

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS



**EVALUACION TECNICA DE ALTERNATIVAS DE
RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

PRESENTADO POR:

ENMA ARACELY ARRIOLA LARA

FIDEL ERNESTO VELÁSQUEZ MARTELL

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2013

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

DIRECTOR :

Mtra. INGA. TANIA TORRES RIVERA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO QUÍMICO

Título :

**EVALUACION TECNICA DE ALTERNATIVAS DE
RECICLAJE DE POLIESTIRO EXPANDIDO (EPS)**

Presentado por :

**ENMA ARACELY ARRIOLA LARA
FIDEL ERNESTO VELÁSQUEZ MARTELL**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. MIGUEL FRANCISCO ARÉVALO MARTÍNEZ

San Salvador, Agosto de 2013

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. MIGUEL FRANCISCO ARÉVALO MARTÍNEZ

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad de El Salvador**, que nos abrió las puertas del conocimiento de la educación superior con su gran prestigio y calidad educativa, para formarnos como ingenieros químicos profesionales y ser productivos para la sociedad.

A la **Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos y su personal docente**, por el aporte de sus conocimientos, dedicación, paciencia y esmero para poder culminar nuestros estudios profesionales.

A nuestro asesor **Ing. Miguel Francisco Arévalo** quien creyó en este proyecto y nos apoyó en todo momento que necesitábamos de sus asesorías, aportándonos su experiencia, consejos y observaciones para el desarrollo y finalización del trabajo de graduación. Estaremos siempre agradecidos por su apoyo.

Al **Ing. Edwin Alvarenga** que de no ser por su apoyo profesional este proyecto no hubiese caminado de manera correcta hasta su culminación. Que nos apoyó en todo momento y siempre estuvo a la disposición de nosotros para compartir sus conocimientos, aportando sus ideas y quien nos facilitó las instalaciones para poder llevar a cabo las pruebas experimentales. Estaremos siempre agradecidos por su apoyo.

A la **Ing. Delmy del Carmen Rico Peña** quien con su profesionalidad nos apoyó a lo largo de la carrera quien estuvo pendiente del desarrollo de este proyecto y que con sus consejos tan invaluable nos supo orientar en todo momento de nuestra carrera profesional.

DEDICATORIA

Al finalizar esta etapa de estudiante de la carrera de Ingeniería Química que es uno de los grandes proyectos de mi vida, me siento lleno de satisfacción y me da mucha alegría haber compartido tantos momentos buenos y malos con tantas personas que han marcado mi vida y que siempre recordaré, que me apoyaron en los momentos difíciles y me empujaron para seguir adelante este proyecto.

A Dios, que siempre está presente en mi vida, que es un guía espiritual y que sé que ha puesto ángeles a mi lado para apoyarme en todo momento, incluso en los momentos más difíciles de la carrera y de mi vida.

A mi familia, que vivieron conmigo cada momento a lo largo de la carrera apoyándome siempre con sus consejos. A mi mamá **Elena del Carmen Martell** quien ha sido un ejemplo de vida a seguir, a quien le debo todo mi desarrollo y para quien no me alcanzan palabras para expresar cuan agradecido y feliz estoy de que ella esté a mi lado, a mi papá **Guillermo Ernesto Velásquez Galicia (QDP)** a quien toda mi vida lo llevo en mi corazón quien sé que está orgulloso de mi y es un ángel y ejemplo a seguir que sé que siempre cuida de mi familia. A mis hermanos **Guillermo Ernesto Velásquez y Sergio Miguel Velásquez** quienes han compartido a mi lado todas las experiencias y han sido confidentes de todas mis aventuras y desventuras a lo largo de mi vida. A mi abuelita **Elena del Carmen Salazar** que siempre prestó oído y estuvo pendiente a lo largo del desarrollo de la carrera para poder ver culminado este objetivo. Los amo a todos.

A mis amigos y compañeros, con quienes compartí tantas desveladas, tantas angustias, tristezas, desencantos y por supuesto buenos momentos, alegrías, risas, éxitos; con ustedes he sabido lo que es una verdadera amistad que en las buenas y en la malas podemos contar el uno con el otro especialmente a **Luz Majano, Ingrid Rodríguez, Rocío Martínez, Andrea García, Lily, Gerson Romero** me llenan de gratos recuerdos y siempre los llevo en el corazón.

A Enma Aracely, mi compañera y amiga de trabajo de graduación, solo ella sabe lo difícil que ha sido superar esta etapa de nuestra vida, con quien compartí enojos, desacuerdos, angustias, alegrías, cansancios, desveladas pero que a pesar de todo y con ayuda de Dios logramos superar todos los obstáculos y poder ver finalizada esta etapa de estudio profesional.

Al Ing. Miguel Francisco Arévalo e Ing. Edwin Alvarenga, que confiaron en el proyecto y nos apoyaron a lo largo del desarrollo del trabajo y de las pruebas hechas, quienes con sus conocimientos hicieron más integral el trabajo, sin el apoyo de ellos esto no hubiera sido posible estaré siempre agradecido por creer en nosotros.

A mis maestros, que con sus conocimientos nos guiaron a lo largo de toda la carrera para poder generar profesionales competitivos y que siempre se tomaron momentos de su tiempo para orientarnos incluso cuando ya no era su obligación demostrando gran profesionalidad. **Inga. Delmy Rico, Inga. Tania Torres, Inga. Eugenia Gamero** gracias por compartir todos sus conocimientos.

Se cierra una etapa de mi vida que ha durado 8 años pero me siento lleno de orgullo haberla culminado y me llevo siempre lo bonito de cada experiencia vivida a lo largo de esta etapa, de los errores y malos momentos hay que saber aprender y madurar para intentar no repetirlos. Ahora toca defender mis conocimientos adquiridos y poner en alto la carrera de Ingeniería Química y la Universidad de El Salvador.

Fidel Ernesto Velásquez Martell

DEDICATORIA

Finalmente puedo ver cumplido uno de mis grandes objetivos y sueños al concluir esta etapa de mi vida la cual ha sido increíble desde el primer momento hasta su final por tantos momentos alegres y difíciles donde siempre Dios puso un ángel para dar una palabra de ánimo, un abrazo e impulsarme a seguir adelante en este proyecto.

Doy gracias infinitas a **Dios** por su respaldo en todo momento, en cada decisión, por darme la sabiduría e inteligencia necesaria para vencer cada obstáculo presentado en mi vida tanto profesional como personal, por llevarme siempre de la mano por el camino correcto y demostrarme que confía en mí y darme la FE necesaria para llegar hasta donde él quiere que llegue.

A mi Familia por ser siempre un apoyo en todo momento principalmente a mi papi **Fredy Luis Arriola** y mami **Aracely Lara de Arriola** por el apoyo económico y por cada consejo, regaño a lo largo de este camino, a mis hermanos **Cristian Arriola** y **Josué Arriola** por estar siempre pendiente de mi directa e indirectamente, a mi abuela **Nieves Lara** quien siempre fue mi consuelo y se dedicó a animarme con sus palabras y desde el cielo está compartiendo este logro conmigo.

A mis amigos por soportar siempre mi carácter, enojos, cambios de ánimo etc. en especial a **Aida Ramos, Mario Almendarez, Olga Amador, Claudia Machuca, Jaime Domínguez, Sara Barbón, David Canjura**, a “La Familia” por ser siempre un pilar en mi vida. A todos y cada una de las personas que estuvieron conmigo en cada situación dentro de la UES a ustedes que compartieron alegrías, tristezas, desvelos, enojos, pleitos, que supieron entender y compartir todos y cada uno de los escenarios que se presentaron en este lugar que llegó a ser nuestra casa la Universidad y que es necesario mencionarlos por el papel tan importante que jugaron en mi vida, ustedes mis compañeros de carrera y de andadas Luz Benítez, Rocío Flores, Laura Rivera, Marcia Calderón, Sara López, Andrea Meneses, Chiri, David Galicia, Oscar Sánchez, Marie Elena Mejía.

A mi jefe **Raúl Cideos** por su apoyo incondicional y accesibilidad en cuanto a mis horarios de trabajo, a mis amigas **Sara Ramos** y **Glenda Escamilla** por cada consejo y apoyo, impulsándome siempre a seguir adelante, a mi estimado compañero **Adán Renderos** quien siempre fue una influencia y ejemplo para seguir adelante en vida profesional y personal.

A **René Mejía** por todo su amor y comprensión por siempre acompañarme en cada desvelo por ser el apoyo idóneo en cada momento por compartir mis tristezas y alegrías por siempre hacerme reír y llenar mi mundo de alegría.

Al **Ing. Miguel Francisco Arévalo** e **Ing. Edwin Alvarenga** por el apoyo y participación en este trabajo brindando siempre su ayuda, tiempo, consejos a lo largo de cada etapa del proyecto, quienes creyeron en el proyecto y respaldaron el mismo.

A **mis Maestros** de la Escuela de Ingeniería Química en especial a la **Inga. Delmy Rico Peña, Inga. Tania Torres, Inga. Cecilia de Flamenco, Inga. Noemí Laínez, Inga. Eugenia Gamero** por transmitir y compartir todo y cada uno de sus conocimientos, por cada consejo y por el apoyo a lo largo de mi carrera.

A mi amigo, compañero y colega **Fidel Velásquez** con quien hemos logrado finalmente concluir este trabajo que nos llevó a vivir juntos muchos momentos de alegría, tristezas, enojos, regaños, decepciones y demás, logrando siempre salir adelante ya que se nos fue difícil este camino por diversas situaciones donde solo Dios nos dió la fuerza para seguir siempre con la frente en alto.

Doy gracias a Dios por concluir de la mejor manera este período de mi vida la cual es el inicio de muchas y mejores nuevas oportunidades de crecimiento profesional.

Enma Aracely Arriola Lara

RESUMEN

El poliestireno expandido mejor conocido como “durapax” en El Salvador es un material ampliamente utilizado, cuya vida útil es muy corta ya que solo se utiliza una vez para servir comida o como material protector de equipos eléctricos entre otros, debido a esto la generación de desechos de este material es muy grande a los cuales no se les da ningún tipo de tratamiento para su disposición final o de reciclaje.

