



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Desarrollo y Evaluación de Películas a partir
de Nanopartículas de Poliestireno Expandido
(EPS) Proveniente de Material de Reciclaje y
su Aplicación en Superficies Porosas**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN FARMACIA**

PRESENTA

VELASCO REYES VIVIANA CRISTINA

ASESOR

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.



Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis y Examen Profesional.**

Desarrollo y Evaluación de Películas a partir de Nanopartículas de Poliestireno Expandido (EPS) proveniente de Material de Reciclaje y su Aplicación en Superficies Porosas.

Que presenta la pasante: **Viviana Cristina Velasco Reyes**

Con número de cuenta: **416005370** para obtener el título de: **Licenciada en Farmacia**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 02 de Agosto de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q. Rafael Sampere Morales	
VOCAL	DESS. Rodolfo Cruz Rodríguez	
SECRETARIO	Dr. David Quintanar Guerrero	
1er. SUPLENTE	M.C. Gabriela Rodríguez Patiño	
2do. SUPLENTE	L.F. Miguel Ángel Trejo Rodríguez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional

Voy a hacer un cambio, por una vez en mi vida
Se sentirá realmente bien, voy a hacer la diferencia
Voy a hacerlo bien
Mientras acomodo el cuello de mi abrigo favorito
El viento confunde mi mente
Veo a niños en la calle, sin lo suficiente para comer
¿Quién soy yo? para hacerme el ciego y disimular que no veo su necesidad
Un verano indiferente, una botella rota y el alma de un hombre solitario
Se siguen unos a otros, porque no tienen a donde ir
Por eso quiero que sepas
Voy a empezar por el hombre en el espejo
Estoy pidiendo que cambies tu forma de ser
Y ningún mensaje pudo haber sido más claro
Si quieres hacer del mundo un lugar mejor, mírate a ti mismo
Y entonces harás un cambio
He sido víctima de una clase de amor egoísta
Es momento de darse cuenta
Hay muchos sin un hogar y sin un centavo para prestar
¿Podría ser realmente yo?, pretender que ellos no están solos
Un sauce profundamente dañado
Alguien con el corazón roto y un sueño sin ilusión
Ellos solo siguen el patrón del viento, porque no tienen un lugar en donde estar
Es por eso que comenzare conmigo
Tienes que hacer lo correcto, mientras estes a tiempo
Porque si cierras tu mente, no puedes cerrar tu corazón
¡Levántate! y ve a detenerlo tú mismo, no debes permitirlo
Simplemente mejora y
Haz el cambio

Michael Jackson

“Nunca debes tener miedo, de lo que estás
haciendo cuando es correcto”

Marie Curie

“Las personas tranquilas y silenciosas son las que
tienen las mentes más fuertes y ruidosas”

Stephen Hawking

“Un sueño es un deseo que tu corazón crea,
cuando estás ligeramente dormido”

Walt Disney

“No tengo talentos especiales, pero si soy
profundamente curioso”

Albert Einstein

“Hacer lo correcto es mejor que hacer lo que es
fácil”

Anónimo

AGRADECIMIENTOS

A mis Papás y Hermanos por el apoyo incondicional recibido, gracias por ayudarme a cumplir mis sueños.

A los individuos anónimos, de buen corazón que por alguna razón conocí, me ayudaron a dar lo mejor de mí y que con sus enseñanzas, ejemplo y consejos me volvieron mejor persona.

A la UNAM por recibirme como estudiante y formarme como profesional en la máxima casa de estudios, en definitivo mi lugar estaba en la **FES Cuautitlán**.

Al CBTis 160 dónde todo comenzó, gracias por los regalos y bendiciones que me mandaste a través de estos años.

A mí Asesor el Dr. David Quintanar y a su laboratorio L-323, fue un verdadero honor trabajar para usted.

Al Comité Sinodal, gracias por la orientación y aportaciones en la realización de este proyecto.

A la M. en C. Sofía González Gallardo, gracias por el apoyo y las atenciones en la utilización del microscopio electrónico de barrido.

Por mi raza hablara el espíritu.

DEDICATORIAS

A mi Mamá Guadalupe, por darme la vida y enseñarme desde antes de nacer a ser fuerte y resistir lo que sea, te agradezco todo lo que has hecho por mí gracias a ti soy lo que soy, nunca me negaste nada siempre me diste todo, gracias por el inmenso sacrificio que has hecho todos estos años para que yo pudiera tener casa, comida y educación, gracias mamá por esas lágrimas y sufrimientos que has pasado para protegerme, por todos esos valores y lecciones que me has inculcado, por tus desvelos y tú trabajo para que yo pudiera estudiar, gracias por cuidarme cuando he enfermado, por consolarme cuando lo he necesitado, por defenderme de todo lo que me ha dañado, por reírte conmigo, por celebrar mis triunfos y estar conmigo en los fracasos, gracias por escucharme, por darme una carrera y un oficio para defenderme, gracias por enseñarme que en el mundo también hay gente buena, gracias por querer a este patito feo que se convirtió en cisne negro, necesitaría cientos de libros para poder escribir todo lo que has hecho por mí, esta tesis la hice para ti quiero que te sientas orgullosa de mí y que pienses que todo ha valido la pena, así que por eso y mil millones de razones más. Muchas gracias por ser mi mama.

A mí Hermanito Toby, por su inmenso e incondicional amor, cariño, afecto y lealtad por estar conmigo en todo momento sin reproche alguno, jamás olvidare tu compañía en mis noches de estudio, gracias hermano por quererme tanto.

A Neftalí y Salvador gracias por todo lo que han hecho por mí, sé que me quieren a su manera, quiero que se sientan orgullosos, les dedicare muchos triunfos más.

A Julio Cesar, la mejor persona que he conocido, tú eres mi complemento, el ángel de mi guarda y el regalo que la vida me dio para compensar todo lo malo que me ha pasado, gracias por estar en mis miedos, mi preocupación y mis frustraciones, gracias por tu amistad, tu amor puro y sincero, tu cuidado y consuelo, gracias por no dejarme caer y acompañarme en todo momento, tú me enseñaste un mundo que no conocía, contigo aprendí que la vida no es tan mala como parece, desde que llegaste a mi vida no me volví a sentir sola, pero sobre todo gracias por quedarte a lo largo de estos años y gracias por aceptarme y quererme tal cual soy.

Al Dr. David Quintanar, el mejor profesor de la carrera, la mejor persona que conocí en la UNAM, la persona que me enseñó lo hermosa que es la cosmetología, gracias por sus conocimientos, su apoyo, sus bromas, sus consejos por su preocupación, por su gran calidez humana, pero sobre todo gracias por confiar en mí y abrirme las puertas en su laboratorio y gracias por la formación que me dio, usted siempre será mi mayor ejemplo a seguir.

A Mariano, aquella persona que se cruzó en mi camino, me tendió la mano y me enseñó en plena pandemia el arduo labor que un Químico puede ejercer en el hospital, gracias por permitirme formar parte de la historia en esta contingencia, seguiremos siendo el dúo de complicidad en el laboratorio compartiendo risas, tensión, decepción incluso sorpresas, todo seguirá siendo mutuo y sincero, tú eres la mejor persona que he conocido en mi vida laboral, gracias por ser mi compañero, mi maestro pero sobre todo mi amigo.

A mis Queridas Maestras del CBTis 160, **Raquel Gómez, Guadalupe Amaya, Tere Tagle y Carolina Mata**, por su amistad, cariño y afecto, por confiar en mí, por creer que lo lograría, por repetirme una y otra vez quien soy y lo que puedo llegar a ser, por lo que me enseñaron, ustedes son mujeres maravillosas y la mejor parte de cada una siempre será una fuente de inspiración para mí.

A mis Profes de la FESC, **David Quintanar, Juan Manuel Aceves, Rafael Sampere, Rafael Villalobos y Arturo Martin**, gracias por su enseñanza, su apoyo, por animarme a seguir adelante en la carrera y por transmitirme esa pasión en el área tecnológica, ustedes fueron el top en mi formación como farmacéutica.

A las Ratas, Ratones y Conejos que me dieron su vida para que yo aprendiera y que me enseñaron el valor que está representa, para mí son más que un modelo biológico, gracias por hacerme más humana.

En memoria de todos aquellos que perdieron la vida en la Pandemia del COVID-19, ya sea enfrentando la enfermedad o luchando, salvando vidas en Hospitales, Clínicas, Laboratorios y Centros Comunitarios.

Para mí fue un verdadero honor y privilegio a tan corta edad haberme permitido integrarme al equipo del Personal de Salud y colaborar con Médicos, Químicos, Farmacéuticos, Técnicos Laboratoristas, Enfermeros, Camilleros, Personal de Intendencia, Lavandería, Seguridad y todo aquel que colaboro por un bien común, que día a día por más de dos años con un arduo labor y vocación, que en recompensa a nuestro trabajo la sociedad llego a nombrarnos héroes.

Mi corazón se llena de orgullo al decir que mi formación como Laboratorista Clínico y Licenciada en Farmacia pudo contribuir para mejorar la calidad de vida de los pacientes.

También no hay que olvidar a todos esos roedores de laboratorio que al igual que el personal de salud, merecen nuestro respeto y agradecimiento, ellos también son héroes al dar su vida en la etapa preclínica para la elaboración de las nuevas formas farmacéuticas, ya que gracias a ellos la humanidad pudo ser vacunada y así disminuir la mortalidad de la enfermedad.

Para todo aquel que consulte esta tesis, quisiera decir que hay mucho trabajo por hacer, no hay que perder el ánimo ni las esperanzas ni como estudiante ni como profesional, esto debe ser una cadena y así continuar las aportaciones en el área clínica y tecnológica estas disciplinas no deben estar peleadas.

A las nuevas generaciones que están por llegar, las que están y las que se fueron

¡Curemos al mundo!

Por ti, por mí y por toda la raza humana.

Índice

Lista de Tablas	1
Lista de Figuras.....	2
Lista de Abreviaturas y Símbolos	4
I. RESUMEN	5
II. INTRODUCCIÓN.....	6
III. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1 Poliestireno	7
3.1.1 Historia	7
3.1.2 Estireno	8
3.1.3 ¿Qué es el poliestireno?	9
3.1.4 Tipos de poliestireno	9
3.1.5 Síntesis del poliestireno	10
3.2 Preparación del EPS.....	11
3.3 Aplicaciones del EPS.....	13
3.4 Propiedades del EPS.....	14
3.5 EPS y la salud	15
3.6 Reciclaje del EPS	17
3.6.1. Reciclaje mecánico.....	19
3.6.2 Reciclaje químico	19
3.6.3 Reciclaje térmico	19
3.7 Residuos del EPS	19
3.8 Nanoplásticos y su efecto en ecosistemas marinos.....	21
3.9. Películas.	22
3.10 Formación de película.	23
3.10.1. Teorías de formadores de películas.....	24
3.10.2 Teoría de la lubricidad.	24
3.10.3. Teoría del volumen libre.	24
3.10.4 Teoría mecanicista (Equilibrio solvatación-desolvatación).....	24
3.11 Plastificantes	25
3.12. Porosidad.	26
3.12.1 Superficies porosas	26
3.13. Nanotecnología.	30
3.13.1 Nanopartículas poliméricas	30

3.13.2 Métodos de elaboración de nanopartículas.....	30
3.13.3 Técnica Emulsificación-Difusión (E-D).....	31
IV. JUSTIFICACIÓN.	33
V. HIPÓTESIS.	34
VI. OBJETIVOS.	35
6.1 Objetivo general.....	35
6.2 Objetivos particulares	35
VII. EQUIPOS Y MATERIALES	36
7.1 Equipos	36
7.2 Reactivos	36
7.3 Materiales.....	36
VIII. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	37
8.1 Tratamiento previo al EPS	38
8.2 Preparación de nanopartículas de poliestireno a través de la técnica emulsificación-difusión.	38
8.2.1 Cálculo del rendimiento de nanopartículas de poliestireno.....	40
8.3 Sedimentación de nanopartículas de poliestireno	41
8.4 Caracterización	41
8.4.1 Tamaño de partícula.....	41
8.4.2 Potencial Z	41
8.5 Evaluación y selección de plastificantes	42
8.5.1 Microscopía electrónica de barrido.....	42
8.6 Recubrimiento en superficies porosas.....	44
8.7 Incorporación de película en placas de yeso y su efecto como modificador de humedad.....	46
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
9.1 Densificación al EPS.....	48
9.2 Elaboración de nanopartículas mediante emulsificación-difusión, obtención de sedimento y caracterización.....	49
9.3 Formación de películas y selección de plastificantes.....	52
9.4 Películas como recubrimiento de superficies porosas.....	60
9.5 Elaboración de placas de yeso y su impacto como modificador de humedad.....	65
X. CONCLUSIONES.	67
XI. PERSPECTIVAS	68
XII. REFERENCIAS	69



Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Descripción de las Aplicaciones del EPS.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2. Condiciones Experimentales de la Técnica E-D.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 3. Especificaciones del detector Vacuum Desk V.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4. Formulación para Recubrimiento de Superficies.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 5. Formulación para la Elaboración de Placas de Yeso.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 6. Especificaciones para Preparación de Placas de Yeso</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 7. Caracterización experimental de nanopartículas de EPS.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 8. Evaluación de plastificantes.</i>	<i>54</i>



Lista de Figuras

Figura 1. <i>Liquidambar orientalis</i>	7
Figura 2. Estructura Química del PS.....	8
Figura 3. Estructura Química del Estireno.....	8
Figura 4. Clasificación del PS.....	9
Figura 5. Tipos de Poliestireno: (a) PS, (b) HIPS, (c) EPS, (d) XPS.....	10
Figura 6. Reacción de Síntesis del Poliestireno.....	10
Figura 7. Manufactura del EPS.....	11
Figura 8. Preparación del EPS.....	12
Figura 9. Microplásticos.....	16
Figura 10. Nanoplásticos.....	17
Figura 11. Reciclaje del EPS.....	18
Figura 12. Artículos a base de EPS.....	18
Figura 13. Residuos de EPS.....	20
Figura 14. Microorganismos capaces de degradar EPS: (a) <i>Rhodococcus ruber</i> (b) <i>Actinobacterium</i>	20
Figura 15. Desfragmentación de Nanoplásticos.....	22
Figura 16. Descripción General de la Formación de Película.....	23
Figura 17. Tensiones Superficiales:(a) liquido-gas, (b) solido-liquido, (c) solido-gas.....	23
Figura 18. Mezcla plastificante-polímero.....	25
Figura 19. Porosidad.....	26
Figura 20. Superficie de Asfalto.....	26
Figura 21. Superficie de Concreto.....	27
Figura 22. Adoquines de Hormigón.....	27
Figura 23. Ladrillo de arcilla.....	28
Figura 24. Superficie de Mármol.....	28
Figura 25. Superficie de Madera.....	29
Figura 26. Yeso Calcinado.....	29
Figura 27. Procedimiento de Emulsificación-Difusión.....	32
Figura 28. Diagrama Experimental.....	37
Figura 29. Esquematización de la Técnica Emulsificación-Difusión.....	39
Figura 30. Esquematización de Evaluación de Plastificantes.....	43
Figura 31. Esquematización de evaluación de superficies porosas.....	45
Figura 32. Esquematización de preparación de placas de yeso.....	47
Figura 33. Densificación del EPS: (a) EPS triturado; (b) EPS densificado.....	48
Figura 34. Mecanismo Emulsificación-Difusión.....	51
Figura 35. Obtención de sedimento de NP's de EPS.....	51
Figura 36. Mecanismo de Formación de Película.....	53
Figura 37. Micrografías SEM: (a) Glicerina 5000x; (b) Aceite Mineral 1000x; (c) Aceite de Ricino 5000x; (d) Dimeticona 5000x; (e) Propilenglicol 3000x ; (f) Miristato de Isopropilo 8000x.....	55
Figura 38. Análisis macro y microscópico del miristato de isopropilo.....	57
Figura 39. Propiedades Ópticas de una Película: (a) Transparencia; (b) Turbidez.....	58
Figura 40. Propiedades Ópticas en Películas de Np's de EPS: (a) Película con 20% de MI; (b) Película 10% de MI.....	59
Figura 41. Evaluación de Superficies: (a) Sin desprendimiento de película en ladrillo (b) Desprendimiento de película en madera.....	61



Figura 42. Comparación de películas formadas en ladrillo:
(a) Ladrillo limpio; (b) 20 g de Np's con 20% de plastificante en 50 ml de agua;
(c) 10g de Np's con 20% de plastificante en 100 ml de agua..... 61
Figura 43. Porcentaje de absorción en ladrillo..... 62
Figura 44. Repelencia con Película de EPS en Ladrillo..... 63
Figura 45. Porcentaje de absorción en placas de yeso..... 65
Figura 46. Bloques de Yeso: (a) Blanco; (b) Sin plastificante; (c) 20%; (d) 30%; (e) 40%..... 66



Lista de Abreviaturas y Símbolos

PS Poliestireno Cristal o Puro

EPS Poliestireno Expandido

HIPS Poliestireno de Alto Impacto

XPS Poliestireno Espumado Mediante Extrusión

Np's Nanopartículas

EPA Agencia de Protección Ambiental

IDA Ingesta Diaria Admisible

FDA Agencia de Medicamentos y Alimentos

PS-NP Nanopartículas de Poliestireno

C-C Enlace carbono-carbono

RSU Residuos Sólidos Municipales

RAEE Residuos de Equipos Eléctricos y Electrónicos

EOS Aceites epoxidado

IUPAC Unión Internacional de Química Pura y Aplicada

E-D Emulsificación-Difusión

o/w Emulsión aceite en agua

PVAL Alcohol Polivinílico

% p/p Porcentaje peso/peso

SEM Microscopia Electrónica de Barrido

MI Miristato de Isopropilo

Tg Temperatura de Transición Vítrea

MFFT Temperatura mínima de formación de película



I. RESUMEN

En el presente trabajo se elaboraron películas con nanopartículas de poliestireno y se evaluó su utilidad como recubrimiento en superficies porosas, con el objetivo de reutilizar residuos de EPS obtenidos de diferentes fuentes (embalaje, electrodomésticos, envases de contención, etc.) para implementar una posible alternativa en la disminución de desechos sólidos.

Esto se logró en primera instancia haciendo uso de las nanopartículas de poliestireno obtenidas a través de la técnica emulsificación-difusión, dicha técnica comienza con la recolección, lavado y secado del poliestireno, en donde se somete a un tratamiento térmico denominado densificación que consiste en la expulsión de aire del polímero el cual brinda facilidad al método para ser disuelto en acetato de etilo mientras que el estabilizante alcohol polivinílico será disuelto en agua saturada con el solvente orgánico antes mencionado, después se procede a la emulsificación, donde la mezcla polímero-acetato es incorporada a la mezcla agua-estabilizante haciendo uso del equipo rotor-estator (ultraturrax) dando origen a una emulsión o/w continuando con la difusión, que consiste en colocar la mezcla obtenida en destilación para la eliminación del solvente orgánico provocando la unión de sólidos, es importante mencionar que en este paso es posible la generación de desechos los cuales serán eliminados.

Para formar una película desde el punto de vista tecnológico, un factor crítico está en el tiempo de secado por lo que la dispersión obtenida fue sometida a centrifugación para la eliminación de agua, obteniendo como resultado el sedimento de nanopartículas el cual fue mezclado con una serie de plastificantes de uso convencional como son glicerina, propilenglicol, aceite mineral, aceite de ricino, dimeticona y miristato de isopropilo en diferentes proporciones que va desde 10 al 25% en porcentaje p/p.

La dispersión con el plastificante fue colocada en placas con la intención de observar la formación de la película con un tiempo de secado de 24 horas, para la selección tanto del plastificante como de su proporción, la película debería de cumplir con propiedades como: compatibilidad del plastificante con el polímero, obtener una capa flexible y maleable no quebradiza, así como la correcta difusión y coalescencia en la película formada observado bajo microscopía electrónica de barrido (SEM), el plastificante que cumplió con las características antes mencionadas fue miristato de isopropilo al 20% forma película. Finalmente, se seleccionaron superficies porosas como ladrillo y madera, las cuales fueron recubiertas con la dispersión propuesta y se observó su impacto como modificadores de absorción de agua. Bajo la protección de la película el ladrillo adquiere la cualidad de repelencia, además se prepararon placas de yeso en mezcla con la película para observar la absorción de humedad obteniendo en placas con mezcla eran menos porosas que el yeso por sí solo, demostrando así la aplicabilidad que pueden tener los residuos de poliestireno.



II. INTRODUCCIÓN

El poliestireno expandido mejor conocido como unicel es un termoplástico constituido de la polimerización del estireno ampliamente utilizado en la actualidad debido a sus características y propiedades como resistencia, ligereza, inocuidad, amortiguamiento, entre otros (Makai et al, 2004) al ser un material inerte y económico sus aplicaciones son variadas sin embargo existen inconvenientes con este material, el primero está en que es no biodegradable y el segundo su tiempo de vida útil es muy corto por lo cual es rápidamente desechado, como consecuencia a través de los años puede generar una gran cantidad de residuos causando acumulación perjudicando al medio ambiente.

En los últimos años se han buscado métodos de reciclaje entre los que destacan métodos químicos, mecánicos y térmicos, con la intención de recuperar el PS en estado puro o de lo contrario obtener estireno para que pueda ser sintetizado nuevamente (Doroudiani & Omidian, 2010), todos ellos resultan ser eficientes, pero tienen una serie de inconvenientes como alto consumo de energía además de costos de producción elevados por lo que muchas empresas lo consideran como no viable.

Cabe destacar que el polímero por sí solo no es dañino, tanto para el ser humano como otros seres vivos este se convierte en tóxico al añadir aditivos o por la presencia de monómeros residuales durante su producción (Koelmans et al, 2015), incluso por la afinidad que pueden tener con otros componentes con los cuales tienen interacción post-consumo estos pueden ser metales pesados, hidrocarburos, residuos químicos, microorganismos etc. los cuales están presentes como contaminantes en aire, suelo y agua producidos de la actividad humana.

