regalarme momentos de alegría en momentos difíciles, los amo.

## AGRADECIMIENTOS

El principal agradecimiento a Dios quien nos ha dado las virtudes necesarias para terminar un proyecto más de vida.

A nuestras familias especialmente a nuestros padres por su amor incondicional, comprensión, estímulo y apoyo a lo largo de nuestros estudios y de la vida, por haber puesto su fe y su confianza en nosotros, gracias por ser nuestra fuerza en los momentos de incertidumbre.

Le agradezco a mi esposo Francisco Jesús López Silva por su apoyo, amor y confianza, su esfuerzo y dedicación fueron fundamentales para concluir este camino. Sin el este logro no habría sido posible.

A mi esposa Jaqueline López Torres que con tu amor y fe fuiste un pilar en mis momentos difíciles, y juntos culminamos una etapa muy importante en nuestras vidas. Te amo.

A nuestro director de tesis, Dr. José Aurelio Sosa Oliver, le queremos expresar nuestro mas sincero agradecimiento por su confianza, paciencia y apoyo, los cuales fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

A todos ellos, gracias por ser parte de este lindo viaje.

# CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN .....	17
II. ANTECEDENTES .....	20
III. JUSTIFICACIÓN .....	25
IV. HIPÓTESIS.....	26
V. OBJETIVOS.....	27
VII. MARCO LEGAL .....	28
A. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos .....	28
B. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2020.....	28
C. Plan de Manejo de Residuos PSE – modalidad mixto, colectivo y nacional. ....	29
D. Ley de Protección Ambiental del Estado de Tabasco (LPAET) .....	30
E. Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, del Estado de Tabasco (LPGIRET).....	30
F. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) .....	30
G. Norma Ambiental Estatal Emergente (NAETAB-EM) .....	31
VIII. MARCO TEÓRICO .....	32
A. Poliestireno Expandido (PSE) .....	32
B. Reciclaje del PSE.....	33
IX. MÉTODO .....	38
X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	50
XI. CONCLUSIÓN.....	72
XII. GLOSARIO .....	73
XIII. NOMENCLATURA.....	77
XIV. REFERENCIAS.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Poliestireno con proporciones diferentes de acetona y gasolina. ....	21
<b>Tabla 2.</b> Propiedades Fisicoquímicas de la acetona. ....	34
<b>Tabla 3.</b> Propiedades Fisicoquímicas del tolueno. ....	35
<b>Tabla 4.</b> Propiedades Fisicoquímicas del xilol. ....	35
<b>Tabla 5.</b> Propiedades Fisicoquímicas del metil-etil-cetona. ....	37
<b>Tabla 6.</b> Solventes seleccionados para el proceso de disolución. ....	41
<b>Tabla 7.</b> Valores de densidad de cada solvente de interés. ....	44
<b>Tabla 8.</b> Diseño experimental. ....	48
<b>Tabla 9.</b> Disolución/Solubilidad solvente-soluto. ....	52
<b>Tabla 10.</b> <i>Solubilización empleada para el PSE.</i> ....	54
<b>Tabla 11.</b> Diferencias de temperatura, grosor y peso con Tolueno. ....	57
<b>Tabla 12.</b> Diferencias de temperatura, grosor y peso con Xilol. ....	58
<b>Tabla 13.</b> Diferencias de temperatura, grosor y peso con Thinner americano. ....	58
<b>Tabla 14.</b> Análisis de varianza para temperatura del Tolueno (°C). ....	59
<b>Tabla 15.</b> Análisis de varianza para espesor del Tolueno. ....	61
<b>Tabla 16.</b> Análisis de varianza para temperatura del Thinner (°C). ....	62
<b>Tabla 17.</b> Análisis de varianza para espesor del Thinner americano. ....	63
<b>Tabla 18.</b> Análisis de varianza para temperatura del Xilol (°C). ....	64
<b>Tabla 19.</b> Análisis de varianza para espesor del Xilol. ....	65
<b>Tabla 20.</b> Valores experimentales y pronosticados bajo el análisis de superficie de respuesta respecto a la temperatura. ....	66
<b>Tabla 21.</b> Valores experimentales y pronosticados bajo el análisis de superficie de respuesta respecto al espesor. ....	66
<b>Tabla 22.</b> Factores establecidos y óptimos y mL empleados respecto a la masa PSE. ....	69
<b>Tabla 23.</b> Diferencias de temperatura, grosor y peso con los valores óptimos de cada solvente. ....	70

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figura 1.</b> <i>Composición porcentual promedio de los residuos (SEMARNAT, 2020).</i> .....	29
<b>Figura 2.</b> Símbolo del Poliestireno (Vectorportal, s.f.). .....	32
<b>Figura 3.</b> <i>Molécula del Poliestireno (Tecnologías Rennueva, 2018).</i> .....	32
<b>Figura 4.</b> <i>Diagrama del desarrollo del método.</i> .....	38
<b>Figura 5.</b> <i>Cálculo de la densidad A) Pesado B) medición del volumen.</i> .....	40
<b>Figura 6.</b> <i>Solventes orgánicos. a) metil-etil-cetona; b) éter petróleo, c) tolueno, d) xilol, e) acetona, f) hexano, g) thinner americano.</i> .....	41
<b>Figura 7.</b> Agitador orbital.....	43
<b>Figura 8.</b> <i>Elaboración de UE de concreto A) Cortado y limado de las placas B) señalización de cada placa.</i> .....	44
<b>Figura 9.</b> A) medición y B) pesado.....	45
<b>Figura 10.</b> Equipos para la aplicación por inyección de aire. A) Compresor de aire a presión B) Pistola para pintar. ....	46
<b>Figura 11.</b> Sistema de pruebas de aislamiento térmico. A) mueble de madera con cavidades; B) mueble aislado en cada cavidad con placas de PSE y orificios de pruebas.....	47
<b>Figura 12.</b> Generación anual de PSE.....	50
<b>Figura 13.</b> <i>Proceso de pretratamiento y acondicionamiento. A) equipo de molienda, B) Proceso de molienda, C) procesos de tamizado.</i> .....	51
<b>Figura 14.</b> Consumo de energía por unidad (A) del molino.....	51
<b>Figura 15.</b> Prueba de disolución A) Acetona B) Hexano. ....	53
<b>Figura 16.</b> Aplicación de la resina con el equipo de compresión.....	55
<b>Figura 17.</b> Medida de espesor. ....	56
<b>Figura 18.</b> Pruebas de temperatura. A) y B) Toma de temperatura. ....	56
<b>Figura 19.</b> Superficie de respuesta estimada del Tolueno. ....	60
<b>Figura 20.</b> Superficie de respuesta estimada del Tolueno .....	61
<b>Figura 21.</b> Superficie de respuesta estimada del Thinner americano.....	62

<b>Figura 22.</b> Superficie de respuesta estimada del Thinner americano. ....	63
<b>Figura 23.</b> Superficie de respuesta estimada del Xilol. ....	64
<b>Figura 24.</b> Superficie de respuesta estimada del Xilol. ....	65
<b>Figura 25.</b> Gráfica de efectos principales para temperatura con Tolueno. ....	67
<b>Figura 26.</b> Gráfica de efectos principales para temperatura con Xilol. ....	68
<b>Figura 27.</b> Gráfica de efectos principales para temperatura con Thinner americano. ....	69
<b>Figura 28.</b> Gráfico comparativo de valores óptimos. ....	71

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## **RESUMEN:**

En esta investigación se busca el aprovechamiento de residuos de poliestireno, evaluando la capacidad de solubilización y aplicación como material de recubrimiento tipo aislante térmico en superficies de concreto. En Tabasco el clima cálido húmedo es predominante, alcanzando temperaturas entre 35 y 40 °C, lo que provoca sensaciones térmicas muy elevadas en el interior de los hogares (CONAGUA, 2022). En Tabasco existen muchas viviendas que cuentan con un techo de baja altura, el uso de lozas de concreto no es eficiente la repelencia de temperatura, permitiendo la transferencia del calor solar al interior de los hogares, provocando altas temperaturas en el interior. Considerando que las temperaturas actuales son superiores a los 45 °C, con sensaciones térmicas que alcanzan más de 50°C (SMN, 2024), se deben buscar alternativas eficientes que permitan combatir las altas temperaturas en los hogares y sobre todo los hogares que carecen de sistemas de aire acondicionado. Por lo tanto, el objetivo principal de la investigación es determinar la capacidad de reciclaje de poliestireno expandido mediante su combinación con solventes orgánicos, para su uso como material de recubrimiento en superficies de concreto.

**Palabras claves:** Poliestireno Expandido, dilución, solubilidad, repelencia térmica, optimización, temperatura.

## **ABSTRACT:**

This research seeks to utilize polystyrene waste, evaluating its solubilization capacity and application as a thermal insulation coating material on concrete surfaces. In Tabasco, the warm and humid climate predominates, reaching temperatures between 35 and 40 °C, which causes very high thermal sensations inside homes (CONAGUA, 2022). In Tabasco, many homes have low-height roofs; the use of concrete slabs is not efficient in temperature repellency, allowing solar heat transfer to the interior of homes, causing high temperatures inside. Considering that current temperatures are above 45 °C, with thermal sensations reaching more than 50 °C (SMN, 2024), efficient alternatives must be sought to combat high temperatures in homes, especially homes that lack air conditioning systems. Therefore, the main objective of the research is to determine the recycling capacity of expanded polystyrene by combining it with organic solvents for use as a coating material on concrete surfaces.

**Keywords:** Expanded Polystyrene, dilution, solubility, thermal repellency, optimization, temperature.

## I. INTRODUCCIÓN

El poliestireno (PS), conocido comúnmente como “*unicel*”, se puede encontrar en diversos productos, como embalajes y utensilios de cocina, formando parte de los plásticos de un solo uso y de corta vida útil. El PS posee una densidad de  $1.04 \text{ g/cm}^3$  (Murcia et al., 2021), un valor muy similar al Polietileno Tereftalato (PET) el cual posee una densidad de  $1.33 \text{ g/cm}^3$  (Tecnología de los plásticos, 2011). Existe una presentación del PS conocido como Poliestireno Expandido (PSE) compuesto por un 98 % de aire y solo un 2 % de estireno (Fuentes, 2020).

El PSE se obtiene mediante la polimerización del estireno ( $\text{C}_8\text{H}_8$ ). Este proceso se descubrió en 1831 y en 1930 se sintetizó de manera industrial (SEMARNAT, 2020). La Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ, 2016) señala que el PSE posee propiedades que favorecen su uso en diversos sectores: proporciona ligereza estructural, aislamiento térmico, resistencia a impactos y humedad, lo cual lo hace útil en las industrias de la construcción, alimentaria y de salud. El mercado global del poliestireno ha reflejado un enorme crecimiento, el consumo se incrementó un 91%, del 2001 (3,251 kton) a 2014 (6,197 kton) (Flores, 2016). Los principales productores a nivel nacional de poliestireno tienen una capacidad instalada de 417 mil toneladas anuales, mientras que el consumo de esta resina ronda las 500 mil toneladas (Tecnologías Rennueva, 2018). Entre los principales productores nacionales de PSE destacan Styropek® y BASF® en Tamaulipas, Novidesa® en Tlaxcala, y Resirene® en Veracruz (Tecnologías Rennueva, 2018). En México se generan 1,862 t/día de PSE, equivalente al 1.55% de la generación total de residuos (SEMARNAT, 2020)

Chetna et al. (2022) mencionan que el poliestireno es uno de los principales contaminantes plásticos en ambientes marinos y terrestres, particularmente en forma de micro y nanoplásticos (PSNP), los cuales provienen tanto de fuentes primarias como secundarias. Las fuentes primarias derivan de diversos productos como cosméticos, pinturas, productos biomédicos, electrónicos y farmacéuticos. Las secundarias generalmente se fabrican de forma involuntaria mediante la descomposición de desechos plásticos grandes en otros más pequeños o en algunas circunstancias

naturales, al exponerse al medio ambiente debido a una gestión inadecuada de los desechos por parte de diversas industrias. Estos PSNP presentan alta persistencia ambiental y toxicidad, afectando organismos por vías digestivas y respiratorias. Tanto en ecosistemas marinos y terrestres.

A pesar de que el PSE es reciclable, no es biodegradable. Su estructura molecular estable le permite permanecer en el ambiente hasta 500 años (Flores et al., 2020), contribuyendo significativamente a la contaminación del suelo y el agua.

Aunque algunos plásticos, como el PET, cuentan con cadenas de reciclaje consolidadas, el PSE aún presenta limitaciones en su aprovechamiento, principalmente por su bajo peso y volumen expandido. Una de las opciones mayormente empleada en el manejo de polímeros es su reuso y reciclaje, los cuales pueden ser procesos térmicos y/o fisicoquímicos.

Investigaciones de Achillas et al. (2009), García et al. (2009), Fuentes (2013), Alva (2019) y Juárez et al. (2016) han demostrado resultados favorables en la obtención de impermeabilizantes a partir del PSE diluido con disolventes como tolueno, xileno, acetona, acetato y gasolina. Asimismo, autores como Ferraz (2017) y Gutiérrez (2022) han empleado solventes menos tóxicos como la acetona y el acetato de etilo.

El aprovechamiento térmico del PSE también ha motivado investigaciones orientadas a su reutilización como material de aislamiento. En Tabasco el clima cálido húmedo es predominante, donde la temperatura promedio anual es de 27.5 °C (CONAGUA, 2022) y pueden superarse los 45 °C (SMN, 2024), las viviendas con techos bajos y sin aislamiento térmico adecuado experimentan condiciones extremas. En Tabasco existen muchas viviendas que cuentan con un techo de baja altura, el uso de lozas no es eficiente para repeler la temperatura, permitiendo la transferencia del calor solar al interior de los hogares, provocando altas temperaturas. Por lo tanto, es necesario desarrollar productos cuya capacidad de repelencia térmica ayude en la reducción de las elevadas temperaturas en los hogares, en este contexto, resulta pertinente investigar el uso del PSE reciclado como recubrimiento aislante, ofreciendo una solución sustentable al problema del calor excesivo y al manejo inadecuado de residuos plásticos.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) define el reúso como el empleo de un material o residuo previamente usado, sin que medie un proceso de transformación. En los procesos de reciclaje del PSE definido por la LGPGIR como la transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, existen diferentes métodos, pero los más eficientes son los de dilución ya que al someter los polímeros de PSE con un solvente se disocian, es por ello por lo que existen diferentes métodos para reducirlo. No obstante, a lo anterior diversas investigaciones realizadas sobre la reutilización del poliestireno han demostrado que es una actividad viable, demostrando que este material residual es factible para la creación de resinas de recubrimiento. El interés de este proyecto es optimizar las variables de reciclaje de PSE y evaluar su funcionalidad como material de recubrimiento.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## II. ANTECEDENTES

Diversos estudios han explorado el potencial del poliestireno expandido (PSE) como material reciclable mediante procesos de disolución con solventes orgánicos. Achilias (2009), experimentó el reciclaje de polímeros de materiales de empaque utilizando el método de disolución que pertenece a las técnicas de reciclaje mecánico. El procedimiento experimental partía de agregar 1 g de PSE y 20 mL del solvente (Tolueno y Xileno) a un matraz, y posteriormente agitarse en un agitador magnético. El sistema se calentó durante 30 min a 50 °C. Luego, el matraz se enfrió y la solución del polímero se vertió adecuadamente en el no solvente. El polímero se volvió a precipitar, se lavó, se filtró y se secó en un horno a 80 °C durante 24 h. El polímero reciclado se obtuvo en forma de polvo o gránulos. Se logró una recuperación del material superior al 95 %, aunque se observó que el D-limoneno resultó ser un solvente más eficaz que el tolueno.

García et al. (2009), analizaron la solubilidad de las espumas de PS en diferentes solventes en dos pasos. En primer lugar, una disolución de poliestireno con disolventes adecuados en el mismo lugar donde se produce el residuo. En segundo lugar, una etapa de eliminación de disolventes por destilación al vacío en una planta de reciclaje. Investigaron la solubilidad del polímero con los solventes a diferentes temperaturas. Concluyeron que la solubilidad del PS mejora al aumentar la temperatura, y que el solvente puede recuperarse eficientemente mediante destilación.

En Colombia Perdomo et al. (2012), evaluaron el uso de PSE reciclado como impermeabilizante para electrodos utilizados en soldadura subacuática, encontrando efectos protectores positivos. El impermeabilizante se elaboró con láminas de PSE, las que fueron disueltas en una solución de solventes orgánicos. Se observó efectos protectores durante la soldadura subacuática mojada. Concluyó, que el PSE constituye una alternativa factible para la fabricación de impermeabilizantes de electrodos empleados en operaciones de soldadura subacuática mojada.

En México, Fuentes (2013) desarrolló impermeabilizantes a partir de PSE diluido en gasolina y acetona, obteniendo mezclas con propiedades adecuadas para resistir

altas temperaturas y humedad. El PSE se recolectó y sometió a un tratamiento mínimo de limpieza, se hizo una trituration manual. El procedimiento de dilución se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Poliestireno con proporciones diferentes de acetona y gasolina.*

<b>Acetona</b>		<b>Gasolina</b>	
<b>Poliestireno (g)</b>	<b>Solvente (ml)</b>	<b>Poliestireno (g)</b>	<b>Solvente (ml)</b>
<b>25</b>	30	30	30
<b>28</b>	40	40	30
<b>30</b>	40	50	50
<b>40</b>	45	55	60
<b>50</b>	50	60	60
<b>60</b>	70	70	100

Se concluyó que el disolvente más adecuado fue la gasolina, por ser más eficaz por en adherencia y durabilidad una mayor vida útil como impermeabilizante en la intemperie.

Gutiérrez et al. (2014) propusieron hacer un diseño experimental factorial para determinar el efecto de la presión, la temperatura, la concentración de la solución, el tiempo contacto y el tiempo de venteo esto sobre el diámetro de las celdas, determinar su desviación estándar y la densidad de las celdas. El mejor resultado se obtuvo a 90 bar, 30 °C y 0.1 g/mL con 240 min de contacto, condiciones que optimizaron la densidad y diámetro de las celdas.