Es importante ampliar nuestros conocimientos sobre este material, conocer sus propiedades físicas y químicas, y del análisis del ciclo de vida es posible entender cuál es todo su proceso de producción e identificar su disposición final. Además por medio de estudios realizados anteriormente y con el conocimiento de datos de producción de desechos a nivel nacional fue posible generar un cálculo para obtener una proyección de la cantidad de Poliestireno Expandido (EPS) generado a nivel de El Salvador, San Salvador y de la Universidad de El Salvador.

Teniendo el conocimiento de la cantidad de desecho de EPS y entendiendo el peligro que este material representa para la especie marina (ya que hay animales marinos que confunden las perlas de EPS con alimento y estos lo ingieren y mueren) resulta necesario analizar alternativas de reciclaje para poder obtener una segunda vida útil y darle un aprovechamiento a este material que ocupa un gran volumen del total de desechos producidos.

El EPS es un material bastante sensible a los solventes orgánicos lo que hace que una prueba de obtención de adhesivo o barniz a partir de disolventes orgánicos sea válido para realizar una investigación para evaluar el comportamiento de este frente a diferentes solventes orgánicos. Obteniendo curvas de viscosidad (que determina el tipo de adhesivo y su forma de aplicación) versus concentración de EPS a diferentes solventes y así mismo obtener cuál de todos los solventes y concentraciones es la que determina mejor capacidad de adhesividad; haciendo un análisis de tiempo de secado versus adhesividad también es posible obtener el

mejor tiempo de aplicación del adhesivo obtenido a partir de Poliestireno Expandido. La validación del producto obtenido para su uso como barniz fue proporcionada por parte de empresas especializadas en la elaboración de este tipo de producto y las evaluaciones hechas a las diferentes mezclas puede darse por aceptado para su utilización como barniz según los estándares de calidad.

El uso de solventes para la elaboración de adhesivos o barnices presenta un riesgo que tiene que ser evaluado y tomado en cuenta para el desarrollo de una planta productora de adhesivo a partir de EPS. Así mismo, la realización de un análisis económico tomando en cuenta las importaciones, exportaciones y demanda de adhesivo a nivel nacional para conocer el mercado y su comportamiento, así como también realizar un análisis de los costos de maquinaria y equipo, costos de instalación de planta, costos de inversión inicial para el montaje de una planta, tomando en cuenta los costos de producción y buscando una ganancia del 40% sobre el costo de producción, se puede hacer un análisis donde se determinará si la puesta en marcha de una planta productora de adhesivo a partir de EPS resulta rentable con el paso de los años y generará retorno de la inversión inicial lo que daría por sentado la viabilidad de un proyecto de una planta de reciclaje de Poliestireno Expandido contribuyendo de esta manera a la reducción del impacto ambiental que este genera como desecho sin tratamiento.

INDICE

SIGLAS	1
INTRODUCCIÓN	4
1. GENERALIDADES DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	6
1.1 Generalidades del Poliestireno Expandido (EPS).	6
1.2 Historia del EPS.	9
1.3 Propiedades Físicas y Químicas del EPS.	10
1.3.1 Propiedades Físicas del EPS.	10
1.3.2 Propiedades Químicas del EPS.	13
1.3.3 Propiedades biológicas del EPS.	14
1.3.4 Comportamiento frente al fuego.	15
1.4 Aplicaciones del EPS.	15
1.4.1 Otros usos del EPS.	21
1.5 Ventajas y desventajas del EPS en diversos productos.....	22
1.6 Procesos de Transformación del EPS.....	23
1.7 Estadísticas comerciales del EPS en El Salvador.	24
1.8 Mercado del EPS en El Salvador.	29
1.8.1 La industria de EPS en El Salvador.....	29
1.9 Estireno.	31
1.9.1 Obtención del Estireno.	31
1.9.2 Propiedades físicas del Estireno.	34
1.9.3 Propiedades Químicas del Estireno.	35
1.9.4 Usos y aplicaciones de Estireno.....	36
1.9.5 Industria del Estireno.....	37

1.10 Obtención del EPS.	37
1.10.1 Polimerización del Estireno.	39
1.10.2 Pre-expansión.	40
1.10.3 Reposo intermedio y estabilización.	41
1.10.4 Expansión y moldeo final.....	41
2. DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA E IMPACTO AMBIENTAL DEL EPS.	43
2.1 Definición del análisis de ciclo de vida (ACV).....	44
2.1.1 Análisis Ciclo de Vida del Poliestireno Expandido (EPS).	45
2.1.2 Desarrollo del ACV del EPS.	51
2.2.1 Gestión actual de residuos de EPS en El Salvador.....	70
2.3 Impacto Ambiental.....	73
2.4.1 Proyección de datos y obtención de volúmenes generados de Poliestireno Expandido a nivel de El Salvador, San Salvador y Campus Universitario de la Universidad de El Salvador.....	83
2.4.2 Situación y análisis de datos de consumo y desechos generados de recipientes de Poliestireno Expandido en las cafeterías de la Universidad de El Salvador.	85
2.5 Disposición Final de EPS.	93
2.6 Alternativas Actuales de Reciclaje.	95
2.6.1 Experiencias internacionales en el reciclaje del Poliestireno expandido.	100
3. PRUEBAS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE RECICLAJE DE EPS	102
3.1 Recolección y muestreo de EPS post consumo en Universidad de El Salvador.	102
3.2 Pruebas con disolventes orgánicos para obtención de adhesivos.	108

3.2.1	Diseño experimental para la validación en la obtención de adhesivo a partir de Poliestireno Expandido (durapax) reciclado.	110
3.2.2	Pruebas preliminares de disolución de durapax en butil acetato.....	111
3.2.3	Prueba de disolución con butil acetato 100%.....	116
3.2.4	Prueba de disolución con etil acetato 100%.....	118
3.2.5	Prueba de disolución con metil isobutil cetona (MIBK) 100%.....	120
3.2.6	Prueba de disolución con mezcla de disolventes 70% etil acetato y 30% butil acetato.....	122
3.2.7	Prueba de disolución con mezcla de disolventes 70% etil acetato y 30% metil isobutil cetona (MIBK).....	124
3.2.8	Prueba de disolución con mezcla de disolventes 60% butil acetato y 40% metil isobutil cetona (MIBK).....	125
3.2.9	Análisis de datos obtenidos en las pruebas de disolución de Poliestireno Expandido.	127
3.2.10	Prueba de tensión (Pull Test) para los diferentes solventes.....	133
3.2.11	Validación de etil acetato 100% como adhesivo a partir de material reciclado.....	139
3.3	Validación de muestras obtenidas en laboratorio para su utilización como barniz comercial.	144
3.3.1	Método de determinación de dureza en barniz.	145
3.3.2	Medición de brillo del barniz.....	147
4.	DETERMINACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE RECICLAJE DEL EPS.	150
4.1	Propiedades de los diferentes solventes utilizados en alternativas de reciclaje para EPS.....	151
4.2	Alternativas de reciclaje y su factibilidad.	155
4.3	Impacto ambiental.	157

5. DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PRODUCTORA DE ADHESIVO A PARTIR DE EPS.	168
5.1 Análisis de mercado.	180
5.2 Diagrama de flujo de proceso.....	182
5.3 Balance de Materia.....	184
5.4 Evaluación económica.....	186
5.4.1 Maquinaria y equipo.	187
5.4.2 Análisis de costos.....	193
5.4.3 Ingresos económicos de la planta.	200
5.4.4 Análisis de rentabilidad.....	201
CONCLUSIONES.....	203
RECOMENDACIONES.	205
REFERENCIAS.....	206
GLOSARIO.....	210
ANEXOS	211

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1-1. Cualidades del EPS.....	8
Cuadro 1-2. Propiedades físicas del EPS.	11
Cuadro 1-3. Estabilidad química del EPS.	13
Cuadro 1-4. Resistencia de los diferentes EPS a los agentes químicos.	14
Cuadro 1-5. Aplicaciones del EPS.	16
Cuadro 1-6. Ventajas y Propiedades del EPS y su uso en diversos productos.....	22
Cuadro 1-7. Aplicaciones del EPS según el método de transformación.	24
Cuadro 1-8. Listado de empresas exportadores de poliestireno expandido registrados en CIEX El Salvador, período 2003-2012.....	30
Cuadro 1-9. Propiedades físicas del estireno.....	35
Cuadro 1-10. Mayores importadores de estireno, 2007-2010.	37
Cuadro 2-1. Actores identificados por etapa de ciclo de vida.....	53
Cuadro 2-2. Tipo de peligros por exposición al estireno.	55
Cuadro 2-3. Peligros identificados por etapas del CV del EPS.	55
Cuadro 2-4. Personas, áreas y bienes vulnerables en caso de accidente.	57
Cuadro 2-5. Escenario de accidentes potenciales.	58
Cuadro 2-6. Asignación de severidad de las diferentes etapas de Ciclo de Vida del EPS.....	59
Cuadro 2-7. Frecuencia de los posibles accidentes identificados en cada etapa del ciclo de vida.....	60
Cuadro 2-8. Etapas del Ciclo de Vida del EPS con el factor de frecuencia/severidad de posibles accidentes.	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Datos de importación de EPS del 2000 al 2005.....	26
Tabla 1-2. Datos de importación del EPS del 2006 al 2011.....	26
Tabla 1-3. Datos de importación del EPS año 2012.....	26
Tabla 1-4. Datos de exportación en kg de EPS registradas en el CIEX 2003-2012.	27
Tabla 1-5. Datos de exportación en US\$ de EPS registrados en el CIEX.....	28
Tabla 2-1. Requerimiento de energía por categoría de proceso de producción....	48
Tabla 2-2. Emisiones ambientales producidas por la producción de Poliestireno Expandido.	50
Tabla 2-3. Total de kg consumidos por los 10 hogares de cada clasificación de los residuos sólidos.....	76
Tabla 2-4. Clasificación de los desechos sólidos y el consumo per cápita.	80
Tabla 2-5. Consumo por persona por mes y año de diferentes materiales de EPS.	82
Tabla 2-6 Resumen de datos del consumo y volumen ocupado de residuos de EPS a nivel de El Salvador, San Salvador y la UES.	92
Tabla 3-1. Resumen de clasificación de muestras de durapax.....	107
Tabla 3-2. Comportamiento del durapax frente a diferentes disolventes	108
Tabla 3-3. Resultados de mediciones de viscosidad en solución de butil acetato.	114
Tabla 3-4 Formato de interacción de concentración de durapax con diferentes disolventes.	116
Tabla 3-5. Resultados de viscosidad a diferentes concentraciones en solución de butil acetato 100%.....	117
Tabla 3-6. Resumen de datos de viscosidad en solución con etil acetato 100%.	119
Tabla 3-7. Resumen de datos de viscosidad en solución con MIBK 100%.	120
Tabla 3-8. Medición de viscosidad en mezcla de etil acetato y butil acetato.....	122
Tabla 3-9. Medición de viscosidad en mezcla de etil acetato y MIBK.	124