Es por ello la importancia de buscar métodos económicos, fáciles, viables y reproducibles y así poder brindar un segundo uso al poliestireno, hoy en día esto es posible gracias a la nanotecnología haciendo uso de técnicas como emulsificación-difusión que consiste en formar una emulsión o/w mediante la adición de la fase orgánica en la fase acuosa bajo agitación, la difusión se da en el desplazamiento del solvente orgánico de la fase interna a la externa por evaporación bajo presión reducida dando lugar a la formación de sistemas nanoparticulados dispersos en conjunto de un estabilizante (Quintanar et al, 1997). Para tener un control se le realiza evaluaciones de caracterización como tamaño de partícula y potencial z, una vez hecho esto es posible proporcionar aplicabilidad a las nanopartículas en diversas áreas, en esta ocasión su aplicación consiste en formar películas realizando mezclas de polímero-plastificante y hallar la proporción adecuada para estudiar el impacto que tienen al sumergirlas en agua durante un intervalo de tiempo y así estudiar si dicho recubrimiento le atribuye beneficios a la superficie a su vez si este material pudiera incrementar su valor agregado así como su durabilidad.



III. MARCO TEÓRICO

3.1 Poliestireno

3.1.1 Historia

El poliestireno (PS) fue identificado por primera vez por Bonastre durante 1831 por destilación de resina obtenida del "árbol de pavo" como comúnmente se denomina, mientras que recibe el nombre científico *Liquidambar orientalis* (figura 1), estos árboles producen una goma conocida como storax, la cual contiene una pequeña cantidad de un hidrocarburo aromático el estireno. Después de esta investigación, Eduard Simon en 1839 registro los hallazgos de la oxidación del monómero de estireno que puede ser activada por exposición a la luz del sol, además la fabricación industrial de PS a partir del monómero específico fue descubierta en 1869 por Berthelot. (Poletto et al, 2014).



Figura 1. *Liquidambar orientalis*.

Por el uso de estireno como material aislante donde el polímero era costoso y tenía varios inconvenientes relacionados con el agrietamiento y la coloración, después de treinta años, los químicos franceses destacaron el agente que fue capaz de retrasar los efectos perjudiciales de polimerización. En 1933, el PS fue reconocido como un material de moldeo potencialmente viable debido a sus características, como resistencia mecánica, térmica, estabilidad química y sus aplicaciones en diversos campos.

El poliestireno se produjo por primera vez comercialmente en los Estados Unidos en 1938 aproximadamente ocho años después de su introducción, tiempo después en 1941 el químico investigador Ray McIntyre inventó un proceso para extrusionar poliestireno para lograr espuma de celda cerrada que resiste la humedad (Lynwood, 2014), la primera aplicación fue como palanquilla de flotación "insumergible" por la Guardia Costera de los Estados Unidos siendo colocado en balsas en 1942.



El PS fue mejorando su resistencia al impacto después de haber sido comercializado en los Estados Unidos después de la Segunda Guerra Mundial antes de 1949, el ingeniero químico Fritz Stastny desarrolló perlas PS preexpandidas incorporando hidrocarburos alifáticos, tales como pentano. En la década de 1950, los productos de poliestireno expandido comenzaron a tener un impacto significativo en el mercado de la construcción de EE. UU, en diversas aplicaciones de baja temperatura, y como una barrera térmica en las paredes y techos de edificios institucionales y comerciales.

El PS representa uno de los más antiguos polímeros comerciales después de las poliolefinas y el cloruro de polivinilo su estructura se muestra en la figura 2, siendo uno de los materiales termoplásticos más utilizados en la actualidad.

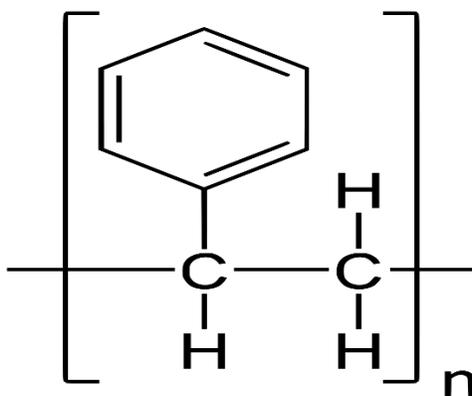


Figura 2. Estructura Química del PS

3.1.2 Estireno

El estireno también conocido como etenilbenceno, vinilbenceno y feniletano es un compuesto orgánico con la fórmula química C_8H_8 , en la figura 3 se muestra su estructura química. Este derivado del benceno es un líquido aceitoso incoloro que se evapora fácilmente y tiene un olor dulce.

En altas concentraciones tienen un olor menos agradable, el estireno es el precursor monomérico del polímero PS y varios copolímeros, se prepara comercialmente mediante la reacción de benceno y etileno para hacer etilbenceno, su deshidrogenación a estireno, y una etapa final de acabado (ANIQ,2020).

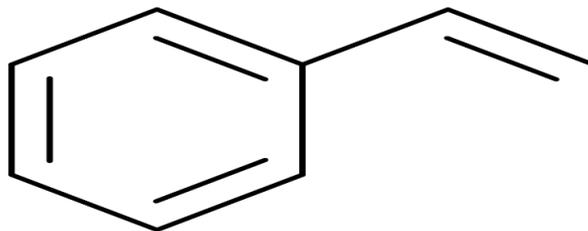


Figura 3. Estructura Química del Estireno



3.1.3 ¿Qué es el poliestireno?

El poliestireno es un polímero termoplástico aromático hecho del monómero de estireno dependiendo de la forma en que se polimeriza, puede ser duro y transparente como el vidrio o espumado y expandido en un material aislante suave y blanco (ANIQ,2020).

Es económico y tiene una temperatura de ablandamiento baja, el PS puro es frágil, pero lo suficientemente fuerte para que tenga un alto impacto, el poliestireno espumado contiene 1.5-2% de polímero y 98-98.5% de aire. El PS es un plástico totalmente reciclable, para facilitar su identificación tiene el número 6 (Figura 4) para diferenciarlo de otros plásticos, el símbolo se imprime en el material.

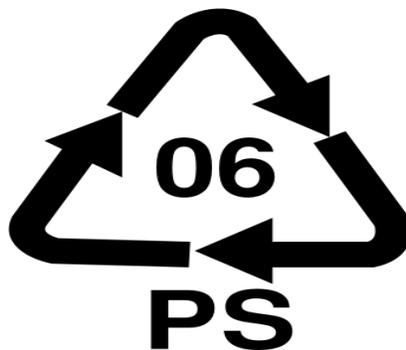


Figura 4. Clasificación del PS.

3.1.4 Tipos de poliestireno

De acuerdo con Raffa (2014) describió las variantes del poliestireno ejemplificados en la figura 5, estos se describen a continuación:

- a) *Poliestireno Cristal (PS)*: el producto de la polimerización del estireno puro se denomina poliestireno cristal o poliestireno de uso general. Es un sólido transparente, duro y frágil, vítreo por debajo de 100°C. Por encima de esta temperatura es fácilmente procesable y puede dársele múltiples formas ya que es transparente, rígido y quebradizo.
- b) *Poliestireno de Alto impacto (HIPS)*: para mejorar la resistencia mecánica del material, se puede añadir en la polimerización hasta un 14% de caucho casi siempre polibutadieno. El producto resultante se llama poliestireno de alto impacto es más fuerte, no quebradizo y capaz de soportar impactos sin romperse.
- c) *Poliestireno Expandido (EPS)*: consiste en 98% de gas y 2% de polímero, generalmente pentano que forma burbujas que reducen la densidad del material.



d) *Poliestireno Espumado mediante extrusión (XPS)*: a partir de poliestireno cristal fundido se puede obtener mediante inyección de gas, una espuma rígida sus propiedades son similares a las del EPS, con el cual compite en las aplicaciones de aislamiento, pero lo diferencia la presencia de burbujas cerradas, por lo que puede mojarse sin perder sus propiedades aislantes.

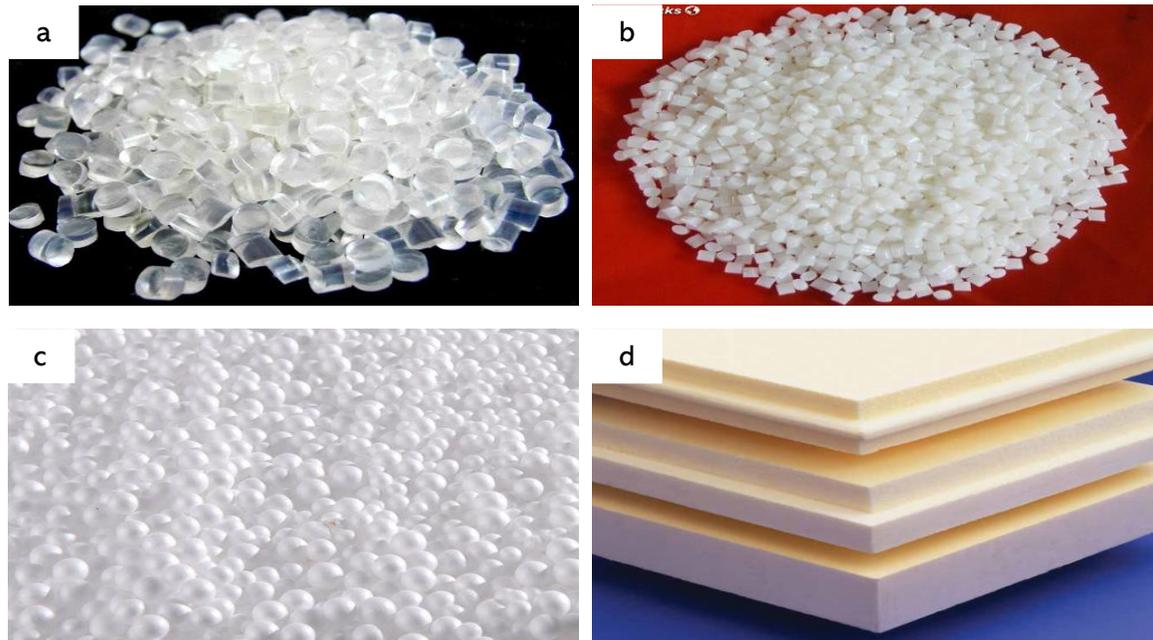


Figura 5. Tipos de Poliestireno: (a) PS, (b) HIPS, (c) EPS, (d) XPS.

3.1.5 Síntesis del poliestireno

El poliestireno se produce por la polimerización del estireno (Figura 6), el propósito general puede considerarse como una cadena de polietileno lineal, que tiene grupos fenilo unidos lateralmente, los grupos fenilo se colocan en lados alternos de la cadena polimérica tiene una velocidad de cristalización mucho más rápida, dependiendo del método aplicado para la síntesis, la estructura molecular de PS puede ser lineal, ramificado, en forma de estrella o dendrítico (Sahin & Karaman, 2012).

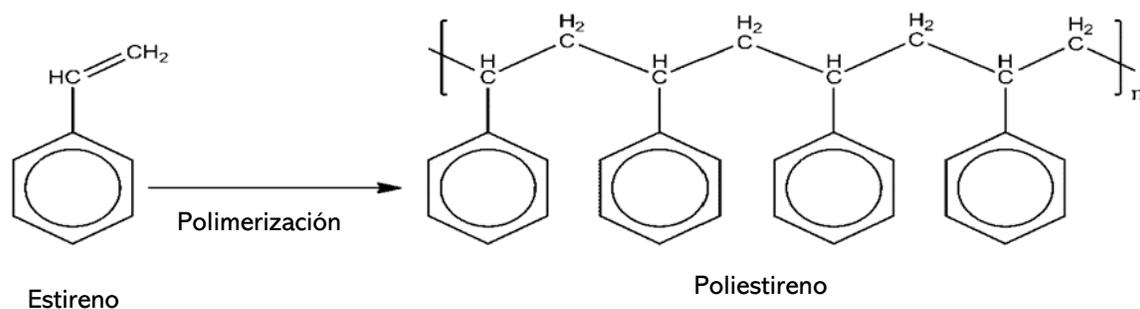


Figura 6. Reacción de Síntesis del Poliestireno



Debido a que el doble enlace C-C de estireno puede actuar como donante de electrones o como electrón centro de extracción, la baja polaridad del estireno y la estabilización de resonancia de especies de PS en el estado de transición, la síntesis de PS se puede realizar por radicales libres, polimerización aniónica y catiónica de estireno y utilizando condiciones catalizadas por metales.

3.2 Preparación del EPS

Esta ruta comienza usando líquido del monómero de estireno disperso en un medio acuoso que contiene un estabilizador de suspensión adecuado, un agente espumante de hidrocarburos y un iniciador radical, la mezcla se calienta (Figura 7). Durante el proceso de polimerización se controla la presión para incorporar aproximadamente el 6% en peso del agente de expansión en las perlas.

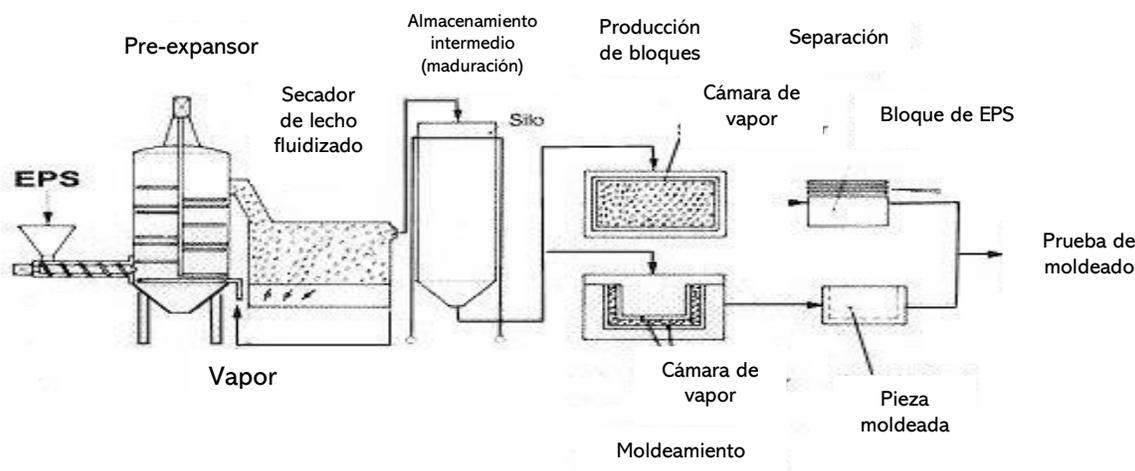


Figura 7. Manufactura del EPS, Poletto et al (2014).

Se ha aplicado una amplia variedad de hidrocarburos como agente de expansión como butano, propano, propileno o alcoholes, ésteres y cetonas. Los más utilizados son isómeros de pentano ya que poseen la mejor relación costo-rendimiento, dicho proceso, desde el punto de vista de Poletto (2014) involucra tres pasos (Figura 8).

- Pre-expansión:* el proceso de expansión ocurre debido a la inclusión de un agente de expansión dentro del cordón hirviendo en presencia de vapor a temperaturas de entre 80-100°C, y causando así la expansión. La pre-expansión de las perlas compactas en la atmósfera de vapor es la forma más preferible ya que una cantidad relativamente grande de energía se transfiere rápidamente hasta formarlas. Es importante que dichas perlas sean rápidamente calentadas para asegurarse que no se pierda ningún agente de soplado, para generar espuma con una baja densidad como sea posible. El vapor se difunde en las perlas de PS, asegurando un perfil de temperatura uniforme en estas, además, el vapor se difunde y aumenta su capacidad de expansión.



- b) *Acondicionamiento*: las perlas expandidas se almacenan en tolvas durante un período para madurar antes del proceso de moldeo debido a la gasificación pasiva, algunos gases de pentano pueden estar presente en y alrededor de las tolvas de almacenamiento. Después de la pre-expansión, las perlas contienen aproximadamente 4% en peso de pentano y aire a presión atmosférica al enfriarse, las partículas recientemente expandidas forman un vacío en su interior y esto debe ser compensado por difusión de aire.
- c) *Moldeado*: posteriormente, las perlas maduran y se introducen en un molde se inyecta vapor, permitiendo que las perlas se expandan y sean fundidas para llenar el molde completamente, la presión del pentano y de aire se reducen mientras la presión del vapor es mantenida. Una vez que se ha completado el proceso de espumado, se realiza un enfriamiento controlado, el sistema es de gran importancia ya que determina el rendimiento final de la espuma y la capacidad de producción. Las perlas expandidas se moldean en bloques o productos personalizados con formas variadas.

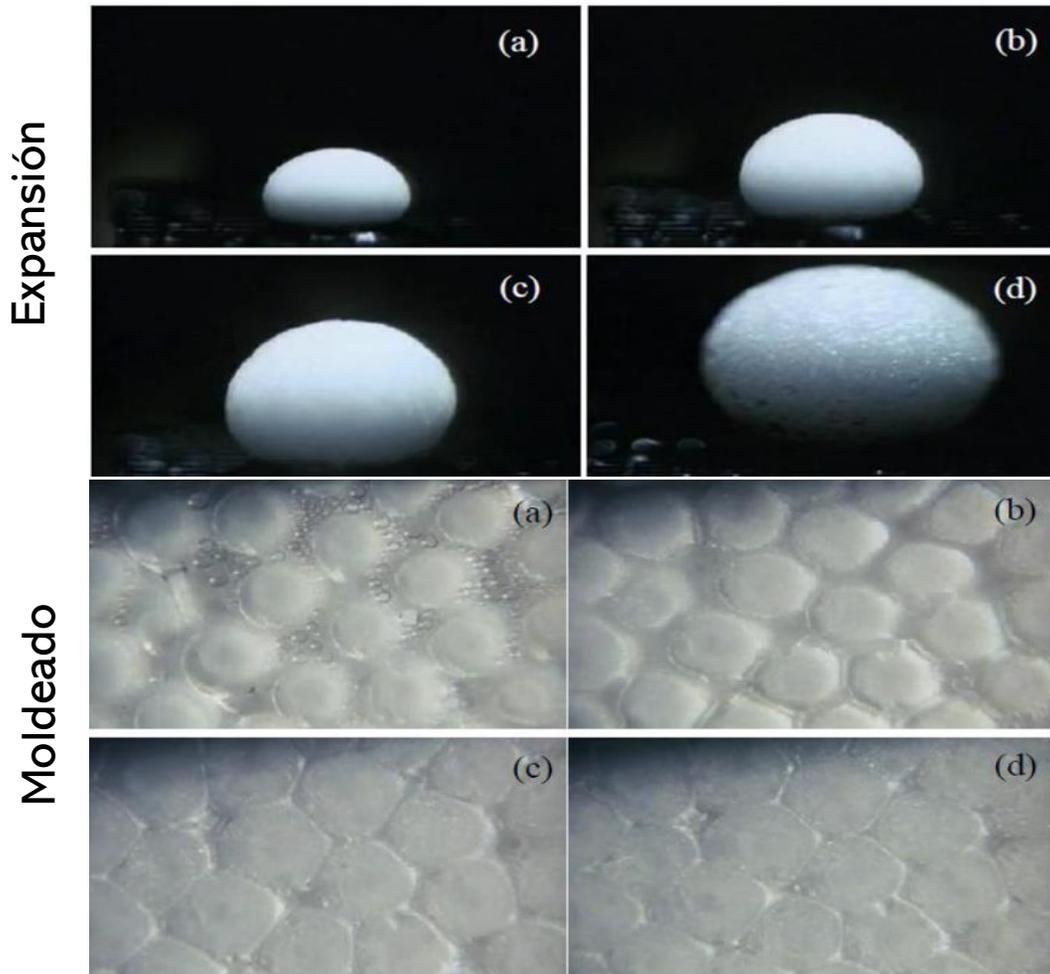


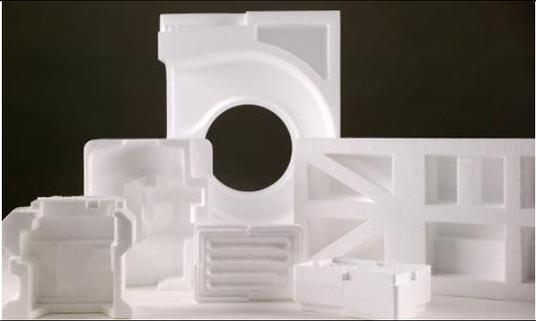
Figura 8. Preparación del EPS, Ornaghi et al (2014).



3.3 Aplicaciones del EPS

Hay una amplia gama de aplicaciones para el poliestireno expandido muchas industrias usan EPS debido a algunas ventajas como versatilidad, estabilidad dimensional, limpieza y bajo costo en la tabla 1, muestra áreas, ejemplos y aplicación (Makai, et al, 2004).

Tabla 1. Descripción de las Aplicaciones del EPS.

Área y/o Uso	Función	Imagen
Envases desechables y de contención	Facilita la manipulación de alimentos sólidos, líquidos durante su almacenamiento y consumo	
Industria de la construcción	Material de relleno para carreteras, puentes, edificios y compatible con cementos, yesos para formar superficies	
Embalaje	Brinda limpieza, seguridad y mantiene la integridad del producto	
Trasporte de productos	Proporciona protección contra riesgos durante el transporte, brinda aislamiento y evita la exposición a factores ambientales durante el traslado	



<p>Biocompatibilidad</p>	<p>Mantiene la integridad e inocuidad, así como temperatura de órganos, formas farmacéuticas y muestras biológicas.</p> 
<p>Decoración</p>	<p>Variedad de figuras para hacer más atractivos los productos para su venta</p> 
<p>Material didáctico y/o manualidades</p>	<p>Productos con diferentes formas con fines educativos o recreativos para representar modelos científicos en la elaboración de maquetas o manualidades.</p> 

3.4 Propiedades del EPS

Como afirma la Asociación Canadiense de la Industria del Plástico (2008), el EPS cuenta con una amplia variedad de propiedades, razón por la cual es muy utilizado en diferentes áreas, estas son descritas a continuación:

- i) **Ligereza:** En construcción disminuyendo su peso total de superficies y facilita el transporte y manipulación de productos.
- ii) **Económico:** Reduce considerablemente los costos del transporte de productos además que en su composición alrededor del 98% son gases.
- iii) **Resistencia:** Permite embalar productos pesados y delicados en distintos sectores de la industria brindando protección y seguridad.
- iv) **Inocuidad:** Impide el crecimiento de microorganismos en los contenedores manteniendo la integridad del producto
- v) **Protección térmica:** Mantiene una temperatura constante y evita cambios bruscos de los productos utilizados en diversos sectores.



- vi) Amortiguamiento: Resistencia a golpes y vibraciones, evitando que el producto embalado se dañe.
- vii) Repelencia al agua: protección contra humedad al no ser un material absorbente
- viii) Resistencia a la compresión: Resiste la compresión lo hace ideal para empaçar artículos, ahorrando espacio y sin cualquier daño.