Rolando et al. (2015) reportan el uso de diversos solventes comerciales, encontrando que el xileno ofrecía mejores propiedades para obtener una resina de recubrimiento, en comparación con el Tolueno, Metil isobutil cetona, Metil etil cetona, Acetato de butilo y el Thinner. Se utilizaron dos tipos de PSE, el de alta y de baja densidad, se sometieron a un proceso de trituration y reducción de tamaño, para preparar ambos recubrimientos se utilizaron 60 g de poliestireno expandido y 86.5 g de solvente. La resina de Xileno mostró mayor brillo, alta viscosidad y buena adherencia sobre madera, actuando como barniz.

En México, Juárez et al. (2016) buscaron conocer la factibilidad del impermeabilizante hecho a través de la reutilización del unicel, esto se presentó en 4 bloques. El unicel residual se compra en el centro de acopio, se almacena y se somete a un lavado parcial para después triturarlo y preparar el disolvente que consta de 60% de acetona y 40% de acetato. El producto final, con apariencia de barniz, fue considerado viable técnica, ambiental y económicamente.

Gil-Jasso et al. (2019) propusieron una alternativa sustentable empleando aceites esenciales (eucalipto, tomillo y manzanilla) como disolventes para el PS. Su método permitió una disolución eficiente, un secado rápido y reutilización total del aceite. En cada experimento, se colocó 1 g de aceite esencial en un tubo de ensayo, luego se agregan diferentes cantidades de poliestireno expandido (10-100% en peso), en su investigación lograron la disolución completa del PS, obteniendo una relación máxima de 1:1% en peso, para caracterizar el PS recuperado, utilizaron equipos de espectroscopía infrarroja, difracción de rayos-X en polvo y por último análisis termogravimétricos. Sus resultados indican que su tiempo de secado fue cuatro veces más rápido que con D-limoneno. Todo el aceite esencial ocupado fue recuperado y utilizado nuevamente.

Reyes et al. (2019) en Trujillo, Perú, realizó una evaluación del uso de impermeabilizante de PSE reciclado como alternativa económica para reducir la degradación de los adobes con el agua, para esto se disolvió 1 kg de PSE con 0.5 L de gasolina para formar el impermeabilizante, se le agregaron dos capas a la superficie de los adobes, se observó que el uso de impermeabilizante de PSE reciclado en los adobes es una opción económica al ser de material reusado, a la vez que modera y disminuye en gran escala la transmisión y absorción de humedad. Se concluyó que el impermeabilizante de PSE reciclado brinda a los adobes una protección contra el agua y sales presentes, asimismo resulta una opción accesible y de bajo costo. Los resultados indicaron que el número de capas incrementa la efectividad del recubrimiento sin alterar las propiedades del adobe.

En Brasil, Werncke et al. (2020) reportan el uso de solventes como alcohol de estación, diluyente y queroseno y aceite vegetal para la producción de impermeabilizante. Además de Styrofoam como soluto, se probaron la adición de cola

de acetato de polivinilo (PVA) y fibra de vidrio, para adquirir plasticidad se utilizó aceite de soya, se le realizó un lavado parcial al PSE para eliminar impurezas y se realizaron 4 tipos de mezclas en vasos de precipitado de 600 ml. Sus resultados indican que la disolución con etanol hidratado y queroseno no tuvo el efecto deseado sobre el PSE. En conclusión, solo dos sustancias fueron las que tuvieron mejores resultados, una mostró una coloración transparente con excelente resistencia a la humedad, mientras que la otra mezcla, además de estas características, mostró una ganancia de resistencia por la presencia de fibra quedando opacas sólo en las áreas que tiene fibra.

Gutiérrez et al. (2022) exploraron la evaluación y caracterización de los residuos de PSE como potencial aglomerante y material de revestimiento para asfalto e infraestructura, mediante su degradación con solventes (acetona y acetato de etilo) en diferentes proporciones, se complementó con ensayos de resistencia al corte, pegajosidad, reología y termogravimétricos, para ello se depositó el PSE en un recipiente con disolvente hasta obtener un producto pegajoso, tras eliminar el exceso de disolventes, y tras un tiempo aproximado de 6 h, se seca por completo. Mediante pruebas de resistencia al corte, reología y secado, concluyeron que el PSE disuelto en acetona y acetato de etilo mejora las propiedades mecánicas del producto final, por lo tanto, puede ser aplicado como una película de revestimiento de asfalto, o como aglutinante adhesivo.

Por otra parte, entre las investigaciones locales se encontró la investigación de Sosa et al. (2018), esta investigación tiene como objetivo evaluar el poliestireno reciclado, a partir de un proceso con un solvente comercial, buscando su utilidad como aislante térmico. Para ellos se utilizó thinner tipo americano marca Comex® (50% tolueno) como diluyente, se colocaron 60 g de PS molido en contenedores plásticos de 4 L. Reportan 18 prototipos de viviendas, la mezcla resultante de la dilución se aplicó a los prototipos realizadas con madera, con techo de lámina de Zinc, manejando dos espesores, 1.5 y 2 mm, respectivamente, también para comparar los grupos de estudios, se utilizó un impermeabilizante marca Fester® y un blanco, que constaba de un grupo sin ninguna cubierta en la lámina de zinc. Se observó que los resultados de temperatura registrados arrojan una disminución de 0.40°C entre el grupo de PSE a 1.5 mm de

espesor, y el testigo. Sin embargo, los resultados del análisis estadístico concluyen que no existen diferencias significativas entre los grupos de interés.

Finalmente, la alta generación de residuos sólidos urbanos en Tabasco y la inadecuada gestión de materiales como el PSE agravan los problemas ambientales locales, lo que justifica la búsqueda de alternativas sustentables de valorización.

México

### III. JUSTIFICACIÓN

La capacidad de aislamiento térmico del PES, así como su versatilidad para ser transformado mediante procesos fisicoquímicos, abre nuevas posibilidades para el desarrollo de investigaciones orientadas a valorizar residuos sólidos urbanos con alto potencial de reciclaje. Por tanto, la presente investigación se justifica desde múltiples aristas:

Desde la dimensión económica, el desarrollo de un proceso estandarizado de aprovechamiento de PSE, permitiría generar un producto comercializable a bajo costo, dado que la materia prima proviene de residuos post-consumo.

En el ámbito técnico, esta investigación busca demostrar la viabilidad del reciclaje del PSE mediante procesos de disolución controlada, identificando sus alcances y limitaciones. La generación de un material funcional como recubrimiento térmico contribuiría al desarrollo de nuevas aplicaciones industriales con valor agregado.

Desde la perspectiva social, el producto derivado del PSE reciclado podría representar una solución accesible para reducir la temperatura en viviendas localizadas en regiones de clima cálido húmedo, como Tabasco. Esto contribuiría a mejorar el confort térmico en hogares de bajos recursos, donde la infraestructura no permite una adecuada protección contra el calor extremo.

En la perspectiva ambiental, el reciclaje del PSE, podría disminuir tanto el volumen de residuos dispuestos en rellenos sanitarios como la demanda de energía eléctrica asociada al uso intensivo de sistemas de enfriamiento artificial. Esto último permitiría una reducción indirecta en las emisiones de gases de efecto invernadero, alineándose con los objetivos de sostenibilidad ambiental promovidos por las políticas públicas en materia de cambio climático.

#### IV. HIPÓTESIS

Si el PSE es solubilizado mediante solventes orgánicos apropiados, entonces es posible reciclarlo en forma de recubrimiento, conservando sus propiedades térmicas y permitiendo su uso como aislante sobre superficies.

La solubilización del PSE aplicado mediante equipos de inyección de aire a presión, entonces se logrará una distribución uniforme sin comprometer su capacidad de repelencia térmica.

## V. OBJETIVOS

### General

Evaluar la capacidad de reciclaje del poliestireno expandido (PSE) mediante su solubilización con solventes orgánicos, para su aplicación como material de recubrimiento con propiedades de aislamiento térmico en superficies de concreto.

### Particulares

- Cuantificar la generación de poliestireno expandido en una institución de educación superior.
- Recuperar, pretratar, acondicionar y caracterizar el poliestireno expandido residual como materia prima para reciclaje.
- Implementar un proceso de solubilización del PSE utilizando diferentes solventes orgánicos.
- Aplicar las mezclas obtenidas como recubrimiento en superficies de concreto y evaluar su adherencia y cobertura. Optimizar las combinaciones de solubilización del poliestireno expandido, evaluando las proporciones de solubilización y el número de aplicaciones, en función de su capacidad de aislamiento térmico.
- Determinar las condiciones óptimas de solubilización que maximicen la efectividad térmica del recubrimiento.

## VII. MARCO LEGAL

### A. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

La LGPGIR en su Artículo 28 establece que, “Estarán obligados a la formulación y ejecución de los planes de manejo”, según corresponda:

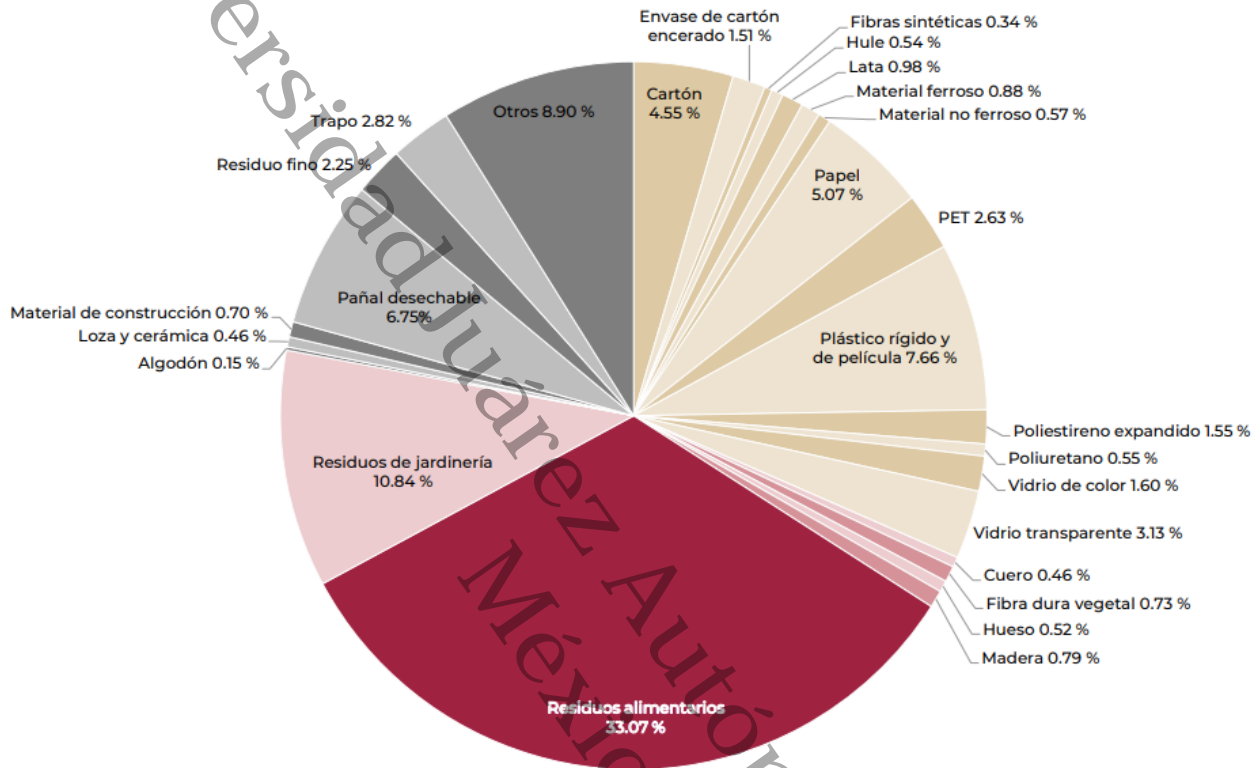
Los grandes generadores y los productores, importadores, exportadores y distribuidores de los productos que al desecharse se convierten en residuos sólidos urbanos o de manejo especial que se incluyan en los listados de residuos sujetos a planes de manejo de conformidad con las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes; los residuos de envases plásticos, incluyendo los de poliestireno expandido; así como los importadores y distribuidores de neumáticos usados, bajo los principios de valorización y responsabilidad compartida (PROFEPA, 2016).

### B. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2020.

A nivel nacional la generación de residuos diaria es de 120,128 t. Con base en la clasificación de los subproductos establecidos en la NMX-AA-022-1985, en la figura 1 se muestra los valores porcentuales para cada uno de los subproductos determinados.

**Figura 1.**

Composición porcentual promedio de los residuos (SEMARNAT, 2020).



### C. Plan de Manejo de Residuos PSE – modalidad mixto, colectivo y nacional.

Durante 2016, Tecnologías Rennueva® inicia operaciones de acopio de material de Poliestireno Expandido, por lo que gestiona ante SEMARNAT su plan de manejo con folio de registro PM-ROTR-018-20198.

Debido a la constante evolución de las tecnologías y nuevos productos y con el fin de brindar y cubrir los objetivos de disminución de impacto ambiental, nace el plan de manejo de residuos para el Poliestireno Expandido, el cual tiene como objetivo que el pequeño y gran generador le den un adecuado manejo y una correcta disposición a los

residuos de PSE, para ello la operación del plan de manejo será promovida por los participantes de acuerdo a su modalidad: Generador, reciclador o fabricante.

El PSE es una variante física del Poliestireno. Es el cuarto polímero de mayor producción en el mundo y en México después del PET, PE y PP.

Este material es identificado según la norma ASTM D7611 / D7611M - 13e1 y su acercamiento mexicano, la NMX-E-232-CNCP-2011, con un número 6 dentro del triángulo de möbius, que es el símbolo internacional del reciclaje (Tecnologías Rennueva, 2018).

#### **D. Ley de Protección Ambiental del Estado de Tabasco (LPAET)**

Tiene por objeto regular todos los tipos de actividades para proteger el ambiente, el cual es considerado un bien jurídico de titularidad colectiva (SEMARNAT, 2019).

#### **E. Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, del Estado de Tabasco (LPGIRET)**

Esta ley tiene por objeto:

Propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización, la gestión y el manejo integral de los residuos de manejo especial y sólidos urbanos, así como de la prevención de la contaminación de sitios por residuos y su remediación (SEMARNAT, 2012).

#### **F. Normas Oficiales Mexicanas (NOM)**

De manera general las normas Oficiales Mexicanas establecen las condiciones según aplique, es por ello que para los sitios de disposición final y los límites máximos permisibles de emisiones en caso de incineración es la **NOM-083-SEMARNAT-2003** *“Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño,*

*construcción, operación, monitoreo, clausura, y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.”*

#### **G. Norma Ambiental Estatal Emergente (NAETAB-EM)**

En el estado de tabasco se cuenta con una propuesta normativa que es la **NAETAB-EM-001-SBSCC-2020**, la Norma Ambiental Estatal Emergente, establece los Requisitos, Criterios y Especificaciones Técnicas para la producción y Consumo Responsable en Materia de Bolsas de Plástico, Popotes de Plástico, y el Poliestireno Expandido como Unicel en el Estado de Tabasco.

Esta norma, tiene por objeto establecer los criterios, especificaciones técnicas y requisitos que deben de cumplir las bolsas de plástico biodegradables, compostables y recicladas, así como los popotes de plástico y poliestireno expandido conocido como unicel, establecidas en el artículo 101 de la Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos del Estado de Tabasco (SBSC, 2020).

## VIII. MARCO TEÓRICO

### A. Poliestireno Expandido (PSE)

El poliestireno expandido (PSE) es un polímero plástico derivado del petróleo, compuesto en un 98 % por aire y 2 % por estireno. Debido a su baja densidad, propiedades térmicas y costo reducido, se utiliza ampliamente como material de embalaje y aislamiento térmico (Abdu, 2023).

#### Figura 2.

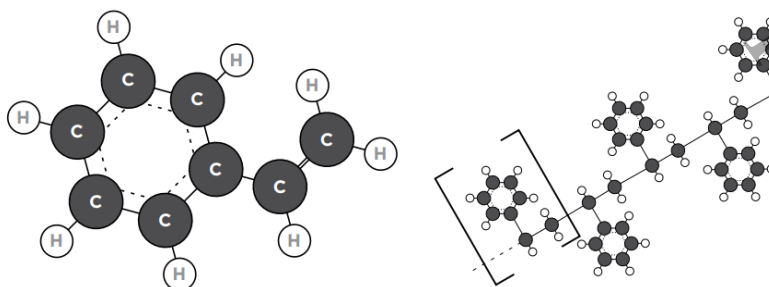
Símbolo del Poliestireno (Vectorportal, s.f.).



El PSE se obtiene a partir de la polimerización del estireno, el cual proviene del etilbenceno, un compuesto derivado del etileno mediante procesos de refinación del petróleo. El proceso de producción de poliestireno representa el 4 % del uso global de petróleo, mientras que el EPS solo el 0.1 % (Tecnologías Rennueva, 2018).

#### Figura 3.

Molécula del Poliestireno (Tecnologías Rennueva, 2018).



## **B. Reciclaje del PSE**

Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos (DOF, 2003).

Los beneficios del reciclaje incluyen la conservación de recursos, la reducción de emisiones y la generación de empleo (INTA, 2020). **Tipos de reciclado**

La Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) clasifica los procesos de reciclado de PS en dos tipos.

### **Proceso Mecánico**

Es un proceso que incluye acopio, termo densificación, peletizado y transformación en nuevos productos no alimentarios.

#### 1. Acopio

En los centros de acopio se recibe el unicel post-consumo (vasos, platos, desechables y residuos de la construcción), por particulares, empresas vecinas, locatarios, instituciones educativas y Gobiernos Municipales y Estatales.

#### 2. Termo densificación

Mediante el termo densificado, a través de calor, el aire es extraído del unicel. Se producen bloques de 20 kg equivalentes a 7,500 vasos.

#### 3. Peletizado

El bloque obtenido pasa por un proceso de molienda y extrusión. Después de esto, el resultado son perlas de materia prima.