Tabla 3-10. Medición de viscosidad en mezcla de butil acetato y MIBK.	126
Tabla 3-11. Resumen de datos obtenidos de la influencia de la concentración y los disolventes.	127
Tabla 3-12. Resultados statgraphics de los efectos de la concentración y solvente sobre la viscosidad.	128
Tabla 3-13. Medición final de viscosidad.	130
Tabla 3-14. Resumen de valores de porcentaje de sólidos para diferentes soluciones de durapax y solvente.	132
Tabla 3-15. Formato de interacción de diferentes solventes con diferentes tiempos de secado.	134
Tabla 3-16. Tensión medida en lbf/plg ² en tensiómetro Monsanto.	136
Tabla 3-17. Resultados del Análisis estadístico mediante “statgraphics”.	137
Tabla 3-18 Medición de viscosidad en solución etil acetato 100%.	141
Tabla 3-19. Porcentaje de sólidos disueltos en solución de etil acetato.	143
Tabla 3-20. Codificación de muestras.	144
Tabla 3- 21. Normalización de geometrías.	148
Tabla 3-22. Normas aplicadas a la medición de brillo en superficies.	148
Tabla 3-23. Resultados de pruebas de dureza y brillo.	149
Tabla 4-1. Propiedades del acetato de etilo.	151
Tabla 4-2. Aspectos relacionados con la seguridad en el manejo del acetato de etilo.	151
Tabla 4-3. Datos Importantes del acetato de etilo.	152
Tabla 4-4. Propiedades del metil isobutil cetona (MIBK).	153
Tabla 4-5. Aspectos relacionados con la seguridad en el manejo del metil isobutil cetona (MIBK).	153
Tabla 4-6. Propiedades del butil acetato.	153
Tabla 4-7. Aspectos relacionados con la seguridad en el manejo del butil acetato.	154
Tabla 4-8. Datos importantes del butil acetato.	155
Tabla 4-9. Emisiones procedentes del uso de disolventes en la industria en Europa.	158

Tabla 4-10. Riesgo a largo plazo de los principales disolventes orgánicos de utilización industrial.	160
Tabla 4-11. Sustitución de disolventes orgánicos.	161
Tabla 4-12. Equipo de seguridad para manipulación de etil acetato.	166
Tabla 5-1. Descripción arancelaria del producto.....	168
Tabla 5-2. Promedio de precios de adhesivos importados hacia El Salvador.	178
Tabla 5-3. Precio promedio de exportaciones.	179
Tabla 5-4. Demanda anual de adhesivo en El Salvador.	179
Tabla 5-5. Cálculo de parámetros para la obtención de demanda de adhesivos.	181
Tabla 5-6. Proyección de consumo de adhesivo hasta el año 2023.	182
Tabla 5-7. Descripción de siglas utilizadas en el proceso.	182
Tabla 5-8. Datos técnicos de máquina lavadora y secadora.	187
Tabla 5-9. Datos técnicos de máquina trituradora A-silo system.....	188
Tabla 5-10. Datos técnicos de mezcladora Maxwell	190
Tabla 5-11. Datos Técnicos de envasadora.....	191
Tabla 5-12. Datos técnicos de equipo de tratamientos de agua residual.	192
Tabla 5-13. Costos de maquinaria.	193
Tabla 5-14. Costos de inversión inicial.....	194
Tabla 5-15. Precios máximos de suministro eléctrico.	195
Tabla 5-16. Costos energéticos de la planta.	196
Tabla 5-17. Plantillas de pago de salarios de personal.	197
Tabla 5-18. Costos de producción en la elaboración de adhesivo a partir de Poliestireno Expandido.....	199
Tabla 5-19. Ingresos por ventas anuales de adhesivo.	201

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Estructura molecular del EPS.	6
Figura 1-2. Diagrama de las diferentes etapas para obtención de estireno.	33
Figura 1-3. Diagrama de recuperación de subproductos en la obtención de estireno.	34
Figura 1-4. Monómero de estireno.	38
Figura 1-5. Reacción para producir EPS.	38
Figura 1-6. Polimerización del Estireno.	40
Figura 2-1. Fases del Análisis de Ciclo de Vida.	45
Figura 2-2. Flujo de desperdicio y utilización de energía en el proceso de producción de Poliestireno expandido “De la cuna a la tumba”.	47
Figura 2-3. Diagrama de flujo de CV del EPS.	52
Figura 2-4. Peligros encontrados en ACV del EPS.	54
Figura 2-5. Factores de riesgo.	61
Figura 2-6. Etapas priorizadas del CV del EPS.	62
Figura 2-7. Gráfico de generación nacional de desechos sólidos.	64
Figura 2-8. Composición de los desechos sólidos en El Salvador en rango de porcentajes.	65
Figura 2-9. Relación de desechos sólidos generados versus la cantidad reciclada o regenerada.	66
Figura 2-10. Relación de plásticos recuperados y plástico generado.	67
Figura 2-11. Beneficios obtenidos en la separación de desechos sólidos.	69
Figura 2-12. Acciones para la sensibilización para el adecuado manejo integral de los desechos sólidos.	71
Figura 2-13. Ciclo sano de materiales.	73
Figura 2-14. Composición de los residuos de PE, según el uso recibido en porcentaje.	75
Figura 2-15. Promedio de consumo de residuos sólidos urbanos.	77
Figura 2-16. Porcentaje de residuos sólidos reciclables excluyendo materia orgánica.	80

Figura 2-17. Clasificación y porcentaje de materiales plásticos reciclables.	81
Figura 2-18. Porcentaje de consumo per capital en kg/persona*año de EPS.	82
Figura 2-19. Marcas de recipientes de durapax preferidas por las cafeterías de la UES.....	86
Figura 2-20 Porcentaje representativo de marcas comerciales distribuidoras de material de EPS	87
Figura 2-21. Lugares de adquisición de productos de durapax.....	87
Figura 2-22. Lugares donde mayormente se adquieren productos de EPS.....	88
Figura 2-23. Tipos de recipientes utilizados para servir los alimentos.	88
Figura 2-24. Porcentaje de recipientes utilizados de EPS para servir alimentos...	89
Figura 2-25. Diferentes tamaños de recipientes de durapax utilizados por las cafeterías de la UES.	89
Figura 2-26. Cantidad de unidades utilizadas de durapax para servir los alimentos UES.....	90
Figura 2-27. Frecuencia de compra de productos de EPS para alimentos	90
Figura 2-28. Porcentajes de frecuencia de compras de material de EPS.	91
Figura 2-29. Manejo actual de Desechos Sólidos.	93
Figura 2-30. Obtención de material de durapax procesado por RODAPES SANTA LUZIA.	97
Figura 2-31. Durapax recolectado usado.	98
Figura 2-32. Extracción de oxígeno del durapax y muestra de pieza posterior al proceso.	98
Figura 2-33. Material picado luego de ser extraído el aire.	99
Figura 2-34. Producto fina, losetas hechas de Poliestireno expandido reciclado..	99
Figura 2-35. Logros de reciclaje de Poliestireno expandido en México, por medio de programa CONCAMIN-NISP.....	101
Figura 3-1. Acumulación de diversos productos de EPS en alrededores de cafetería-UES.....	103
Figura 3-2. Productos de EPS acumulados en alrededores de cafetería-UES. ...	103
Figura 3-3. Utensilios de EPS post consumo en instalaciones de cafetería-UES.	104

Figura 3-4. Obstrucción de alcantarilla por productos de EPS cafetería-UES.....	104
Figura 3-5. Acumulación de productos de EPS alrededores cafetería-UES.	105
Figura 3-6. Desechos de EPS en campus UES.	105
Figura 3-7. Basurero campus UES.....	106
Figura 3-8. Clasificación de muestras de EPS	107
Figura 3-9. Aglomeración de durapax.	109
Figura 3-10. Mezcla de durapax 50% acetato/50% acetona.	109
Figura 3-11. Pesaje de butil acetato.....	112
Figura 3-12. Pesaje de durapax.	112
Figura 3-13. Disolución del durapax en butil acetato.....	113
Figura 3-14. Medición de la viscosidad.	113
Figura 3-15. Adición de durapax.	114
Figura 3-16. Viscosidad versus porcentaje p/p de durapax en solución de butil acetato.	115
Figura 3-17. Comportamiento de la viscosidad frente a la concentración en solución de butil acetato.	118
Figura 3-18. Comportamiento de la viscosidad frente a la concentración en solución de etil acetato.	119
Figura 3-19. Comportamiento de la viscosidad frente a la concentración en solución de MIBK.	121
Figura 3-20. Comportamiento de la viscosidad frente a los cambios de concentración de durapax en solución 70% etil acetato 30% butil acetato.	123
Figura 3-21. Comportamiento de la viscosidad frente a los cambios de concentración de durapax en solución 70% etil acetato 30% MIBK.....	124
Figura 3-22. Comportamiento de la viscosidad frente a los cambios de concentración de durapax en solución 60% butil acetato 40% MIBK.....	126
Figura 3-23. Diagrama de dispersión viscosidad vrs solventes.....	128
Figura 3-24. Interacción de variables por el método ANOVA.	129
Figura 3-25. Mediciones finales de viscosidad.	130
Figura 3-26. Adición y toma de peso de solución en cápsula.	131