3.5 EPS y la salud

Los polímeros plásticos generalmente se consideran inertes y poco preocupantes para los humanos, la salud y los riesgos relacionados con su uso se atribuyen a la presencia una amplia gama de aditivos plásticos que pueden contener, junto con monómeros residuales que puede retenerse dentro de la estructura del polímero.

Los plásticos son sintetizados de monómeros, que se polimerizan para formar cadenas macromoleculares, se puede agregar una gama de productos químicos adicionales durante el proceso de fabricación, incluidos iniciadores, catalizadores, solventes y aditivos.

La ruptura de los enlaces en la cadena principal del polímero conduce a la escisión de la cadena y la despolimerización; la separación de la cadena ocurre cuando las cadenas laterales se rompen y se sueltan, todos estos procesos ocurren a diferentes velocidades en diferentes condiciones ambientales, variaciones en temperatura y oxígeno.

Por lo tanto, es extremadamente difícil predecir los riesgos asociados con exposición a plásticos y sus aditivos, dada la gran complejidad y variabilidad de las combinaciones de productos disponibles, sus usos variados y eventual distribución ambiental una vez descartada.

Los polímeros por sí solos no son peligrosos, sino más bien está en la liberación de sustancias peligrosas o degradación de productos que puede ocurrir durante el ciclo de vida del producto, es decir, desde la producción, el uso del producto y su eventual desecho al desperdicio o al medio ambiente generando microplásticos esquematizados en la figura 9, los desechos plásticos pueden degradarse en pequeños fragmentos o partículas debido a la intemperie, radiación solar y biodegradación, los plásticos con tamaños de partícula inferiores a 5 mm son definidos como microplásticos.

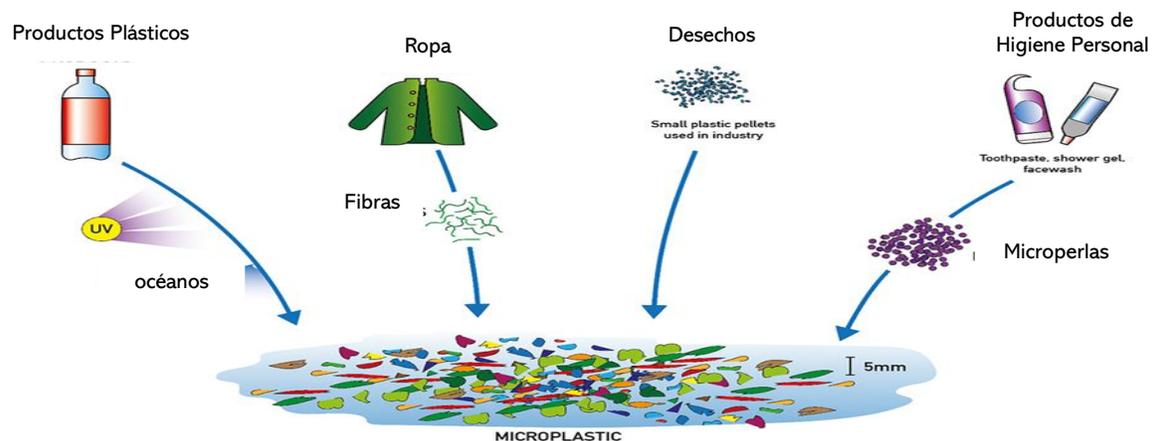


Figura 9. Microplásticos, Mattsson et al (2015)

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) determinó el valor de 300 ppm de estireno como admisible en caso de exposición crónica, concentraciones por encima de este nivel puede ser perjudicial para la salud humana. (Martínez & Láinez ,2013) Niveles de estireno determinados en la industria de polímeros, generalmente no exceden 20 ppm que está muy por debajo del valor determinado de toxicidad crónica.

Se ha estimado que el consumo de estireno de PS es 9 mg/persona/día, la ingesta diaria admisible (IDA) reportado por la FDA es 90,000 mg/persona/día. Por lo tanto, parece que el uso de PS para alimentos y productos no alimenticios no constituye un problema importante para la seguridad y la salud humana (Doroudiani & Omidian, 2010).

No se ha demostrado que la presencia de PS-NP tenga un efecto significativo sobre la muerte celular, la tasa de eclosión y la presencia de anomalías durante el desarrollo. El cuerpo humano está expuesto a microplásticos, los cuales, a través de inhalación con aire y polvo, las Np's se acumulan en las vías respiratorias pasan a través de la nariz y garganta, estos pueden llegar a los pulmones, partículas con diámetros menores a 10 mm puede alcanzar la superficie de intercambio de gases y se acumulan en los alvéolos (Kik et al, 2020).

El efecto adverso de las Np's plásticas sobre microorganismos, plantas y animales son más pronunciados en comparación con las micropartículas, porque a menor diámetro se facilita su penetración y acumulación en diversos tejidos y órganos, esto provocado por la nanofragmentación que ocurre post-consumo, es decir, una vez que el EPS se convierte en residuo.



Los nanoplásticos aún no están claramente definidos, debido a que tienen limitaciones y solo hay supuestos, pero es cierto que en la descomposición los procesos no se detienen y los microplásticos continuarán para formar nanoplásticos. La cantidad de nanoplásticos en el ambiente aún no se conoce, porque no hay métodos para la determinación, cuantificación y evaluación. Las partículas nanoplásticas además de contener elementos traza de su monómero de origen, pueden adsorber sustancias químicas del agua (metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, policlorados bifenilos, etc.) que pueden agravar los efectos adversos de los nanoplásticos sobre organismos vivos, también pueden adsorber contaminantes químicos debido a su baja polaridad y alta rugosidad también pueden adsorber algas, bacterias y virus (Figura 10).



Figura 10. Nanoplásticos

3.6 Reciclaje del EPS

Los materiales poliméricos son productos únicos que tienen durabilidad diferente dependiendo de las cadenas de las que están construidas. Hoy en día, se producen en más y mayor cantidad, lo que resulta en una mayor acumulación de plástico que ingresa a los desechos, lo que significa mayores costos de eliminación de residuos, esta es la razón por la cual es importante optimizar los enfoques prácticos de reciclaje de residuos como prevención, minimización o reutilización (Maharana et al, 2007).

Solo un pequeño número de empresas recicla los materiales poliméricos, (Figura 11) el poliestireno pertenece al tipo de termoplástico, por lo tanto, es un material muy bueno para reciclar debido a que a partir de ellos se pueden formar diferentes tipos de poliestireno reciclado, con diferentes propiedades. (Makai et al, 2004)

La gama de reciclaje debe implicar eficiencia ambiental, responsabilidad social y seguimiento, la gran mayoría del poliestireno expandido termina como un desperdicio comunitario que contamina el medio ambiente a largo plazo, y causa altos costos para su fabricante a corto plazo.



Figura 11. Reciclaje del EPS.

Más de mil toneladas de EPS en todo el mundo están en el medio ambiente como residuos sólidos municipales (RSU), la cantidad va aumentando cada año, sin embargo, la mayoría de los desechos de espuma de PS se desechan como contaminante sólido, el floreciente desarrollo de productos electrónicos ha aumentado considerablemente las cantidades de residuos de equipos eléctricos y electrónicos (RAEE), amplificando el problema de su eliminación, cabe mencionar que todos los tipos de poliestireno (PS, EPS, HIPS y XPS) son admitidos para el reciclaje. Se está utilizando EPS reciclado y virgen para crear una gama de productos con diferentes fines como se representa en la Figura 12, mediante inyección o extrusión el poliestireno adopta forma de “tortas” sólidas que luego son molidas y se usan para producir diversos artículos (Shen et al, 2019).



Figura 12. Artículos a base de EPS, Maharana (2007)

Se descarga una gran cantidad de PS expandido después de su uso en mercado, supermercados, grandes almacenes, restaurantes, tiendas, fábricas y otros establecimientos, se recoge a través de la colección interna de empresas o por agentes de reciclaje y se convierte en un recurso reciclado.



3.6.1. Reciclaje mecánico

Este proceso permite la recuperación de PS puro, el reciclaje mecánico proporciona PS sólido y también PS líquido en una forma pura sin alterar sus propiedades, que pueden ser usados de nuevo, se cree que el reciclaje mecánico es el más utilizado, cuando se tiene en cuenta residuos de energía, recursos naturales y contaminación ambiental. Durante el proceso hay una separación y eliminación de los contaminantes asociado con el plástico y luego, el material es reprocesado por extrusión o por fusión (Naidu et al, 2020).

3.6.2 Reciclaje químico

Durante el reciclaje químico, el objetivo es recuperar el monómero de estireno para usarlo como material base, el uso de procesos térmicos es una forma eficiente de manejar residuos de EPS contaminados, lo que significa que se puede usar EPS ardiendo para la producción de energía.

Uno de los procesos atractivos de reciclaje químico es la degradación catalítica de poliestireno, este proceso permite obtener monómero de estireno a baja temperatura con una alta selectividad, se utilizan catalizadores como la clinoptilolita que da 99% de aromáticos como estireno y etilbenceno como productos principales, haciendo uso de catalizadores (Achilias & Lappas, 2015).

3.6.3 Reciclaje térmico

Método eficaz para los residuos de EPS contaminados, que puede utilizarse para la producción de energía, produce un mayor porcentaje del monómero de estireno que puede ser fermentado por bacterias para producir polihidroxialcanoatos (PHA), el material de partida para la síntesis de polímeros biodegradables.

La degradación térmica del PS conduce a una preparación efectiva de nuevos oligómeros similares a macromonómeros y oligómeros telequéricos a través de métodos de fluidización (Makai et al, 2004).

3.7 Residuos del EPS

El EPS con el paso de los años acaba siendo trazas de estireno, cumeno y etilbenceno, este es capaz de degradarse en micropartículas de 5000 nm de diámetro y luego en nanopartículas de 100 nm de diámetro, se han detectado Np's en el aire, el suelo, el agua y tierra (Koelmans et al, 2015).

El EPS no es biodegradable, por esa razón los productos desechables son un gran problema y gran fuente de contaminación ambiental como se observa en la figura 13, por lo tanto, se buscan métodos de degradación. En el caso del estireno, solo su reutilización en forma inalterada o incineración, que requiere altas temperaturas llegando a 1000 °C.



Figura 13. Residuos de EPS

Dichos residuos pueden terminar en el océano sin embargo se ha encontrado que la cantidad no aumenta a pesar del incremento de la producción mundial, se asume que esto se debe a microorganismos que pueden adherirse a los materiales plásticos de tal forma que se aferran al plástico, utilizando su superficie como fuente de alimento, estos reciben el nombre de *Arqueones* que pueden descomponer PS, pero no son ampliamente utilizado debido a una baja productividad del proceso. Se sabe que las cepas de *Rhodococcus urbe* y *Actinobacterium* son capaces de degradar de 0.04 a 0.57% de residuos de PS en varias semanas (Figura 14).

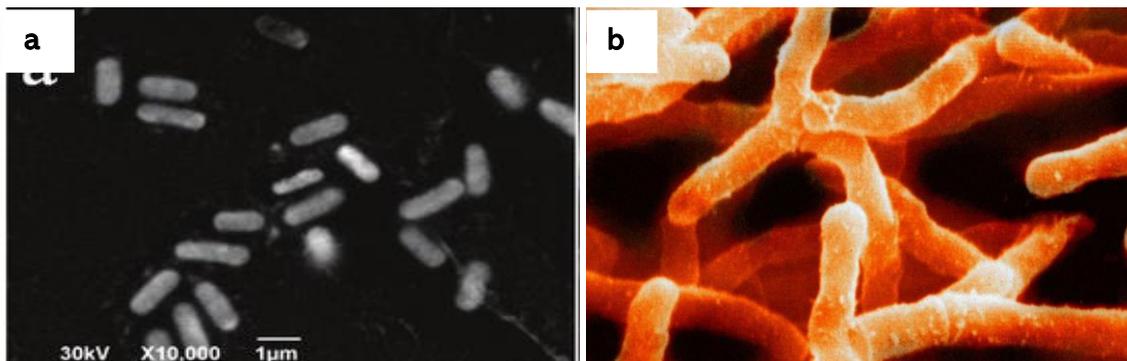


Figura 14. Microorganismos capaces de degradar EPS:
(a) *Rhodococcus ruber* (b) *Actinobacterium*, Besseling (2015).

Las partículas de PS y otros plásticos son producidas por la industria y se liberan en el medio ambiente, fuentes primarias de esas partículas son: productos cosméticos, medicamentos, pinturas, así como productos médicos y dispositivos, las fuentes secundarias son partículas de plástico que se desintegran en unidades más pequeñas bajo procesos físicos y químicos. Hoy en día, la producción y aplicación de plásticos es creciente, en 2015 la cantidad global de producción de plástico alcanzó 322 millones de toneladas, se ha informado que cerca de 800 millones de toneladas de desechos plásticos en el océano desde la tierra, debido al pequeño tamaño de partícula, tradicional los procesos de tratamiento de aguas residuales no pueden eliminar completamente partículas de plástico, que causan una gran cantidad de partículas microplásticas entrando al medio marino (Satterthwaite, 2017).



3.8 Nanoplásticos y su efecto en ecosistemas marinos

Los nanoplásticos son de interés específico debido a sus propiedades, que difieren fundamentalmente del tipo de polímero a granel, además, debe destacarse que, en los campos de la nanotecnología, el término "nanoplásticos" ya se usa para esos plásticos que tienen aditivos a nanoescala para dar al material propiedades específicas, la separación, concentración e identificación de Np's en muestras ambientales aún es difícil, la ocurrencia real de Np's todavía es una especulación.

Las fuentes primarias de nanopartículas pueden estar relacionadas con la liberación de productos y aplicaciones, en qué nanoplásticos se utilizan y producen emisiones al medio ambiente durante el ciclo de vida del producto.

Las escalas de tiempo requeridas para alcanzar la nanoescala de 100 nm en función del plástico se estima que necesitan al menos 320 años para llegar de microplásticos a nanoplásticos debido a que la degradación en los océanos continúa. Sin embargo, es más lenta debido a la limitación de luz, oxígeno y bacterias.

La nanofragmentación implican mecanismos como; nanofragmentación directa, que puede tener lugar en la superficie de macro y microplásticos (proceso principal) y otras reducciones graduales de tamaño pueden tener lugar debido a la degradación (proceso menor). Las diferentes escalas de tiempo de los procesos implican que la fragilidad seguida de la abrasión física de los microplásticos probablemente es el proceso más importante que explica la formación de nanopartículas (Koelmans et al, 2015).

Estudios han demostrado que los nanoplásticos y los microplásticos en realidad se forman en el medio ambiente y adoptan forma esférica en varios tamaños, especialmente cuando el PS espumado es degradado.

En comparación con el ecosistema terrestre, los desechos plásticos se descomponen fácilmente en fragmentos de plástico más pequeños debido a efectos de alta salinidad y microorganismos en el medio marino. (Figura 15) El mecanismo de degradación se puede dividir en dos vías: no biodegradación y biodegradación.

La no biodegradación de plásticos incluye principalmente degradación térmica, degradación física, fotodegradación, degradación termoxidativa e hidrólisis, mientras que la degradación de los plásticos es un proceso comercial y no se producen en el medio ambiente, la degradación física es un proceso importante del plástico, desperdicios en fragmentos y este proceso está controlado principalmente por erosión, olas del mar, la hidrólisis, una reacción de ruptura de enlaces es un proceso eficiente que contribuye a la degradación de los plásticos en ambiente acuático (Doroudiani & Omidian, 2010).



Debido a que las Np's aún no se han medido en los sistemas acuáticos, solo el pronóstico de evaluaciones del destino de nanopartículas son posibles, el agua dulce transporta plásticos desde tierra al mar, se han identificado varios procesos para abordar el destino de los nanomateriales en agua dulce y una gama de elaborados modelos de destino están disponibles actualmente siempre que algunas diferencias específicas relacionadas con: densidades, la formación de biopelículas y las eficiencias de unión.

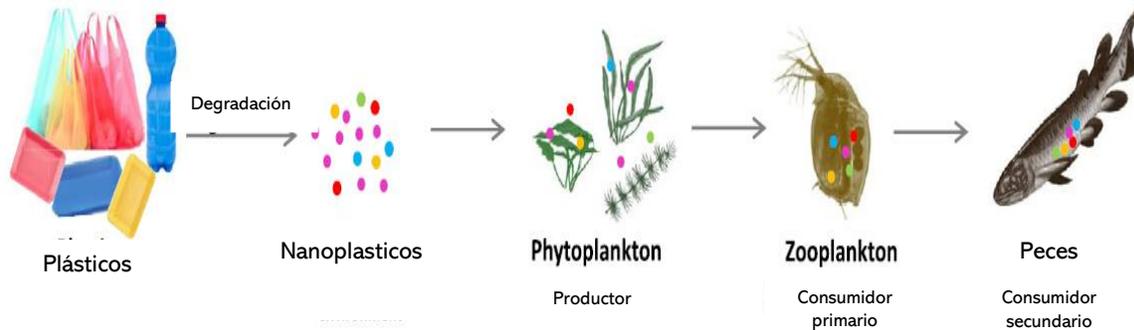


Figura 15. Desfragmentación de Nanoplásticos, Yooeun et al. (2018).

3.9. Películas.

Este término se refiere al proceso en donde se forma una capa delgada (25-500 μm) en una determinada superficie se le aplican materiales formadores, en el proceso se aplica un recubrimiento de superficie líquida de baja viscosidad a un sustrato sólido, produce una película adherente sólida, de alto peso molecular, a base de polímero, esta protege un sustrato del ataque de sustancias corrosivas y humedad. En la mayoría de los casos, la película se deriva de un líquido, la viscosidad en la aplicación es un factor importante en la producción de una buena película, ya que el polímero necesita fluir y cubrir el sustrato (Cole, 2002).

En general, los recubrimientos superficiales son películas poliméricas secas que se han aplicado para lograr un grado de protección y/ o decoración de un sustrato, el concepto de ser "seco" depende en el sistema de recubrimiento empleado: para un polímero en solución está relacionado con la evaporación de disolventes para un polímero de látex se relaciona principalmente con la evaporación del agua.

La formación de película requiere que las moléculas de polímero permanezcan móviles y estables, al menos en las primeras etapas de la evaporación del solvente y/o la absorción del solvente en el sustrato, el resultado es una capa de polímero que se acumula sobre el sustrato, representado en la figura 16.

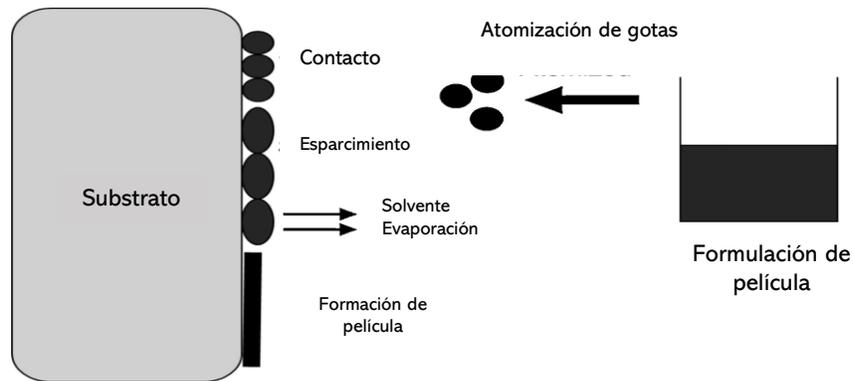


Figura 16. Descripción General de la Formación de Película, Aulton (2002).

3.10 Formación de película.

La formación de película a partir de soluciones poliméricas es un proceso relativamente sencillo ya que el polímero está disuelto, a medida que el solvente se evapora las cadenas de polímero se interpenetran pasan por un estado de gel y luego forman la película con un secado adicional, la interpenetración de la cadena de polímero se produce a una concentración específica que es la inversa de la viscosidad intrínseca de la solución.

La velocidad de evaporación del solvente es crítica en el proceso de formación de la película tanto para soluciones poliméricas como para dispersiones, si un solvente se evapora muy lentamente, los sustratos se humedecen y en casos extremos, comienzan a disolverse, por el contrario, si un disolvente se evapora demasiado rápido puede secarse antes de incidir sobre la superficie del sustrato. La evaporación del solvente depende de la temperatura, la presión atmosférica, el movimiento del aire y en el caso del agua, la humedad relativa, (Beatty & Penboss, 1993) la mayoría de estas variables se pueden ajustar manipulando las condiciones de procesamiento, durante el recubrimiento de película, intervienen varias tensiones superficiales, incluidas las interfaces líquido-aire, sólido-líquido y sólido-aire (Figura 17).

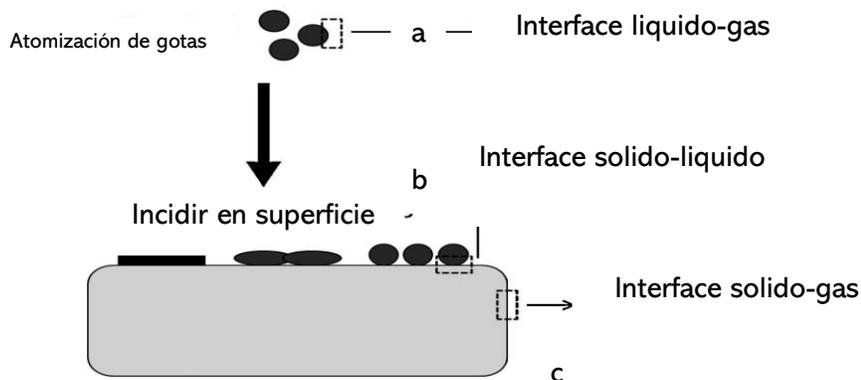


Figura 17. Tensiones Superficiales:(a) liquido-gas, (b) solido-liquido, (c) solido-gas, Aulton (2002).



3.10.1. Teorías de formadores de películas.

Existen algunas teorías que intentan explicar la formación de una película, a través de diversos mecanismos y parámetros fisicoquímicos, describen el proceso para obtener aquella capa delgada que recubre la superficie mezclando el plastificante con el polímero para así dar origen a esta.

3.10.2 Teoría de la lubricidad.

Establece que el plastificante actúa como lubricante entre las grandes moléculas de polímero, a medida que el polímero se flexiona, se cree que las moléculas de polímero se deslizan hacia adelante y hacia atrás con el plastificante que lubrica. La teoría supone que las macromoléculas de polímero tienen, enlaces muy débiles y/o uniones plastificante-polímero de tal forma que el plastificante disuelve selectivamente estos puntos de unión a lo largo de la cadena de polímero, por lo tanto, la rigidez de la estructura del gel se reduce el plastificante libre que no está solvatado los aditamentos de polímero también puede hinchar al polímero proporcionando mayor flexibilidad (Felton, 2013).