#### 4. Nuevos productos

Estas perlas son utilizadas para la fabricación de nuevos productos que no tengan contacto con alimentos y/o bebidas (ANIQ, s.f.).

## Proceso Químico

Consiste en un proceso de despolimerización o disolución del poliestireno en su monómero constituyente, lo cual permite su reutilización en aplicaciones como impermeabilizantes o recubrimientos. (ANIQ, s.f.). A continuación, se muestran algunos de los solventes empleados en su despolimerización.

### Acetona (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CO

Líquido incoloro y volátil, con bajo nivel de toxicidad y alta capacidad disolvente. Se emplea en productos de limpieza, plásticos y cosméticos (ATSDR, 2021; UNAM, 2008).

**Tabla 2.**

Propiedades Físicoquímicas de la acetona.

Características	Parámetros
Apariencia	Líquido incoloro
Peso molecular:	58.08 g/mol
pH:	5 – 6
Punto de fusión:	-95 °C
Punto de ebullición:	56.2 °C
Presión de vapor:	30 kPa a 25 °C
Densidad de vapor:	No se dispone
Límite de explosividad:	Inferior 2.2% y superior 13% (concentración en aire)
Umbral de olor:	47.5 ppm (31 mg/m <sup>3</sup> )

**Nota:** Ficha de hoja de seguridad (Meyer R., 2018)

### Tolueno C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>

Solvente aromático con moderada toxicidad, ampliamente utilizado en pinturas, resinas y en la disolución del PS (UNAM, 2016).

**Tabla 3.**  
Propiedades Físicoquímicas del tolueno.

Características	Parámetros
<b>Factor de conversión:</b>	(20 °C; 101 kPa): $3.83 \text{ mg/m}^3 = 1 \text{ ppm}$
<b>Peso molecular:</b>	92.13 g/mol
<b>Solubilidad:</b>	prácticamente insoluble en agua, miscible en disolventes orgánicos.
<b>Punto de fusión:</b>	-95 °C
<b>Punto de ebullición:</b>	111 °C
<b>Presión de vapor:</b>	3.73 kPa a 25 °C
<b>Densidad de vapor:</b>	3.2 veces la densidad del aire
<b>Límite de explosividad:</b>	superior, 7.1%, inferior 1.2% (concentración en aire)
<b>Umbral de olor:</b>	5 ppm ( $18 \text{ mg/m}^3$ )

*Nota: Hoja de seguridad, (UNAM, 2016).*

#### Xilol C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>

Derivado del petróleo, utilizado como **diluyente de pinturas y solvente industrial**. Presenta propiedades inflamables y elevada capacidad disolvente (ATSDR, 2016).

**Tabla 4.**  
Propiedades Físicoquímicas del xilol.

Características	Parámetros
<b>Peso molecular:</b>	106.16 g/mol
<b>Factor de conversión:</b>	(20 °C, 101 kPa): $4.42 \text{ mg/m}^3 = 1 \text{ ppm}$
<b>Solubilidad:</b>	Ninguna
<b>Punto de fusión</b>	-25°C
<b>Punto de ebullición:</b>	144°C (o-xileno)
<b>Presión de vapor:</b>	0.7 kPa a 20°C
<b>Densidad:</b>	3.7 veces la del aire.
<b>Límite de explosividad:</b>	inferior 1.0% y superior 3.5% (concentración en aire).

*Nota: hoja de seguridad (INSST, 2018).*

## Thinner

Mezcla de solventes derivados del petróleo, típicamente compuesta por tolueno, benceno, alcoholes y cetonas. Es eficaz en la disolución de PS, pero su toxicidad debe considerarse en aplicaciones residenciales (Global, 2011).

Los principales componentes del Thinner son:

Compuesto	Porcentaje
Tolueno	5 - 50%
Alcohol metílico	15 - 50%
Cetonas	5 - 40%
Hexano	5 - 30%
Alcoholes	5 - 40%
Xileno	5 - 20%
Ésteres	3 - 50%

Estas cantidades varían según el producto deseado (Global, 2011).

## Metil-etil-cetona C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O

Líquido volátil usado en la fabricación de pinturas y plásticos, con alto poder disolvente y bajo punto de ebullición, lo que favorece un secado rápido (Departamento de Salud, 2002).

**Tabla 5.**  
Propiedades Físicoquímicas del metil-etil-cetona.

<b>Características</b>	<b>Parámetros</b>
<b>Peso molecular:</b>	72.1 g/mol
<b>Densidad relativa al agua:</b>	0.81 (20°C)
<b>Solubilidad:</b>	280 g/L
<b>Punto de fusión:</b>	-86.6 °C
<b>Punto de ebullición:</b>	80 °C
<b>Presión de vapor:</b>	12.1 kPa a 25 °C
<b>Densidad de vapor:</b>	2.41
<b>Límite de explosividad:</b>	1.8% en volumen en el aire
<b>Viscosidad:</b>	No se dispone

**Nota:** Hoja de datos de seguridad (Meyer, R., 2018)

La elección del solvente es crucial para determinar la eficiencia del proceso de solubilización, la viscosidad del producto final y su desempeño como recubrimiento térmico. Disolventes como la acetona y el xileno han demostrado ser eficaces por su capacidad para generar mezclas homogéneas y de fácil aplicación, mientras que otros como el thinner y la metil-etil-cetona destacan por su rapidez de evaporación.

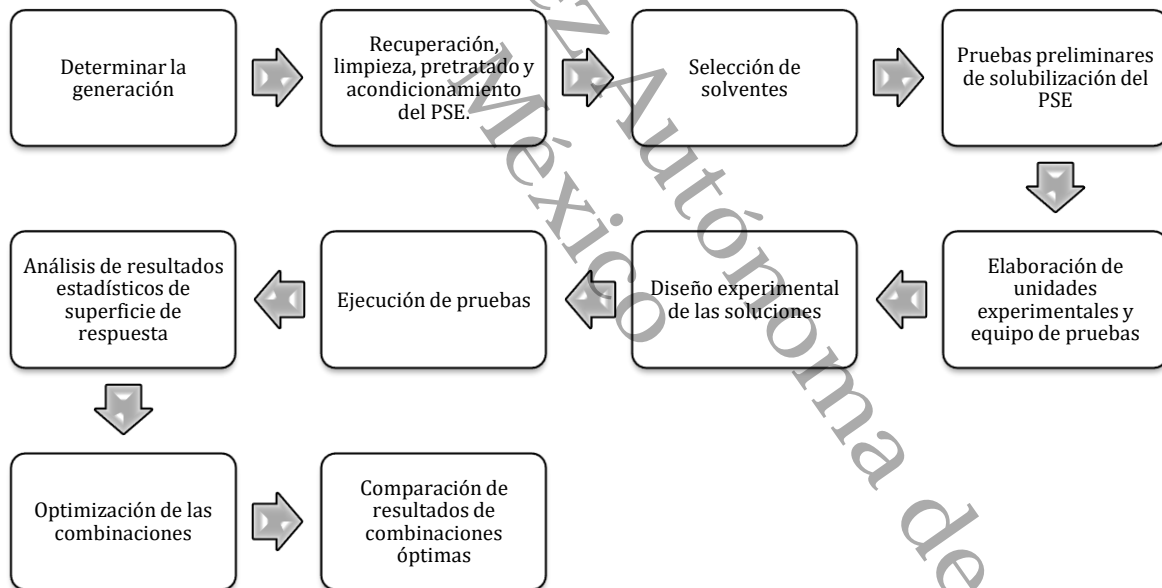
La literatura revisada permite concluir que el reciclaje del PSE mediante disolventes orgánicos es un proceso técnicamente viable que puede aprovechar residuos plásticos para la producción de recubrimientos con propiedades térmicas. Este enfoque no solo contribuye a reducir el volumen de residuos, sino que también puede mejorar la eficiencia energética en zonas cálidas, como Tabasco, al ofrecer una alternativa sustentable a materiales comerciales aislantes.

## IX. MÉTODO

La presente investigación se desarrolló de manera sistemática, como se muestra en la figura 4, siguiendo un enfoque experimental aplicado que permitió evaluar la reutilización del poliestireno expandido (PSE) como recubrimiento térmico, mediante su solubilización con solventes orgánicos. El proceso comprendió desde la generación y acondicionamiento del residuo, hasta el diseño experimental, aplicación y análisis comparativo de combinaciones óptimas.

**Figura 4.**

*Diagrama del desarrollo del método.*



- **Determinación de la generación y tipos de poliestireno**

En el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE) se desarrollan actividades de recepción, cuantificación y separación de los residuos generados por toda la población universitaria de la División Académica de Ciencias Biológicas DACBIOL. Con base en los registros anuales de la bitácora de subproductos, se identificaron los tipos y la cantidad de poliestireno (PS) generados. Para validar esta información, se realizó un muestreo directo durante cinco días, mediante el acopio y caracterización de los residuos de PS recibidos en el CATRE.

- **Recuperación, limpieza, pretratado, acondicionamiento del PSE.**

El PSE acopiado en CATRE, se utilizó para el desarrollo de esta investigación. Se seleccionaron únicamente residuos de poliestireno expandido (PSE) limpios y sin restos visibles de contaminantes como polvo, residuos alimenticios u otros materiales. En caso necesario, se aplicó una limpieza manual con agua y jabón. El material fue fragmentado manualmente en partículas de aproximadamente 5 cm de diámetro, tamaño que facilitó su procesamiento en el equipo de molienda.

El PSE se redujo de tamaño de forma manual, a partículas de 5 cm de diámetro aproximadamente, ya que este tamaño, permite ingresarse de una manera adecuada en el equipo de molienda.

El equipo de molienda consiste en un motor eléctrico, acoplado a un sistema de poleas con cuchillas giratorias accionadas a velocidad constante.

Todo el material molido se pasó por proceso de acondicionamiento el cual constan de un tamizado con un tamiz número #8mm y un tamiz número #12mm con la finalidad de estandarizar el tamaño de partículas.

El proceso de molienda fue analizado con respecto al consumo de energía eléctrica. Con ayuda de un multímetro marca UNIT-T, midió el voltaje (V) del suministro de energía eléctrica y durante cada molienda se midió el consumo de energía en amperios (A).

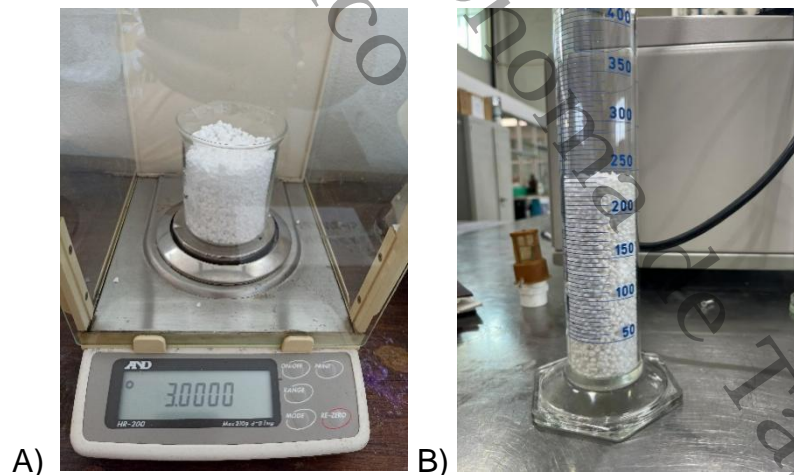
La prueba consistió en monitorear el equipo de molienda durante 30 minutos, midiendo el voltaje en el contacto de alimentación y el amperaje (A) en la fase de alimentación del molino, empleando las tenazas del multímetro. El volumen de PSE empleado en la prueba de molienda fue de 5.23 L, con un peso de 0.04 g. Esta prueba se replicó 38 veces.

Se realizó un pesado antes y después de la molienda del PSE (fraccionado y molido) con la finalidad de obtener el porcentaje de pérdida. Durante este mismo proceso se realizó el cálculo de la densidad con el fin de determinar si el PSE molido aumenta o disminuye en comparación al PSE fraccionado.

Con el PSE molido se realizó una prueba de densidad respecto a la masa utilizada para este proyecto, esto consistió en pesar 3 g de PSE molido, después se colocó en una probeta para medir su volumen, como se muestran en la figura 5 y 6, y se realizaron los cálculos correspondientes, este proceso se repitió 3 veces para poder obtener un promedio de densidad respecto a los 3 g de PSE.

**Figura 5.**

*Cálculo de la densidad A) Pesado B) medición del volumen.*



- **Identificación de solventes**

Con base en la revisión bibliográfica se consideraron aptos para emplearse en el proceso de disolución del PSE siete solventes, los cuales se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.**

Solventes seleccionados para el proceso de disolución.

SOLVENTES	FÓRMULA QUÍMICA
Acetona	$(CH_3)CO$
Hexano	$C_6H_{14}$
Petróleo éter	$C_nH_{2n} + 2$
Tolueno	$C_7H_8$
Xilol	$C_8H_{10}$
Etil-Metil-Cetona	$C_4H_8O$
Thinner americano	Mezcla de solventes

**Figura 6.**

Solventes orgánicos. a) metil-etil-cetona; b) éter petróleo, c) tolueno, d) xilol, e) acetona, f) hexano, g) thinner americano.



Estos siete solventes fueron probados en el proceso de disolución y solo se seleccionaron aquellos que presentaron una dilución total del PSE.

- **Pruebas de solubilidad y saturación**

Se evaluó la solubilidad del poliestireno expandido (PSE) utilizando siete disolventes orgánicos diferentes. Para cada prueba, se colocaron 3 g de PSE molido en un vaso de precipitado de 250 mL, añadiendo posteriormente 20 mL del solvente correspondiente. El objetivo fue identificar aquellos solventes con capacidad disolutiva adecuada para su uso posterior como medio de aplicación.

Los solventes con capacidad efectiva de disolución fueron: Tolueno, Xilol, Acetona, Metil-etil-cetona y Thinner americano. Los solventes que no tuvieron resultados favorables fueron: el Hexano y el Eter Petróleo.

- **Solubilización del PSE**

Para determinar las combinaciones de solubilidad con los solventes se realizaron distintas pruebas de combinación soluto/solvente, empleando vasos de precipitado con capacidad de 250 mL. Para ello se utilizaron 3 g de PSE (soluto), y las proporciones ensayadas oscilaron entre 1:1 (3 mL de solvente) hasta 5.4:1 (20 mL de solvente). Cada mezcla fue sometida a agitación constante a 100 rpm, durante un periodo de 15 a 30 minutos, utilizando una placa de agitación magnética.

**Figura 7.**

Agitador orbital.



Con el sobrante restante, se realizó una prueba de saturación, la cual consistió en agregar una esfera de PSE y observar si el solvente restante logra disolver y con ello, determinar la saturación de PSE en la disolución.

La cantidad en mililitros de cada uno de los solventes que se emplearía en las combinaciones, se calcularon con base en su densidad (tabla 7). La combinación soluto (3 g de PSE) por cada solvente, se hizo en proporción másica, por lo tanto, se empleó el valor de la densidad de cada solvente, para determinar los volúmenes requeridos. Por ejemplo, la proporción 1:1. Requeriría de 3 g de soluto, con 3 g de solvente, el cual se añadiría en volumen (mililitros), por ello, era necesario determinar la volumetría que requería cada proporción empleada. Para determinar los mililitros, se empleó la ecuación de densidad, despejando la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} : v = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad

$m$ : masa

$v$ : volumen

En la tabla 7, se muestran los valores de densidad de cada solvente.

**Tabla 7.**

Valores de densidad de cada solvente de interés.

Solventes	Densidad (g/mL)
Tolueno	0.867
Xilol	0.88
Acetona	0.788
Metil-etil-cetona	0.8
Thinner Americano	0.78

**Nota:** densidades de los solventes en g/mL, (UNAM, 2008), (INSS, 2018), (UNAM, 2016), (ARGENTINA.GOB. s.f.), (COMEX, s.f.).

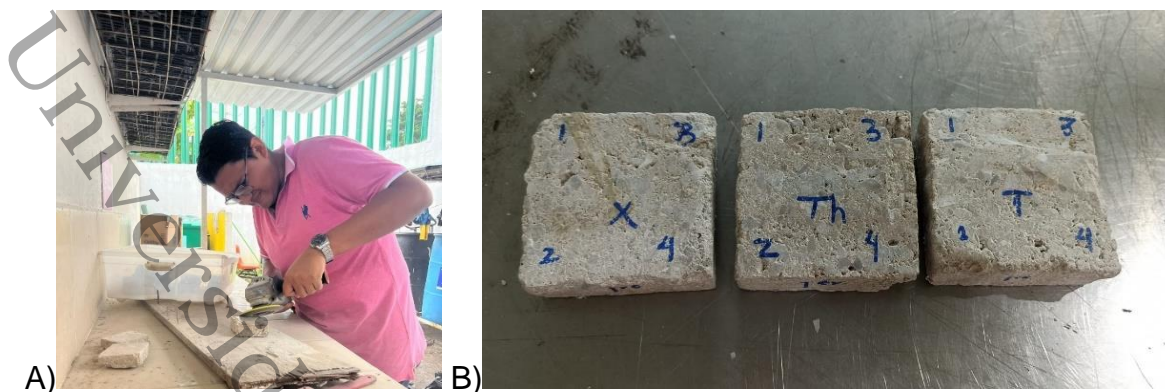
- **Elaboración de unidades experimentales y sistema de pruebas**

Para realizar la aplicación se desarrollaron unidades experimentales (UE) que constan de placas de concreto vibrado de 10 x 10 x 2.6 cm, en las cuales solo se colocó el recubrimiento en una sola cara. Cada unidad fue etiquetada con el tipo de solvente, la proporción de disolución de PSE y el número de capas aplicadas, permitiendo un control sistemático en las pruebas de aislamiento térmico.

Las UE fueron cortadas con un esmeril y se marcaron de una de sus caras (Figura 9 y 10).