Figura 3-27. Colocar las cápsulas en un horno a 105°C por 2 hr aproximadamente.	131
Figura 3-28. Prueba de tensión.	135
Figura 3-29. Tensiómetro.	135
Figura 3-30. Comportamiento de los factores respecto a la variable respuesta..	137
Figura 3-31. Comportamiento de los factores respecto a la variable respuesta..	138
Figura 3-32. Diagrama de dispersión solvente vrs valores de adhesividad.....	138
Figura 3-33. Pesaje de bandejas de durapax recicladas.....	140
Figura 3-34. Disolución de durapax en etil acetato.	140
Figura 3-35. Medición de viscosidad solución etil acetato.....	141
Figura 3-36. Comportamiento de la viscosidad frente a la concentración en solución de etil acetato 100%.....	142
Figura 3-37. Pérdidas de solución en el proceso de obtención de adhesivo a partir de durapax.	143
Figura 3-38. Cápsulas con sólidos disueltos.	144
Figura 3-39. Escala de dureza de lápices.	145
Figura 3-40. Durómetro de lápiz.....	146
Figura 3-41. Medición de la reflexión especular.	147
Figura 3-42. Ángulos de incidencia de la luz.	148
Figura 5-1. Importaciones totales en dólares de adhesivos en el período de 2008 a 2012.....	170
Figura 5-2. Principales países importadores de adhesivos en valores \$.....	171
Figura 5-3. Importaciones totales en kilogramos durante el periodo 2008 a 2012.	172
Figura 5-4. Países importadores en kilogramos hacia El Salvador.	173
Figura 5-5. Exportaciones en valor económico del periodo de 2008 a 2012.	174
Figura 5-6. Exportaciones totales en kilogramos durante el periodo de 2008 a 2012.	175
Figura 5-7. Destino de exportaciones nacionales en el periodo del 2008 a 2012.	176
Figura 5-8. Exportaciones en kilogramos a diferentes países.....	177

Figura 5-9. Demanda anual de adhesivo en El Salvador,	180
Figura 5-10. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de adhesivo	183
Figura 5-11. Diagrama de flujo con relaciones consideradas inicialmente.....	184
Figura 5-12. Diagrama de flujo del proceso.	186
Figura 5-13. Equipo de lavado y secado de EPS reciclado.....	188
Figura 5-14. Máquina A-silo System trituradora de EPS.....	189
Figura 5-15. Mezcladora sólido/líquido.....	189
Figura 5-16. Envasadora de adhesivo.....	191
Figura 5-17. Esquema del funcionamiento del equipo de tratamiento de aguas e imagen de instalación finalizada.....	193

INDICE DE FIGURAS/ANEXOS

Figura 3-4-1. Limpieza y desmontaje de cajas.....	219
Figura 3-4-2.Caja desarmada.....	220
Figura 3-4-3. Aplicación de adhesivo en cajas.....	220
Figura 3-4-4. Caja de cartón con adhesivo en 4 pestañas.....	221
Figura 3-4-5. Montaje de cajas.....	221
Figura 3-4-6. Interior de caja luego de pegar pestañas.....	222
Figura 3-4-7. Cajas al final del proceso.....	222
Figura 3-4-8. Cajas en proceso de secado.....	222
Figura 3-5-1. Certificado de calidad PINSAL.....	223

SIGLAS

AAPE	Asociación Argentina del Poliestireno Expandido
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
ACV	Análisis de Ciclo de Vida
AFFF	Aqueous Film Forming Foam
AFP	Administradora de Fondos de Pensiones
AMSS	Área Metropolitana de San Salvador
ANAPE	Asociación Nacional de Poliestireno Expandido
ANOVA	Analysis of Variance
ASDTR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
ASTM	American Society for Testing and Materials
BASF	Badische Anilinund Soda Fabrik
BB	Beneficio Bruto
BCR	Banco Central de Reserva
BOPP	Polipropileno Biorientado
CCP	Comisión de las Comunidades Europeas
CFC	Clorofluorocarbono
CIEX	Centro de Trámites de Importaciones y Exportaciones
CNPML	Centro Nacional de Producción Más Limpia
CNTQ	Centro Nacional de Tecnología Química
CONCAMIN	Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos
COVs	Compuestos Orgánicos Volátiles
cP	Centipoise
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DIGESTYC	Dirección General de Estadísticas y Censos
Dipsa	Distribuidores y Productores, S.A. de C.V.
DIN	Deutsche Industrie Norm
DMSO	Dimetil Sulfóxido
DELSUR	Distribuidora de Electricidad del Sur, S.A. de C.V.

DEUSEM	Distribuidora Eléctrica de Usulután
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EDESAL	Empresa Distribuidora Eléctrica Salvadoreña
EEO	Empresa Eléctrica de Oriente
EHPM	Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples
EPS	Poliestireno Expandido
EPD	Declaraciones Ambientales de Producto
FOB	Free on Board
IPCS	International Programme on Chemical Safety
ISO	Organización Internacional de Normalización
JIS Z	Japan Industrial Standards
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
MEK	Metil Etil Cetona
MIBK	Metil Isobutil Cetona
MIDS	Manejo Integral de los Desechos Sólidos
MINEC	Ministerio de Economía
N/A	No Aplica
NISP	Asociación Nacional de Poliestireno Expandido
OEL	Occupational Exposure Limit
ONU DI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
PVA	Acetato de Polivinilo
PE	Poliestireno Expandido
PEAD	Poliestireno de Alta Densidad
PET	Tereftalato de Poliestireno
PNMIDS	Programa Nacional de Manejo Integral de los Desechos Sólidos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
POLISA	Polímeros de El Salvador, S.A. de C.V.
PP	Polipropileno
PS	PolyStyrene
QN	QuimiNet
SAN	Estireno Acrilonitrilo

TLV	Threshold Limit Value
UES	Universidad de El Salvador
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
XPS	X-ray Photoelectron Spectroscopy

INTRODUCCIÓN

El Poliestireno expandido (EPS), es un plástico que se obtiene de la polimerización del estireno con relativa facilidad, presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire. Se trata de un material bastante frágil y muy sensible a prácticamente todos los disolventes; es de fácil moldeo por lo que se encuentra presente en gran parte del embalaje de los componentes eléctricos. Los diferentes productos de Poliestireno Expandido son resistentes a la humedad, sales, numerosos tipos de ácidos y a la mayor parte de las grasas.

El EPS es la espuma plástica que se utiliza para empaquetar la comida rápida, en la fabricación de vasos y platos desechables, en la industria de la construcción (como aislante térmico y acústico principalmente). Los productos fabricados con Poliestireno expandido terminan habitualmente en la basura, siendo muy contaminante ya que no se descompone ni se integra a la naturaleza.

El Poliestireno expandido tarda más de 500 años en descomponerse cuando no existe mucha presencia de oxígeno y su utilización es muy común en la sociedad salvadoreña y en los diferentes sectores industriales, comerciales y domiciliarios como utensilios desechables (utilizados comúnmente en cafeterías) así como de empaque y embalaje para protección de equipos electrónicos. Lamentablemente éste suele terminar en botaderos sin tener ningún tratamiento previo o en rellenos sanitarios (que disminuye su vida útil al depositar desechos sin tratamiento).

El desarrollo de alternativas de reciclaje del Poliestireno expandido puede ayudar a contribuir de manera significativa a la disminución de este contaminante y los efectos nocivos que tiene al medio ambiente, especialmente al medio marítimo, al suelo por su lenta degradación y a la contaminación visual.

La definición y análisis de la mejor alternativa de reciclaje además de su evaluación de factibilidad económica y técnica a nivel nacional, puede ser de gran

valor debido a la posibilidad de proyectar un sistema de gestión de tratamiento de EPS disminuyendo así, la contaminación ambiental y proponiendo un beneficio económico del reciclaje de este material.

1. GENERALIDADES DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO.

1.1 Generalidades del Poliestireno Expandido (EPS).

El poliestireno como la gran mayoría de los polímeros termoplásticos, es un derivado de los hidrocarburos (petróleo o gas natural). La gran variedad de tipos que existen, lo convierten en un material muy versátil, apropiado para un amplio número de aplicaciones.

El Poliestireno Expandido (EPS) se define técnicamente: "Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de Poliestireno expandible o uno de sus co-polímeros como se muestra en la figura 1-1, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire". [Javna et al, 2009]

La abreviatura EPS deriva del inglés Expanded PolyStyrene. Este material es conocido también como durapax, Telgopor o Corcho Blanco.

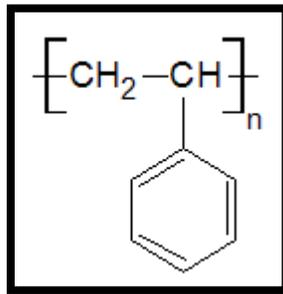


Figura 1-1. Estructura molecular del EPS.
Fuente: [AAPE, 2005].

El EPS es altamente ligero y puede soportar muchas veces su propio peso en el agua debido a que sus celdas no están interconectadas, el calor no atraviesa el EPS con facilidad lo que lo convierte en un buen aislante y es por eso que se utiliza para bandejas de comida, tazas de café, entre otras. Ligereza y gran capacidad de adaptación son las dos características de los envases de EPS que han supuesto un reto en la gestión de sus residuos. [Rose Secrest, s.f.]