3.10.3. Teoría del volumen libre.

Se basa en la diferencia en el volumen observado a temperatura cero absolutas -273°C , y el volumen medido para el polímero a una temperatura dada, cuando se agrega plastificante a un polímero, el volumen libre del polímero aumenta, con el aumento de las temperaturas, el volumen libre aumenta, lo que permite un mayor movimiento de las cadenas de polímeros. Su aplicación más importante de esta teoría está en la disminución de la temperatura de transición vítrea, T_g , por un plastificante (McGinity, 2013).

3.10.4 Teoría mecanicista (Equilibrio solvatación-desolvatación)

La teoría mecanicista complementa las otras dos teorías mencionadas anteriormente, está se asemeja mucho a la teoría del gel en la que un plastificante disuelve selectivamente los puntos de unión a lo largo de las cadenas de polímero, la diferencia esencial es que en la teoría del gel, el plastificante permanece unido a la cadena del polímero, mientras que la teoría mecanicista establece que el plastificante puede ser intercambiado por otras moléculas plastificantes a lo largo de la matriz del polímero, este intercambio da como resultado un equilibrio dinámico entre la solvatación y la desolvatación del polímero (Steward et al, 2000).



3.11 Plastificantes

Los plastificantes son sustancias que se incorporan a un material plástico o elastómero para aumentar su flexibilidad y facilitar su transformación, un plastificante puede reducir la viscosidad, disminuir la temperatura de transición vítrea o disminuir el módulo elástico del polímero tal como muestra en la figura 18. La flexibilidad, la ductilidad y la tenacidad de los polímeros pueden mejorarse con estos aditivos denominados plastificantes, su presencia también reduce la dureza y la fragilidad, los plastificantes suelen tener baja presión de vapor y bajo peso molecular (Wypych, 2017).

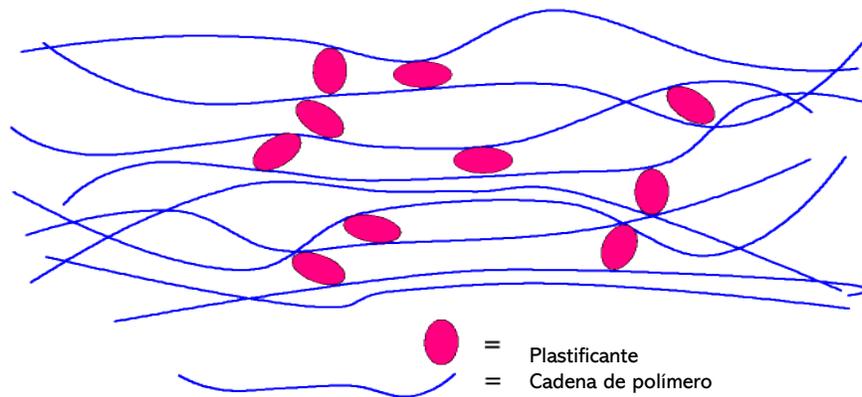


Figura 18. Mezcla plastificante-polímero.

Los plastificantes actúan a través de su capacidad solvente o poder de hinchamiento, se pueden dividir en dos grupos: plastificantes primarios o verdaderos, que tienen un efecto solvatante, y plastificantes o extendedores secundarios, que no disuelven y actúan como diluyentes.

La naturaleza química de los plastificantes son típicamente diésteres y triésteres de ácidos aromáticos o alifáticos y anhídridos, otros materiales que también funcionan como plastificantes son el aceite epoxidados (EOS), los aceites de hidrocarburos y los ésteres de fosfato, generalmente los plastificantes más populares son los ftalatos, seguidos de los epóxidos, adipatos, azelatos, trimetilatos, fosfatos, poliésteres y otros (Wilkinson et al ,2000).



3.12. Porosidad.

La porosidad se refiere a los espacios abiertos entre granos o atrapados en una microestructura, la presencia de pequeñas aberturas o espacios dentro de un material (Figura 19), los materiales porosos pueden absorber fluidos o humedad, lo que provoca corrosión, la porosidad también se conoce como fracción vacía (NRMCA, 2009).

Los sólidos porosos son clasificados por la UIPAC por su tamaño promedio del poro, materiales con diámetro de alrededor de 2 nm son microporos, en un rango mayor de 50 nm son macroporos y un rango entre 2 a 50 nm son mesoporos.



Figura 19. Porosidad

3.12.1 Superficies porosas

Naidu y colaboradores (2020) describen las superficies como áreas cubiertas con material altamente poroso que permite la entrada de agua, pero son fuertes y lo suficientemente resistente para soportar determinada carga de peso, los sólidos porosos poseen una variada composición esto se debe a la porosidad textural que está directamente relacionado con el tamaño del poro, los materiales porosos más comunes son:

- a) Asfalto

Los huecos que contiene permiten el agua de lluvia drene a un lecho de piedra triturado abierto, subyacente, donde se infiltra lentamente en el subsuelo (Figura 20).



Figura 20. Superficie de Asfalto.



b) Concreto

Se hace mezclando cantidades cuidadosamente controladas de agua y cemento para crear una pasta que cubra la grava y la roca, uniendo los agregados juntos y dejando espacios entre aquellos que permiten que se filtre el agua de lluvia, (Figura 21) la mezcla parece más seca y de textura más gruesa que el hormigón convencional.



Figura 21. Superficie de Concreto.

c) Adoquines de hormigón

Los adoquines permeables de hormigón entrelazados son similares a los adoquines normales, excepto que están instalados con juntas o aberturas más anchas en las esquinas, permitiendo que el agua de lluvia drene en las juntas entre los adoquines y hacia abajo a través de una base, proporcionan una superficie que es suficientemente estable para el tránsito vehicular (Figura 22).



Figura 22. Adoquines de Hormigón.



d) Arcilla (ladrillo)

El ladrillo es un producto cerámico, rojizo generalmente en forma de paralelepípedo y ampliamente utilizado en la construcción fabricado de arcilla utilizado para hacer paredes, pavimentos u otros elementos, este puede estar compuesto de tierra con arcilla, arena y cal o materiales de concreto, el cual proporciona protección y estética a una superficie. Esta superficie contiene una alta cantidad de poros de tamaño pequeño (microporos), (Figura 23) por lo que el agua circula lentamente a través de ellos, generando una velocidad de infiltración baja, los valores estimados de porosidad de las arcillas van de 40 al 60 % del volumen total.



Figura 23. Ladrillo de arcilla.

e) Mármol

Es una roca metamórfica compacta, cuyo principio básico está constituido a partir de rocas calizas, esto hace que sea un material con un grado alto de porosidad lo que significa que puede dañarse fácilmente con cualquier tipo de ácido, (Figura 24) altas temperaturas o incluso la humedad.



Figura 24. Superficie de Mármol.



f) Madera

La madera se compone de fibras de celulosa unidas con lignina la cual no es del todo compacta, sino que se encuentran conformadas por pequeñas celdas muy similares a los panales de abeja, dependerá si es madera dura, blanda o semidura (Figura 25) para conocer su resistencia a la humedad.



Figura 25. Superficie de Madera.

g) Yeso Calcinado

Otro de los materiales porosos más utilizadas es el yeso el cual está compuesto químicamente por sulfato de calcio cristalizado y agua, se obtiene el polvo por calcinación y molienda de la piedra de aljez, sus principales propiedades está en que es un material incombustible y es capaz de retardar la propagación del fuego hasta tres horas debido a su contenido de agua que puede llegar hasta un 20.6% en caso de incendio hasta que se evapora evita que la temperatura supere los 100°C, no contiene sustancias peligrosas por lo tanto no es tóxico, es un material moldeable el cual puede ser usado en múltiples derivados de prefabricados y directamente en obra gracias a su facilidad para adaptarse a superficies o moldes, tiene un fraguado regulable que depende entre otras cosas de la dosificación o del método de ejecución de la pasta, también evita la fisuración por retracción durante el secado gracias a la expansión que se produce durante su fraguado, es un material maleable por lo que facilita su manipulación (NRMCA, 2009).

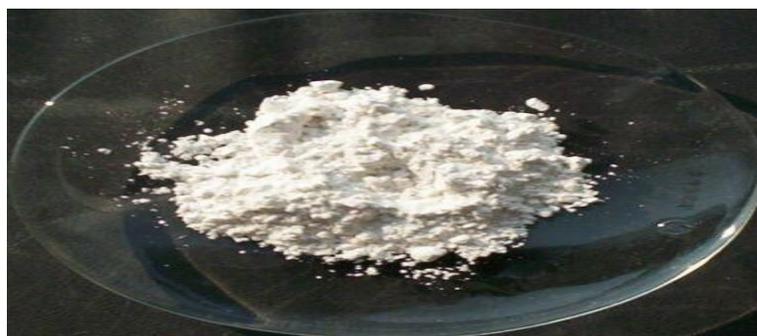


Figura 26. Yeso Calcinado



3.13. Nanotecnología.

La nanotecnología se define como la tecnología relacionada con materiales, sistemas y procesos que operan a una escala de 100 nanómetros o menos, los nanomateriales han sido definidos como aquéllos que tienen al menos una dimensión a esta escala que afecta el comportamiento y las propiedades de los materiales, los materiales en la nanoescala presentan propiedades de resistencia, reactividad, conductibilidad, flexibilidad, durabilidad y toxicidad diferentes a los mismos materiales en tamaño mayor, en los últimos años la nanotecnología ha mostrado logros significativos en diversas disciplinas como la electrónica, fotónica, química de materiales y área médica (Urrejola et al, 2018).

Sin embargo, otros autores como Quintanar-Guerrero y colaboradores en 1998, establecieron que, en algunas otras áreas como farmacéutica, cosmética, alimentos y áreas industriales, las dimensiones permitidas pueden ser de 10-1000 nm, pero los materiales a emplear deberán ser aceptados como seguros entre ellos destacan polímeros biodegradables, lípidos, proteínas, etc.

3.13.1 Nanopartículas poliméricas

Las nanopartículas poliméricas se definen como partículas de tamaño inferior a 1 μm , generalmente entre 10 y 500 nm, elaboradas a partir de materiales poliméricos de diferente naturaleza, el método de fabricación, la composición química de éstos y la naturaleza del ligando, en caso de que lo posea influenciarán su funcionalidad y efectividad (Zumarán, 2018).

3.13.2 Métodos de elaboración de nanopartículas

Existen numerosos métodos para elaborar nanopartículas poliméricas que permitan la encapsulación de moléculas hidrófobas o hidrófilas, simples o complejas. Estos métodos pueden ser clasificados en dos categorías, los de elaboración directa y aquellos a base de polímeros preformados. Entre los métodos de elaboración directa se pueden mencionar la polimerización de una emulsión (que permite crear nanoesferas) y la polimerización interfacial a partir de monómeros (para formar nanocápsulas) (Urrejola et al, 2018). Dentro de los métodos que emplean polímeros preformados destacan la emulsión-evaporación de solvente (simple o doble) que permite obtener nanoesferas y nanocápsulas, respectivamente y la nanoprecipitación por inyección.



3.13.3 Técnica Emulsificación-Difusión (E-D)

El método E-D adopta principios termodinámicos que implican en primer lugar, el uso de solventes parcialmente miscibles en equilibrio con otro solvente inmisible, generalmente agua (saturación), este paso se realiza para evitar la transferencia de masa durante el proceso. En general, el método consiste en preparar una emulsión convencional o/w (aceite en agua) en la proporción 1:2, la fase orgánica interna incluye al polímero, mientras que la fase acuosa externa contiene uno o varios estabilizadores hidrofílicos como alcohol polivinílico (PVAL) disueltos en el agua saturada con solvente (Figura 27).

La emulsión se forma convencionalmente mediante la adición de la fase orgánica en la fase acuosa bajo agitación mecánica, la difusión se puede realizar de dos maneras, el primero es la difusión rápida por dilución con agua, la cantidad requerida debería ser suficiente para disolver la fase orgánica interna, mientras que el segundo comprende el desplazamiento del disolvente de la fase interna a la externa por evaporación bajo presión reducida (destilación). La presencia de un solvente da lugar a la agregación de polímeros en N_p 's si el efecto estabilizador es adecuado, dependiendo del punto de ebullición del solvente, este puede eliminarse por presión reducida, ultracentrifugación, diálisis o flujo cruzado (Quintanar et al, 1997).

Esta técnica presenta ventajas sobre otros métodos existentes, como:

- i) El uso de productos orgánicos farmacéuticamente aceptables
- ii) No necesita homogeneizadores de alta presión o ultrasonidos
- iii) Altos rendimientos y eficiencias
- iv) Alta reproducibilidad y escalamiento
- v) Purificación rápida por filtración.

Mientras que los inconvenientes con respecto al método E-D son:

- i) Se debe eliminar un alto volumen de agua de la suspensión cuando se realiza difusión por dilución
- ii) Fuga del fármaco soluble en agua en la fase externa acuosa saturada durante la emulsificación.
- iii) Puede afectar a las biomoléculas activas como los péptidos, proteínas o materiales genéticos
- iv) Al ser una técnica extensa en consecuencia hay tiempos de proceso más largos y un mayor control de variables.



En el proceso, se utilizan solventes con baja toxicidad por lo que no representa riesgo potencial para la salud humana y efectos secundarios indeseables, el Consejo Internacional para la Armonización de los Requisitos Técnicos para Productos Farmacéuticos de uso Humano (ICH; Q3C ;R6) Grupo 3 (solventes con baja toxicidad límite potencial 0.5%) dentro de este grupo está el acetato de etilo, además se prefieren debido a su bajo punto de ebullición, que facilita su eliminación por destilación a baja presión (Piñon et al ,2018).

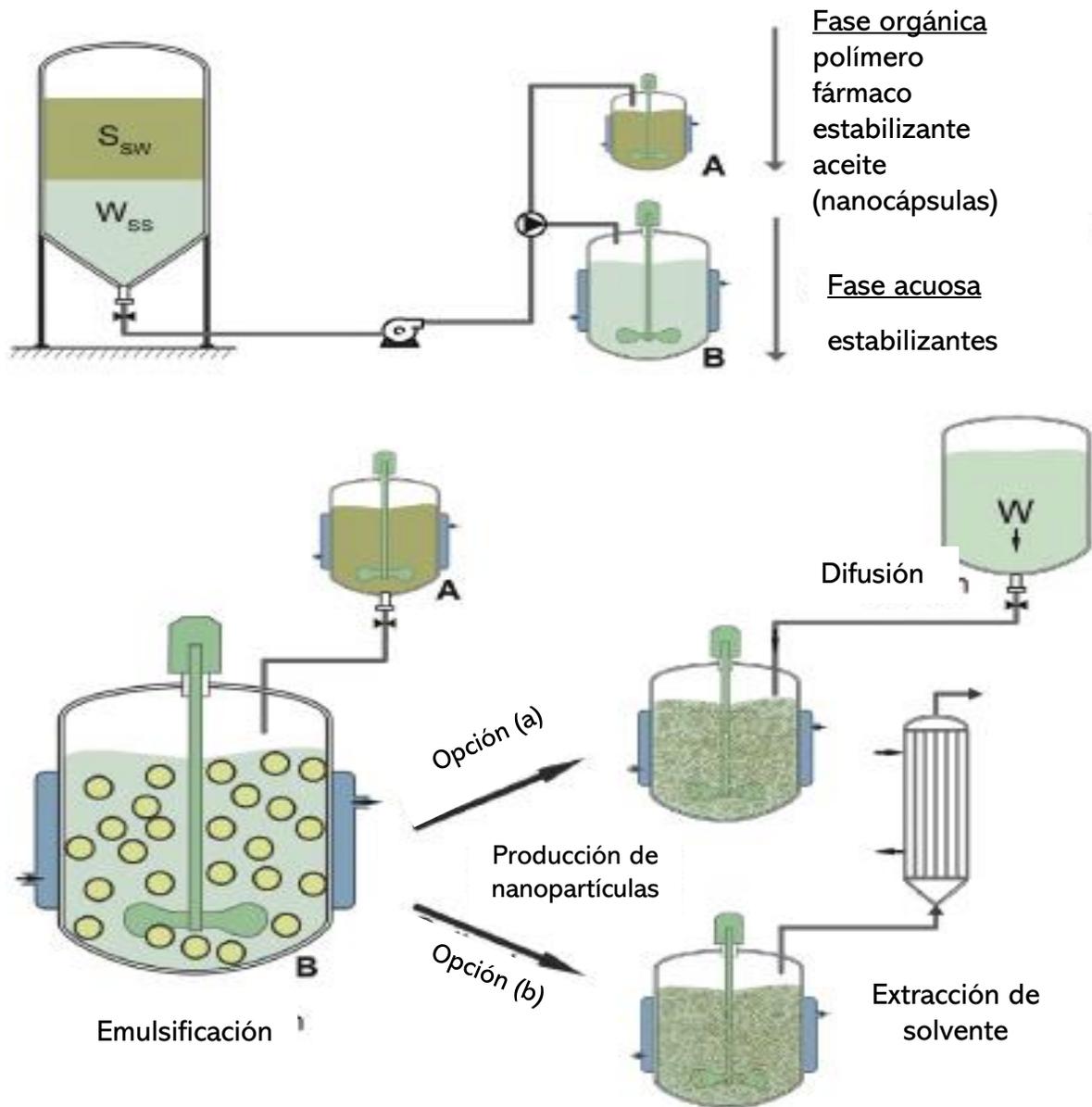


Figura 27. Procedimiento de Emulsificación-Difusión, Piñon et al (2018)



IV. JUSTIFICACIÓN.

El cuidado del medio ambiente representa un papel importante en la sociedad ya que es nuestro hábitat y es en donde se lleva a cabo la vida, dicho espacio consta de ambiente físico, biológico y socioeconómico cada uno de ellos requiere cuidados los cuales deben prevalecer a través del tiempo por todos los que integran al entorno, sin embargo en los últimos años la actividad humana ha dejado de lado este hecho, por lo que es necesario generar conciencia a través de acciones benéficas para el planeta adquiriendo hábitos o costumbres sencillas que permitan reducir la contaminación, ahorrar energía y conservar los recursos naturales.

La conservación del medio ambiente no está en el hecho en que el hombre se encuentre en la necesidad de renunciar a las ocupaciones diarias, así como sus actividades cotidianas y dejar de satisfacer necesidades, está en la implementación constancia y verificación de pequeños hábitos que pueden marcar la diferencia.

Hoy en día una de las disciplinas que se ha preocupado por la conservación de la vida es la nanotecnología implementando metodologías viables, seguras, sencillas y económicas que permitan de manera directa disminuir los daños en los ecosistemas, por esta razón este proyecto tiene la intención de proponer una alternativa para disminuir los residuos plásticos específicamente el poliestireno expandido ya que este es uno de los polímeros más utilizados pero menos amigable con el planeta, esto se logra a través de la recolección del material de desecho y siendo sometido a un proceso de transformación haciendo uso de la técnica emulsificación-difusión a la cual se le han implementado mejoras desde su creación en 1997, en la actualidad se tienen estipuladas las condiciones y variables experimentales idóneas para obtener partículas de tamaño nanométrico y en consecuencia proporcionar aplicabilidad en el área industrial con la intención de extender la vida útil del poliestireno.



V. HIPÓTESIS

Si las nanopartículas de poliestireno en conjunto con plastificantes logran formar películas flexibles, delgadas y no quebradizas en superficies porosas, entonces estas podrán brindar protección contra humedad, así como algunos otros factores ambientales incrementando la durabilidad en dichas superficies.



VI. OBJETIVOS.

6.1 Objetivo general.

Desarrollar y formular películas a partir de nanopartículas de poliestireno expandido (EPS) proveniente de material de reciclaje, para evaluar su aplicación como recubrimiento de superficies porosas.

6.2 Objetivos particulares

- a) Obtener nanopartículas de poliestireno a través de la técnica emulsificación-difusión para realizar evaluaciones de caracterización como tamaño de partícula y potencial z.
- b) Someter a un proceso de centrifugación a las nanopartículas de poliestireno para su sedimentación y así disminuir el tiempo de secado durante la formación de película.
- c) Seleccionar el plastificante adecuado para formar películas con los sistemas nanoparticulados y así proporcionarle atributos de flexibilidad al sistema.
- d) Encontrar la proporción adecuada de plastificante con relación al formador de película para lograr repelencia en las superficies porosas.
- e) Evaluar la funcionalidad de las películas aplicadas en las superficies para comprobar si la porosidad disminuye al estar bajo la protección de dicha película.
- f) Demostrar el uso de las películas como modificadores de absorción de agua en yeso, ladrillo y madera con la finalidad de incrementar la durabilidad, así como brindar protección a las mismas.



VII. EQUIPOS Y MATERIALES

7.1 Equipos

- Agitador Magnético (RO 10 IKA, EUA)
- Balanza Analítica (BBC32 Boeco, Alemania)
- Evaporador Rotativo (Laborota 4000 Heidolph Instruments, EUA)
- Homogeneizador Ultra-Turrax T18 Basic (IKA, Alemania)
- Horno de Vacío (5851, Napco E Series, EUA)
- Ultracentrífuga (Optima LE-80K Bekman, EUA)
- Zetasizer Nano ZS (ZEN3600, Malvern Instruments Limited, RU)
- Microscopio Electrónico de Barrido (JSM-6010LA InTouchScope)

7.2 Reactivos

- Acetato de Etilo (Meyer, México)
- Agua Ultrapura Tipo I (Simplicity Merk Milipore, EUA)
- Alcohol polivinílico (Mowiol 4-8, Sigma-Aldrich, EUA)
- Glicerina (Droguería Cosmopolita)
- Propilenglicol (Droguería Cosmopolita)
- Aceite mineral (Droguería Cosmopolita)
- Aceite de Ricino (Droguería Cosmopolita)
- Dimeticona (Droguería Cosmopolita)
- Miristato de Isopropilo (Droguería Cosmopolita)

7.3 Materiales

- Poliestireno Expandido EPS
- Ladrillo Rojo de Arcilla
- Madera
- Yeso Calcinado



VIII. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La figura 28 muestra de manera general los pasos involucrados en el desarrollo de este proyecto.