**Figura 8.**

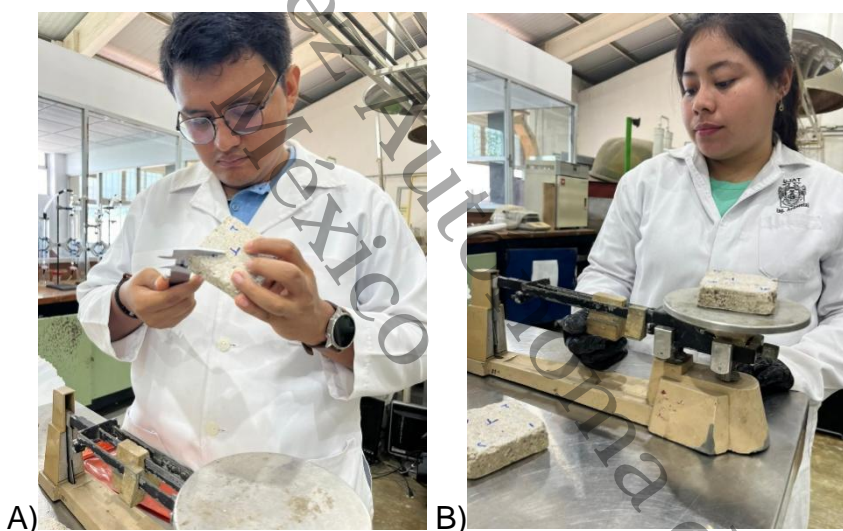
*Elaboración de UE de concreto A) Cortado y limado de las placas B) señalización de cada placa.*



Cada UE fue medida y pesada, para corroborar datos iniciales, con respecto a la aplicación posterior del recubrimiento.

**Figura 9.**

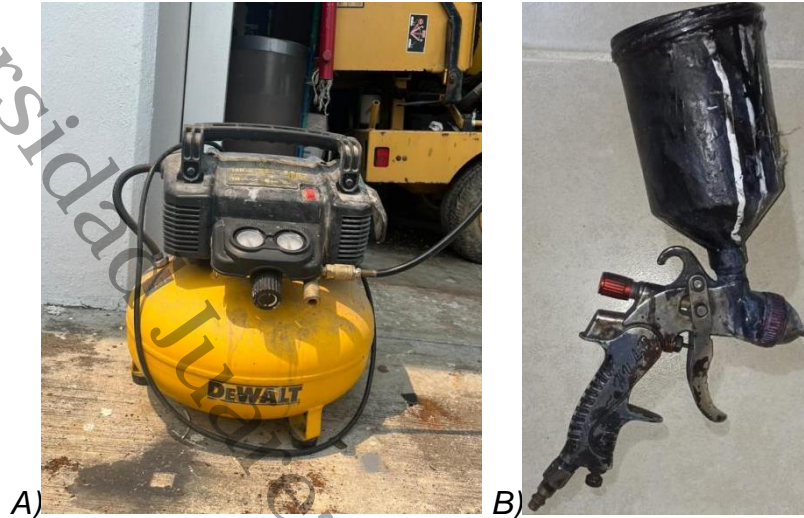
*A) medición y B) pesado.*



Las soluciones obtenidas se aplicaron con pistola de aire a presión conectada a un compresor, previa filtración para evitar obstrucciones por residuos o impurezas. La solución se vertió al depósito superior de la pistola de pintado y se aplicó de forma inmediata, para evitar la evaporación del solvente. Posteriormente, las muestras se dejaron secar por 24 horas a temperatura ambiente.

**Figura 10.**

*Equipos para la aplicación por inyección de aire. A) Compresor de aire a presión  
B) Pistola para pintar.*

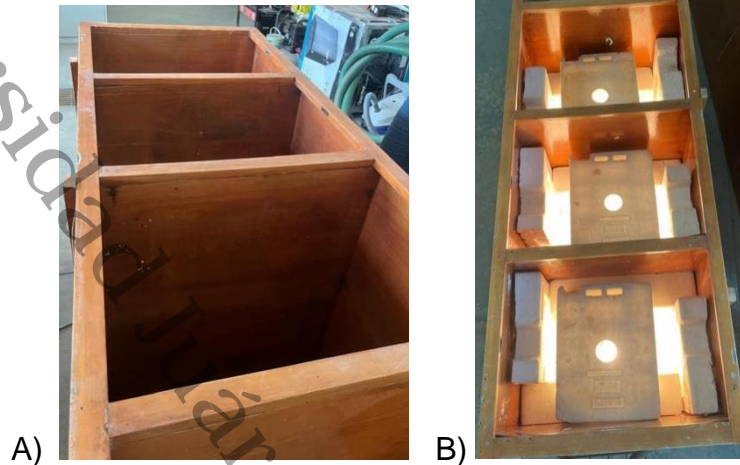


Para evaluar la capacidad de repelencia térmica, se sistema de pruebas conformado por tres cámaras térmicas construidas con mobiliario de madera recuperado del área de. CATRE. Este sistema consta de tres cámaras con medidas de 70 x 60 x 47 cm. El sistema se aisló con placas de PSE de 57 x 36 x 8 cm, con el fin de mantener una temperatura uniforme. En la parte superior de cada cámara, se habilitó una ranura circular de 7 cm de diámetro (área: 38.48 cm<sup>2</sup>) donde se colocaron las UE. Cada cámara posee una fuente de calor, mediante focos incandescentes de 100 W, colocados al centro de las cámaras, en la parte inferior (fondo), y así simular el efecto de temperaturas altas y evaluar la capacidad de los recubrimientos.

Para determinar la temperatura máxima alcanzada, se realizó una prueba de calentamiento durante 30 minutos. Al término, la temperatura fue registrada mediante una cámara termográfica de infrarrojos (marca MAKATM), que mide la emisión de radiación térmica en superficies.

### Figura 11.

Sistema de pruebas de aislamiento térmico. A) mueble de madera con cavidades; B) mueble aislado en cada cavidad con placas de PSE y orificios de pruebas.



- **Diseño experimental y de repelencia térmica.**

Para validar estadísticamente las combinaciones de solubilización y aplicación, se empleó un diseño experimental factorial 2<sup>2</sup> con un método central compuesto, utilizando análisis de superficie de respuesta (ASR). Los factores independientes considerados fueron:

1. Proporción de disolución del poliestireno expandido en solventes orgánicos, con dos niveles codificados (alto y bajo).
2. Número de capas aplicadas del recubrimiento sobre las unidades experimentales (UE).

Las variables de respuesta fueron:

- Diferencial de temperatura (°C) registrado en el sistema de aislamiento térmico, medido con cámara termográfica infrarroja (MAKATM).
- Espesor del recubrimiento (mm), determinado mediante calibrador Vernier digital.
- El punto central del diseño fue replicado cinco veces para estimar la variabilidad experimental y mejorar la robustez del modelo estadístico. En la Tabla 8 se

presentan los tratamientos correspondientes a las combinaciones de niveles para ambos factores, codificados según el modelo central compuesto.

<b>Tabla 8.</b> Diseño experimental. Ejecución	Combinaciones	Capas	Temperatura de cámara	Temperatura de placa sin Recubrimiento	Temperatura Placa con Recubrimiento
	Proporción (masa)	#	°C	°C	°C
1	3.0	1.0			
2	5.0	1.0			
3	3.0	3.0			
4	5.0	3.0			
5	2.5857	2.0			
6	5.4142	2.0			
7	4.0	0.5857			
8	4.0	3.4142			
9	4.0	2.0			
10	4.0	2.0			
11	4.0	2.0			
12	4.0	2.0			
13	4.0	2.0			

El diseño experimental constó de 13 combinaciones. Cada combinación fue sometida a una prueba de repelencia térmica. Las pruebas de repelencia térmica tuvieron como finalidad evaluar la capacidad de cada una de las combinaciones de PSE con los solventes, aplicados en las UE. Ésta prueba iniciaba con la lectura de temperatura que cada cámara del sistema de aislamiento térmico mantuviera durante 1 h, tras el encendido de la fuente de calor. Para calcular los diferenciales de temperatura, se contrastaron las lecturas hechas por la termo cámara a las UE con recubrimiento aplicado, con respecto a las lecturas testigo. Las lecturas testigo se tomaron a las UE sin recubrimiento. Cada UE se colocaba a exposición directa en el sistema de aislamiento térmico durante 30 minutos constantes, y se midió la temperatura alcanzada en la superficie de cada UE. A partir de estas mediciones se determinaron los valores diferenciales, expresados como reducción o incremento térmico en la superficie y en el interior del sistema. Los resultados obtenidos del diseño experimental, se revisaron

mediante un análisis de superficie de respuesta, cual permitió identificar el comportamiento de las variables independientes sobre las respuestas medidas. Este análisis también permitió determinar las combinaciones óptimas de proporción de solubilización y número de capas, en función de la efectividad del aislamiento térmico.

- **Optimización de las combinaciones de solubilización del poliestireno, evaluando las proporciones de solubilización y el número de aplicaciones.**

Los resultados obtenidos del diseño experimental se analizaron en el software Statgraphics® centurion XVI, utilizando **ecuaciones de segundo orden** para identificar la combinación óptima de factores.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{112}x_1^2x_2 + \beta_{1112}x_1^3x_2 + \varepsilon$$

La optimización se enfocó en dos variables: la proporción de solubilización del PSE en solventes orgánicos y el número de aplicaciones del recubrimiento. Los factores óptimos generados en el paquete estadístico fueron replicados en cinco unidades experimentales adicionales, siguiendo el mismo procedimiento de aplicación y medición descrito previamente. Para validar la efectividad del aislamiento término, Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la significancia estadística entre las combinaciones ensayadas y confirmar la consistencia del modelo de optimización.

## X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Determinación de la generación de residuos de PSE.

Durante el año 2023, se cuantificó una generación total de 157.29 kg, de los cuales, 143.77 kg corresponden a PSE, y 13.52 kg a PS no expandido (utensilios de comida). La generación mensual durante abril del 2023 fue de 11.50 kg de PSE. La generación semanal fue de 4.4 kg de PSE, durante el periodo del 24 al 28 de abril del 2023, resultado de las actividades de separación y cuantificación del PSE en el CATRE.

**Figura 12.**  
*Generación anual de PSE.*



### Pretratado y acondicionamiento del PSE.

El PSE obtenido durante el periodo de recolección y cuantificación, no presentó visualmente contaminación con algún otro residuo, por lo cual, no fue necesario limpiar el material, previo a su trituración. El PSE fue triturado y posteriormente tamizado con malla #8 ( $\leq 2.38$  mm) y #12 ( $\leq 1.7$  mm), a fin de estandarizar el tamaño de partícula utilizado en las soluciones de recubrimiento.

**Figura 13.**

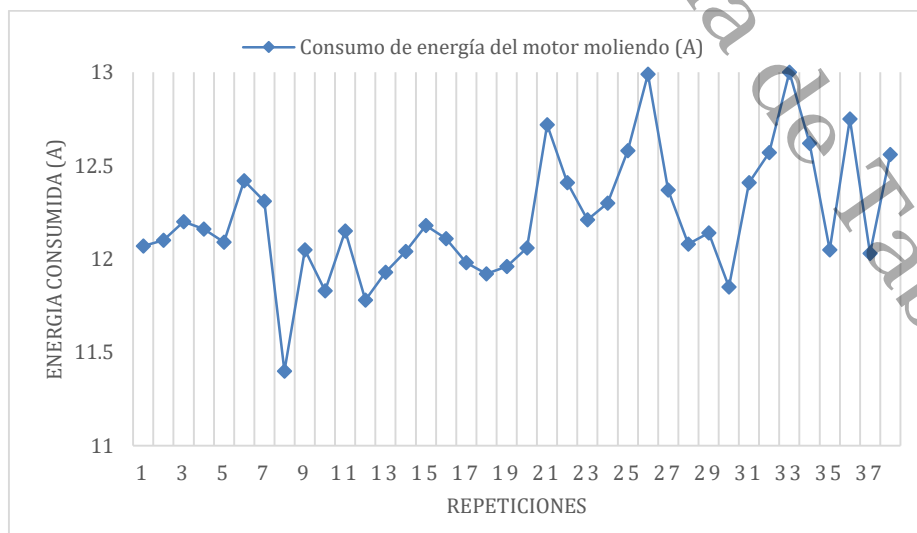
*Proceso de pretratamiento y acondicionamiento. A) equipo de molienda, B) Proceso de molienda, C) procesos de tamizado.*



El procedimiento implementado fue similar al reportado por Fuentes (2013); sin embargo, en este trabajo se incorporaron las etapas de molienda y tamizado, lo cual permitió una mayor eficiencia en el acondicionamiento del PSE y su aprovechamiento en las mezclas.

Respecto al proceso de molienda, en la figura 14 se muestra el comportamiento del consumo eléctrico (A) respecto a la masa de PSE.

**Figura 14.** *Consumo de energía por unidad (A) del molino.*



La Figura 14 muestra el comportamiento del consumo eléctrico (A) del equipo de molienda en relación con la masa procesada. Se observó un consumo promedio inicial de  $12.20 \pm 0.2$  A, el cual se incrementó ligeramente a  $12.22 \pm 0.2$  A durante la operación.

El rendimiento de la molienda fue del 78 %, con una desviación estándar de 0.989. La densidad del PSE se incrementó de 0.236 g/ml (antes de la molienda) a  $0.561 \pm 0.2$  g/ml (después de la molienda). A partir del material molido se obtuvo una densidad promedio de 0.013 g/ml, correspondiente a la cantidad utilizada en el diseño experimental (3 g).

- **Identificación de solventes**

Los siete solventes seleccionados inicialmente, se sometieron a una prueba de disolución, de los cuales sólo 4 solventes lograban la solubilización del PSE.

Con base a las pruebas realizadas se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 9 donde se muestran que solventes mostraron una efectividad en cuanto a la disolución/solubilidad.

**Tabla 9.**

*Disolución/Solubilidad solvente-soluto.*

<b>Solvente</b>	<b>Solvente (ml)</b>	<b>Soluto (g PSE)</b>	<b>Disolución</b>	<b>Solubilidad</b>
Éter Petróleo			NO	NO
Hexano			NO	NO
Acetona	20	3	SI	NO
Metil-Etil-Cetona			SI	SI
<b>Tolueno</b>			SI	SI
<b>Thinner americano</b>			SI	SI
<b>Xilol</b>			SI	SI

Se evaluaron inicialmente siete solventes orgánicos, de los cuales cuatro lograron la solubilización efectiva del PSE. Los solventes descartados fueron éter petróleo, hexano y acetona. En particular, la acetona formó una masa viscosa al combinarse con el PSE, dificultando su aplicación uniforme. El metil etil cetona, aunque mostró buena solubilización, provocó desprendimiento del recubrimiento durante el secado, por lo cual también fue excluido del estudio experimental. Los solventes seleccionados para las pruebas finales fueron: tolueno, xileno y thinner americano, en concordancia con lo reportado por Achilias (2009) y Rolando et al. (2015).

**Figura 15.**

*Prueba de disolución A) Acetona B) Hexano.*



Los solventes que fueron empleados para la disolución y solubilización se conjugaron con base en el diseño experimental, considerando proporciones en masa (g:g). En la Tabla 10 se muestran las seis proporciones para cada solvente.

**Tabla 10.***Solubilización empleada para el PSE.*

<b>Solv. / Prop.</b>	<b>1 : 1</b>	<b>2.58 : 1</b>	<b>3 : 1</b>	<b>4 : 1</b>	<b>5 : 1</b>	<b>5.4 : 1</b>
<b>Tolueno (ml)</b>	3.5	9.03	10.5	14	17.5	18.9
<b>Xilol (ml)</b>	3.4	8.77	10.2	13.6	17	18.36
<b>Thiner americano (ml)</b>	3.8	9.80	11.4	15.2	19	20.52

Es posible observar las diferencias en los volúmenes empleados para cada tipo de solvente utilizado, debido a las diferencias en sus densidades. Cabe señalar que la proporción 4:1, se tomó como punto central, y se replicó cinco veces. Además, esta misma proporción, fue empleada para la combinación del número de capas mínimas y máximas, incluyendo 2 combinaciones más. Finalmente, se tuvo un total de 13 combinaciones. A diferencia de Fuentes (2013) que realizó 6 pruebas cambiando el soluto y el solvente constantemente.

### **Diseño experimental de las soluciones**

Las 13 combinaciones de cada solvente se aplicaron sobre una cara de las UE de concreto, y se sometieron a pruebas de espesor y de aislamiento térmico.

Los solventes que fueron validados fueron: Tolueno, Xilol y el Thinner americano, para su aplicación mediante compresión de aire. Se empleó una pistola de compresión de aire a 16 PSI, manteniendo una distancia de 10 a 15 cm durante la aplicación. En el proceso de aplicación a presión, la pistola de presión presentó taponamiento por la resina y los residuos de PSE, lo cual se solucionó realizando una limpieza con thinner.

**Figura 16.**

*Aplicación de la resina con el equipo de compresión.*



**Nota:** *La aplicación fue en un espacio abierto para evitar irritaciones por los olores de los solventes y el ruido provocado por el compresor.*

La dilución del PSE genera un producto el cual puede ser utilizado como un material de recubrimiento tipo impermeabilizante, como lo mencionan Achilias et al. (2009), García et al. (2009), Fuentes (2013), Alva (2019) y Juárez et al. (2016).