A escala industrial, el poliestireno se prepara calentando el etilbenceno en presencia de un catalizador para dar lugar al estireno. La polimerización del estireno requiere la presencia de una pequeña cantidad de un iniciador, entre los que se encuentran los peróxidos, que opera rompiéndose para generar un radical libre. Este se une a una molécula de monómero, formando así otro radical libre más grande, que a su vez se une a otra molécula de monómero y así sucesivamente. Este proceso en cadena finalizará por combinación de dos radicales, sean ambos radicales polímeros o bien radical polímero y otro radical del iniciador, o por atracción de un átomo de hidrógeno de otra molécula. [*Rose Secrest, s.f.*]

Para obtener el EPS se someten los granos de poliestireno a una atmósfera muy disolvente y a una cierta temperatura, con lo que los granos, al absorber el disolvente, aumentan de volumen convirtiéndose en bolitas blandas llamadas "perlas". Si se introducen estas bolitas en un molde y se someten a un rápido calentamiento, la acción conjunta del gas disolvente y el calor provoca la hinchazón de las perlas y la compresión de las mismas dentro del molde hasta adquirir formas poliédricas y colmatar el espacio. Al enfriarse, el poliestireno se ha convertido en un material de constitución globular, elástico y ligero. [*Rose Secrest, s.f.*]

En el cuadro 1-1 se muestran las cualidades del EPS y la descripción de cada una de ellas.

Cuadro 1-1. Cualidades del EPS.

Cualidad	Descripción
Liviano	Contiene hasta un 98% aproximadamente de aire, lo que hace que su peso sea muy bajo.
Estanqueidad	Está formado por celdillas cerradas llenas de aire estancado en su interior. No posee capilaridad alguna.
Aislante térmico	Dado que está formado por aire estanco, (pésimo conductor de calor), en celdillas cerradas, y que el material básico es de escasa conductividad térmica, su coeficiente es de 0.028 kcal/h*m*K, condición por la cual se aplica en un amplio campo térmico, que va desde los -190°C a los +85°C.
Atenuador acústico	El coeficiente de absorción de sonido es una indicación de la eficacia absorbente de sonido de un material (en este caso el EPS), se define como "la relación de la energía que puede absorber una onda de sonido al total de energía que llega" (Durlock, 2010) el mejor valor es 1 y el EPS está en un rango de 0.35 a 0.90.
Buena elasticidad	Gran poder amortiguante.
Resistencia al envejecimiento	Resistencia a hongos o bacterias de putrefacción.
Estabilidad dimensional	A lo largo del tiempo.
Ecológico	No tóxico, inocuo, neutro (se utiliza en alimentación), 100% reciclable.
Difícil inflamabilidad	Aporta una reducidísima carga de fuego por su baja densidad (sólo 2% de plástico). El EPS con retardante de llama es clasificado como "difícilmente inflamable" o "de muy baja propagación de llama". Apto para muros cortafuego. (Se recomienda firmemente que el EPS debiera estar siempre recubierto o encapsulado).

Fuente: Elaboración propia a partir de [Neufert, 1970].

1.2 Historia del EPS.

A finales de 1800, investigadores en la búsqueda de materiales adecuados para hacer capas para el transporte de materiales de vidrio y varios objetos pequeños, explotaron la tendencia natural hacia la polimerización; en el cual dos o más pequeñas moléculas o monómeros se combinan para formar cadenas más largas. Las cadenas moleculares formadas o polímeros compuestos por una estructura repetitiva de unidades de la molécula original. [*Rose Secrest, s.f.*]

El Poliestireno está entre los mejores polímeros sintéticos conocidos (entre otros está el polietileno, polipropileno y el poliéster). El estireno que es un hidrocarburo líquido del cual es hecho el EPS, fue derivado a finales del siglo 19 del bálsamo de estoraque proveniente de un árbol de Asia Menor llamado el “Goma Dulce Oriental”. [*Rose Secrest, s.f.*]

A inicios del siglo 19 los plásticos sintéticos fueron desarrollados a partir de los hidrocarburos cuya estructura permite una fácil polimerización. Las espumas plásticas fueron descubiertas accidentalmente por el Dr. Leo H. Baekeland el químico Americano que desarrolló el primer plástico sintético; Baekeland experimento con fenol (un compuesto ácido) y formaldehído (gas incoloro) mientras trataba de hacer una resina no porosa. Cuando una de sus mezclas inesperadamente empezó a hacerse espuma, Baekeland trató de controlar la formación de espuma antes de darse cuenta de las ventajas de este material. Luego de la muerte de Baekeland en 1944, la primera espuma de poliestireno fue desarrollada, primero fue una espuma de epoxi y poco tiempo después se desarrolló la espuma de Poliestireno. Al inicio fue utilizada principalmente para aislamiento y aparatos de flotación para botes, salvavidas y boyas. Fue hasta cuando el EPS sustituyó al papel y el capoc en cuanto a los empaques naturales que la espuma se volvió popular como es hasta ahora. [*Rose Secrest, s.f.*]

El Poliestireno fue sintetizado por primera vez a nivel industrial en el año 1930. Hacia fines de la década del 50, la firma BASF (Badische Anilinund Soda Fabrik, en español: Fábrica badense de bicarbonato de sodio y anilina, Alemania) por iniciativa del Dr. F. Stastny, desarrolla e inicia la producción de un nuevo producto: Poliestireno expandible, bajo la marca Styropor. Ese mismo año fue utilizado como aislante en una construcción dentro de la misma planta de BASF donde se realizó el descubrimiento. Al cabo de 45 años frente a escribanos y técnicos de distintos institutos europeos, se levantó parte de ese material, y se lo sometió a todas las pruebas y verificaciones posibles. La conclusión fue que el material después de 45 años de utilizado mantenía todas y cada una de sus propiedades intactas. [Textos científicos, 2005 a]

1.3 Propiedades Físicas y Químicas del EPS.

1.3.1 Propiedades Físicas del EPS.

Conocer las propiedades físicas del EPS nos ayudará a tener un amplio criterio del material con el que estamos trabajando, poder determinar también en base a éstas cual será la mejor alternativa de transformación que permita mantener sus propiedades y sacar el mayor provecho y utilidad. En el cuadro 1-2 se muestran en detalle las propiedades físicas del EPS.

Cuadro 1-2. Propiedades físicas del EPS.

Propiedad	Descripción
Densidad	Los productos y artículos acabados en Poliestireno expandido (EPS) se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque resistentes. En función de la aplicación las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10 kg/m ³ hasta los 35 kg/m ³ .
Resistencia Mecánica	<p>La resistencia a los esfuerzos mecánicos de los productos de EPS se evalúan generalmente a través de las siguientes propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Resistencia a la compresión para una deformación del 10%. -Resistencia a la flexión. -Resistencia a la tracción. -Resistencia a la cizalladura o esfuerzo cortante. -Fluencia a compresión.
Calor	El color natural de Poliestireno expandido es blanco, esto se debe a la refracción de la luz.
Tensión de Compresión	Esta propiedad se requiere en los productos de Poliestireno expandido sometidos a carga, como suelos, cubiertas, aislamiento perimetral de muros, etc. en la práctica la deformación del Poliestireno expandido en estas aplicaciones sometidas a carga es muy inferior al 10%.
Comportamiento frente al agua	<p>El Poliestireno expandido no es higroscópico, a diferencia de lo que sucede con otros materiales del sector del aislamiento y embalaje. Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1% y el 3% en volumen.</p> <p>Al contrario de lo que sucede con el agua en estado líquido el vapor de agua sí puede difundirse en el interior de la estructura celular del EPS cuando entre ambos lados del material se establece un gradiente de presiones y temperaturas.</p>

Propiedad	Descripción
Aislamiento Térmico	<p>Los productos y materiales de Poliestireno expandido (EPS) presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. Esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el Poliestireno. Aproximadamente un 98% del volumen del material es aire y únicamente un 2% materia sólida (Poliestireno). De todos es conocido que el aire en reposo es un excelente aislante térmico.</p> <p>La capacidad de aislamiento térmico de un material está definida por su coeficiente de conductividad térmica λ que en el caso de los productos de EPS varía, al igual que las propiedades mecánicas, con la densidad aparente.</p>
Comportamiento frente a factores atmosféricos	<p>La radiación ultravioleta es prácticamente la única que reviste importancia. Bajo la acción prolongada de la luz UV, la superficie del EPS amarillea y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran erosionarla. Debido a que estos efectos sólo se muestran tras la exposición prolongada a la radiación UV, en el caso de las aplicaciones de envase y embalaje no es objeto de consideración.</p>
Estabilidad frente a la temperatura	<p>El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad sin que sus propiedades se vean afectadas no tiene limitación alguna por el extremo inferior (excepto las variaciones dimensionales por contracción). Con respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100°C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80°C para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 kPa.</p>
Estabilidad dimensional	<p>Los productos de EPS, como todos los materiales, están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica que, para los productos de EPS, es independiente de la densidad y se sitúa entre 0,05 y 0,07 mm por metro de longitud y grado kelvin. A modo de ejemplo una plancha de aislamiento térmico de Poliestireno expandido de 2 metros de longitud y sometida a un salto térmico de 20° C experimentará una variación en su longitud de 2 a 2,8 mm.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de [Textos científicos, 2005 a].

1.3.2 Propiedades Químicas del EPS.

El poliestireno expandido es estable frente a muchos productos químicos. Si se utilizan adhesivos, pinturas disolventes y vapores concentrados de estos productos, hay que esperar un ataque de estas sustancias. En el cuadro 1-3 se detalla más información acerca de la estabilidad química del Poliestireno Expandido. [Textos científicos, 2005 b]

Cuadro 1-3. Estabilidad química del EPS.

Sustancia Activa	Estabilidad
Solución salina/Agua de mar	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Jabones y soluciones de tensioactivos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Lejíjas	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos diluidos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácido clorhídrico (al 35%), ácido nítrico (al 50%)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos concentrados (sin agua) al 100%	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Soluciones alcalinas	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Disolventes orgánicos (acetona, ésteres, etc.)	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Aceite de parafina, vaselina	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie
Aceite de diesel	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Alcoholes (metanol, etanol)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Aceites de silicona	Relativamente estable: en un acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie

Fuente: [Textos científicos, 2005 b].