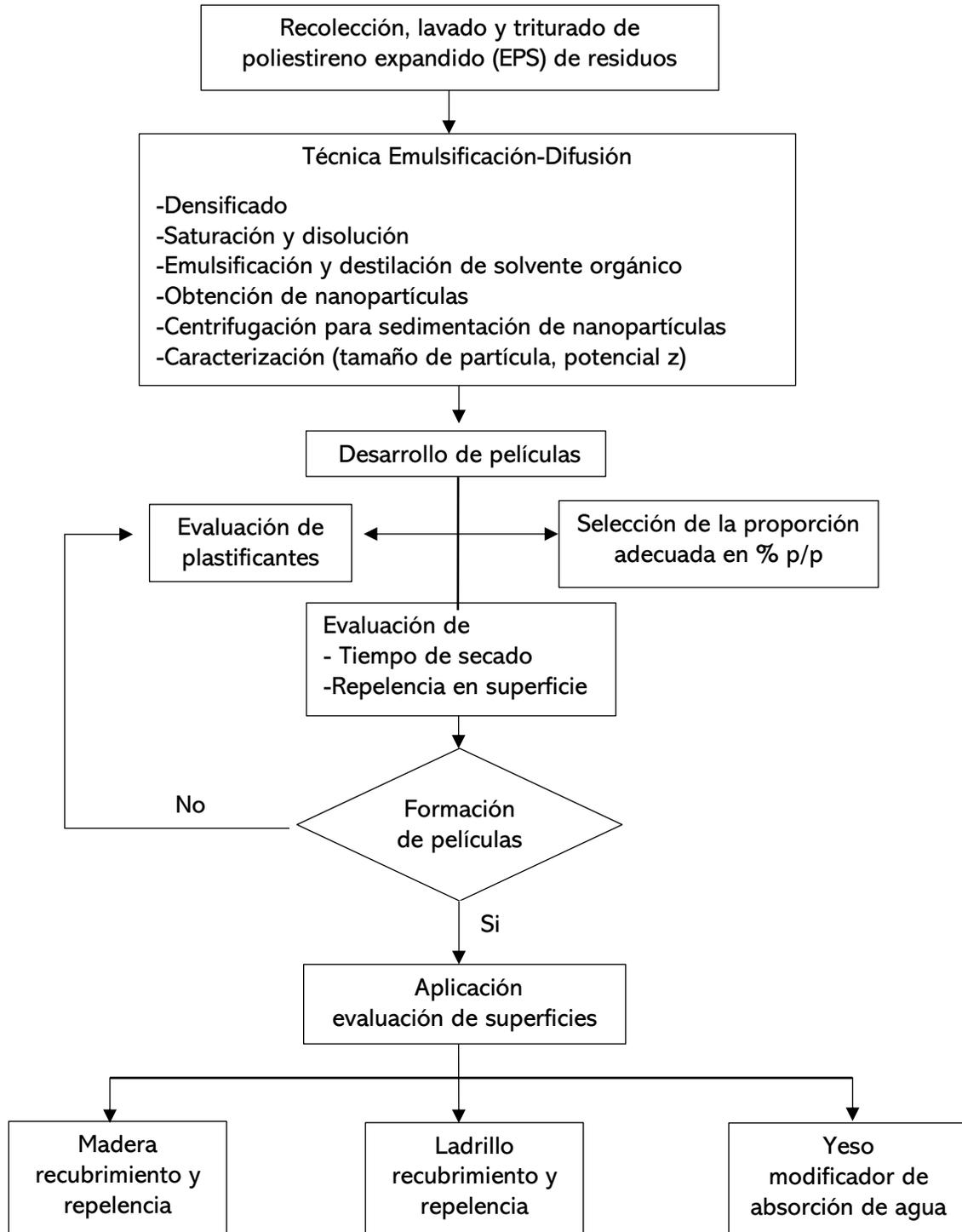


Figura 28. Diagrama Experimental



8.1 Tratamiento previo al EPS

Lo primero a realizar fue la recolección del EPS para su posterior reciclaje, el polímero utilizado proviene de material de embalaje y envases de empaque para alimentos principalmente, este fue lavado con detergente convencional y secado por un periodo de 24 horas con la finalidad de retirar cualquier suciedad que dicho material pudiera presentar.

Continuando con la trituración en pedazos pequeños para que estos fueran colocados a lo largo de una placa y se sometió al polímero al proceso térmico denominado densificación, dicho proceso se realizó en un horno de aire caliente a una temperatura de 130°C durante 15 min.

8.2 Preparación de nanopartículas de poliestireno a través de la técnica emulsificación-difusión.

Esta técnica comienza con la saturación de fases, en donde la fase orgánica fue acetato de etilo (AcOEt) el cual es parcialmente miscible con la fase acuosa que fue agua ultrapura tipo I, estas fueron colocadas en un embudo de separación para que a través de la agitación se logrará alcanzar el equilibrio termodinámico, dichas fases se separaron, el AcOEt en conjunto con el EPS densificado (fase interna) y el agua saturada con el estabilizante PVAL (fase externa), la emulsificación se realizó incorporando la fase interna en la externa haciendo uso del equipo rotor-estator Ultraturrax IKA T18, en seguida se realizó la difusión en donde se colocó la mezcla obtenida en destilación haciendo uso del rotavapor para la eliminación del solvente orgánico, como consecuencia se da la formación de los sistemas nanoparticulados, en este paso se generaron residuos los cuales fueron eliminados a través de la filtración por gravedad, el procedimiento general se representa en la figura 29.

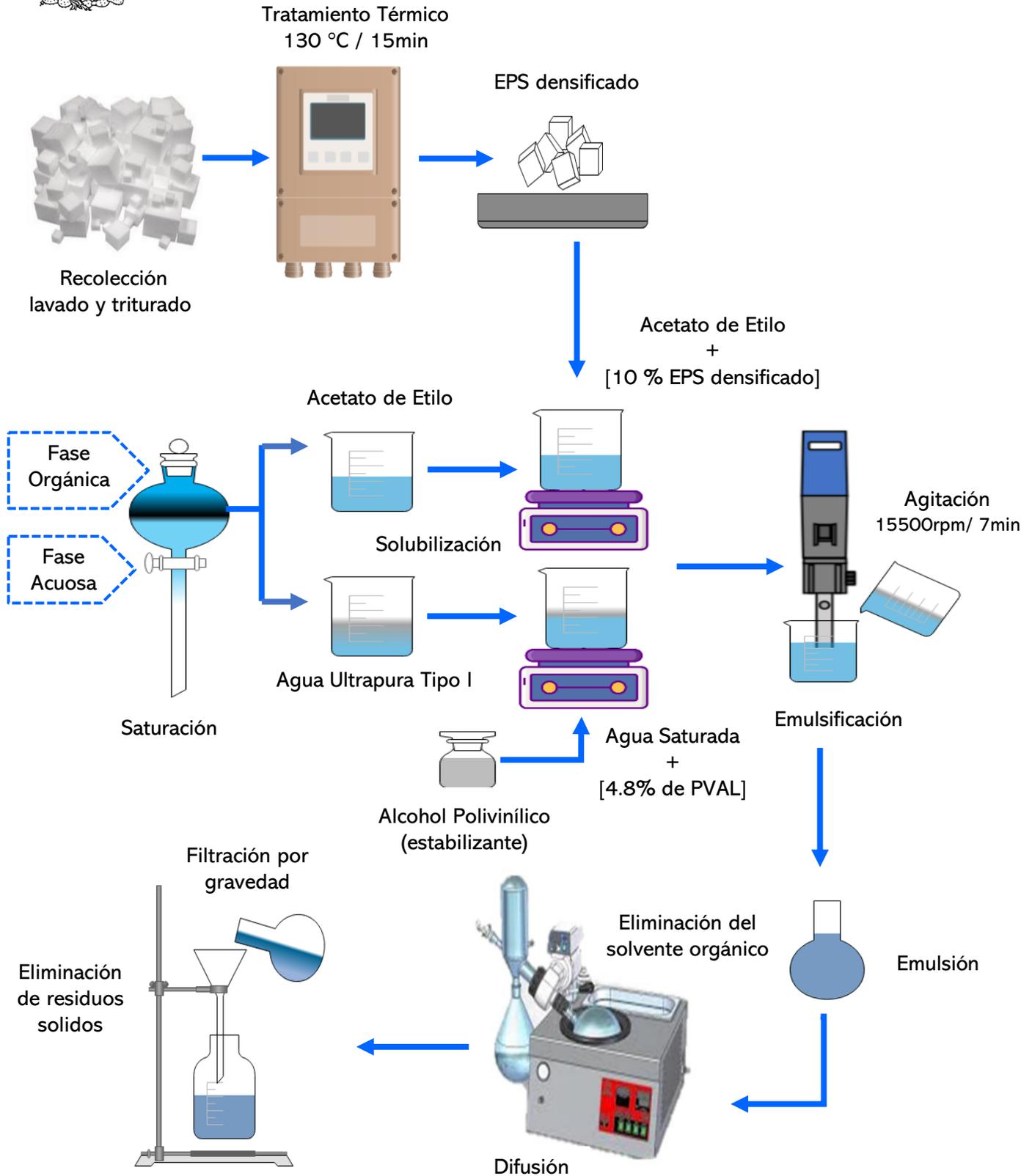


Figura 29. Esquematización de la Técnica Emulsificación-Difusión



Esta técnica fue reportada por primera vez en el año de 1997 por los investigadores Quintanar, Alleman, Doelker y Fessi en donde a través de los años se le han implementado mejoras para la optimización de las variables experimentales de la misma, es importante mencionar que las condiciones experimentales utilizadas en esta técnica fueron de acuerdo, a las reportadas en el proyecto de posgrado elaborado por Hernández (2018), dichos parámetros se muestran a continuación (Tabla 2).

Tabla 2. Condiciones Experimentales de la Técnica E-D

Parámetro	Temperatura de densificación	Tiempo de densificación	[EPS en %]	[PVAL en %]	Velocidad de agitación	Tiempo de agitación
Condiciones	130 °C	15 min.	10 %	4.8%	15500 rpm	7 min

8.2.1 Cálculo del rendimiento de nanopartículas de poliestireno

Se determino el rendimiento del proceso, utilizando una operación en donde se consideraron las siguientes variables

i) EPS Densificado (peso inicial) (EPS_d)

El EPS densificado es el que fue pesado para ser disuelto en AcOEt para que la solución quede al 10% (Tabla 2)

ii) Peso del papel filtro seco (P_2)

Se peso papel filtro seco, antes de realizar la filtración por gravedad y se registró el peso

iii) Peso del Residuo (P_1)

El residuo es el sólido que se forma una vez finalizada la destilación y que es separado de la dispersión resultante en la filtración por gravedad, este deberá estar totalmente seco para ser pesado.

$$\% \text{Rendimiento} = \left(\frac{EPS_d - (P_1 - P_2)}{EPS_d} \right) \times 10$$



8.3 Sedimentación de nanopartículas de poliestireno

Con la intención de disminuir el tiempo de secado se sometió a un proceso de centrifugación a una velocidad de 25000 rpm durante 1 hora a la dispersión previamente obtenida, como resultado se obtuvo el sedimento de np's de EPS con un aspecto blanco, opaco y viscoso, se eliminó la fase externa, cabe destacar que la velocidad y el tiempo usado en este paso van de la mano con las especificaciones límite de uso del equipo.

8.4 Caracterización

Una vez obtenido el sedimento fue necesario realizar una serie de pruebas para verificar si las nanopartículas se encontraban dentro del intervalo nanométrico, así como la medición del potencial z el cual se esperaba que disminuyera debido a la eliminación de la fase externa.

8.4.1 Tamaño de partícula

El sedimento obtenido fue dispersado en agua ultrapura tipo I y se le midió tamaño de partícula mediante dispersión dinámica de luz (DLS) a través del equipo Nanosizer a una temperatura de 25°C, las muestras fueron medidas por triplicado.

8.4.2 Potencial Z

Al añadir PVAL como estabilizante este le proporciona estabilidad a la dispersión sin embargo en el proceso de centrifugación previamente descrito, la fase externa fue eliminada sin embargo puede existir trazas del estabilizante razón por la cual fue medido el potencial z en el equipo Zetasizer a una temperatura de 25°C, las muestras fueron dispersas en agua ultrapura tipo I y medidas por triplicado.



8.5 Evaluación y selección de plastificantes

Una vez caracterizado, el sedimento de nanopartículas fue mezclado con plastificantes lo cuales fueron:

- a) Glicerina
- b) Propilenglicol
- c) Aceite Mineral
- d) Aceite de Ricino
- e) Dimeticona
- f) Miristato de Isopropilo

Cada uno fueron evaluados del 10 al 25% con relación al sedimento de Np's de EPS para conocer cuál era el apto en la formación de película, dicha mezcla fue expandida en placas y colocado en un secador eléctrico hasta su secado total y uniforme.

8.5.1 Microscopia electrónica de barrido

Para la selección del plastificante se realizó un análisis macro y microscópico de las películas elaboradas, se recurrió a la técnica de microscopia electrónica de barrido SEM en donde la muestra fue preparada con el detector estándar Denton Vacuum Desk V, la tabla 3 indica las condiciones experimentales.

Tabla 3. Especificaciones del detector Vacuum Desk V

Parámetro	Punto de ajuste (0-100 mAmps)	Tiempo de proceso (seg.)
Condiciones	7	300

Una vez hecho esto las muestras se colocaron en el microscopio JSM-6010LA InTouchScope™ siendo observadas a un aumento de:

- a) 1000x
- b) 3000x
- c) 5000x
- d) 8000x

Esto se realizó para cada uno de los plastificantes, el procedimiento anteriormente descrito se representa en la figura 30.

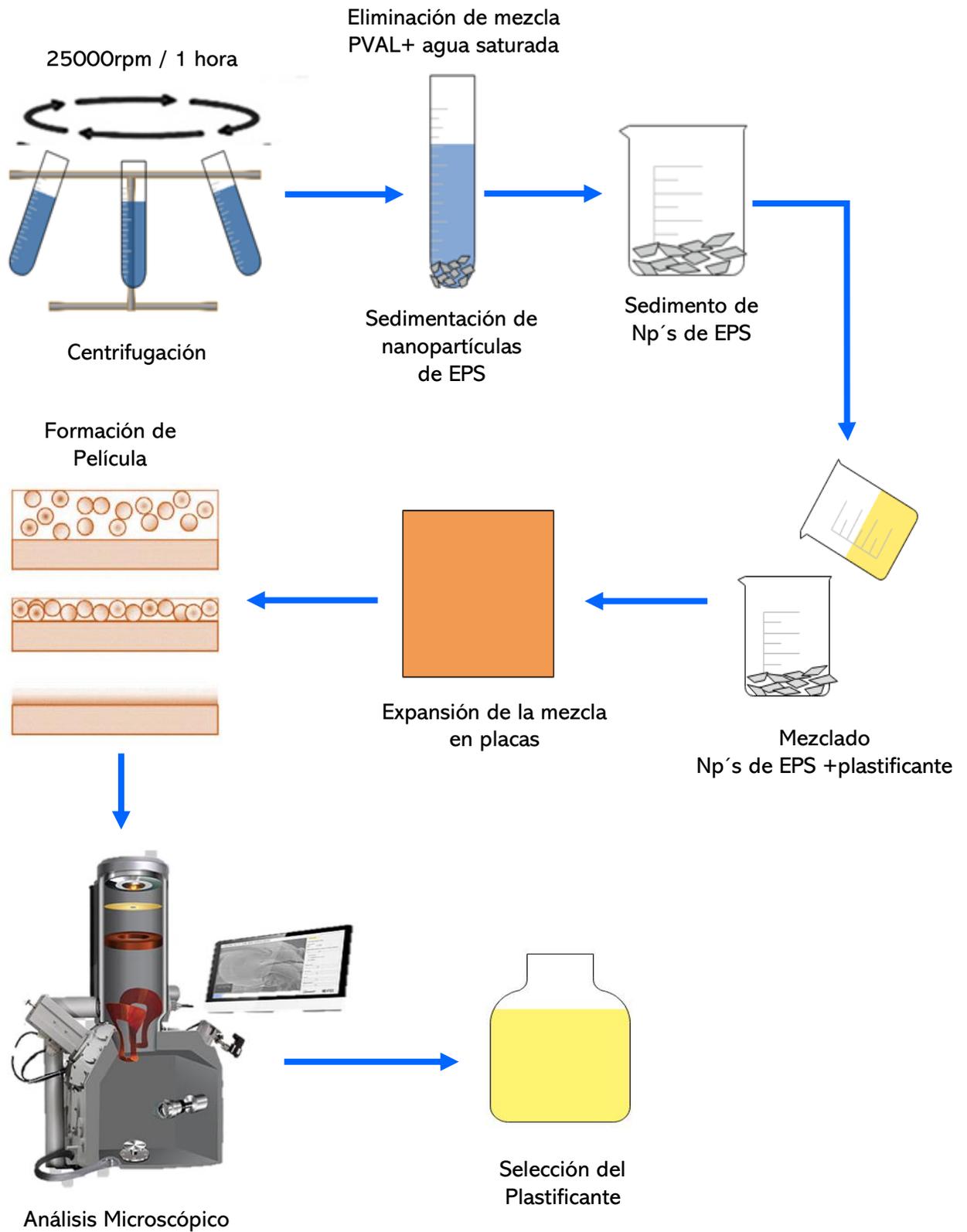


Figura 30. Esquematzación de Evaluación de Plastificantes



8.6 Recubrimiento en superficies porosas

Una vez seleccionado el plastificante, así como su proporción en porcentaje, se formuló una emulsión o/w en donde la fase interna contiene sedimento de NP's en conjunto con el porcentaje de plastificante seleccionado, mientras que la fase externa fueron 50 ml de agua destilada, la formulación se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Formulación para Recubrimiento de Superficies

Superficie	Sedimento de Np's EPS (g)	% de Plastificante	Agua destilada (ml)
Ladrillo	20	20 30	50
Madera	20	20	50

Una vez formada dicha emulsión esta fue expandida sobre superficies porosas previamente pesadas (P1) las cuales fueron ladrillo rojo y madera, dichas superficies fueron recubiertas y se dejaron secar 24 horas, enseguida fueron sumergidas en agua potable durante otras 24 horas, se sacaron y fueron secadas superficialmente se pesaron (P2) y se calculó el porcentaje de absorción haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Absorción} = \left(\frac{P_2 - P_1}{P_1} \right) \times 100$$

Para ambas superficies, se realizó un blanco, el procedimiento anteriormente descrito se representa en la figura 31.

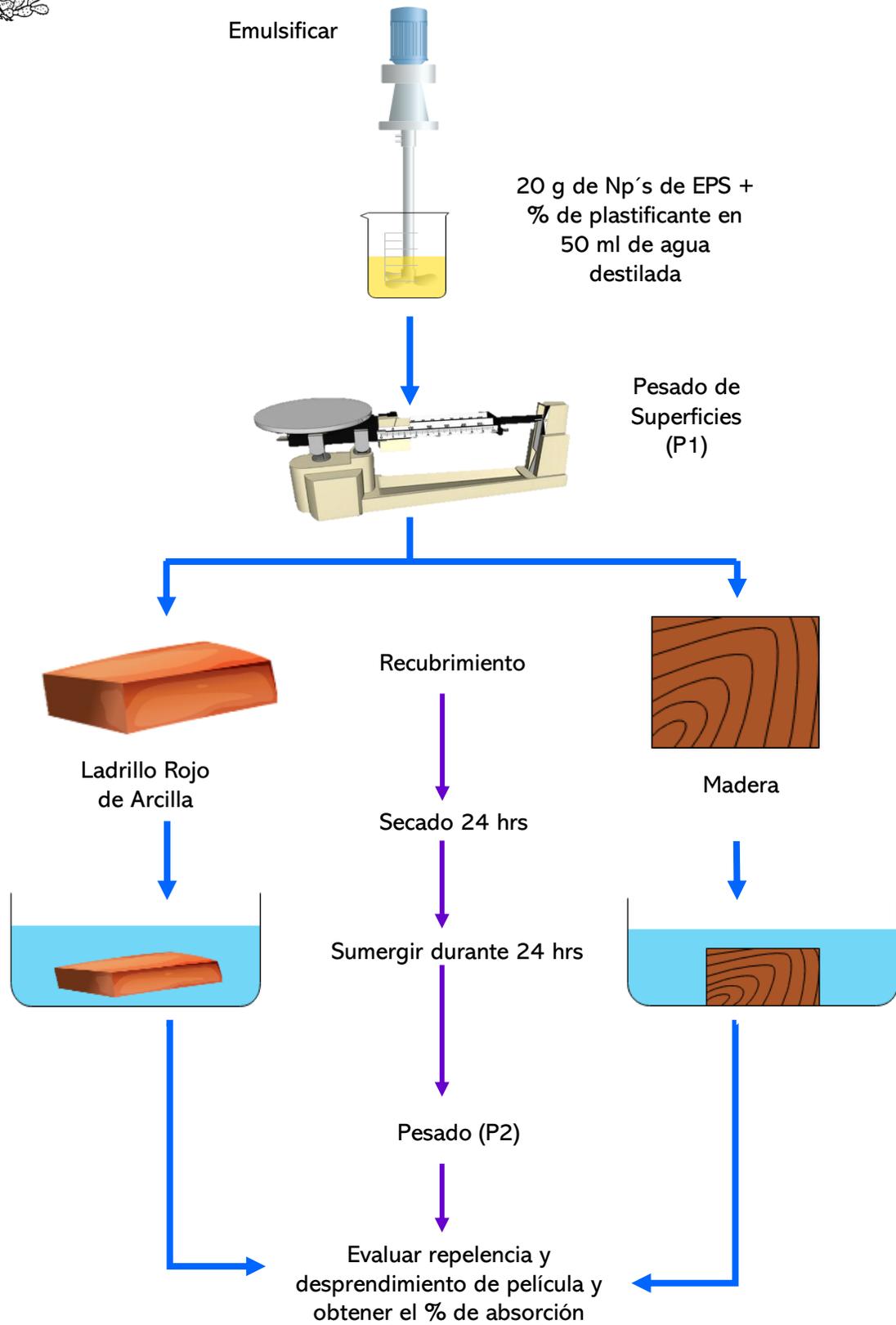


Figura 31. Esquematización de evaluación de superficies porosas



8.7 Incorporación de película en placas de yeso y su efecto como modificador de humedad.

Con la intención de evaluar la protección que puede brindar las nanopartículas en conjunto con un plastificante a una superficie porosa, se elaboraron placas de yeso que fueron incorporadas con la mezcla anteriormente mencionada, la tabla 5 muestra la composición de las placas elaboradas.