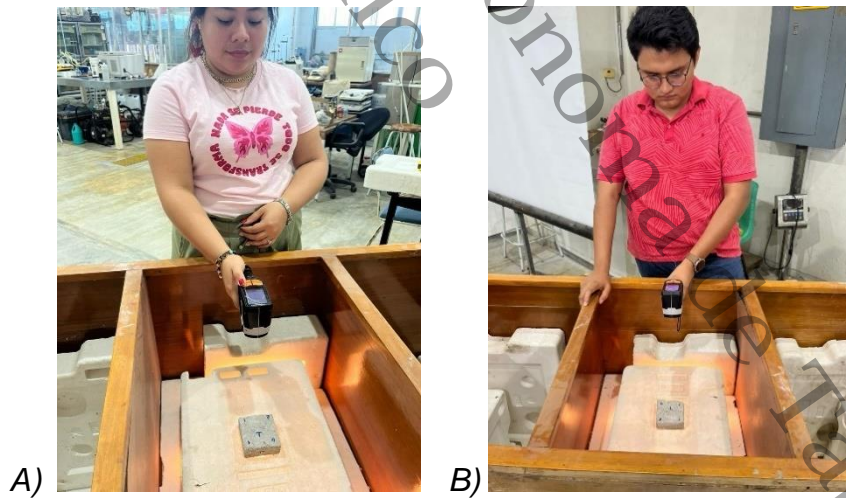
**Figura 17.**

*Medida de espesor.*



**Figura 18.**

*Pruebas de temperatura. A) y B) Toma de temperatura.*





**Nota:** El monitoreo se llevó por intervalos de 30 min cada bloque.

Los resultados obtenidos de las pruebas de espesor y de aislamiento térmico por cada solvente seleccionado, son los siguientes:

**Tabla 11.**

*Diferencias de temperatura, grosor y peso con Tolueno.*

CLAVE	Diferencia de Temperatura (°C)	Grosor (mm)	Diferencia en Peso (g)
BTL.1	2.9	0.5	0.2
BTL.2	4.1	0.5	0.8
BTL.3	3	0.5	0.7
BTL.4	4.4	0	0.9
BTL.5	3.2	0	0
BTL.6	4.4	0.5	1.6
BTL.7	2.6	0	0.2
BTL.8	2.6	0.5	1.2
BTL.9	4	0.5	0.2
BTL.10	2	0	0.4
BTL.11	3.1	0.5	0.8
BTL.12	3.6	0	0.4
BTL.13	4	0	0.3

**Nota:** Resultados obtenidos mediante la comparación de una UE con resina y una UE sin resina.

**Tabla 12.***Diferencias de temperatura, grosor y peso con Xilol.*

CLAVE	Diferencia de Temperatura (°C)	Grosor (mm)	Diferencia en Peso (g)
BXL.1	3	0	0.4
BXL.2	3.4	0	0.1
BXL.3	3.1	0	1.5
BXL.4	4.5	0.5	1
BXL.5	4.1	0.5	1.8
BXL.6	1.3	0.5	0.9
BXL.7	1.5	0	1.1
BXL.8	1.9	0	0.8
BXL.9	4.5	0	0.3
BXL.10	4.6	0	0.1
BXL.11	3.6	0	1.4
BXL.12	4.7	0	1.1
BXL.13	3.2	0	1.2

**Nota:** Resultados obtenidos mediante la comparación de una UE con resina y una UE sin resina.

**Tabla 13.***Diferencias de temperatura, grosor y peso con Thinner americano.*

CLAVE	Diferencia de temperatura (°C)	Grosor (mm)	Diferencia en peso (g)
BTHN.1	2.6	0	0.9
BTHN.2	2	0	0.8
BTHN.3	3.2	0.5	0.6
BTHN.4	2	0	1
BTHN.5	3.4	0	0.8
BTHN.6	2.4	0.5	1.4
BTHN.7	2.4	0.5	0.5
BTHN.8	3	0	0.5
BTHN.9	2.6	0.5	0.2
BTHN.10	1.4	0.5	0.2
BTHN.11	3.1	0	0.6
BTHN.12	1.5	0	0.9
BTHN.13	1.7	0	0.4

**Nota:** Resultados obtenidos mediante la comparación de una UE con resina y una UE sin resina.

Los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico central compuesto y de superficie de respuesta en el software Statgraphics® centurion XVI. Este software nos proporcionó un análisis de varianza de las variables de temperatura y de espesor, de cada solvente; además, generó gráficos de superficie de respuesta respecto a estas mismas variables. Este análisis permitió observar el comportamiento de nuestras pruebas con forme al diseño experimental planteado.

Los resultados obtenidos, del diseño del método central compuesto y del análisis de superficie de respuesta, se presentan a continuación:

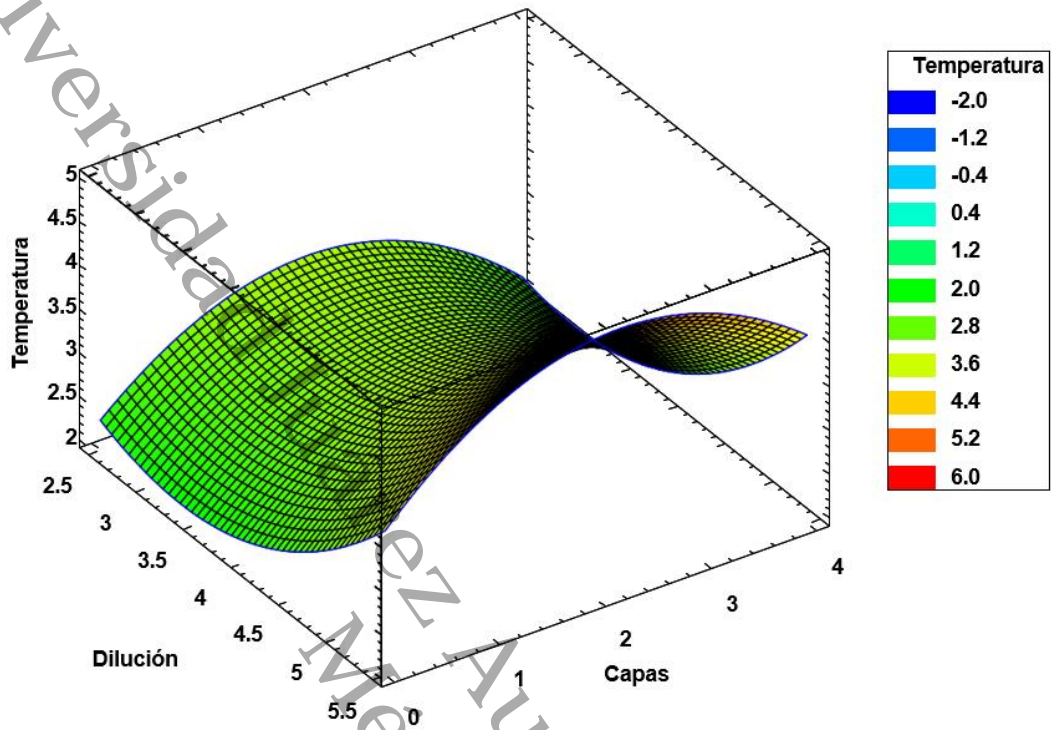
**Tabla 14.**

*Análisis de varianza para temperatura del Tolueno (°C).*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Dilución	2.309	1	2.309	3.31	0.143
B: Capas	0.019	1	0.019	0.03	0.874
AA	0.757	1	0.757	1.09	0.356
AB	0.01	1	0.01	0.01	0.910
BB	0.507	1	0.507	0.73	0.442
Falta de ajuste	0.442	3	0.142	0.21	0.884
Error puro	2.792	4	0.698		
Total (corr)	7.023	12			

**Figura 19.**

*Superficie de respuesta estimada del Tolueno.*



**Ecuación de regresión**

$$\text{Temperatura} = 5.6915 - 2.20288 \cdot A + 0.930001 \cdot B + 0.330002 \cdot A^2 + 0.05 \cdot A \cdot B - 0.27 \cdot B^2$$

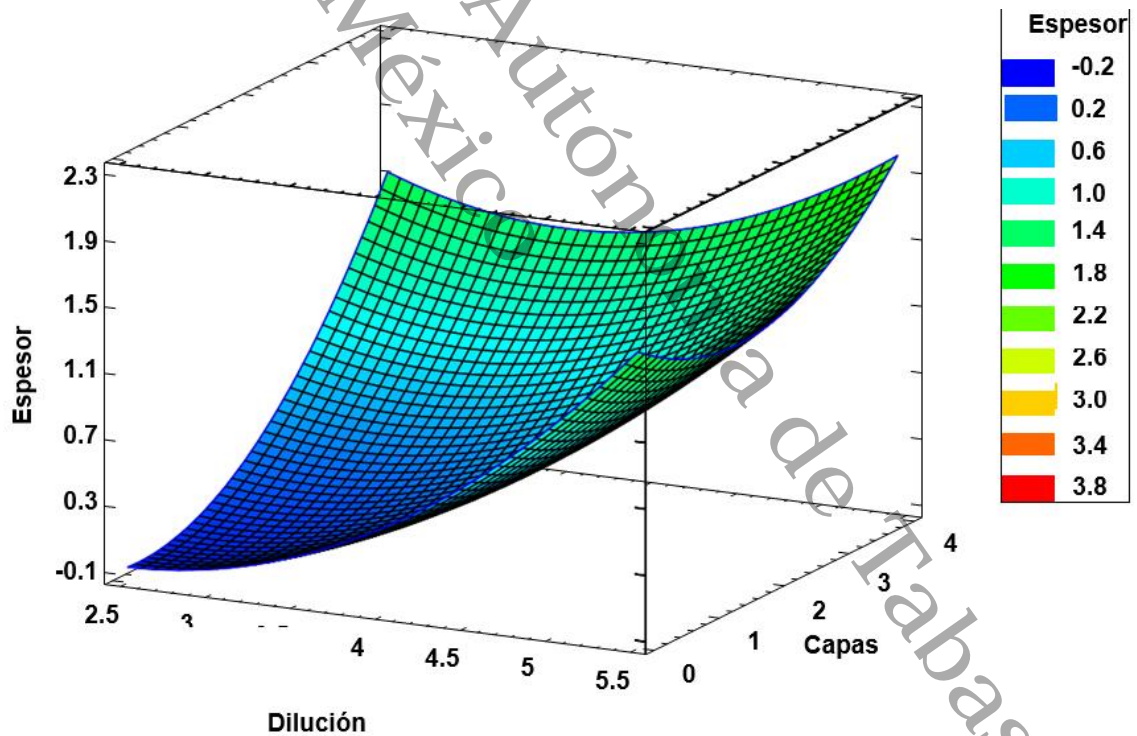
**Tabla 15.**

*Análisis de varianza para espesor del Tolueno.*

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: dilución	1.067	1	1.067	20.51	<b>0.011</b>
B: Capas	0.507	1	0.507	9.75	<b>0.035</b>
AA	0.235	1	0.235	4.52	<b>0.101</b>
AB	0.04	1	0.040	0.77	<b>0.430</b>
BB	0.082	1	0.082	1.58	<b>0.277</b>
Falta de ajuste	0.332	3	0.111	2.13	<b>0.239</b>
Error puro	0.208	4	0.052		
Total (corr.)	2.44	12			

**Figura 20.**

*Superficie de respuesta estimada del Tolueno*



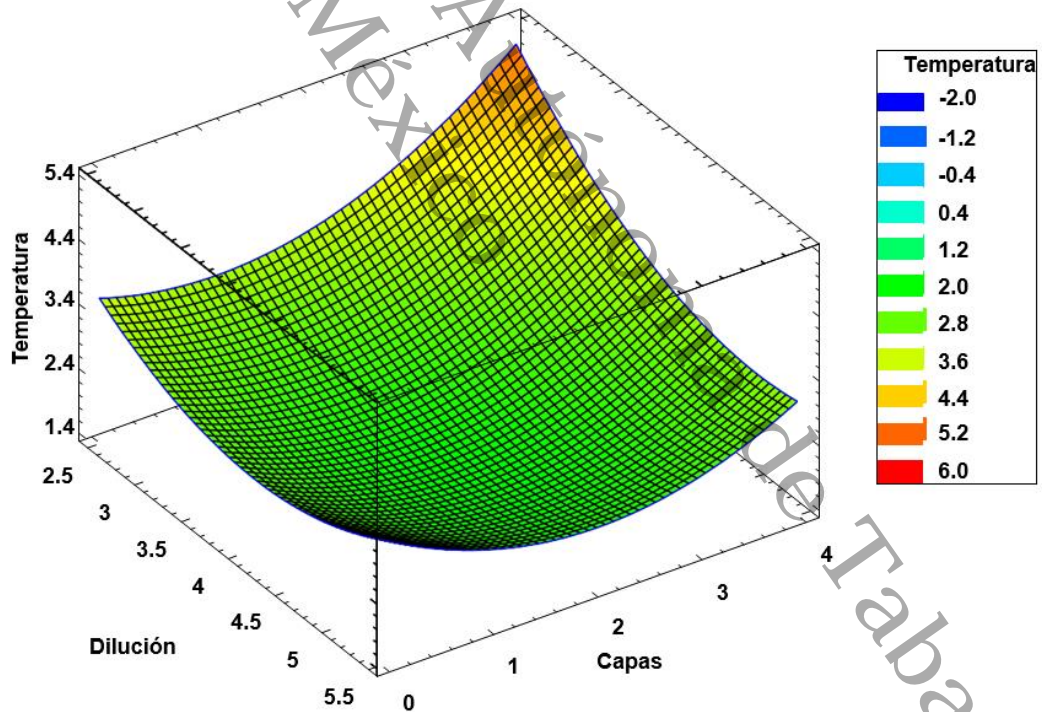
**Tabla 16.**

*Análisis de varianza para temperatura del Thinner (°C).*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: dilución	1.291	1	1.291	2.29	<b>0.205</b>
B: Capas	0.262	1	0.262	0.47	<b>0.532</b>
AA	0.769	1	0.769	1.37	<b>0.307</b>
AB	0.090	1	0.090	0.16	<b>0.710</b>
BB	0.376	1	0.376	0.67	<b>0.460</b>
Falta de ajuste	0.271	3	0.090	0.16	<b>0.918</b>
Error puro	2.252	4	0.563		
Total (corr.)	5.189	12			

**Figura 21.**

*Superficie de respuesta estimada del Thinner americano.*



### Ecuación de regresión

$$\text{Temperatura} = 8.35498 - 2.76178 \cdot A - 0.148932 \cdot B + 0.332501 \cdot A^2 - 0.15 \cdot A \cdot B + 0.2325 \cdot B^2$$

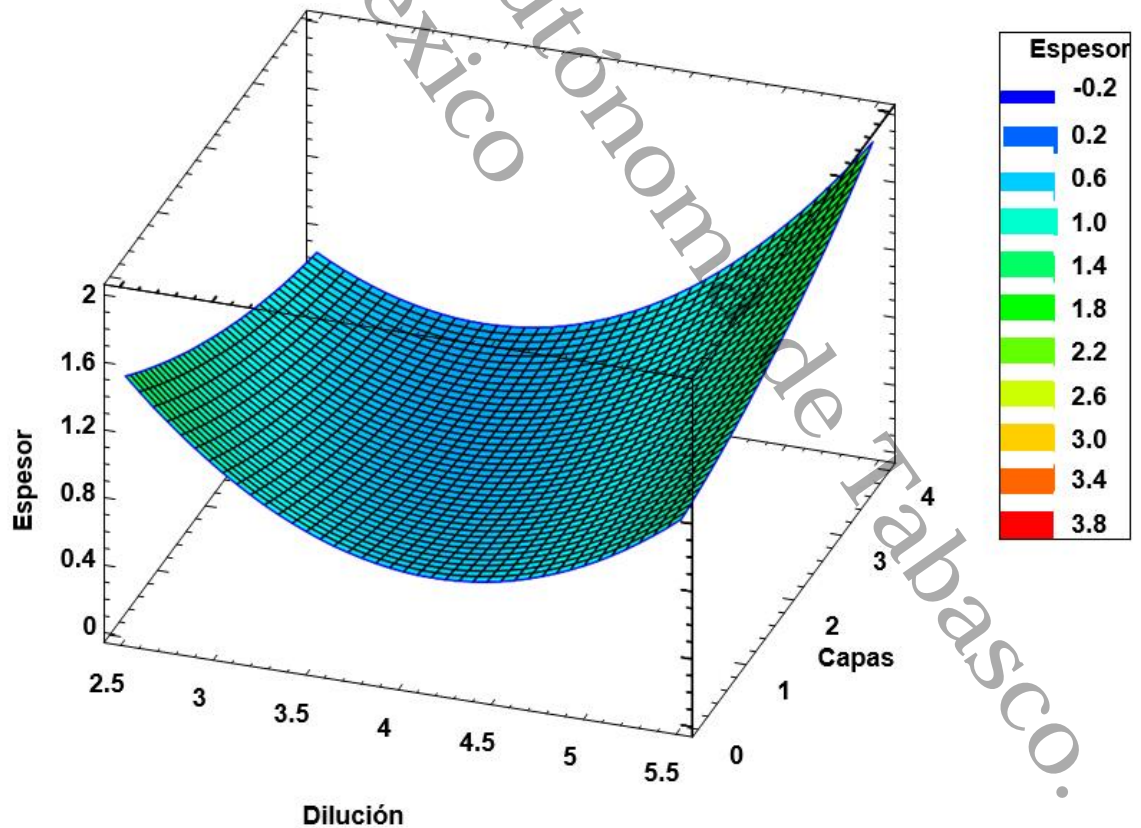
**Tabla 17.**

*Análisis de varianza para espesor del Thinner americano.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: dilución	0.165	1	0.165	1.87	<b>0.243</b>
B: Capas	0.001	1	0.001	0.01	<b>0.911</b>
AA	0.740	1	0.740	8.41	<b>0.044</b>
AB	0.063	1	0.063	0.71	<b>0.447</b>
BB	0.005	1	0.005	0.05	<b>0.827</b>
Falta de ajuste	0.040	3	0.013	0.15	<b>0.923</b>
Error puro	0.352	4	0.088		
Total (corr.)	<b>1.363</b>	12			