El EPS presenta diferente resistencia a los agentes químicos esto dependiendo del tipo de EPS que estemos manejando, como se muestra en el cuadro 1-4 los diferentes tipos de EPS tienen una resistencia Estable (+), Limitadamente Estable (+-) e Inestable (-), según su tipo.

Cuadro 1-4. Resistencia de los diferentes EPS a los agentes químicos.

Agentes	EPS Tipo Standard	EPS Difícilmente Inflamable	EPS Resistente a los Aceites Diesel
Agua	+	+	+
Agua de mar	+	+	+
Ácido Clorhídrico al 36%	+	+	-
Ácido sulfúrico al 95%	+	+	-
Ácido fosfórico al 90%	+	+	-
Ácido nítrico al 68 %	+	+	-
Acido fórmico al 80 %	+	+	-
Ácido acético al 70 %	+	+	-
Hidróxido sódico al 40 %	+	+	+
Hidróxido potásico al 50 %	+	+	+
Agua amoniacal al 25 %	+	+	+
Alcohol metílico	+	+	+
Alcohol etílico	+	+	+ -
Alcohol propílico	+	+	+ -
Bencina para barnices, aceite Diesel	+	+	+ -
Carburante que contiene benceno	-	-	+
Éter acético	-	-	-
Benceno	-	-	-
Tetracloruro de carbono	-	-	-
Éter y disolventes orgánicos	-	-	-

Fuente: [Texto científico, 2005 b].

1.3.3 Propiedades biológicas del EPS.

El poliestireno expandido no constituye sustrato nutritivo alguno para los microorganismos. Es imputrescible, no enmohece y no se descompone. No obstante, en presencia de mucha suciedad el EPS puede hacer de portador de microorganismos, sin participar en el proceso biológico. Tampoco se ve atacado por las bacterias del suelo. Los productos de EPS cumplen con las exigencias sanitarias, con lo que pueden utilizarse con seguridad en la fabricación de artículos de embalaje de alimentos.

1.3.4 Comportamiento frente al fuego.

Las materias primas del Poliestireno expandido son polímeros de estireno que contienen una mezcla de hidrocarburos de bajo punto de ebullición como agente de expansión. Todos ellos son materiales combustibles.

El agente de expansión se volatiliza progresivamente en el proceso de transformación. El 10% residual requiere de una fase de almacenamiento durante un tiempo en función de las especificaciones del producto: dimensiones, densidad, etc. En caso de manipulación de productos sin esta fase de almacenamiento se tomarán medidas de prevención contra incendios.

Al ser expuestos a temperaturas superiores a 100°C, los productos de EPS empiezan a reblandecerse lentamente y se contraen, si aumenta la temperatura se funden. Si continua expuesto al calor durante un cierto tiempo el material fundido emite productos de descomposición gaseosos inflamables.

En ausencia de un foco de ignición los productos de descomposición térmica no se inflaman hasta alcanzar temperaturas del orden de los 400-500°C. [Textos científicos, 2005 b]

1.4 Aplicaciones del EPS.

Las propiedades y características técnicas del Poliestireno expandido permiten que sea destinado a una gran cantidad de aplicaciones. Entre ellas las más comunes son las relacionadas con el aislamiento térmico y la resistencia mecánica, aunque no sería útil para envasar alimentos, sino fuera higiénico e inerte, en el cuadro 1-5 observamos algunas aplicaciones que pueden darse al EPS.

Cuadro 1-5. Aplicaciones del EPS.

Industria	Descripción
Empaque y embalaje	<p>El EPS es un material que por su bajo peso y gran resistencia, es ideal para la fabricación de empaques y embalajes para los diversos productos de la industria electrónica, farmacéutica, manufacturera, química, artesanal, etc.</p> <p>Los empaques de EPS son diseñados para amoldarse perfectamente a la forma del producto, combinando diversas opciones de espesores de pared, densidad y número de refuerzos.</p> <p>Por otra parte, la ligereza del EPS reduce los costos de transporte, mano de obra y gracias a su resistencia elimina las roturas, facilitando el estibado, al poder soportar más de 1000 veces su propio peso. El poder de amortiguamiento del EPS le permite absorber la energía producida por golpes y vibraciones, evitando que el producto empacado se dañe.</p>
Empaque de bebidas	<p>El EPS mantiene las condiciones de temperatura necesarias para la conservación de bebidas como el vino en todo el proceso de distribución, además de evitar roturas debido a su elevada capacidad para amortiguar impactos. Por otro lado, es posible desarrollar en EPS estuches de presentación que realzan la imagen del vino embotellado.</p>
Empaque de helados y pastelería	<p>Los helados y los productos de pastelería contienen ingredientes tan delicados y sensibles a los cambios de temperatura como los huevos o los derivados lácteos, que necesitan un material como el EPS que garantice una protección total, en cuanto a las exigencias higiénicas y de temperatura, para que lleguen al consumidor con todo su sabor y consistencia</p>
Empaque de Muebles	<p>En forma de cantoneras o piezas mayores de protección el EPS permite a los muebles viajar totalmente protegidos frente a golpes o caídas, permitiendo además de nuevo su apilamiento en almacenes.</p>

Industria	Descripción
Alimentos	<p>Los productos que requieren control de temperatura, por ejemplo pescado, pueden ser envasados en EPS ya que sus múltiples celdillas actúan como cámaras de aire independientes aislándolo térmicamente.</p> <p>La posibilidad del EPS de emplearse para la protección, transporte y comercialización de alimentos se debe a que es un material fisiológicamente inocuo, que no favorece el crecimiento de hongos y bacterias que provocan la descomposición orgánica siendo además de olor y sabor neutros.</p> <p>Las máximas garantías de higiene y el mantenimiento de los niveles óptimos de protección térmica son, junto con la posibilidad de apilamiento sin riesgos para la mercancía, las mayores ventajas que los envases y embalajes de EPS ofrecen a los pescados, mariscos y salazones. La versatilidad en el diseño del EPS permite desarrollar envases y embalajes adecuados para pequeñas y grandes porciones de productos cárnicos elaborados o frescos manteniendo las condiciones de higiene. Las frutas y verduras viajan en las mejores condiciones de higiene gracias a los envases y embalajes de EPS, prolongándose su estado de conservación gracias a la excelente protección térmica y mecánica de estos envases, además de soportar sin problemas la acción de la humedad. También son envasados en EPS los quesos y productos lácteos, las bebidas como el vino y los productos de pastelería y helados dados sus exigentes requerimientos de aislamiento térmico.</p>
Empaque de Herramientas y maquinaria	<p>La facilidad de conformado del EPS hace que sea capaz de adaptarse a cualquier forma que una máquina, herramienta o conjunto de herramientas que pueda tener, permitiendo su total protección. El EPS protege también a herramientas o maquinaria metálica de la acción nociva de la humedad dada su gran resistencia a la misma.</p>

Industria	Descripción
Electrodomésticos, electrónica de consumo e informática	<p>A la adaptabilidad de los envases y embalajes de EPS hay que unir el excelente comportamiento en la amortiguación de impactos. Por ello, un televisor, un ordenador, una nevera o cualquier otro producto electrónico o informático de cualquier tamaño tienen en el EPS su mejor aliado para evitar daños durante el transporte.</p> <p>Además el EPS se integra perfectamente en la automatización de la cadena de producción y permite la posibilidad de apilar la mercancía sin problemas, tanto en el almacén como en el punto de venta.</p> <p>Además el EPS puede incorporar aditivos para evitar la excesiva carga electrostática favoreciendo su uso en la industria electrónica.</p>
Empaque de Componentes electrónicos y material eléctrico	La fragilidad de los chips y otros componentes electrónicos o eléctricos exige una sólida protección que ofrece sin ninguna duda el EPS. Gracias al estudiado diseño, los envases de EPS son especialmente aptos para ser utilizados en cadenas de embalaje, transporte y almacenamiento y con la incorporación de ciertos aditivos en su proceso de fabricación la posible acumulación de electricidad estática no supone ningún problema.
Empaque de componentes de automóviles	Usado para el transporte de todo tipo de piezas de automóviles, desde faros a retrovisores, el EPS los protege nuevamente gracias a su resistencia a los impactos y a la humedad
Empaque de Óptica, fotografía y aparatos de precisión	Resulta evidente que los productos del sector de óptica, fotografía y precisión son extremadamente sensibles en su manipulación y durante su transporte. Un microscopio, un objetivo de cámara o una balanza, entre otros, necesitan de un material de envase o embalaje que garantice esta protección. El EPS se convierte entonces en indispensable para muchos de estos productos.
Empaque de juguetes	En esta aplicación es importante el "efecto display" de los envases y embalajes del EPS, capaces de convertirse en buenos expositores de los productos de juguetería. Los envases y embalajes de EPS permiten la manipulación y el transporte sin riesgo para los envases de juguetes protegiéndoles de golpes o caídas.