Tabla 5. Formulación para la Elaboración de Placas de Yeso

Placa	Yeso Calcinado (g)	Agua destilada (g)	Sedimento de Np's de EPS (g)	Plastificante %
Blanco	280	220	-	-
s/plastificante	280	209	11	-
1	280	209	11	20
2	280	209	11	30
3	280	209	11	40

Para la elaboración de las placas una vez pesado los componentes especificados en la tabla 5, se mezcló a través de la agitación mecánica el agua destilada y el sedimento de Np' que ya contenía el porcentaje correspondiente de plastificante, en seguida se incorporó el yeso calcinado hasta formar una pasta homogénea sin presencia de grumos, la pasta resultante se vació en un fleje metálico colocado en una superficie plana sobre el cual se colocó contrapeso para fraguar y así retirar el excedente y tener una mejor distribución a lo largo de la placa una vez transcurridos 45 min se desmontó el fleje metálico y la placa obtenida se colocó en un horno por 24 hrs, se pesó la placa hasta obtener peso contante (P1), las condiciones del proceso anteriormente mencionado se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Especificaciones para Preparación de Placas de Yeso

Parámetro	Velocidad de agitación (rpm)	Temperatura del horno	Tiempo de secado	Tiempo de sumergimiento
Condiciones	600	40°C	24 hrs	2 hrs

Dicha placa fue sumergida en agua potable, se retiró la placa y fue secada superficialmente, se pesó (P2) y se calculó el porcentaje de humedad obtenido con la siguiente ecuación, el procedimiento anteriormente descrito se representa en la figura 32.

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{P_2 - P_1}{P_1} \right) \times 100$$

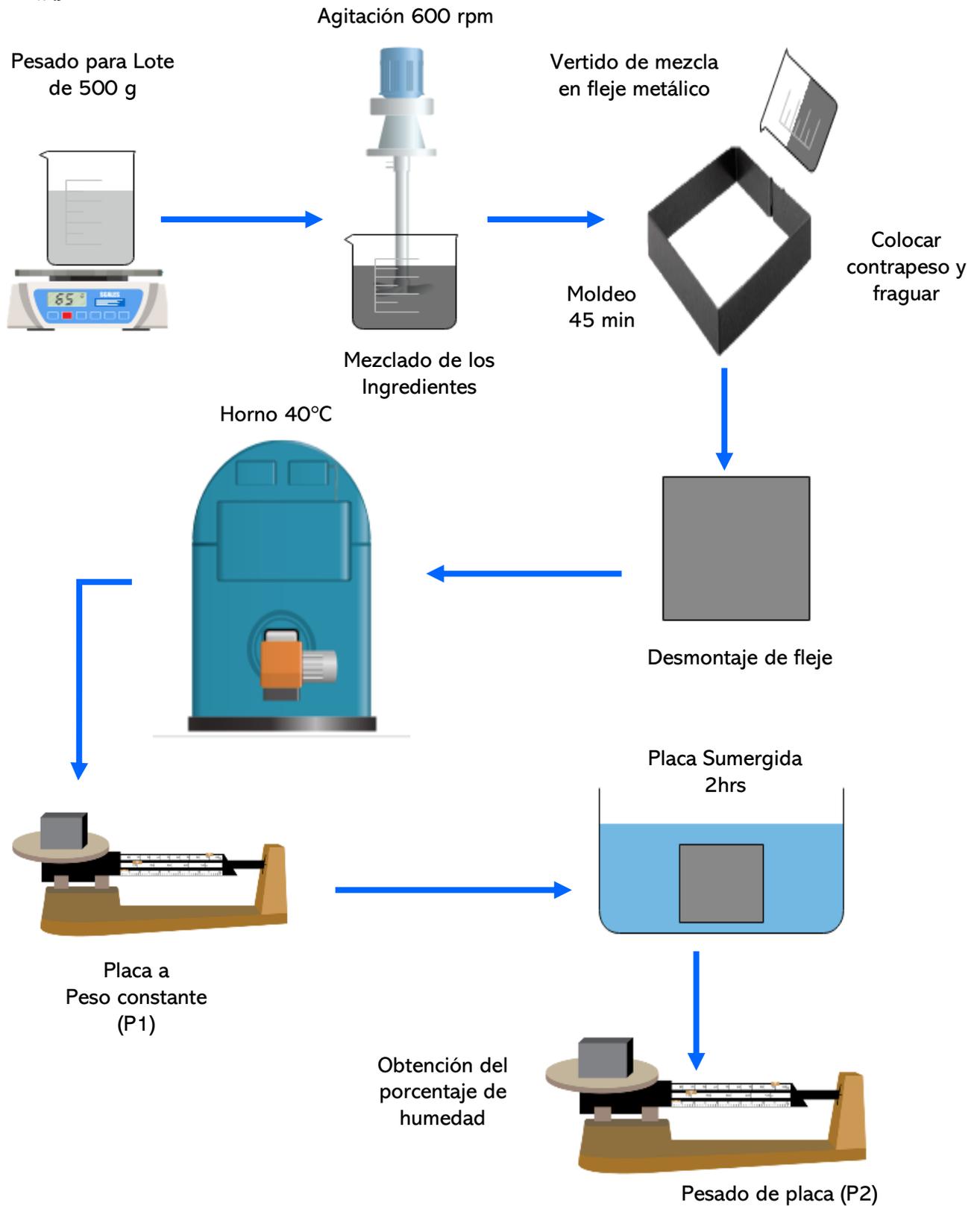


Figura 32. Esquemización de preparación de placas de yeso.



IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Densificación al EPS

La figura 33 muestra el antes y el después de la densificación térmica, en el inciso a muestra el poliestireno triturado mientras que el inciso b el polímero ya ha liberado el aire atrapado como consecuencia de la destrucción de bloques generada de la fuente de calor por lo que su tamaño y volumen disminuye.

La densificación térmica, tiene la finalidad de reducir la carga estática, facilitar la manipulación del polímero, así como agilizar la solubilización del EPS en la fase interna en la técnica emulsificación-difusión.

En este proceso la presencia de contaminantes como el papel u otros componentes ájenos al polímero puede contribuir a la producción de vapor por lo que un paso importante anterior a este es el lavado para remover cualquier suciedad.

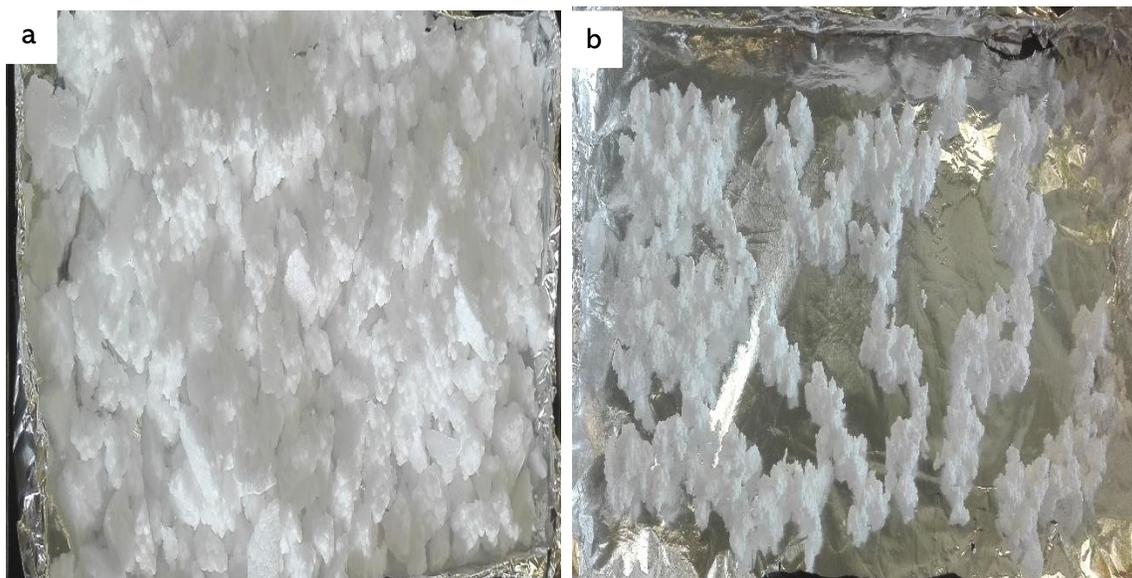


Figura 33. Densificación del EPS: (a) EPS triturado; (b) EPS densificado.



9.2 Elaboración de nanopartículas mediante emulsificación-difusión, obtención de sedimento y caracterización.

La caracterización se realizó al sedimento obtenido, un semisólido blanco, viscoso e inodoro (Figura 35), en donde fue eliminado la fase acuosa es decir estabilizante disuelto en agua ultrapura previamente saturada, se estima que alrededor del 2% del semisólido se pierde en el proceso de ultracentrifugación por lo que no se logra recuperar en su totalidad, dicha estimación es experimental haciendo el supuesto del traslado del sedimento pudiera haber pérdidas del mismo, por cada lote se recolecto un aproximado de 50 g de semisólido al preparar lotes de 1200 ml en relación 2:1 siguiendo las especificaciones de la tabla 2.

La tabla 7 refiere los resultados experimentales, en donde muestra valor promedio de 339.34 nm para tamaño de partícula, mientras que el rendimiento se encuentran por arriba del 70%, para el índice de polidispersión se considera que las partículas tienen un tamaño homogéneo cuando la suspensión presenta una polidispersión menor o igual a 0,2 (Bosquez-Molina et al, 2003) por lo que los lotes resultantes cumplen con este parámetro, un aspecto sobresaliente en dichas mediciones es la variabilidad del potencial z, la modificación de este potencial supone la variación de las interacciones electrostáticas entre las NPs en suspensión, que puede facilitar o no a la formación de agregados, dichos valores son bajos debido a la eliminación de la fase acuosa, los valores son cambiantes dado a una difusión de sólidos no uniforme en la eliminación del solvente orgánico por destilación a presión reducida en el proceso, sin embargo no perjudica al sistema, de acuerdo a Hernández (2008) demostró estadísticamente que el potencial z no es significativo por lo que no afecta la estabilidad.

El tamaño de partícula está estrechamente relacionado con la distribución de las mismas de acuerdo a los datos estadísticos arrojados los glóbulos son de diferente tamaño por lo que tiene una distribución no uniforme volviéndolo en conjunto heterogéneo, aquí está la importancia del estabilizante ya que evita que estas se unan generando glóbulos más grandes, la variabilidad del tamaño de partícula repercute en los datos estadísticos obtenidos en donde la desviación estándar y el coeficiente de variación son elevados debido a aspectos como, condiciones de proceso experimentales, también a él poliestireno utilizado fue de diferentes fuentes por lo que estos están recubiertos de diversos plastificantes más monómeros residuales que pudiera contener, razón por la que afecto a la formación de las nanopartículas.



Sin embargo es importante mencionar que dichos aspectos repercuten en la caracterización del sistema mas no en su aplicabilidad, además que cada lote cumple en tener tamaño nanómetro, índice de polidispersión menor a 0.2, potencial z negativo y un rendimiento alto, los datos estadísticos no repercuten en la eficiencia de su aplicabilidad para formación de películas por lo que no es significativo a pesar que es inestable y puede haber aglomeraciones ya que la dispersión se mantiene por un periodo de tiempo muy corto dado que de acuerdo a la metodología experimental estas son sedimentadas provocando su unión del semisólido.

En total se realizaron veinte lotes sin embargo la variabilidad era aún mayor perjudicando el análisis estadístico por lo que se decidió hacer uso de la media acotada la cual calcula la media de un conjunto sin incluir datos de los extremos inferior y superior incluyendo solo datos centrales.

Tabla 7. Caracterización experimental de nanopartículas de EPS.

Lote	Tamaño de partícula (nm)	Índice de polidispersión	Potencial Z (mV)	Rendimiento (%)
1	334.5	0.134	-15.9	75.82
2	340.9	0.062	-18.4	80.50
3	345.6	0.069	-19.6	80.41
4	303.5	0.112	-13.6	78.63
5	347.5	0.155	-7.28	86.01
6	380.2	0.157	-6.36	88.17
7	343.0	0.126	-10.2	95.57
8	314.1	0.139	-16.3	97.87
9	352.2	0.096	-13.8	76.54
10	331.9	0.070	-8.24	87.72
Media	339.34	0.13	-12.968	84.724
D. STD	19.8918	0.06980	4.7566	7.2993
%CV	5.861	53.692	36.6795	8.6153

El mecanismo que describe lo que ocurre en el proceso de E-D, implica inestabilidad química y no inestabilidad mecánica, después de la saturación se forman dos fases el disolvente orgánico que contiene el polímero y el estabilizador que contiene agua estando en un equilibrio termodinámico, la incorporación de ambas fases a través de fuerza mecánica se le denomina emulsificación en donde la velocidad de agitación es un factor determinante en el método que en esencia define su éxito.



Durante esta etapa, la agitación provoca la dispersión de los glóbulos en equilibrio con la fase continua por lo tanto, la formación de NP se atribuye principalmente al transporte de solventes, la difusión comienza en la unión de sólidos (polímero-estabilizante) en dispersión acuosa y la eliminación del solvente orgánico a presión reducida dando lugar a la agregación de polímeros en forma de NP, el agente estabilizante se adsorbe en la gran área interfacial creada, (Piñón et al, 2018) el mecanismo anteriormente descrito se representa en la figura 34.

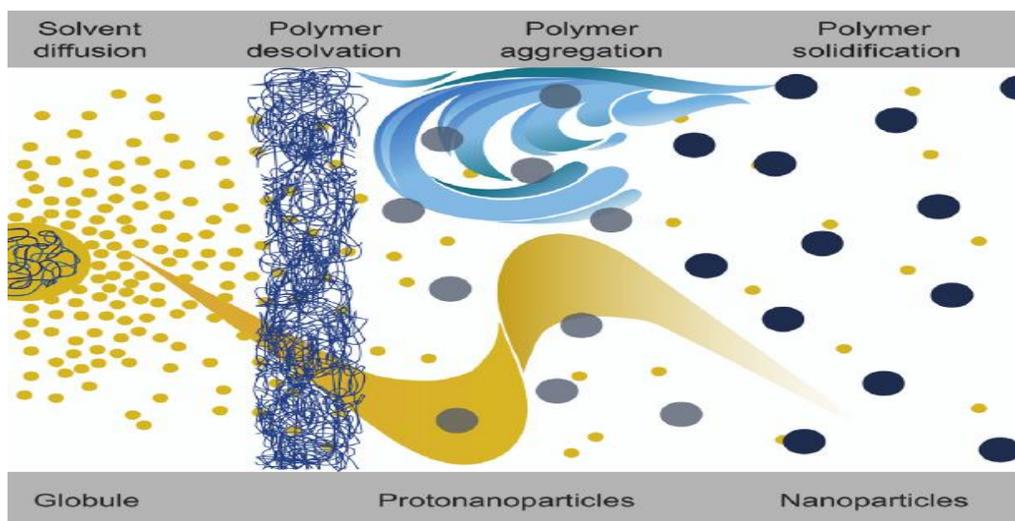


Figura 34. Mecanismo Emulsificación-Difusión, Piñón et al (2018)



Figura 35. Obtención de sedimento de NP's de EPS.



9.3 Formación de películas y selección de plastificantes

Una vez evaluado el sedimento se procedió a la formación de películas con el objetivo de mezclar el polímero con diferentes plastificantes para formar capas sobre una superficie, en donde una vez esparcidas se mide el tiempo de secado y la uniformidad de desprendimiento, el secado total se alcanza con una evaporación superficial completa de manera general al aplicar una capa en una superficie se completa a las 24 horas razón por la cual se estableció este tiempo como secado óptimo teniendo como base la normatividad ASTM, además la película debería mostrar características como, flexibilidad, uniformidad y brillo moderado, los plastificantes seleccionados fueron glicerina, propilenglicol, los cuales son de uso convencional en áreas farmacéutica y cosmética, mientras que aceite mineral, aceite de ricino, dimeticona y miristato de isopropilo fueron seleccionados en base a lo reportado en la literatura clasificado como plastificantes de uso frecuente para poliestireno (Wypych, 2012), además que todos los plastificantes utilizados son componentes convencionales en el laboratorio.

El proceso de transformar una dispersión estable de partículas de polímero coloidal en una película continua se denomina formación de película de látex, el cual implica pasos que abarcan desde una dispersión diluida hasta una concentrada, en una matriz empaquetada de partículas y finalmente en una película de polímero continua, la formación de esta surge de la coalescencia es decir compactación, deformación, cohesión e inter-difusión de cadenas de polímero del látex que normalmente se mantienen separadas por fuerzas estabilizadoras electrostáticas resultante de los grupos terminales de la cadena polimérica cargada o adsorbida (Keddie & Routh, 2010).

En la tabla 8 describe las observaciones obtenidas para cada uno de los plastificantes utilizados, así como el porcentaje en relación p/p es notable que en la mayoría de los casos el secado fue lento y no uniforme además que la película resultó quebradiza con apariencia brillante y consistencia oleosa (Figura 37). La razón de esto está en que las partículas son demasiado duras por lo que no podrán deformarse adoptando aspecto turbio, agrietado y posiblemente polvoriento, el brillo posiblemente se debe a la naturaleza química del plastificante en su mayoría de carácter oleoso.

Para formar una película es necesario dividir el proceso en tres pasos secuenciales; I evaporación, concentración de partículas y ordenamiento, II deformación de partículas y III difusión de la cadena de polímero a través de los límites de las partículas, dicho proceso se encuentra representado en la figura 36. En la etapa I, la mezcla es depositada en una superficie, además que el agua se evapora de la superficie del látex concentrando los sólidos, esta es la etapa más larga de las tres y dura hasta que el polímero ha alcanzado aproximadamente 60-70% de fracción de volumen, o hasta que el área de la superficie del líquido comienza a disminuir como resultado la formación de una película sólida, inicialmente las partículas se mueven con movimiento browniano pero esto cesa cuando hay una interacción significativa una vez que un volumen crítico de agua se ha evaporado (Felton, 2013).



La etapa II comienza en el momento en que las partículas entran en contacto irreversible y la finalización de la coalescencia es decir deformación de partículas que se consolidan en forma de empaque y finalmente la etapa III ocurre con la formación inicial de una película continua, el agua restante sale de la película inicialmente a través de los canales interparticulados mientras que la restante sale por difusión a través de la piel de polímero fundido, cuando un látex blando se vuelve más homogéneo en donde ocurren procesos como maduración, autohesión o coalescencia gradual.

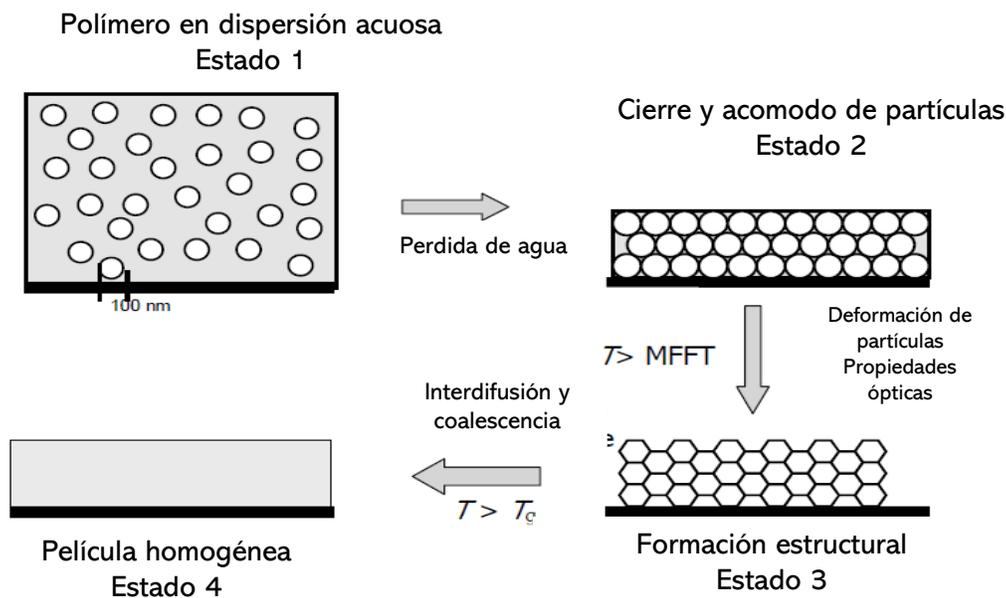


Figura 36. Mecanismo de Formación de Película, Felton, (2013)

Un aspecto ocurrido durante el secado fue que en la mayoría de los casos los bordes se secaron primero y a medida que transcurría el tiempo este avanzó del borde al centro, el tiempo de secado total fue de 24 horas a temperatura ambiente (25°C). De manera general el plastificante que mostro un mejor resultado en cuanto al secado, flexibilidad, la uniformidad de superficie (ausencia de huecos), brillo moderado y ausencia de consistencia oleosa fue el miristato de isopropilo, además que el porcentaje experimental con mejor comportamiento fue 25%, para corroborar esta afirmación se decidió hacer uso de la técnica de microscopia electrónica de barrido para todos los plastificantes en este porcentaje para un mejor análisis de superficie.



Tabla 8. Evaluación de plastificantes.

	% p/p	Secado	Observaciones
Glicerina	10	Rapido	Película muy delgada , dura y quebradiza secado no uniforme
	15	Mediadamente lento	
	20	Lento	
	25	Muy lento	
Aceite Mineral	10	Rapido	Película gruesa, dura ,quebradiza y muy brillante
	15	Lento	
	20	Lento	
	25	Muy lento	
Aceite de Ricino	10	Rapido	Película grumosa oleosa , dura y brillante
	15	Ligeremente lento	
	20	Lento	
	25	Muy lento	
Dimeticona	10	Rapido	Tiempo de secado largo , consistencia oleosa y quebradiza
	15	Ligeremente lento	
	20	Lento	
	25	Muy lento	
Propilenglicol	10	Rapido	Difícil esparcimiento película dura y quebradiza secado no uniforme
	15	Ligeremente lento	
	20	Lento	
	25	Muy lento	
Miristato de Isopropilo	10	Rapido	Película flexible fácilmente despegable secado uniforme
	15	Ligeramente rapido	
	20	Moderado	
	25	Uniforme	



La figura 37 muestra las micrografías obtenidas de la técnica SEM para lograr realizar una mejor evaluación de los plastificantes utilizados, aquí se muestra más claramente los efectos de cada uno, en donde la glicerina tiene poca o nula acción como plastificante para el poliestireno, el aceite de ricino es notable la oleosidad y exceso de brillo en la película, para dimeticona y propilenglicol se observa agrietamiento en superficie en consecuencia de ello flexibilidad pobre, mientras que para miristato de isopropilo en 25% muestra una superficie más uniforme sin agrietamientos.