**Figura 22.**

*Superficie de respuesta estimada del Thinner americano.*



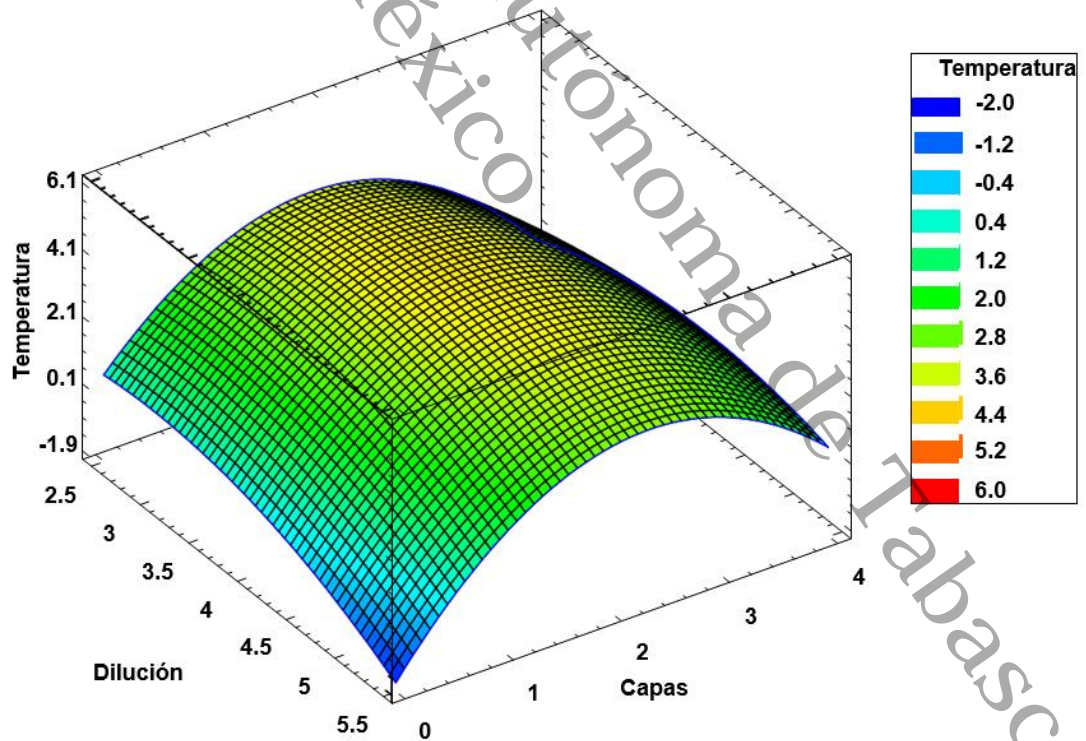
**Tabla 18.**

*Análisis de varianza para temperatura del Xilol (°C).*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Dilución	0.583	1	0.583	1.28	<b>0.322</b>
B: Capas	0.390	1	0.390	0.85	<b>0.408</b>
AA	1.031	1	1.031	2.26	<b>0.208</b>
AB	0.250	1	0.250	0.55	<b>0.501</b>
<b>BB</b>	5.449	1	5.449	11.92	<b>0.026</b>
Falta de ajuste	7.577	3	2.526	5.53	<b>0.066</b>
Error puro	1.828	4	0.457		
Total (corr.)	<b>16.591</b>	12			

**Figura 23.**

*Superficie de respuesta estimada del Xilol.*



### Ecuación de regresión

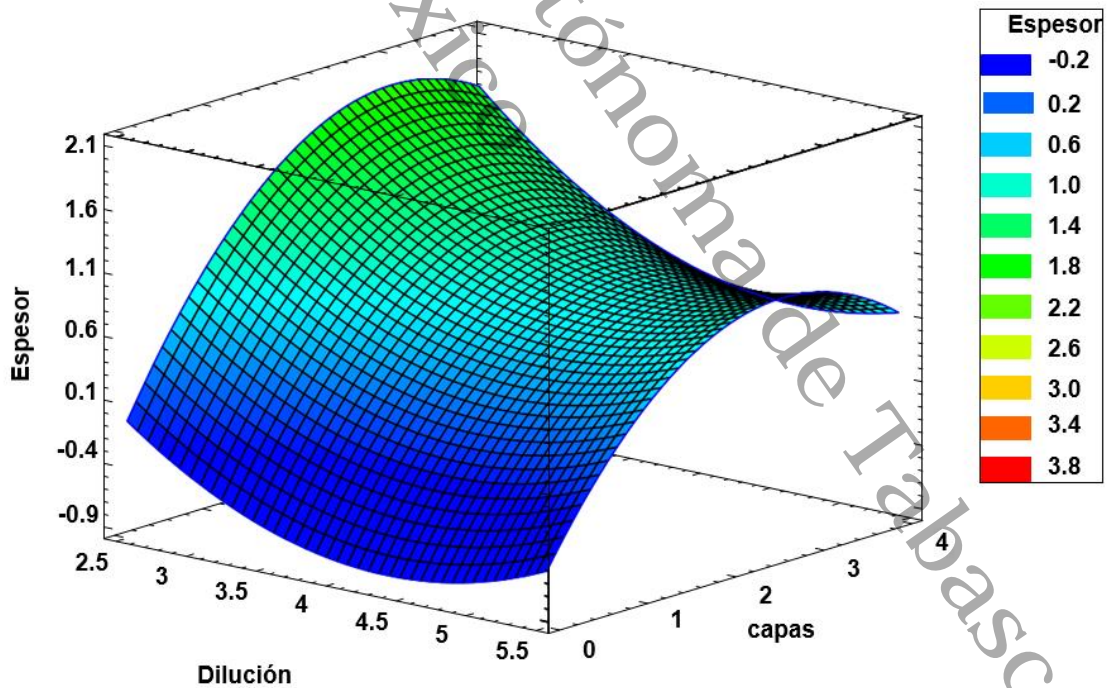
$$\text{Temperatura} = -2.94151 + 2.31002 \cdot A + 2.76071 \cdot B - 0.384999 \cdot A^2 + 0.25 \cdot A \cdot B - 0.885 \cdot B^2$$

**Tabla 19.**

*Análisis de varianza para espesor del Xilol.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Dilución	0.537	1	0.537	1.59	<b>0.275</b>
B: Capas	1.117	1	1.117	3.32	<b>0.143</b>
AA	0.360	1	0.360	1.07	<b>0.360</b>
AB	0.010	1	0.010	0.03	<b>0.872</b>
BB	0.344	1	0.344	1.02	<b>0.369</b>
Falta de ajuste	0.200	3	0.067	0.20	<b>0.893</b>
Error puro	1.348	4	0.337		
Total <(corr.)	<b>4.023</b>	12			

**Figura 24.** Superficie de respuesta estimada del Xilol.



**Tabla 20.**

Valores experimentales y pronosticados bajo el análisis de superficie de respuesta respecto a la temperatura.

Dilución (%)	Capas (#)	Tolueno		Xilol		Thinner americano	
		Experimental	Predictivo	Experimental	Predictivo	Experimental	Predictivo
3	1	2.6	2.729	1.5	2.038	2.4	2.269
5	1	3	2.863	3.1	3.091	3.2	3.358
3	3	2.9	2.863	3	3.149	2.6	2.696
5	3	2.6	2.871	1.9	2.662	3	2.781
2.5857	2	4.4	4.760	1.3	2.968	2.4	2.157
5.4142	2	3.2	3.240	4.1	3.732	3.4	3.293
4	0.5857	4.4	4.037	4.5	3.051	2	2.254
4	3.4142	4.1	3.837	3.4	2.109	2	2.192
4	2	4	3.34	4.5	4.12	2.6	2.06
4	2	2	3.34	4.6	4.12	1.4	2.06
4	2	3.1	3.34	3.6	4.12	3.1	2.06
4	2	3.6	3.34	4.7	4.12	1.5	2.06
4	2	4	3.34	3.2	4.12	1.7	2.06

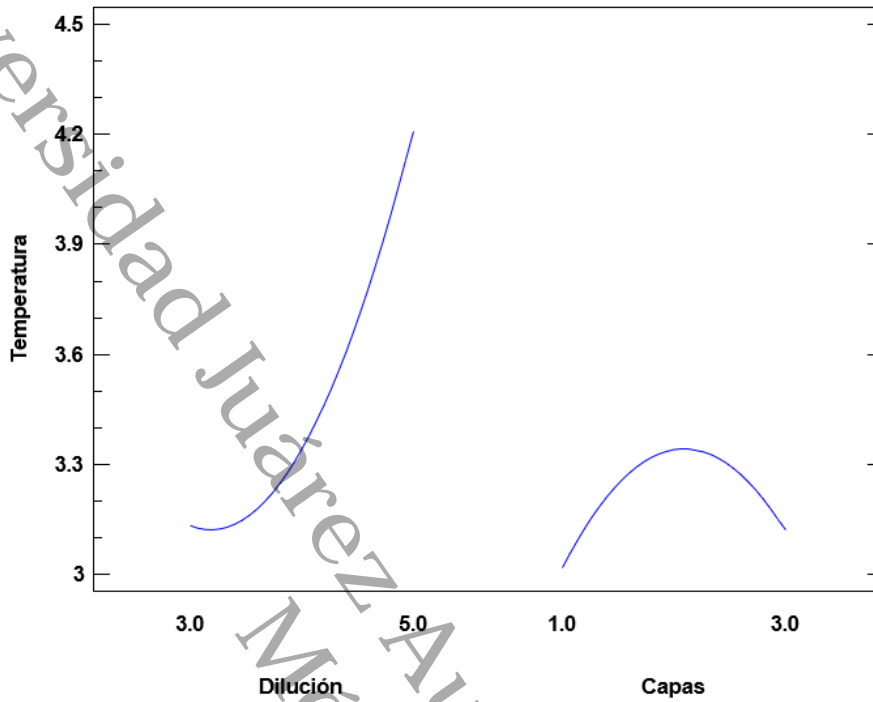
**Tabla 21.**

Valores experimentales y pronosticados bajo el análisis de superficie de respuesta respecto al espesor.

Dilución (%)	Capas (#)	Tolueno		Xilol		Thinner americano	
		Experimental	Predictivo	Experimental	Predictivo	Experimental	Predictivo
3	1	0.2	0.281	0.1	-0.154	0.5	0.530
5	1	0.7	0.699	1.5	1.508	0.6	0.531
3	3	0.2	-0.004	0.4	0.660	0.9	0.806
5	3	1.2	0.994	0.8	0.904	0.5	0.495
2.5857	2	1.6	1.304	0.9	0.909	1.4	1.316
5.4142	2	0.1	0.271	1.8	1.641	0.8	0.909
4	0.5857	0.9	1.229	1	0.890	1	1.069
4	3.4142	0.8	0.926	0.1	0.242	0.8	0.844
4	2	0.2	0.42	0.3	0.82	0.2	0.46
4	2	0.4	0.42	0.1	0.82	0.2	0.46
4	2	0.8	0.42	1.4	0.82	0.6	0.46
4	2	0.4	0.42	1.1	0.82	0.9	0.46
4	2	0.3	0.42	1.2	0.82	0.4	0.46

**Figura 25.**

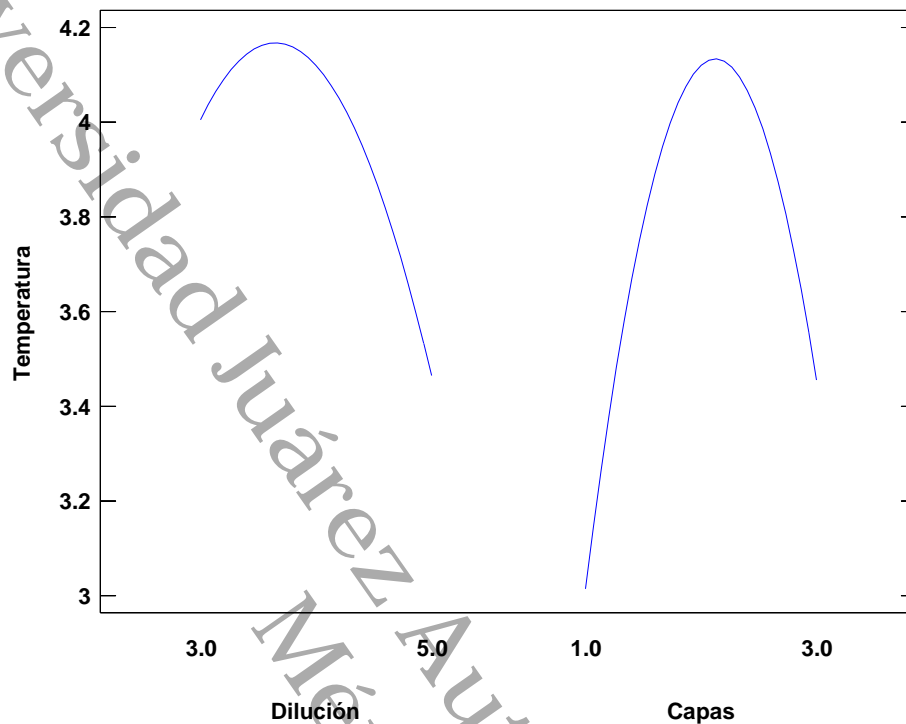
Gráfica de efectos principales para temperatura con Tolueno.



**Nota:** La gráfica demuestra que el mayor efecto en la temperatura, lo tiene una mayor dilución y aplicando 2 capas de recubrimiento.

**Figura 26.**

Gráfica de efectos principales para temperatura con Xilol.

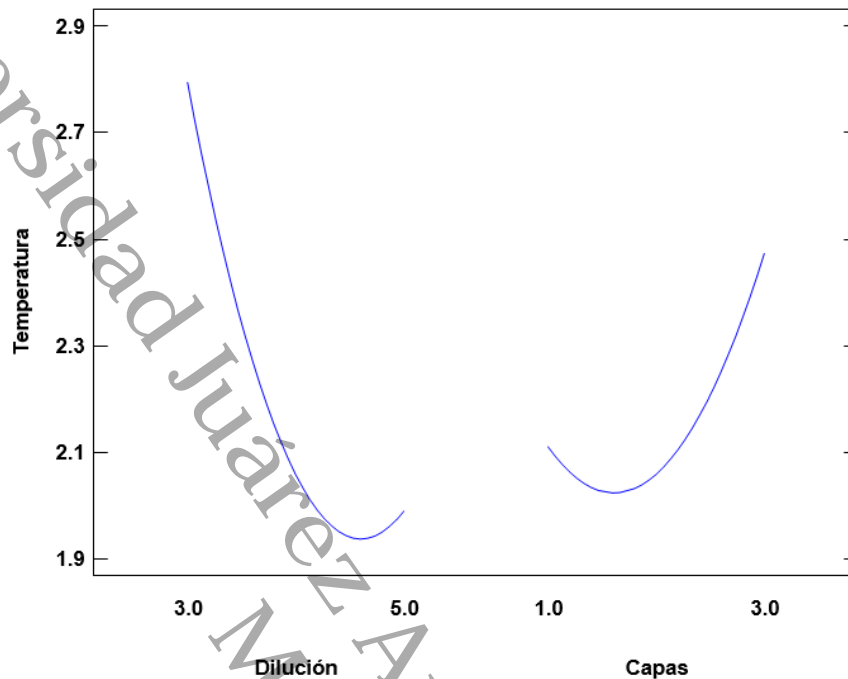


**Nota:** La gráfica demuestra que el mayor efecto en la temperatura, lo tiene una mayor dilución y aplicando 2 capas de recubrimiento.

En la figura 26 se puede apreciar que entre menor dilución y mayor número de capas haya, la repelencia a la temperatura será mayor. Esto demuestra que el thinner tiene un efecto más enfocado al recubrimiento que a la repelencia.

**Figura 27.**

Gráfica de efectos principales para temperatura con Thinner americano.



La optimización de las 13 pruebas realizadas con cada solvente nos ayudó a obtener un nuevo diseño experimental con la finalidad de obtener mejores resultados en la disminución de temperatura, para llegar a un valor de 4.76 °C para el Tolueno, 4.15 °C para el Xilol y 4.31 °C para el Thinner americano deben ser los que se muestran en la tabla 25:

**Tabla 22.**

Factores establecidos y óptimos y mL empleados respecto a la masa PSE.

Factor	Unidades	Xilol	Tolueno	Thinner
Dilución	Proporción	5.41419: 1	5.41421	2.92: 1
Capas	#	2.08008 (~2)	2.02	2.99 (~3)
Volumen solvente	MI	18.3	18.6	11.1
Masa	G		3	

Conforme a los datos estadísticos proporcionados por el análisis estadístico ANOVA obtuvimos las combinaciones óptimas de cada solvente. Posteriormente se calcularon los mL para cada solvente.

Se realizaron 5 pruebas con cada solvente obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 26.

**Tabla 23.**

*Diferencias de temperatura, grosor y peso con los valores óptimos de cada solvente.*

CLAVE	Diferencia de temperatura (°C)	Grosor (mm)	Diferencia en peso (g)
BTHN	3.1	0.5	1.1
	3.3	0.5	0.8
	3	0.5	1.3
	3.3	0.5	1
	2.9	0.5	0.8
BXL	3.6	0	0.6
	3.4	0	1.2
	3.7	0	1.2
	4.1	0	0.8
	3.4	0	0.8
BTL	44.2	0	0.7
	4.1	0	0.3
	4.1	0.5	1.2
	4.4	0	0.5
	4.5	0	1

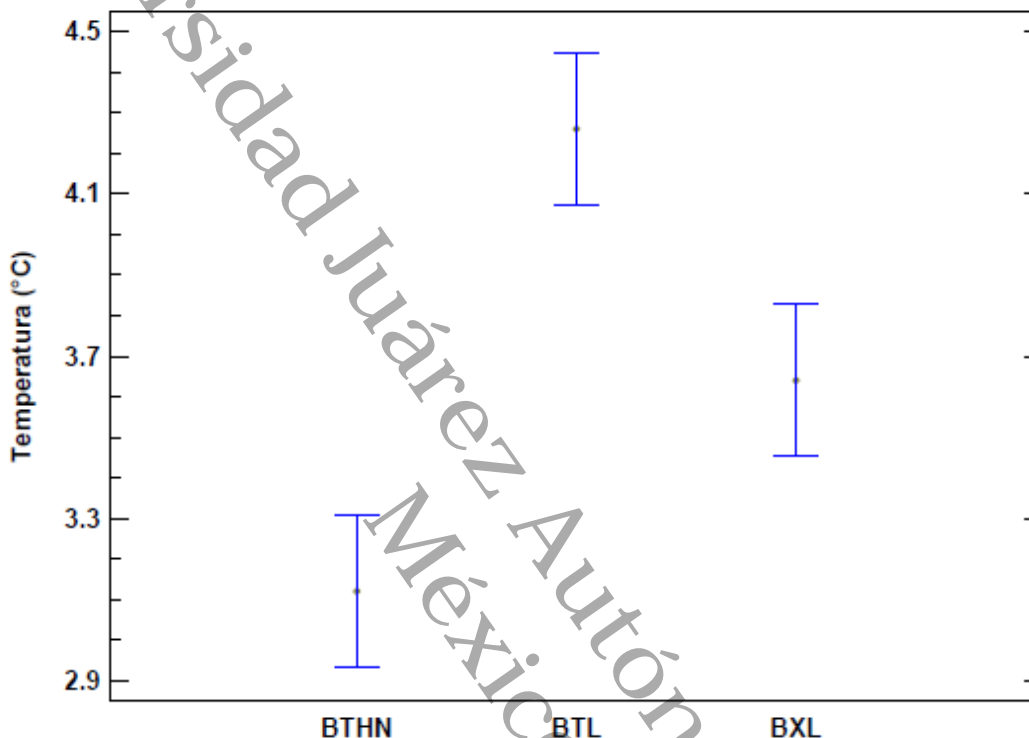
**Nota:** Resultados obtenidos mediante la comparación de una UE con resina y una UE sin resina.