Industria	Descripción
Empaque de Farmacia, perfumería y cosmética	Los envases y embalajes de EPS garantizan la seguridad de los productos durante el transporte y a su vez se transforman en atractivos "presentadores" de los mismos cuando son colocados en el escaparate o mostrador del punto de venta. Así mismo, el EPS ofrece las garantías de total higiene y aislamiento térmico tan importante en vacunas y otros productos farmacéuticos.
Empaque de horticultura y jardinería	Desde las bandejas para el transporte de plantas, pasando por los semilleros, hasta placas especiales para las instalaciones de calefacción en invernaderos o elementos de cultivo hidropónico, el EPS ofrece una gama de soluciones que abarcan todas las etapas del desarrollo y crecimiento de las plantas, protegiéndolas después durante el transporte hasta su destino final.
Empaque de Materiales de construcción	Diversos materiales de construcción como mármoles, productos cerámicos, accesorios de baño, radiadores, puertas, etc. encuentran en el EPS un perfecto aliado para garantizar su perfecto estado de conservación hasta el momento de la instalación. La versatilidad de formas que permiten los envases y embalajes de EPS hace que se puedan diseñar soluciones adecuadas para cada necesidad.
Construcción	<p>Las aplicaciones que encuentra el EPS en la construcción están relacionadas con características como aislamiento térmico y acústico. Ya sea por ahorro de energía o por confort, el EPS posee características que cumplen muy bien esas funciones.</p> <p>Actualmente en los países de clima templado y tropical existe la tendencia a construir bajo medidas eficientes de aislamiento térmico, ya que el gasto energético para el acondicionamiento de edificios en las temporadas cálidas puede ser equivalente o aún mayor que el gasto energético para la calefacción en invierno.</p> <p>La construcción actual y futura se caracteriza por las exigencias de ahorro energético, y protección contra el ruido y el medio ambiente.</p> <p>El EPS incorpora múltiples soluciones en los sistemas constructivos, tales como aislamiento de fachadas, cubiertas, etc.</p>

Industria	Descripción
Construcción	<p>Las ventajas de utilizar aligerantes EPS en la construcción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proporciona aislamiento térmico. • Ahorro en hormigón. • Proporciona un importante ahorro en acero y hormigón, en pilares y cimientos. • Mejor fraguado del hormigón, ya que el Poliestireno expandido prácticamente no absorbe humedad. • Aumento del rendimiento. <p>Las placas y paneles de aislamiento termo acústico, casetones, bovedillas, se puede utilizar como material aislante alrededor de cualquier construcción, ya sea en el techo, en la fachada o como aislamiento perimétrico en la zona del sótano.</p> <p>Cualidades y propiedades del Poliestireno expandido en la construcción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevada capacidad de aislamiento térmico. • Resistencia mecánica. • Aislamiento acústico. • Casi no absorbe el agua. • Resistencia a la difusión del vapor de agua. • Es ligero. • Muy estable frente a la temperatura. <p>La utilización del Poliestireno expandido en la construcción contribuye de manera importante a llevar a la práctica económicamente el concepto de las construcciones de baja energía.</p>

Industria	Descripción
Construcción	<p>La utilización del Poliestireno Expandido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fachadas • Divisiones interiores • Cielorascos • Entrepisos • Elementos decorativos • Bases para techos <p>La utilización del Poliestireno expandido en la construcción aporta además beneficios medio ambientales principalmente derivados de su función de aislante térmico y por la utilización de un material que lleva implícito un bajo consumo de recursos materiales y energéticos, 100% reciclable sin CFC.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de [Textos científicos, 2005 c] [QN, 2006 a] [QN, 2006 b].

1.4.1 Otros usos del EPS.

Las características del EPS como material permiten fabricar productos ligeros de alta protección que, en un momento determinado, pueden salvar vidas, como son las neveras en que se transportan los órganos humanos destinados a trasplante o elementos de seguridad vial; desde los cascos protectores para ciclistas y motoristas hasta flotadores, salvavidas y planchas de surf.

Moldes especiales de EPS para la elaboración de complicadas piezas de fundición, material preexpandido para rellenos diversos, para componentes de automóvil o sillones, elementos de escaparatismo y decoración que se utilizan en los más variados puntos de venta, y en definitiva cualquier forma, cualquier capricho de la imaginación encuentra en el EPS el soporte perfecto para su realización. Buena muestra de ello son los elementos escénicos que visten los platós de cine y TV y los escenarios de teatros y óperas.

Los ejemplos que hemos mostrado son únicamente un pequeño apunte, una breve muestra de la cantidad de posibilidades que el EPS nos ofrece. Versatilidad, eficacia, seguridad, economía y respeto por el Medio Ambiente son las características esenciales del EPS que consiguen que sea utilizado en las más variadas situaciones. [Aplicaciones diversas, s.f]

1.5 Ventajas y desventajas del EPS en diversos productos.

En el cuadro 1-6 se presenta una relación con los productos en donde se utiliza material de EPS.

Cuadro 1-6. Ventajas y Propiedades del EPS y su uso en diversos productos.

Productos	Ventajas	Propiedades
Cajas apilables de alimentos. Embalaje de mercadería pesada	Embalajes resistentes a la presión con buena rigidez al doblado y estabilidad de apilado	Resistencia a la presión
Embalajes de mercadería frágil	Acción de amortiguación calculable y por lo tanto, segura	Alta capacidad de amortiguación de golpes
Envases y embalajes para transporte aéreo	Tara baja, invariable y en muchos casos no es necesario tomarla en cuenta	Bajo peso: densidad aparente entre 20 y 30 Kg/m ³
Cajas para productos congelados	Alta capacidad de aislamiento térmico. No se vuelve frágil a bajas temperaturas	Reducida conductividad térmica e inalterabilidad al frío
Envases de contacto directo con productos alimenticios	No posee ningún elemento contaminante que afecte el contenido	No permite la proliferación de hongos y bacterias
Embalajes para objetos complicados de superficies no planas	Material versátil, altamente adaptable a las formas más complejas	Libertad de diseño en piezas moldeables
Vasos térmicos	Mantiene la temperatura y la efervescencia de los líquidos que contiene	Elevado poder aislante y de conservación del gas en las bebidas carbonatadas

Fuente: [Textos científicos, 2005 c].

1.6 Procesos de Transformación del EPS.

Según el método utilizado para la obtención de EPS así serán las diferentes aplicaciones que pueden darse al mismo como se muestra en el cuadro 1-7. El Poliestireno puede transformarse mediante los siguientes procesos:

- **Extrusión:** El polímero es calentado y empujado por un tornillo sin fin y pasa a través de un orificio con forma definida de acuerdo a la forma deseada. Se producen por extrusión, tuberías, láminas, perfiles, vigas y materiales similares.

- **Inyección:** El Poliestireno ha tenido un gran desarrollo en este tipo de proceso, con los grados de alto flujo que favorecen la elevada productividad de las empresas transformadoras obteniendo una cantidad mayor de producción en un mismo tiempo. El polímero se funde con calor y fricción (a través de un tornillo sin fin) y se inyecta en un molde frío donde el plástico solidifica adoptando la forma del molde. Este método se usa para fabricar objetos como bolígrafos, utensilios de cocina, juguetes, etc.

- **Termoformado:** Este proceso tiene gran aceptación principalmente en el sector de envase de alimentos, médico y promocional. Siendo favorecidos por la elevada productividad que se llega a obtener con resinas como el Poliestireno. Consiste en partir de una lámina que se coloca por encima o por debajo de un molde (a veces se usa un molde macho y otro hembra y la lámina se coloca en medio de ambos). Se aplica calor para que la lámina se reblandezca y una vez que esto sucede, se empuja el molde hacia la lámina para que tome la forma de éste. Alternativamente se aplica presión positiva o vacía para que la lámina se adose al molde y adquiera su forma. [QN, 2012 c]

Cuadro 1-7. Aplicaciones del EPS según el método de transformación.

Modelo por inyección	Extrusión	Extrusión y termoformado
Juguetes	Películas protectoras	Interiores de frigoríficos
Carcasas de radios, televisores, impresoras y otro equipo de oficina que no requiere especial resistencia al impacto	Perfiles plásticos en general	Equipajes
Partes automotrices que no están en contacto con el motor y no requieren mucha resistencia a esfuerzo	Difusores de luz	Embalajes alimentarios
Instrumental médico	Lámina plástica transparente	Platos y vasos desechables
Tapas transparentes de botellas que no requieren flexibilidad	-	Anuncios en tiendas y comercios pequeños
Contenedores transparentes	-	-
Cajas para Discos Compactos	-	-
Cubiertos desechables	-	-

Fuente: [QN, 2012 c].

1.7 Estadísticas comerciales del EPS en El Salvador.

La información presentada en las tablas 1-1, 1-2 y 1-3 muestran la actividad económica con la industria del EPS registradas en el Ministerio de Economía bajo el código arancelario 39031100, que incluye las importaciones desde el año 2000 al 2012, datos presentados en peso (kg) y su costo en dólares (US\$). De estos cuadros podemos notar que los únicos países de los cuales hemos importado constantemente en todo este periodo son Estados Unidos y México que sin lugar a duda son los mayores proveedores de EPS de El Salvador.

Se ha importado desde Estados Unidos en promedio 75,603.89 kg de EPS en el periodo del 2000 al 2012 que equivalen a US\$3,143,610.73 anuales. Así como 330,987.6 Kg que equivalen a US\$ 406,345.5277 anuales desde México. Elaboración propia a partir de [MINEC, 2012]

Las tablas 1-4 y 1-5 muestran la actividad económica registrada en el Centro de Trámites de Importaciones y Exportaciones (CIEX), 2003-2012 para el EPS en las exportaciones según códigos arancelarios para el Poliestireno Expandible (39031100) así como también para Recipientes Isotérmicos (39233010) que es como también se le conoce a los recipientes de EPS. Estos datos nos muestran que los países a los que constantemente se exporta EPS como recipientes isotérmicos son Guatemala, Honduras y Nicaragua generando un ingreso constante al país a través de esta industria con un promedio anual de 4,456.162 kg exportados a Guatemala equivalentes a US\$32,687.381, Honduras 20,015.176 kg exportados equivalente a US\$103,046.937 y hacia Nicaragua 16,748.63 kg equivalentes a US\$60,622.19. Elaboración propia a partir de [MINEC, 2012]

Tabla 1-1. Datos de importación de EPS del 2000 al 2005

País	2000 (Peso en Kg)	2000 (Valor US\$)	2001 (Peso en Kg)	2001 (Valor US\$)	2002 (Peso en Kg)	2002 (Valor US\$)	2003 (Peso en Kg)	2003 (Valor US\$)	2004 (Peso en Kg)	2004 (Valor US\$)	2005 (Peso en Kg)	2005 (Valor US\$)
Estados Unidos	982,850.57	1,270,557.88	1,308,284.29	1,608,745.70	1,564,968.91	1,917,836.95	1,528,385.91	2,054,254.53	1,520,380.99	2,281,397.56	2,253,785.71	3,285,807.68
Colombia	19,228.00	20,972.49	19,228.00	19,770.31	-	-	-	-	-	-	555,673.50	902,479.84
México	781,520.00	485,327.95	242,786.00	249,623.03	520,010.80	428,218.91	524,250.00	514,458.84	625,325.00	908,637.47	561,921.00	891,722.00
Guatemala	66,091.00	81,305.25	2,270.00	1,725.00	2,476.00	4,141.64	-	-	24.49	230.37	643.00	1,333.74

Fuente: Elaboración propia a partir de [MINEC, 2012] [BCR, 2012].