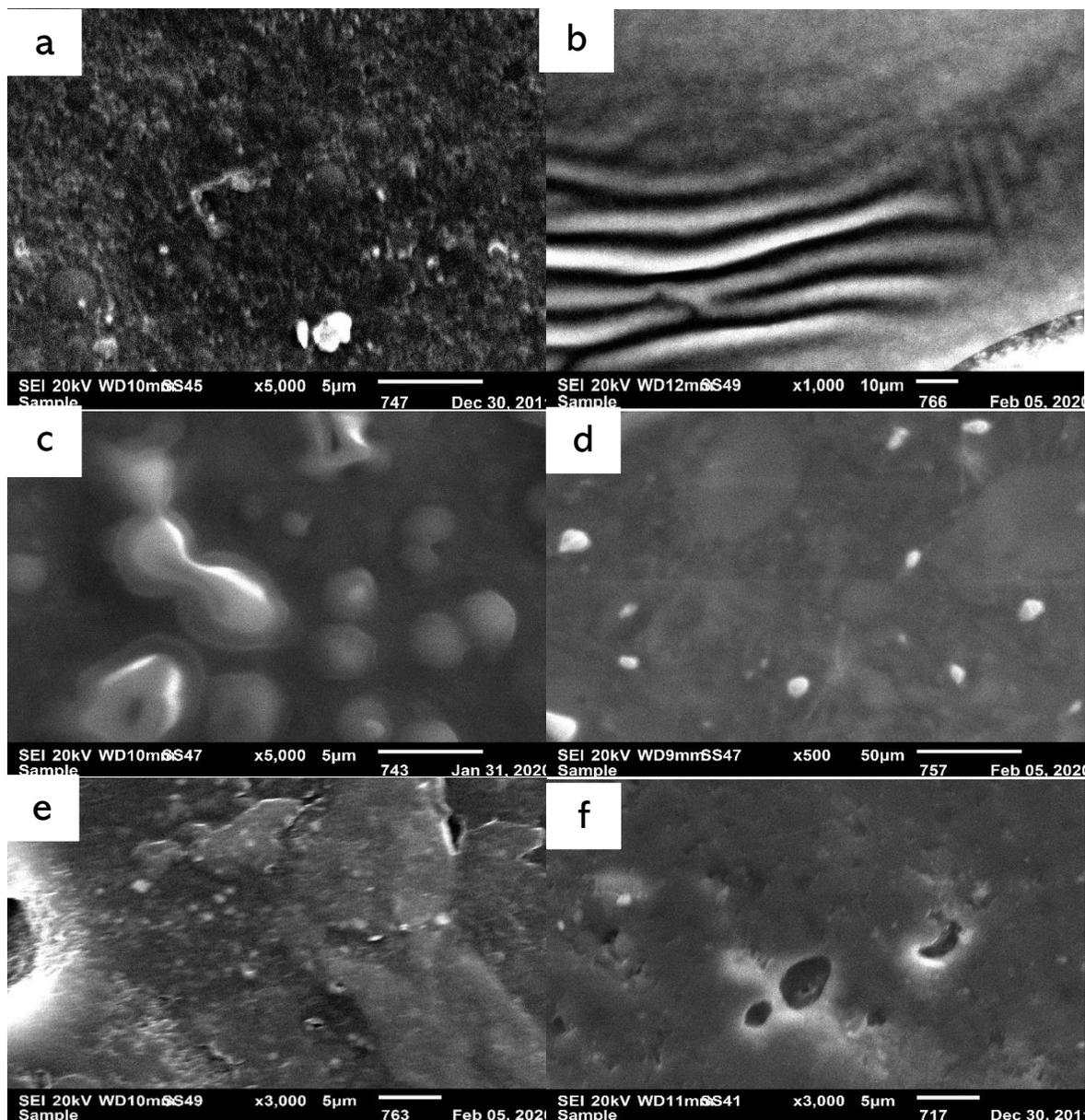
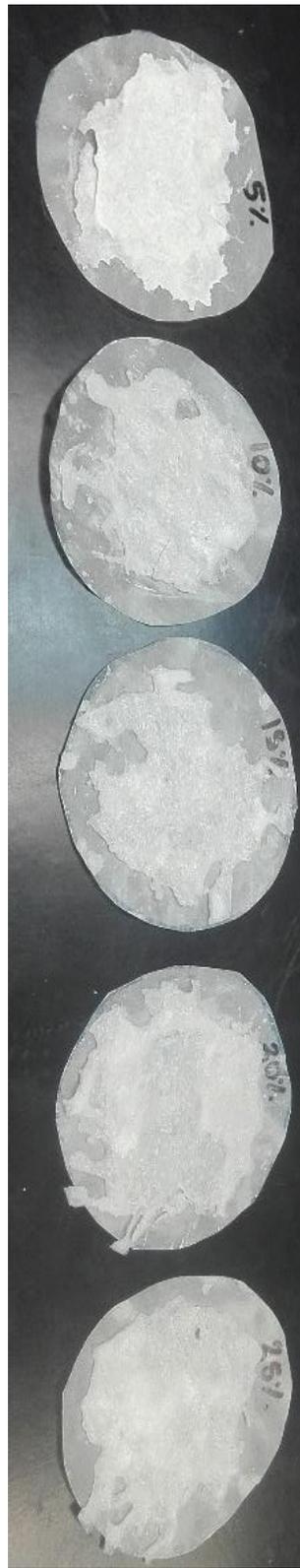
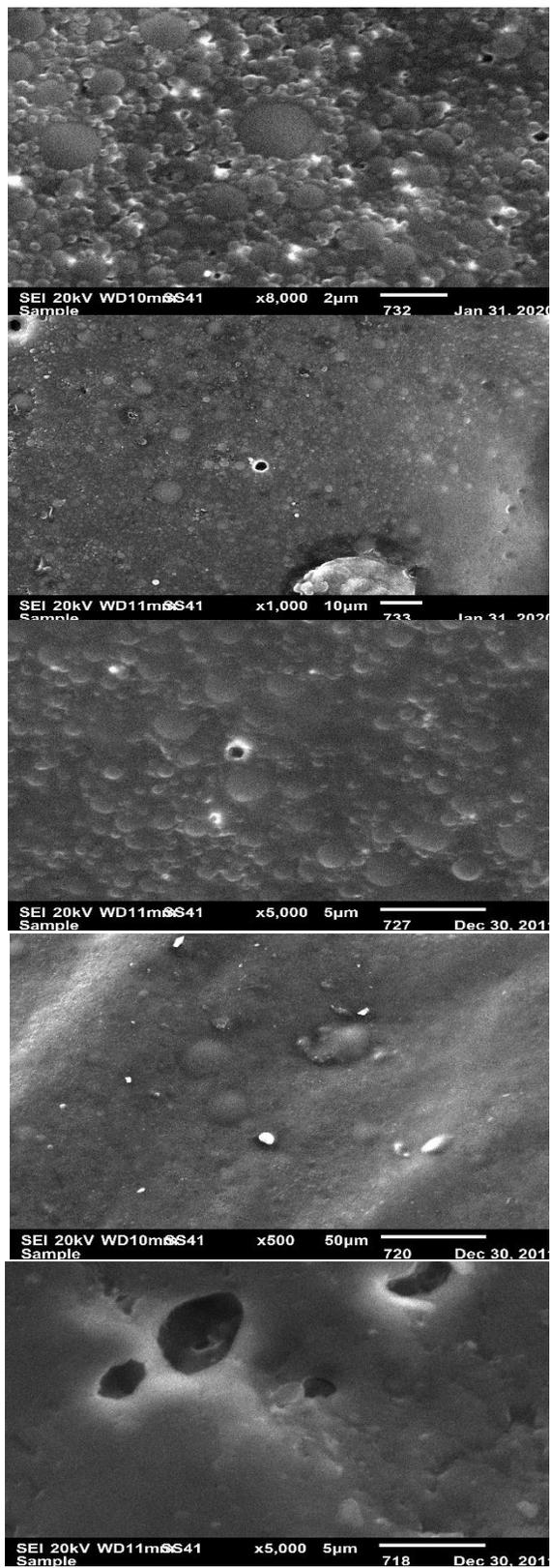


Figura 37. Micrografías SEM: (a) Glicerina 5000x; (b) Aceite Mineral 1000x; (c) Aceite de Ricino 5000x; (d) Dimeticona 5000x; (e) Propilenglicol 3000x ; (f) Miristato de Isopropilo 8000x.



La razón está en que el miristato de isopropililo logro disminuir la temperatura de transición vítrea (T_g) de las nanopartículas poliméricas haciendo al material más flexible interactuando con las cadenas de polímero a nivel molecular para acelerar su respuesta viscoelástica o aumentar la movilidad de la cadena. Una película húmeda uniformemente extendida al ser secada a una temperatura por encima de la T_g del polímero se podría esperar que se obtenga una película uniforme con las partículas esféricas de látex deformadas para llenar todos los espacios entre las partículas de la dispersión logrando evitar la propagación de grietas a través del sistema, es decir actúa como modificador de impacto. A temperaturas superiores a la T_g del polímero, las cadenas moleculares dentro las partículas se moverán a través de los límites entre partículas esta difusión difumina los límites entre las partículas individuales y conduce a una película continua con mayor resistencia mecánica (Beatty & Penboss, 1993).

Al resultar el miristato de isopropililo el mejor plastificante se decidió seleccionar el porcentaje óptimo de formación de película, para esto se realizaron películas que van desde 5 al 25%. La figura 38 representa el análisis de superficie en donde el porcentaje más bajo se observan las nanopartículas de poliestireno en el plastificante disperso y en consecuencia película frágil y quebradiza, en el siguiente porcentaje se observa la película ligeramente seca y quebradiza con nula adhesión, para 15% ocurrió aumento de brillo pero con superficie irregular y presencia de aglomeraciones en contraste para el 20% es notorio la superficie uniforme, mezclado adecuado con ausencia tanto de agrietamiento como huecos además de una correcta adhesión y extensibilidad comprobando así el efecto del miristato de isopropililo como plastificante idóneo para poliestireno en ese porcentaje, sin embargo un exceso de este también puede perjudicar a la película experimentalmente se obtuvo que por arriba del 25% la película muestra brillo por lo tanto su adhesión disminuye y podría fracturar la película.



5%

Polvorín

10%

Disminución de la Tg

15%

20%

MFFT

25%

Exceso de Plastificante

Figura 38. Análisis macro y microscópico del miristato de isopropilo



La formación de una película continua, es decir transparente y sin fisuras depende de la mínima temperatura de formación de película MFFT del polímero, si la película se proyecta por encima de su MFFT, entonces puede ocurrir deformación y cohesión de las partículas de látex. Sin embargo, si se encuentra debajo del MFFT se obtiene la película discontinua friable o algunos residuos de polvo (Figura 39), esto sucedió con las películas con 5 al 15% de plastificante estas normalmente tienen aspecto opaco debido a la presencia de huecos como consecuencia de esto la luz se dispersa, en cambio con la pérdida de los mismos la película se vuelve ópticamente transparente, porque la luz ya no se dispersa por heterogeneidades en el índice de refracción, el comienzo de la transparencia se utiliza a veces para definir el punto de formación de la película.

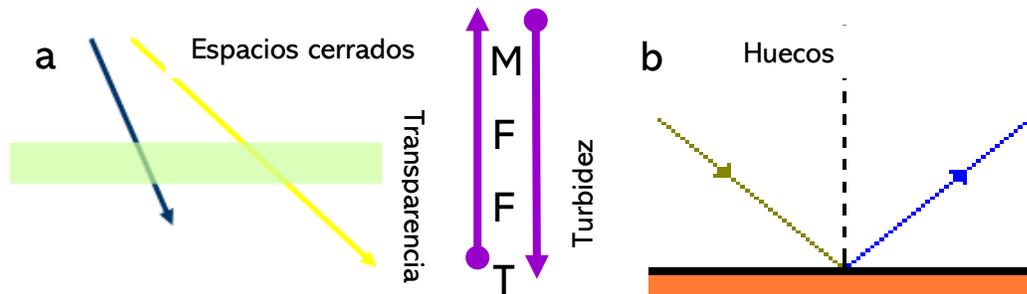


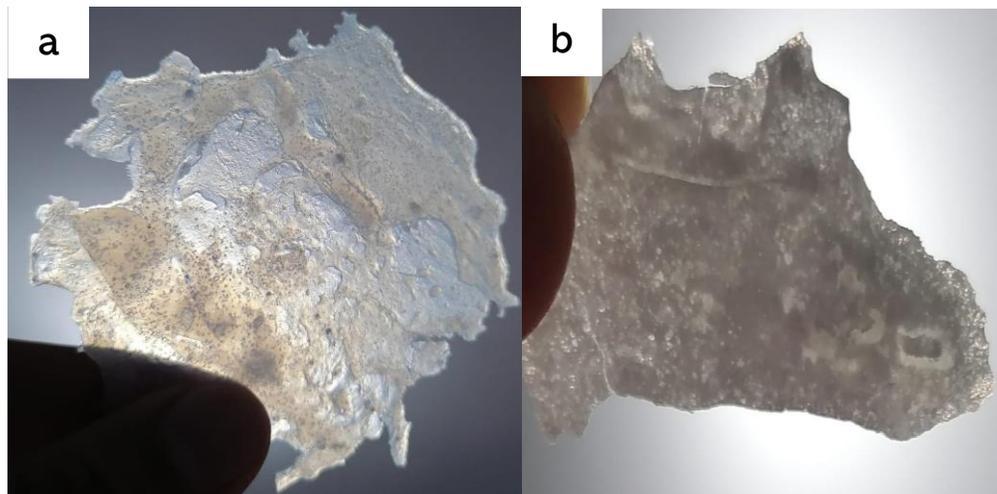
Figura 39. Propiedades Ópticas de una Película: (a) Transparencia; (b) Turbidez.

La temperatura a la que se puede lograr la transparencia óptica se denomina temperatura mínima de formación de película o MFFT, una característica importante de formulación de látex porque determina las condiciones bajo las cuales dicho látex puede ser aplicado con éxito por lo tanto se deduce que el poliestireno en tamaño nanométrico que alcanzo, la MFFT optima utilizando 20% de miristato de isopropilo con relación a las nanopartículas de poliestireno. Si las partículas duras se mezclan con partículas más blandas, la formación de película todavía puede ocurrir, las partículas más suaves crearán la película y las partículas más duras se dispersarán (Wypych, 2017).

El aspecto blanquecino y/o opaco es debido a el color característico del polímero, pero en conjunto a él plastificante, el aspecto final de la película se les atribuye a las propiedades ópticas, a temperaturas por debajo de la MFFT las partículas se empaquetan en una matriz, pero no están lo suficientemente deformadas para poder cerrar los espacios vacíos que pudiera haber entre ellos por lo tanto la luz se dispersa y se obtiene una película seca y turbia.



Mientras que, a temperaturas superiores a la MFFT, los espacios entre partículas se han cerrado lo suficiente para evitar la dispersión de la luz por lo que la película toma aspecto transparente, el punto de transición suele ser determinado visualmente por el usuario y es utilizado para determinar MFFT (Keddie & Routh, 2010). En la figura 40 se observa que la película con 20% de plastificante presenta transparencia mientras que por debajo adopta un aspecto opaco comprobando así la afirmación antes mencionada.



*Figura 40. Propiedades Ópticas en Películas de Np 's de EPS:
(a) Película con 20% de MI; (b) Película 10% de MI*

Sin embargo, se ha descubierto por Steward, Hearn & Wilkinson (2000) que la morfología de la MFFT depende del grosor de la película, capas delgadas y blandas en núcleos duros que requieren temperaturas de secado más altas que capas blandas y gruesas debido a la necesidad de deformar el núcleo de la primera para formarla, además que una película de bajo contenido de sólidos podría secarse más rápido que una de alto contenido de sólidos a pesar de la menor cantidad de agua sin embargo, alcanza la etapa de difusión controlada es decir cierre de superficie. El papel del agua en la formación de la película de látex es incierto, se dice que actúa como una fuerza impulsora fundamental para promover la deformación de las partículas o simplemente un vehículo conveniente para mantener al polímero pegajoso de baja T_g dispersos en el ambiente antes de la formación de la película.

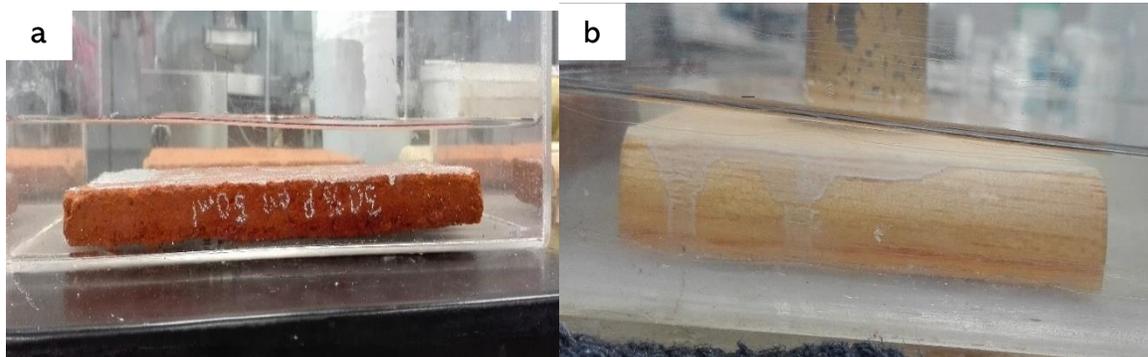


9.4 Películas como recubrimiento de superficies porosas.

Una vez seleccionado el plastificante así como su porcentaje ideal para formar una película con nanopartículas se decidió dar aplicabilidad en el área tecnológica por lo que de acuerdo a la norma ASTM C67 que establece métodos de prueba estándar para muestreo, prueba de ladrillos y baldosas de arcilla estructural, dichas evaluaciones incluyen pruebas de ruptura, resistencia a la compresión, absorción, coeficiente de saturación, efecto de congelación y descongelación, fluorescencia, en donde se siguió el procedimiento para absorción representado en la figura 31 utilizando superficies porosas como ladrillo y madera las cuales además de ser de uso convencional para superficies y paredes resultan ser económicas.

En ambos materiales su calidad es dependiente de su capacidad de absorción, dado que para el ladrillo a mayor porosidad significa menos materiales sólidos por lo tanto la fuerza de este se reduce, una mayor absorción conducirá a otros defectos relacionados con el agua una mayor absorción da como resultado una penetración más profunda del agua que se convierte en una fuente de humedad a largo plazo. La madera como material higroscópico tiene la capacidad de absorber y liberar agua en intercambio con el ambiente, si esta llega a perder el agua de sus paredes celulares (punto de saturación de las fibras) puede sufrir modificación en su estructura generando fisuras, por esta razón se decidió proporcionar una capa protectora a través de la formación película de nanopartículas de poliestireno con la finalidad que los daños anteriormente mencionados disminuyeran para prolongar la vida útil de la superficie haciendo uso de materiales de desecho.

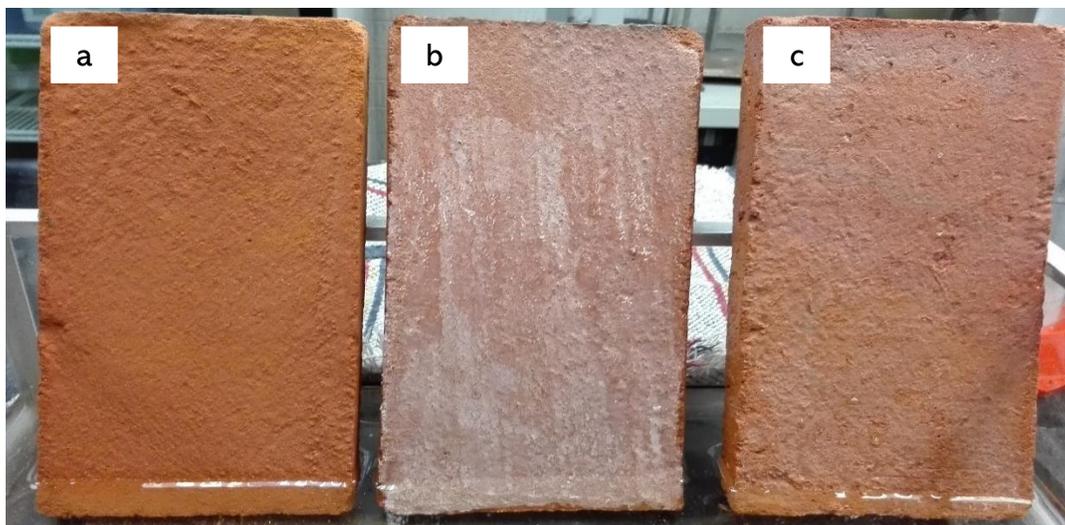
En la figura 41 se muestran los resultados obtenidos referentes a la compatibilidad y adherencia de la película formada en las superficies seleccionadas en donde se obtuvo que para el ladrillo la película permaneció adherida proporcionando repelencia, caso contrario ocurrió con la madera ya que el agua se tornó a un aspecto turbio blanquecino indicativo del desprendimiento de la misma, por lo que se decidió repetir la prueba lijando la superficie para favorecer la adherencia trascurrido el tiempo ocurrió nuevamente el desprendimiento ya mencionado. La madera es una de las superficies de enlace más compleja, aspectos como tensión, compresión aumenta la complejidad de la interacción adhesiva, dicha superficie cuando es joven en compresión y tensión distorsiona la estructura celular de los enlaces y debilitan la región de la interface adhesiva de la madera, el mejor método para preparar una superficie es utilizando tablas muy finas dependiendo de cómo la superficie esté preparada, así como el tipo de madera.



*Figura 41. Evaluación de Superficies:
(a) Sin desprendimiento de película en ladrillo (b) Desprendimiento de película en madera.*

La anti-plastificación es un fenómeno que ocurre en muchos polímeros por la adición de bajos niveles de plastificante, la explicación más aceptada está en que una pequeña cantidad de plastificante por debajo de un nivel de umbral proporciona suficiente volumen libre adicional (lubricación) al sistema para permitir la movilidad limitada de la cadena. (Felton, 2013). El desprendimiento de la película en madera podría ser debido a la anti-plastificación por el carácter liso de la superficie o por la nula adherencia y/o incompatibilidad de la película en la superficie, a su vez podría influir un tiempo de secado más largo dado que la mayoría de los adhesivos comerciales para madera el tiempo de secado total es prolongado.