Los resultados se analizaron mediante una prueba de ANOVA, para comparar los valores de temperatura repelida, para cada solvente empleado, utilizando las proporciones óptimas obtenidas previamente. Los resultados indican diferencias estadísticas

altamente significativas con un valor de probabilidad de 0.00001, en la figura 41 se muestra el gráfico comparativo.

**Figura 28.**

*Gráfico comparativo de valores óptimos.*



Las letras **diferentes en el gráfico indican diferencias significativas entre los tratamientos evaluados**. Es de resaltar que el grupo BTL (tolueno) mostró la mayor capacidad de repelencia de temperatura con  $4.26 \pm 0.18$  °C, lo que, comparando con el valor pronosticado por el modelo ( $4.76$  °C), se observa una diferencia de  $0.5$  °C, **correspondiente a una variación del 11.73 %**.

Al igual que los autores citados en esta investigación se buscó el mejor diluyente para el PSE, sin embargo, al buscar la optimización de las diluciones obtuvimos la ventaja de adquirir mejores resultados obteniendo una mejor resina que ayuda a la repelencia térmica.

## XI. CONCLUSIÓN

El reciclaje del poliestireno expandido (PSE) demostró ser funcional para la mejora de la repelencia térmica en superficies de concreto, evidenciando su potencial como recubrimiento aislante.

El uso de solventes orgánicos como tolueno, xileno y thinner, mostraron una alta capacidad de disolución del PSE para su aplicación mediante inyección de aire. Siendo el tolueno el disolvente más eficiente en términos de solubilidad y facilidad de manejo.

La molienda previa del PSE coadyuvó a alcanzar buenas capacidades de dilución, ya que permite un mejor contacto del material con el disolvente, evitando precipitados y aglomerados, los cuales pueden provocar problemas en el sistema de inyección con aire, durante su aplicación.

Se observó que el número de capas aplicadas influyó positivamente en la capacidad de aislamiento térmico. Las superficies tratadas con un mayor número de capas lograron reducir la temperatura superficial entre 1 y 2 °C, partiendo de un promedio inicial de 36.86 °C.

El diseño experimental mediante el método central compuesto y el análisis de superficie de respuesta fue adecuado para optimizar las variables analizadas, y sus resultados fueron validadas experimentalmente.

Para investigaciones futuras, se sugiere explorar alternativas de tratamiento y aprovechamiento del líquido residual generado durante la limpieza del sistema de aplicación, con el fin de reducir impactos ambientales y mejorar la eficiencia del proceso.

Finalmente, se determinó que mantener una distancia de aplicación entre 10 y 15 cm, con una presión de 16 PSI, es crucial para evitar la volatilización excesiva del recubrimiento. Se recomienda conservar estos parámetros para lograr una aplicación uniforme y eficiente.

## XII. GLOSARIO

A continuación, se muestra las definiciones de las terminologías empleadas en la redacción del presente documento, con base en las leyes LGPGIR 2016, LPAET 2019 y LPGIRET 2012.

**Gran Generador:** *Persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.*

**Microgenerador:** *Establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta cuatrocientos kilogramos de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida*

**Pequeño Generador:** *Persona física o moral que genere una cantidad igual o mayor a cuatrocientos kilogramos y menor a diez toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida*

**Plan de Manejo:** *Instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos específicos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, diseñado bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno.*

**Acopio:** *La acción de reunir residuos de una o diferentes fuentes para su manejo.*

**Almacenamiento:** *Retención temporal de los residuos en áreas adecuadas para prevenir daños al ambiente, los recursos naturales y la salud de la población, cumpliendo con las condiciones establecidas en las disposiciones legales aplicables, en tanto se procesan para su aprovechamiento, se les aplica un tratamiento, se transportan o se disponen finalmente.*

**Aprovechamiento de los residuos:** *Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales y de energía.*

**Gestión Integral de Residuos:** *Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de proteger el ambiente, la optimización de su manejo, aprovechamiento y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.*

**Centro de acopio:** *Instalación autorizada por la Secretaría de Bienestar, Sustentabilidad y Cambio Climático para la prestación de servicios a terceros en donde se reciben, reúnen, trasvasan y acumulan temporalmente residuos de manejo especial para después ser enviados a instalaciones autorizadas para su tratamiento, reciclaje, reutilización, co-procesamiento o disposición final.*

**Generación:** *Acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.*

**Material:** *Sustancia, compuesto o mezcla de ellos, que se usa como insumo y es un componente de productos de consumo, de envases, empaques, embalajes y de los residuos que éstos generan.*

**Residuo:** *Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final, conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.*

**Residuos sólidos urbanos:** *Son aquellos generados en las casas habitación o viviendas, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.*

**Tratamiento:** *El procedimiento físico, químico, biológico o térmico, mediante el cual se cambian las características de los residuos de manejo especial y sólidos urbanos.*

**Valorización:** *Principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral, eficiencia ambiental, tecnológica y económica.*

**Inventario de Residuos:** *Base de datos en la cual se asientan con orden y clasificación los volúmenes de generación de los diferentes residuos que se integran, a partir de la información proporcionada por los generadores en los formatos establecidos para tal fin, de conformidad con lo dispuesto en este ordenamiento.*

**Ciclo de vida:** *Es el periodo activo de un producto, proceso o servicio durante todas las etapas de su existencia (extracción, producción, distribución, uso y desecho), cuyo análisis es una herramienta que investiga y evalúa los impactos ambientales de éste.*

**Manejo:** *Alguna de las actividades siguientes: producción, co-procesamiento, procesamiento, transporte, almacenamiento, acopio, uso, tratamiento o disposición final de un residuo o sustancia peligrosa.*

**Manejo Integral:** *Actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.*

**Generador:** *Persona física o jurídica colectiva que produce residuos, a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.*

**Sustancia peligrosa:** *Aquella que, por sus características de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, radiactividad, corrosividad o acción biológica, puede ocasionar una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.*

### **XIII. NOMENCLATURA**

**ANIQ:** Asociación Nacional de la Industria Química

**CATRE:** Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos

**DACBIOL:** División Académica de Ciencias Biológicas

**INAPAC:** Asociación Nacional de Industrias del Plástico

**PET:** Polietileno Tereftalato

**PS:** Poliestireno

**PSE:** Poliestireno Expandido

**PSNP:** Nanoplásticos de Poliestireno

**PVA:** Acetato de Polivinilo

**UE:** Unidades Experimentales

**UJAT:** Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

#### XIV. REFERENCIAS

- Abdu et. al. (2023). INVESTIGACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS COMPUESTOS DE DESECHO DE FIBRA DE LINO/POLIESTIRENO EXPANDIDO. *cellpress*.
- Achillas, et al. (2009). RECYCLING OF POLYMERS FROM PLASTIC PACKAGING MATERIALS USING THE DISSOLUTION–REPRECIPITATION TECHNIQUE. *Springer link*, :449–465.
- ANIQ. (2016). *EL ABC DE LOS PLÁSTICOS*. Obtenido de ANIQ:  
<https://aniq.org.mx/eventos/2016/P%C3%A1gina%20web%20EPS/P%C3%A1gina%20WEB%20EPS%2012-12-2016.pdf>
- ANIQ. (2016). *UNICEL Y MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de ANIQ: <https://unicel-aniq.mx/medioambiente.html>
- ARGENTINA.GOB. (2019). METIL\_ETIL\_CETONA. Obtenido de Argentina.gob.ar:  
[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/metil\\_etil\\_cetona.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/metil_etil_cetona.pdf)
- ATSDR. (2016). XILENO (XYLENE). Obtenido de ATSDR:  
[https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts71.html#:~:text=El%20xileno%20se%20usa%20como,aviones%20y%20en%20la%20gasolina.](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts71.html#:~:text=El%20xileno%20se%20usa%20como,aviones%20y%20en%20la%20gasolina.)
- ATSDR. (2021). ACETONA (ACETONE). Obtenido de ATSDR:  
[https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts21.html#:~:text=Quiere%20m%C3%A1s%20informaci%C3%B3n%3F-%20,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20acetona%3F,se%20disuelve%20en%20el%20agua.](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts21.html#:~:text=Quiere%20m%C3%A1s%20informaci%C3%B3n%3F-%20,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20acetona%3F,se%20disuelve%20en%20el%20agua.)
- CADIS. (2013). *ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE VASOS DESECHABLES EN MÉXICO*. Obtenido de ANIQ: <http://www.unicel-aniq.mx/archivos/Reporte%20Ejecutivo%20ACV%20Vasos%20ANIQ.pdf>
- Chetna et al. (2022). BIOACCUMULATION AND TOXICITY OF POLYSTYRENE NANOPLASTICS ON MARINE AND TERRESTRIAL ORGANISMS WITH POSSIBLE

- REMEDIATION STRATEGIES: A review. Environmental Advances 8.  
[www.sciencedirect.com/journal/environmental-advances](http://www.sciencedirect.com/journal/environmental-advances)
- COMEX. (2004). COMEX THINNER TIPO AMERICANO. Obtenido de COMEX:  
[https://www.pinturascomexmonterrey.com/admin/pdf\\_files/COMEX-THINNER-TIPO-AMERICANO.pdf](https://www.pinturascomexmonterrey.com/admin/pdf_files/COMEX-THINNER-TIPO-AMERICANO.pdf)
- CONAGUA. (2022). TEMPERATURA MEDIA POR ENTIDAD FEDERATIVA Y NACIONAL 2022. Obtenido de CONAGUA:
- Corporativo Químico Global. (2011). THINNER. Obtenido de Corporativo Químico Global:  
<https://quimicoglobal.mx/745/>
- Departamento de salud. (2002). METIL ETIL CETONA. Obtenido de Departamento de salud:  
<https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1258sp.pdf>
- Ferraz et al. (2017). POLYSTYRENE RECYCLING PROCESSES BY DISSOLUTION IN ETHYL ACETATE. *JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE*.
- Flores et al. (2020). Deterioro ambiental: una investigación sobre el consumo excesivo de recipientes de un solo uso (unicel) en la Universidad de Sonora. *Revista Vértice Universitario*, 22(86). <https://doi.org/10.36792/rvu.vi86.21>
- Flores, (2016). NO 25 TOMO I. Obtenido de:  
<https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/63/2/2016-10-11-1/assets/documentos/gaceta1.pdf>
- Fuentes et al. (2013). RECICLAMIENTO DEL POLIESTIRENO. [Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez]. Repositorio del Tec. de Tuxtla.  
<http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/920/48443.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García et al. (2009). ESTUDIO DE LA SOLUBILIDAD Y ESTABILIDAD DE RESIDUOS DE POLIESTIRENO EN UN PROCESO DE RECICLAJE POR DISOLUCIÓN. *Gestión de residuos*, 1814-1818.
- Gil-Jasso et al. (2019). DISSOLUTION AND RECOVERY OF WASTE EXPANDED POLYSTYRENE USING ALTERNATIVE ESSENTIAL OILS. *FUEL*, 611-616.

GRIIV. (abril de 2021). *POLIESTIRENO -PS*. Obtenido de Unidades Tecnológicas de Santander:  
<https://www.uts.edu.co/sitio/wp-content/uploads/2019/10/c-poliestireno.pdf>

Gutiérrez et al. (2014). PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLYSTYRENE FOAMS FROM LIMONENE SOLUTIONS. *The Journal of Supercritical Fluids*, 92-104.

Gutiérrez et al. (2022). CHARACTERIZATION OF EXPANDED POLYSTYRENE WASTE AS BINDER AND COATING MATERIAL. *Casos de Estudio en Materiales de Construcción*.

<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/TMED/2022.pdf>

INSST. (2018). ICSC 0084- o- XILENO. Obtenido INSS:  
[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=0084&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0084&p_version=2&p_lang=es)

INTA. (15 de abril de 2020). *LA IMPORTANCIA DE RECICLAR*. Obtenido de INTA:  
<https://inta.gob.ar/noticias/la-importancia-de-reciclar>

Juárez et al. (2016). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA ELABORACIÓN DE IMPERMEABILIZANTE A TRAVÉS DEL RECICLAJE DEL UNICEL. [Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio de UPIICSA.  
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18150/ESTUDIO%20DE%20FACTIBILIDAD%20PARA%20LA%20ELABORACI%C3%93N%20DE%20IMPERMEABILIZANTE%20A%20TRAV%C3%89S%20DEL%20RECICLAJE%20DE%20UNICEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MERCK. (s.f.). ÉTER DE PETRÓLEO. Obtenido de MERCK:  
[https://www.merckmillipore.com/MX/es/product/Petroleum-ether,MDA\\_CHEM-101769?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.merckmillipore.com/MX/es/product/Petroleum-ether,MDA_CHEM-101769?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F)

Meyer, RQ. (2018). ACETONA. Obtenido de Reactivos Meyer:  
[https://reactivosmeyer.com.mx/datos/pdf/reactivos/hds\\_0025.pdf](https://reactivosmeyer.com.mx/datos/pdf/reactivos/hds_0025.pdf)

Meyer, RQ. (2018). METIL ETIL CETONA. Obtenido de Reactivos Meyer:  
[https://reactivosmeyer.com.mx/datos/pdf/materias/hds\\_6335.pdf](https://reactivosmeyer.com.mx/datos/pdf/materias/hds_6335.pdf)

- Murcia et. al (2021) POLIESTIRENO – PS. Obtenido de Unidades Tecnológicas de Santander:  
<https://www.uts.edu.co/sitio/wp-content/uploads/2019/10/c-poliestireno.pdf>
- Perdomo et al. (2012). PERSPECTIVA DE USO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO, COMO ALTERNATIVA DE IMPERMEABILIZANTE, PARA ELECTRODOS EMPLEADOS EN LA SOLDADURA SUBACUÁTICA MOJADA. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (62), 103-113. <https://www.redalyc.org/pdf/430/43025115011.pdf>
- PROFEPA. (05 de septiembre de 2016). *LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS*. Obtenido de PROFEPA:  
<https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos>  
62914#:~:text=Tiene%20por%20objeto%20garantizar%20el,la%20contaminaci%C3%B3n%20de%20sitios%20con
- RACSA. (26 de octubre de 2020). *IMPERMEABILIZANTE*. Obtenido de RACSA:  
<https://racsapinturas.com.mx/blog-impermeabilizante/>
- Reyes et al. (2019). VIABILIDAD DEL USO DE POLIESTIRENO RECICLADO COMO IMPERMEABILIZANTE EN ADOBES DE CONSTRUCCIÓN. [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI]. Repositorio de UCT. [https://repositorio.uct.edu.pe/bitstream/123456789/533/1/017100257F\\_TI\\_2019.pdf](https://repositorio.uct.edu.pe/bitstream/123456789/533/1/017100257F_TI_2019.pdf)
- Rolando et al. (2015). EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (DUROPORT). [Informe Final de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio de USAC.  
<https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2014-44.pdf>
- SBSCC (2020). NORMA AMBIENTAL ESTATAL EMERGENTE NAETAB-EM-001-SBSCC-2020, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES EN MATERIA DE BOLSAS DE PLÁSTICO, POPOTES DE PLÁSTICO Y EL POLIESTIRENO EXPANDIDO CONOCIDO COMO UNICEL EN EL ESTADO DE TABASCO. obtenido de:  
<https://tabasco.gob.mx/sbscc-reforma-estatal-en-materia-de-bolsas-de-plastico-popotes-y-unicel#:~:text=PDF%20%7C%20448%20kB,en%20el%20Estado%20de%20Tabasco.>

Schmidt et al. (2011). FLEXURAL TEST ON RECYCLED POLYSTYRENE. *Ingeniería de procedimientos*, 930-935.

SEMARNAT (2019). LEY DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DEL ESTADO DE TABASCO.

Obtenido de: <https://congresotabasco.gob.mx/wp/wp-content/uploads/2019/07/Ley-de-Protecci%C3%B3n-Ambiental-del-Estado-de-Tabasco.pdf>

SEMARNAT, (2012). LEY PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS, DEL ESTADO DE TABASCO. Obtenido de: <https://tsj-tabasco.gob.mx/resources/pdf/transparencia/LEY%20PARA%20LA%20PREVENCIÓN%20Y%20GESTIÓN%20INTEGRAL%20DE%20LOS%20RESIDUOS%20DEL%20ESTADO%20DE%20TABASCO.pdf>

SEMARNAT, (2020). DIAGNÓSTICO BÁSICO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS.

SEMARNAT. (10 de enero de 2017). *NORMATIVIDAD APLICABLE AL TEMA DE RESIDUOS*.

Obtenido de SEMARNAT: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/normatividad-aplicable-al-tema-de-residuos>

Servicio Meteorológico Nacional (29 de mayo 2024). *Pronóstico Meteorológico General*.