Otra de las posibles alternativas para la aceptación de la película en madera sería haciendo uso en su forma precomprimida, esta se logra sometiendo a compresión piezas desmenuzadas para reducir su longitud y espesor modificando su tensión residual como consecuencia de esto la superficie se vuelve flexible y más porosa.



*Figura 42. Comparación de películas formadas en ladrillo:
(a) Ladrillo limpio; (b) 20 g de Np's con 20% de plastificante en 50 ml de agua;
(c) 10g de Np's con 20% de plastificante en 100 ml de agua*



Dada la aceptación de la película en el ladrillo se decidió hacer diferentes proporciones en diversos volúmenes para notar la influencia que tiene una de la otra, utilizando 10 g en 100 ml y 20 g en 50 ml manteniendo la misma proporción de plastificante, en donde resulto que para ambos casos la película se formó y la permeabilidad se mantuvo era de esperarse que debido al volumen de agua así como los gramos utilizados, el cambio de concentración se nota visualmente en donde la más concentrada toma un aspecto más opaco mientras que para la más diluida el cambio de color fue mínimo en comparación con el ladrillo limpio (Figura 42), esto influye en la estética del ladrillo sin embargo depende tanto del uso como del criterio del usuario le designe a la superficie.

Además, del análisis visual se cuantifico el porcentaje de humedad, en la figura 43 se muestra los resultados obtenidos en donde se refuerza la afirmación acerca del porcentaje óptimo para la formación de película ya que con el 20% de miristato de isopropilo se obtiene una menor humedad mientras que por arriba de este su adhesión disminuye perjudicando a la película con posibles fracturas y fisuras, cabe destacar que no hay una diferencia significativa respecto al blanco y al que contiene 30% de plastificante dado que resultaron muy similares demostrando la falta de repelencia y en consecuencia el incremento de humedad por arriba del 30%, obteniendo que a mayor contenido de plastificante ocurre una menor absorción de agua. La razón por la que se trabajó con un porcentaje de 30% está en la demostración que por arriba del 20% la película pierde propiedades perjudicando a la superficie recubierta, como también se observó en el análisis de las micrografías de las películas.

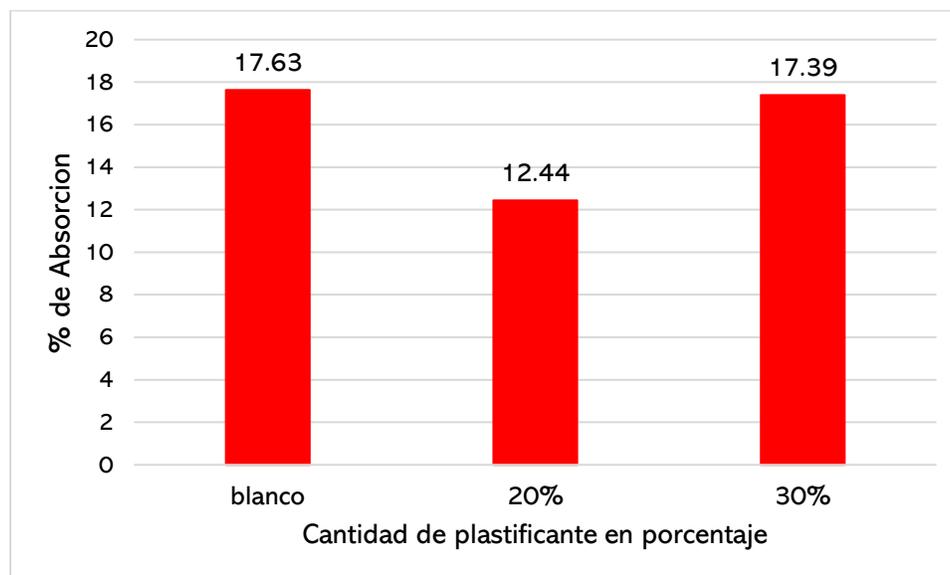


Figura 43. Porcentaje de absorción en ladrillo



Como ya se mencionó con el 20% de miristato de isopropilo el porcentaje de absorción disminuyo generando repelencia en la superficie (figura 43), además de la formación de película dicha repelencia se debe a la naturaleza química del plastificante este es un éster hidrófobo de cadena larga que se usa como componente para la preparación de microemulsiones, la adherencia de la película en el ladrillo está relacionada con el mecanismo de plastificación se basa en la teoría del volumen libre la cual, se puede definir como la diferencia entre el volumen de polímero definido por los radios de Vander Waals y el volumen total ocupado por un polímero esta diferencia es por tanto el volumen asociado con el empaquetamiento de las cadenas de polímero.



Figura 44. Repelencia con Película de EPS en Ladrillo



Por lo que en o por debajo de la T_g , el polímero tendrá un volumen libre limitado debido al movimiento molecular a gran escala y la adición de una pequeña molécula plastificante (con un volumen libre mayor que el polímero es decir una T_g más baja) de tal manera, que aumentará el volumen libre del polímero, disminuyendo así la T_g de la mezcla (Steward et al, 2000).

Al adicionar una película en tamaño nanométrico a una superficie porosa expuesta a la intemperie durante un tiempo prologado crea una capa protectora no solo contra la humedad sino también de algunos otros agentes externos, de modo que se dificulta la penetración en él, así evita la formación de moho, bacterias incluso la acumulación de polvo, a su vez protege al material del desgaste, otras ventajas que pudiera ofrecer dicha película son protección contra el polvo y rayos UV, facilita la limpieza de esta, disminuye su mantenimiento y la más importante alarga la vida útil del material (Naidu et al, 2020). Es importante mencionar que el uso de estas películas sobre superficies involucra un costo beneficio ya que su adición genera un incremento en el valor agregado de esta en un principio sin embargo en un futuro disminuye gastos de reparación y mantenimiento.



9.5 Elaboración de placas de yeso y su impacto como modificador de humedad.

La figura 45 muestra los resultados obtenidos al realizar la cuantificación de la absorción de agua trascurridas 2 horas de sumergimiento en donde se observa que la película funciona mejor como recubrimiento que como parte de mezcla en la placa, ya que el hecho de mezclar la película con yeso en medio acuoso no permitía que esta se formara adecuadamente impidiéndole adherirse y en consecuencia ejercer su acción repelente.

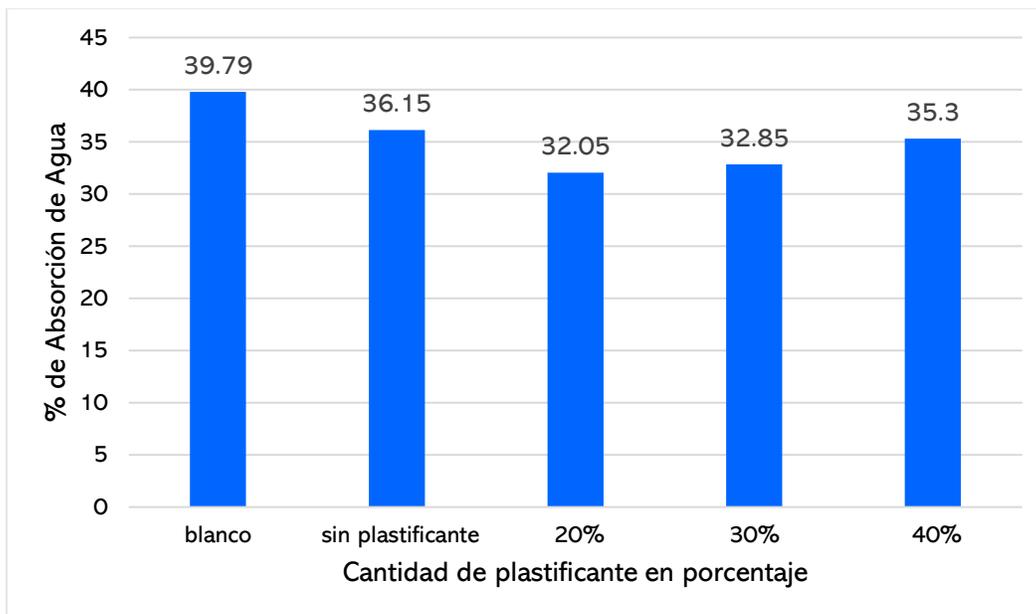


Figura 45. Porcentaje de absorción en placas de yeso

Se esperaba que con la adición de los sistemas nanoparticulados en conjunto con el plastificante para la formación de película, la humedad en la placa disminuyera pero la diferencia no es muy notable, en la figura 46 se observa la superficie de las placas con la variación de proporción previamente mencionada, sumergidas en agua en donde al entrar en contacto comenzó la absorción, en dicha figura cada una de las superficies se observa comportamiento diferente ya que muestra mayor absorción unas de otras así como dilatación de los poros en la misma, se sospechaba que es por la formación de película, sin embargo habrá que considerar la preparación de cada placa a pesar de mantener las condiciones experimentales dado que el grado de absorción de agua del yeso depende de su porosidad y por tanto de su densidad del agua de amasado, el yeso a medida que se aproximan a su peso específico absorbe menos agua y se comportan mejor frente a ella.

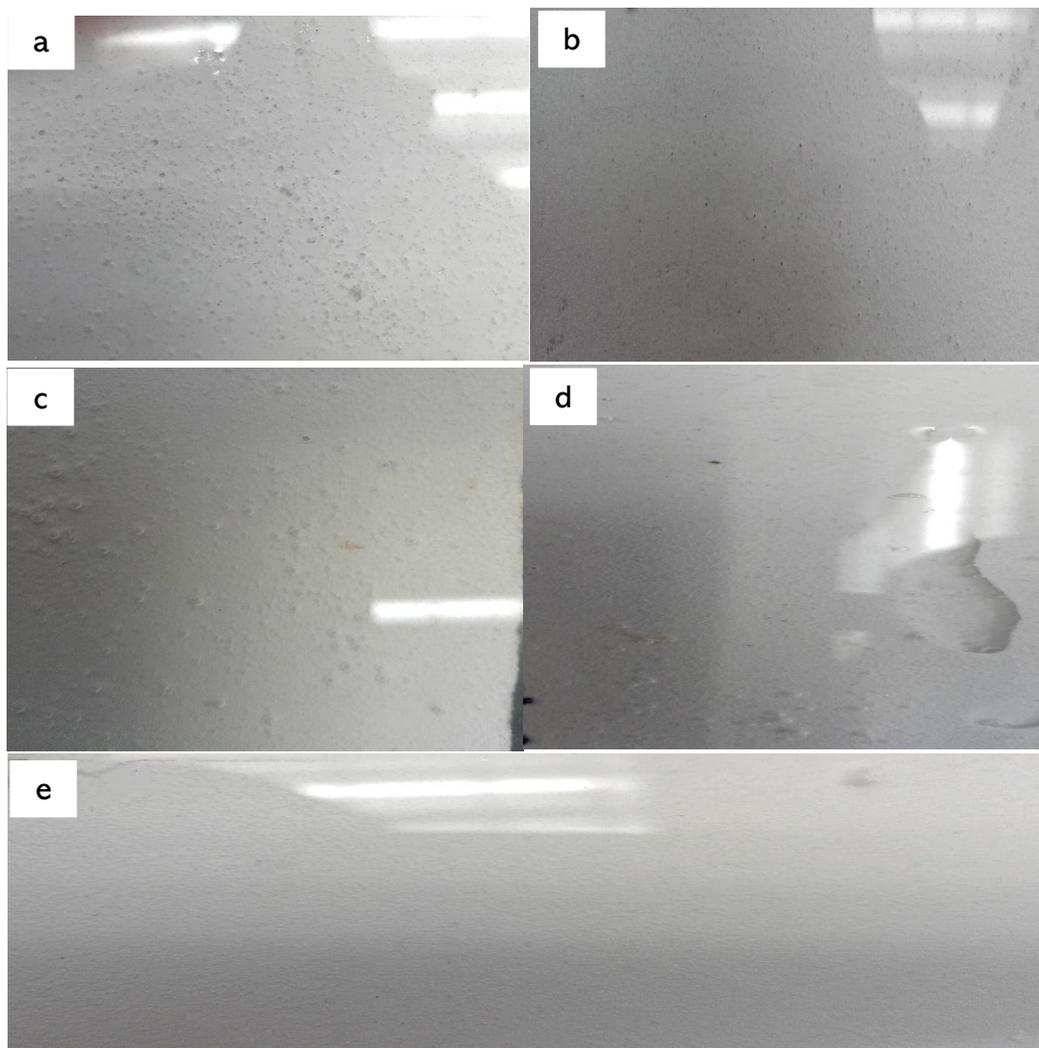


Figura 46. Bloques de Yeso: (a)Blanco; (b) Sin plastificante; (c) 20%; (d) 30%; (e) 40%

El hecho que esta prueba no haya resultado como se esperaba no quiere decir que la protección repelente de las nanopartículas en conjunto con el plastificante no sea eficaz, también está en los inconvenientes que presenta el material utilizado, para el yeso algunas de sus desventajas son: fragilidad, se rompe o fisura con facilidad cuando una fuerza impacta sobre él, también la falta de tenacidad que determina una rotura frágil, la exposición al agua causa alteraciones generando variación dimensional y en consecuencia pérdida de resistencia.

Esta reportado por Sahin & Karaman (2012) consideran que el poliestireno introducido a un bloque de yeso resulta ser más eficiente en su forma expandida ofreciendo mayor durabilidad y resistencia a los bloques aumentando así su efectividad y prolongando el tiempo de vida útil de la placa. En la actualidad, todo tipo de productos de yeso son ampliamente utilizado en el comercio de la construcción, brindando buen rendimiento, apariencia atractiva, fácil aplicación convirtiéndose en un material de acabado popular.



X. CONCLUSIONES.

Se logró el desarrollo de películas mediante sistemas nanoparticulados de poliestireno expandido (EPS) en donde el plastificante óptimo fue miristato de isopropilo en 20% en relación al sedimento (formador de película), el cual debido a su carácter hidrofóbico además de su compatibilidad con el polímero favoreció la formación de película, mostrando una correcta adhesión, secado de 24 horas, uniformidad de superficie (ausencia de huecos), brillo moderado y sin consistencia oleosa, obteniendo propiedades ópticas y aportando flexibilidad en la misma.

Se obtuvieron nanopartículas de poliestireno haciendo uso de la técnica emulsificación-difusión manteniendo las condiciones experimentales óptimas previamente reportadas de tal manera que el sedimento resultante una vez ya caracterizado pudiera ser utilizado para dar aplicabilidad en el área tecnológica.

Al evaluar la funcionalidad de la película aplicada en superficies porosas la que mostro mayor compatibilidad, así como repelencia y en consecuencia disminución de absorción fue el ladrillo de arcilla en donde además de prolongar su vida útil también incrementa el valor agregado de la misma a su vez ofrece protección.

El uso de la película como modificadores de absorción de agua en yeso se obtuvo que incorporado a la mezcla la protección es leve y/o nula y que la aceptación o rechazo de dicha película se debe a la calidad de la superficie, el tipo de poro que contenga, así como el tratamiento previo además de la naturaleza propia de cada superficie a utilizar, factores que influyeron en las otras superficies estudiadas.



XI. PERSPECTIVAS

Amplificar la variedad de plastificantes de diferente naturaleza compatibles con el poliestireno para así conocer cual ofrece mayor repelencia, así como disminución de humedad y absorción.

De forma opcional adicionar a la formulación un colorante que no perjudique la formación de película para así incrementar la estética de la superficie recubierta.

Analizar más a fondo la protección que podría brindar la película de la superficie a otros agentes externos como suciedad, rayos UV, derrames químicos y microorganismos.

Descubrir más aplicaciones en superficies de la formación de película con sistemas nanoparticulados en el área tecnológica como una opción para reducir los desechos del este polímero y así incrementar su tiempo de vida útil.



XII. REFERENCIAS

- Achilias, D & Lappas, A (2015). Chemical Recycling of Polystyrene. *Research Gate*. Vol (1); 1-9.
- ASTM C67 / C67M-20, (2002) Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, ASTM International, West Conshohocken, Recovered from: www.astm.org.
- Asociación Nacional de la Industria Química A.C. (2020). Unicel ¿Qué es? Recuperado de: <https://unicel-aniq.mx/index.html>.
- Beatty L.W., Penboss I. (1993) Film Formation. In: *Surface Coatings*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1220-8_21.
- Bosquez-Molina, E., Guerrero-Legarreta, I., & Vernon-Carter, J. E. (2003). Moisture barrier properties and morphology of mesquite gum–candelilla wax based edible emulsión coatings. *Food Research International*, 36 (9); 885-893.
- Canadian Plastics Industry Association. (2008). Densification of Post-Consumer Expanded Polystyrene. Recovered from: http://biblioteca.anipac.mx/wp-content/uploads/2016/10/0023_Densification_Report_Post_Consumer_EPS.pdf.
- Cole, G; Hogan, J & Aulton, M (2002). *Pharmaceutical Coating Technology*. (1st Edition). USA; Taylor & Francis Inc.
- Doroudiani, S & Omidian, H. (2010). Environmental, health and safety concerns of decorative mouldings made of expanded polystyrene in buildings. *Building and Environment*. 45 (1), 647–654.
- Felton, L. (2013). Mechanisms of polymeric film formation. *International Journal of Pharmaceutics* . 457(2), 423-427.
- Hernández, M. (2018). Desarrollo y Optimización de un Método Basado en la Técnica de Emulsificación-Difusión por Desplazamiento de Solvente para Obtener Nanopartículas de Poliestireno a partir de Material de Reciclaje. Tesis de Maestría, FES Cuautitlán, UNAM.
- Keddie, J & Routh, A. (2010). *Fundamentals of Latex Film Formation Processes and Properties*. New York; Springer.
- Kik, K; Bukowska, B & Sicinska, P. (2020). Polystyrene nanoparticles: Sources, occurrence in the environment, distribution in tissues, accumulation, and toxicity to various organisms. *Environmental Pollution* 262 (1), 1-9.



- Koelmans, A; Besseling, E & Shim,W. (2015) Nanoplastics in the Aquatic Environment Critical Review. En M, Bergmann; L, Gutow & M, Klages (Eds.), Marine Anthropogenic Litter (pp. 325-342). New York; Springer Open.
- Maharana, T; Negi, S & Mohanty, B (2007) Review Article: Recycling of Polystyrene, Polymer-Plastics. Technology and Engineering, 46(7), 729-736.
- Martínez, C & Laínez J. (2013). Poliestireno Expandido (EPS) y su problemática ambiental. División Académica de Ciencias Biológicas Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 19(36), 63-65.
- Makai,A; Kiss,J & Mucsi, G. (2004). The Possibilities of Polystyrene Waste Recicling. Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing. Vol. (1), 1-8.
- National Ready Mixed Concrete Association. (2009). Porous surfaces. Porous surfaces help manage stormwater on site and improve water quality. Recovered from: <https://www.washtenaw.org/DocumentCenter/View/2843/Porous-Surfaces-PDF?bidId=>.
- Naidu, A; Dindab, S; Radhika, B. (2020). Scientific and engineering aspects of potential applications of post-consumer (waste) expanded polystyrene: A review. Process Safety and Environmental Protection, 137 (1) ,140–148.
- Piñon, E; Llera, V; Leyva, G; Urban, Z; Mendoza, N & Quintanar, D. (2018). The emulsification-diffusion method to obtain polymeric nanoparticles: Two decades of research. En A,Grumezescu, (Eds.). Nanoscale Fabrication, Optimization, Scale-up and Biological Aspects of Pharmaceutical Nanotechnology. (1st Edition). (pp. 51-83). Elsevier.
- Poletto,M; Ornaghi, H & Zattera, A. (2014). Expanded Polystyrene: Thermo-Mechanical Recycling, Characterization and Application. En C, Lynwood, (Eds.). Polystyrene Synthesis, Characteristics and Applications (pp. 54-74) New York; Nova Science Publisher.
- Quintanar-Guerrero, D; Alleman, E; Doelker,E & Fessi, H. (1997). A mechanistic study of the formation of polymer nanoparticles by the emulsification-diffusion technique. Colloid and Polymer Science, 25(7), 640-647.
- Quintanar-Guerrero, D., Allémann, E., Fessi, H., & Doelker, E. (1998). Preparation Techniques and Mechanisms of Formation of Biodegradable Nanoparticles from Preformed Polymers. Drug Development and Industrial Pharmacy, 24 (12), 1113-1128.



- Quintanar-Guerrero, D; Alleman, E; Doelker, E & Fessi, H. (1999). Pseudolatex preparation using a novel emulsion-difusión process involving direct displacement of partially water-miscible solvents by distillation. *International Journal of Pharmaceutics*, 188 (1), 155-164.
- Raffa, P. (2014). Polystyrene-Based Amphiphilic Block Copolymers: Synthesis, Properties and Applications. En C, Lynwood, (Eds.). *Polystyrene Synthesis, Characteristics and Applications* (pp. 32-52) New York; Nova Science Publisher.
- Sahin, S & Karaman, S. (2012). The Properties of Expanded Polystyrene - Pumice - Gypsum Blocks as a Building Material. *Tekirdag Ziraat Fakültesi Dergisi Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 9(1); 51-56.
- Satterthwaite, K. (2017). Plastics Based on Styrene. En M, Gilbert. (Eds.). *Brydson's Plastics Materials*. (pp. 312-328). Butterworth-Heinemann; Elsevier.
- Shen, M; Zhang, Y; Zhu, Y; Song, B; Zeng, G; Hu, D; Wen, X & Ren, X. (2019). Recent advances in toxicological research of nanoplastics in the environment: A review. *Environmental Pollution* 252 (1), 511-521.
- Steward, P; Hearn, J & Wilkinson, M. (2000). An overview of polymer latex film formation and properties. *Advances in Colloid and Interface Science* 86 (1); 195-267.
- Urrejola, M; Soto, L; Zumarán, C; Peñaloza, J; Álvarez, B; Fuentevilla, I & Ziyad, H. (2018). Sistemas de Nanopartículas Poliméricas II: Estructura, Métodos de Elaboración, Características, Propiedades, Biofuncionalización y Tecnologías de Auto-Ensamblaje Capa por Capa (Layer-by-Layer Self-Assembly). *Int. J. Morphol.*, 36(4):1463-1471.
- Wypych, G (2012). *Handbook of Polymers*. (2nd Edition). Toronto; ChemTec Publishing
- Wypych, G. (2017). *Handbook of Plasticizers* (3rd Edition). Toronto; ChemTec Publishing.