Obtenido de CONAGUA:

<https://smn.conagua.gob.mx/es/pronosticos/pronosticossubmenu/pronostico-meteorologico-general>

Sosa et al. (2018). POLIESTIRENO EXPANDIDO: POTENCIAL PARA SU RECICLADO COMO

AISLANTE TÉRMICO. *Revista de divulgación científica y Tecnológica de Universidad Autónoma de Nuevo León*, (86). <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=7398>

Tecnología de los Plásticos (2011). PET. Obtenido de Tecnología de los Plásticos. Obtenido

de: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>

Tecnologías Renueva, (2018). PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS DE EPS.

UNAM. (14 de agosto de 2019). *EN MÉXICO, EL CONSUMO NACIONAL DE UNICEL ES DE 125 MIL TONELADAS ANUALES*. Obtenido de UNAM:

<https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/en-mexico-el-consumo-nacional-de-unicel-es-de-125-mil-toneladas-anuales/>

UNAM. (2008). HOJA DE SEGURIDAD IV ACETONA. Obtenido de Facultad de Química:  
<https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2008/05/4acetona.pdf>

UNAM. (2016). HOJA DE SEGURIDAD XIII HEXANO. Obtenido de Facultad de Química:  
<https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/13hexano.pdf>

UNAM. (2016). HOJA DE SEGURIDAD XVII TOLUENO. Obtenido de Facultad de  
Química:<https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/17tolueno.pdf>

Valera et al. (2020). DETERIORO AMBIENTAL: UNA INVESTIGACIÓN SOBRE EL CONSUMO  
EXCESIVO DE RECIPIENTES DE UN SOLO USO (UNICEL) EN LA UNIVERSIDAD DE  
SONORA. Obtenido de Revista Verticé Universitario:  
<https://revistavertice.unison.mx/index.php/rvu/article/view/21>

*Werncke et al. (2020). REUSE OF EXPANDED POLYSTYRENE FOR WATERPROOFING  
PRODUCTION AND APPLICATION IN CIVIL CONSTRUCTION. INTERNATIONAL  
JOURNAL OF ADVANCED ENGINEERING RESEARCH AND SCIENCE (IJAERS), vol-  
7. [https://ijaers.com/uploads/issue\\_files/42IJAERS-05202023-Reuse.pdf](https://ijaers.com/uploads/issue_files/42IJAERS-05202023-Reuse.pdf)*

<b>Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional</b>	
<b>Título de Tesis:</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOLUBILIZACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO Y SU APLICACIÓN COMO MATERIAL DE RECUBRIMIENTO TIPO AISLANTE TÉRMICO</b>
<b>Autor(a) o autores(ras) de la Tesis:</b>	<b>Jaqueline López Torres Francisco Jesús López Silva</b>
<b>ORCID:</b>	<a href="https://orcid.org/0009-0003-1482-7623">https://orcid.org/0009-0003-1482-7623</a> <a href="https://orcid.org/0009-0003-2923-5903">https://orcid.org/0009-0003-2923-5903</a>
<b>Resumen de la Tesis:</b>	En esta investigación se busca el aprovechamiento de residuos de poliestireno, evaluando la capacidad de solubilización y aplicación como material de recubrimiento tipo aislante térmico en superficies de concreto. En Tabasco el clima cálido húmedo es predominante, alcanzando temperaturas entre 35 y 40 °C, lo que provoca sensaciones térmicas muy elevadas en el interior de los hogares (CONAGUA, 2022). En

Tabasco existen muchas viviendas que cuentan con un techo de baja altura, el uso de lozas de concreto no es eficiente la repelencia de temperatura, permitiendo la transferencia del calor solar al interior de los hogares, provocando altas temperaturas en el interior. Considerando que las temperaturas actuales son superiores a los 45 °C, con sensaciones térmicas que alcanzan más de 50°C (SMN, 2024), se deben buscar alternativas eficientes que permitan combatir las altas temperaturas en los hogares y sobre todo los hogares que carecen de sistemas de aire acondicionado. Por lo tanto, el objetivo principal de la investigación es determinar la capacidad de reciclaje de poliestireno expandido mediante su combinación con solventes orgánicos, para su uso como material de recubrimiento en superficies de concreto.

<p><b>Palabras claves de la Tesis:</b></p>	<p><b>Poliestireno Expandido, dilución, solubilidad, repelencia térmica, optimización, temperatura.</b></p>
<p><b>Referencias citadas:</b></p>	<p><b>Abdu et. al. (2023). INVESTIGACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS COMPUESTOS DE DESECHO DE FIBRA DE LINO/POLIESTIRENO EXPANDIDO. cellpress.</b></p> <p><b>Achilias, et al. (2009). RECYCLING OF POLYMERS FROM PLASTIC PACKAGING MATERIALS USING THE DISSOLUTION-REPRECIPITATION TECHNIQUE. Springer link, :449-465.</b></p> <p><b>ANIQ. (2016). EL ABC DE LOS PLÁSTICOS. Obtenido de ANIQ: <a href="https://aniq.org.mx/eventos/2016/P%C3%A1gina%20web%20EPS/P%C3%A1gina%20WEB%20EPS%2012-12-2016.pdf">https://aniq.org.mx/eventos/2016/P%C3%A1gina%20web%20EPS/P%C3%A1gina%20WEB%20EPS%2012-12-2016.pdf</a></b></p> <p><b>ANIQ. (2016). UNICEL Y MEDIO AMBIENTE. Obtenido de ANIQ: <a href="https://unicel-aniq.mx/medioambiente.html">https://unicel-aniq.mx/medioambiente.html</a></b></p> <p><b>ARGENTINA.GOB. (2019). METIL_ETIL_CETONA. Obtenido</b></p>

Universidad Juárez  
Autónoma de México

de [Argentina.gob.ar:  
https://www.argentina.gob.ar/sites/  
default/files/metil\\_etil\\_cetona.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/metil_etil_cetona.pdf)

**ATSDR. (2016). XILENO (XYLENE).**  
Obtenido de ATSDR:  
[https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts71.html#:~:text=El%20xileno%20se%20usa%20como,aviones%20y%20en%20la%20gasolina.](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts71.html#:~:text=El%20xileno%20se%20usa%20como,aviones%20y%20en%20la%20gasolina.)

**ATSDR. (2021). ACETONA (ACETONE).**  
Obtenido de ATSDR:  
[https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts21.html#:~:text=Quiere%20m%C3%A1s%20informaci%C3%B3n%3F-%20Qu%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20acetona%3F,se%20disuelve%20en%20el%20agua.](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts21.html#:~:text=Quiere%20m%C3%A1s%20informaci%C3%B3n%3F-%20Qu%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20acetona%3F,se%20disuelve%20en%20el%20agua.)

**CADIS. (2013). ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE VASOS DESECHABLES EN MÉXICO.** Obtenido de ANIQ:  
<http://www.unicel-aniq.mx/archivos/Reporte%20Ejecutivo%20ACV%20Vasos%20ANIQ.pdf>

**Chetna et al. (2022). BIOACCUMULATION AND TOXICITY OF POLYSTYRENE**

**NANOPLASTICS ON MARINE AND TERRESTRIAL ORGANISMS WITH POSSIBLE REMEDIATION STRATEGIES: A review.**  
Environmental Advances 8.  
[www.sciencedirect.com/journal/environmental-advances](http://www.sciencedirect.com/journal/environmental-advances)

**COMEX. (2004). COMEX THINNER TIPO AMERICANO. Obtenido de COMEX:**  
[https://www.pinturascomexmonterrey.com/admin/pdf\\_files/COMEX-THINNER-TIPO-AMERICANO.pdf](https://www.pinturascomexmonterrey.com/admin/pdf_files/COMEX-THINNER-TIPO-AMERICANO.pdf)

**CONAGUA. (2022). TEMPERATURA MEDIA POR ENTIDAD FEDERATIVA Y NACIONAL 2022. Obtenido de CONAGUA:**

**Corporativo Químico Global. (2011). THINNER. Obtenido de Corporativo Químico Global:**  
<https://quimicoglobal.mx/745/>

**Departamento de salud. (2002). METIL ETIL CETONA. Obtenido de Departamento de salud:**  
<https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1258sp.pdf>

**Ferraz et al. (2017). POLYSTYRENE RECYCLING PROCESSES BY**

DISSOLUTION IN ETHYL ACETATE. JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE.

Flores et al. (2020). Deterioro ambiental: una investigación sobre el consumo excesivo de recipientes de un solo uso (unicel) en la Universidad de Sonora. Revista Vértice Universitario, 22(86). <https://doi.org/10.36792/rvu.vi86.21>

Flores, (2016). NO 25 TOMO I. Obtenido de:<https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/63/2/2016-10-11-1/assets/documentos/gaceta1.pdf>

Fuentes et al. (2013). RECICLAMIENTO DEL POLIESTIRENO. [Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez]. Repositorio del Tec. de Tuxtla. <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/920/48443.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García et al. (2009). ESTUDIO DE LA SOLUBILIDAD Y ESTABILIDAD DE RESIDUOS DE POLIESTIRENO EN UN PROCESO DE RECICLAJE POR

Universidad Juárez  
México

**DISOLUCIÓN. Gestión de residuos , 1814-1818.**

**Gil-Jasso et al. (2019). DISSOLUTION AND RECOVERY OF WASTE EXPANDED POLYSTYRENE USING ALTERNATIVE ESSENTIAL OILS. FUEL, 611-616.**

**GRIIV. (abril de 2021). POLIESTIRENO - PS. Obtenido de Unidades Tecnológicas de Santander: <https://www.uts.edu.co/sitio/wp-content/uploads/2019/10/c-poliestireno.pdf>**

**Gutiérrez et al. (2014). PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLYSTYRENE FOAMS FROM LIMONENE SOLUTIONS. The Journal of Supercritical Fluids, 92-104.**

**Gutiérrez et al. (2022). CHARACTERIZATION OF EXPANDED POLYSTYRENE WASTE AS BINDER AND COATING MATERIAL. Casos de Estudio en Materiales de Construcción.**

**<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Tempe>**

Universidad Juárez  
México

ratura%20y%20Lluvia/TMED/2022.pdf

INSST. (2018). ICSC 0084- o- XILENO. Obtenido INSS: [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=0084&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0084&p_version=2&p_lang=es)

INTA. (15 de abril de 2020). LA IMPORTANCIA DE RECICLAR. Obtenido de INTA: <https://inta.gob.ar/noticias/la-importancia-de-reciclar>

Juárez et al. (2016). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA ELABORACIÓN DE IMPERMEABILIZANTE A TRAVÉS DEL RECICLAJE DEL UNICEL. [Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio de UPIICSA. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18150/ESTUDIO%20DE%20FACTIBILIDAD%20PARA%20LA%20ELABORACION%20DE%20IMPERMEABILIZANTE%20A%20TRAVES%20DEL%20RECICLAJE%20DE%20UNICEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Universidad Juárez  
Autónoma de México

**MERCK. (s.f.). ÉTER DE PETRÓLEO. Obtenido de MERCK: [https://www.merckmillipore.com/MX/es/product/Petroleum-ether,MDA\\_CHEM-101769?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.merckmillipore.com/MX/es/product/Petroleum-ether,MDA_CHEM-101769?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F)**

**Meyer, RQ. (2018). ACETONA. Obtenido de Reactivos Meyer: [https://reactivosmeyer.com.mx/datos/pdf/reactivos/hds\\_0025.pdf](https://reactivosmeyer.com.mx/datos/pdf/reactivos/hds_0025.pdf)**

**Meyer, RQ. (2018). METIL ETIL CETONA. Obtenido de Reactivos Meyer: [https://reactivosmeyer.com.mx/datos/pdf/materias/hds\\_6335.pdf](https://reactivosmeyer.com.mx/datos/pdf/materias/hds_6335.pdf)**

**Murcia et. al (2021) POLIESTIRENO – PS. Obtenido de Unidades Tecnológicas de Santander: <https://www.uts.edu.co/sitio/wp-content/uploads/2019/10/c-poliestireno.pdf>**

**Perdomo et al. (2012). PERSPECTIVA DE USO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO, COMO ALTERNATIVA DE IMPERMEABILIZANTE, PARA ELECTRODOS EMPLEADOS EN LA SOLDADURA SUBACUÁTICA**

Universidad Juárez  
México

MOJADA. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (62), 103-113. <https://www.redalyc.org/pdf/430/43025115011.pdf>

PROFEPA. (05 de septiembre de 2016). LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. Obtenido de PROFEPA: <https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos>  
62914#:~:text=Tiene%20por%20objeto%20garantizar%20el,la%20contaminaci%C3%B3n%20de%20sitios%20con

RACSA. (26 de octubre de 2020). IMPERMEABILIZANTE. Obtenido de RACSA: <https://racsapinturas.com.mx/blog-impermeabilizante/>

Reyes et al. (2019). VIABILIDAD DEL USO DE POLIESTIRENO RECICLADO COMO IMPERMEABILIZANTE EN ADOBES DE CONSTRUCCIÓN. [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI].

Universidad Juárez  
México

Repositorio de  
UCT.[https://repositorio.uct.edu.pe/  
bitstream/123456789/533/1/017100  
257F\\_TI\\_2019.pdf](https://repositorio.uct.edu.pe/bitstream/123456789/533/1/017100257F_TI_2019.pdf)

Rolando et al. (2015). EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (DUROPORT). [Informe Final de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio de USAC. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2014-44.pdf>

SBSCC (2020). NORMA AMBIENTAL ESTATAL EMERGENTE NAETAB-EM-001-SBSCC-2020, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES EN MATERIA DE BOLSAS DE PLÁSTICO, POPOTES DE PLÁSTICO Y EL POLIESTIRENO EXPANDIDO CONOCIDO COMO UNICEL EN EL ESTADO DE TABASCO. obtenido de: <https://tabasco.gob.mx/sbscc-reforma-estatal-en-materia-de-bolsas-de-plastico-popotes-y-unicel#:~:text=PDF%20%7C%2044>

8%20kB,en%20el%20Estado%20de%20Tabasco.

Schmidt et al. (2011). FLEXURAL TEST ON RECYCLED POLYSTYRENE. Ingeniería de procedimientos, 930-935.

SEMARNAT (2019). LEY DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DEL ESTADO DE TABASCO. Obtenido de:  
<https://congresotabasco.gob.mx/wp/wp-content/uploads/2019/07/Ley-de-Protecci%C3%B3n-Ambiental-del-Estado-de-Tabasco.pdf>

SEMARNAT, (2012). LEY PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS, DEL ESTADO DE TABASCO. Obtenido de: <https://tsj-tabasco.gob.mx/resources/pdf/transparencia/LEY%20PARA%20LA%20PREVENCION%20Y%20GESTION%20INTEGRAL%20DE%20LOS%20RESIDUOS%20DEL%20ESTADO%20DE%20TABASCO.pdf>

SEMARNAT, (2020). DIAGNÓSTICO BÁSICO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS.

Universidad Juárez  
México

SEMARNAT. (10 de enero de 2017).  
NORMATIVIDAD APLICABLE AL  
TEMA DE RESIDUOS. Obtenido de  
SEMARNAT:

<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/normatividad-aplicable-al-tema-de-residuos>

Servicio Meteorológico Nacional (29 de  
mayo 2024). Pronóstico  
Meteorológico General. Obtenido  
de CONAGUA:

<https://smn.conagua.gob.mx/es/pronosticos/pronosticossubmenu/pronostico-meteorologico-general>

Sosa et al. (2018). POLIESTIRENO  
EXPANDIDO: POTENCIAL PARA  
SU RECICLADO COMO AISLANTE  
TÉRMICO. Revista de divulgación  
científica y Tecnológica de  
Universidad Autónoma de Nuevo  
León, (86).

<https://cienciauanl.uanl.mx/?p=7398>

Tecnología de los Plásticos (2011). PET.  
Obtenido de Tecnología de los  
Plásticos. Obtenido de:

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>

<p>Universidad Juárez México Autónoma de Toluca</p>	<p>Tecnologías Renueva, (2018). PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS DE EPS.</p> <p>UNAM. (14 de agosto de 2019). EN MÉXICO, EL CONSUMO NACIONAL DE UNICEL ES DE 125 MIL TONELADAS ANUALES. Obtenido de UNAM: <a href="https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/en-mexico-el-consumo-nacional-de-unicel-es-de-125-mil-toneladas-anuales/">https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/en-mexico-el-consumo-nacional-de-unicel-es-de-125-mil-toneladas-anuales/</a></p> <p>UNAM. (2008). HOJA DE SEGURIDAD IV ACETONA. Obtenido de Facultad de Química: <a href="https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2008/05/4acetona.pdf">https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2008/05/4acetona.pdf</a></p> <p>UNAM. (2016). HOJA DE SEGURIDAD XIII HEXANO. Obtenido de Facultad de Química: <a href="https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/13hexano.pdf">https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/13hexano.pdf</a></p> <p>UNAM. (2016). HOJA DE SEGURIDAD XVII TOLUENO. Obtenido de Facultad de Química: <a href="https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/17tolueno.pdf">https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/17tolueno.pdf</a></p>
---	--

content/uploads/2016/12/17tolueno.pdf

Valera et al. (2020). DETERIORO AMBIENTAL: UNA INVESTIGACIÓN SOBRE EL CONSUMO EXCESIVO DE RECIPIENTES DE UN SOLO USO (UNICEL) EN LA UNIVERSIDAD DE SONORA. Obtenido de Revista Verticé Universitario: <https://revistavertice.unison.mx/index.php/rvu/article/view/21>

Werncke et al. (2020). REUSE OF EXPANDED POLYSTYRENE FOR WATERPROOFING PRODUCTION AND APPLICATION IN CIVIL CONSTRUCTION. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED ENGINEERING RESEARCH AND SCIENCE (IJAERS), vol-7. [https://ijaers.com/uploads/issue\\_files/42IJAERS-05202023-Reuse.pdf](https://ijaers.com/uploads/issue_files/42IJAERS-05202023-Reuse.pdf)