Tabla 1-2. Datos de importación del EPS del 2006 al 2011.

País	2006 (Peso en Kg)	2006 (Valor US\$)	2007 (Peso en Kg)	2007 (Valor US\$)	2008 (Peso en Kg)	2008 (Valor US\$)	2009 (Peso en Kg)	2009 (Valor US\$)	2010 (Peso en Kg)	2010 (Valor US\$)	2011 (Peso en Kg)	2011 (Valor US\$)
Estados Unidos	2,122,757.35	3,987,759.73	1,910,905.96	3,938,537.55	2,136,023.00	4,903,329.75	2,422,918.00	4,278,430.41	2,198,236.00	4,368,891.26	1,913,195.00	4,175,338.48
Colombia	38,456.00	57,380.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
México	316,157.00	487,664.57	234,226.00	416,958.07	206,748.00	402,203.51	40,750.00	59,781.37	52,245.00	97,566.13	61,800.00	117,205.01
Guatemala	285.00	18,244.11	132.00	7,325.43	865.30	13,227.36	2,591.80	3,874.64	664.56	5,685.41	626.76	4,836.04
Honduras	-	-	-	-	2,196.73	966.26	750.00	893.50	1,400.00	2,516.67	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de [MINEC, 2012] [BCR, 2012].

Tabla 1-3. Datos de importación del EPS año 2012.

País	2012 (Peso en Kg)	2012 (Valor US\$)
Estados Unidos	1,282,807.00	2,796,052.04
México	135,100.00	223,125.00
Guatemala	132.40	1,191.07

Fuente: Elaboración propia a partir de [MINEC, 2012] [BCR, 2012].

Tabla 1-4. Datos de exportación en kg de EPS registradas en el CIEX 2003-2012.

Nombre Producto	Nombre del País	Peso Neto Kg.									
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Poliestireno Expandible	Costa Rica	-	-	-	35,750.00	-	-	-	-	-	-
Poliestireno Expandible	Estados Unidos	-	-	-	-	121,000.00	-	-	-	-	-
Poliestireno Expandible	Guatemala	7,642.18	2,267.99	1,500.00	-	-	-	-	-	-	-
Poliestireno Expandible	Honduras	-	-	14,000.00	2,500.00	-	9,000.00	-	-	-	-
Poliestireno Expandible	Panamá	-	9,071.94	-	-	-	-	-	-	-	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Canadá	-	-	-	-	-	-	-	-	20,625.10	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Costa Rica	-	-	-	-	-	-	-	-	3,100.00	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	El Salvador	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Estados Unidos	-	-	-	-	-	-	-	-	75.00	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Guatemala	-	-	-	-	-	-	-	27,948.97	-	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Honduras	-	-	-	292.00	-	7.20	-	-	-	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Nicaragua	-	-	-	-	-	-	32.60	467.49	66.64	73.96
Los demás poliestirenos en formas primarias	Panamá	-	-	-	14,000.00	-	-	-	-	-	-
Recipientes isotérmicos	Costa Rica	22.36	-	6.49	22.87	-	33.87	-	-	-	71.01
Recipientes isotérmicos	Guatemala	3,426.86	1,960.27	2,404.68	8,070.86	7,223.14	7,676.07	4,635.26	2,796.07	2,913.41	3,455.00
Recipientes isotérmicos	Honduras	1,586.74	1,705.27	15,491.18	39,848.19	26,244.42	23,103.38	40,665.74	27,594.03	19,451.14	4,461.67
Recipientes isotérmicos	Nicaragua	4,615.62	1,000.94	21.00	2,690.46	22,814.34	21,103.05	26,776.47	31,210.43	33,617.78	23,636.22
Recipientes isotérmicos	Panamá	505.13	910.63	2,089.63	315.30	-	44.00	123.95	-	12.69	1.81
Recipientes isotérmicos	República Dominicana	-	-	-	-	-	-	102.00	-	-	-

Fuente: [CIEX, 2003-2012] [BCR, 2012].

Tabla 1-5. Datos de exportación en US\$ de EPS registrados en el CIEX.

Nombre Producto	Nombre del País	Valor Fob US\$									
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Poliestireno Expandible	Costa Rica	-	-	-	4,136.25	-	-	-	-	-	-
Poliestireno Expandible	Estados Unidos	-	-	-	-	240,064.00	-	-	-	-	-
Poliestireno Expandible	Guatemala	23,735.00	3,550.00	1,500.00	-	-	-	-	-	-	-
Poliestireno Expandible	Honduras	-	-	1,750.00	3,750.00	-	17,910.00	-	-	-	-
Poliestireno Expandible	Panamá	-	14,652.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Canadá	-	-	-	-	-	-	-	-	36,834.37	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Costa Rica	-	-	-	-	-	-	-	-	10,885.00	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	El Salvador	-	-	-	-	-	-	-	-	5.53	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Estados Unidos	-	-	-	-	-	-	-	-	153.50	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Guatemala	-	-	-	-	-	-	-	43,207.98	-	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Honduras	-	-	-	730.00	-	167.78	-	-	-	-
Los demás poliestirenos en formas primarias	Nicaragua	-	-	-	-	-	-	1,942.72	2,548.85	2,060.06	3,379.76
Los demás poliestirenos en formas primarias	Panamá	-	-	-	22,946.00	-	-	-	-	-	-
Recipientes isotérmicos	Costa Rica	120.00	-	33.29	35.00	-	248.96	-	-	-	571.20
Recipientes isotérmicos	Guatemala	12,283.75	8,937.31	12,903.44	50,366.61	56,844.13	68,684.79	37,617.28	27,248.52	25,065.65	26,922.33
Recipientes isotérmicos	Honduras	5,261.12	8,806.37	77,959.32	179,275.58	140,179.40	133,393.87	204,220.62	145,139.60	105,985.74	30,247.75
Recipientes isotérmicos	Nicaragua	10,399.08	6,509.25	125.25	13,120.50	43,860.74	79,523.08	110,090.23	119,705.27	123,227.85	99,660.69
Recipientes isotérmicos	Panamá	2,000.50	3,892.26	5,886.93	1,134.93	-	607.50	732.46	-	72.00	9.96
Recipientes isotérmicos	República Dominicana	-	-	-	-	-	-	501.00	-	-	-

Fuente: [CIEX, 2003-2012] [BCR, 2012].

1.8 Mercado del EPS en El Salvador.

Actualmente en El Salvador el consumo de EPS es bastante significativo ya que observamos las diversas aplicaciones que este tiene, pero básicamente donde más se evidencia el consumo es en uso de utensilios para colocar alimentos en cafeterías, en el comercio informal en las calles para venta de café, atol de elote entre otros; algunos de estos productos son importados pero de igual forma en El Salvador se cuenta con empresas productoras de estos productos isotérmicos.

Las empresas Salvadoreñas dedicadas a la fabricación de estos productos son muchas, pero las más conocidas son: Distribuidores y Productores, S.A. de C.V. (dipsa) y Polímeros de El Salvador, S.A. de C.V. (POLISA).

Los medios de distribución de estos productos son diversos ya que se pueden obtener directamente en supermercados, en tiendas o directamente de los diferentes productores.

1.8.1 La industria de EPS en El Salvador.

En El Salvador existen diversas empresas que trabajan en plásticos y en la elaboración de materiales de Poliestireno expandido y empaques termoplásticos, en el cuadro 1-8 se presenta un listado de las diferentes empresas dedicadas a la manufactura del EPS según el Centro de Trámites de Importaciones y Exportaciones (CIEX) y se encuentran registradas como empresas exportadoras de los diferentes productos que elaboran.

Cuadro 1-8. Listado de empresas exportadores de poliestireno expandido registrados en CIEX El Salvador, período 2003-2012.

Nombre empresa	Producto
Bolsas Desechables Y Plásticos S.A. de C.V.	Los demás poliestirenos en formas primarias
Tacoplast S.A. de C.V.	Los demás poliestirenos en formas primarias
Polímeros de El Salvador, S.A. de C.V.	Los demás poliestirenos en formas primarias
Empresas Adoc, S.A. C.V.	Los demás poliestirenos en formas primarias
Hazama Corporación	Los demás poliestirenos en formas primarias
Salvaplastic Internacional, S.A. de C.V.	Los demás poliestirenos en formas primarias
Publimagen, S.A. de C.V.	Los demás poliestirenos en formas primarias
Ortiz Meza, Celina Mabel	Los demás poliestirenos en formas primarias
Modern Plastics, S.A. de C.V.	Los demás poliestirenos en formas primarias
Bolsas Desechables y Plásticos S.A. de C.V.	Poliestireno Expandible
Distribuidores y Productores, S.A. de C.V.	Poliestireno Expandible
Polímeros de El Salvador, S.A. de C.V.	Poliestireno Expandible
Plastipak, S.A. de C.V.	Poliestireno Expandible
Carvajal Empaques, S.A. de C.V.	Poliestireno Expandible
Salvaplastic, S.A. de C.V.	Poliestireno Expandible
Plastipak, S.A. de C.V.	Poliol
Cetron de El Salvador, S.A. de C.V.	Poliol
Corporación Bonima, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Bayer, S.A.	Recipientes Isotérmicos
R.R.Donnelley de El Salvador, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Beto Internacional, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Productos Avon, S.A.	Recipientes Isotérmicos
Sherwin Williams De Centroamérica, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Polímeros de El Salvador, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Matrickeria Industrial Roxy, S. A. de C. V.	Recipientes Isotérmicos
Cendul, S.A. de C.V. Central Dulcera	Recipientes Isotérmicos
Policon, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Profilaxis, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Servicios Técnicos Médicos, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Ramírez Sánchez, José Eliseo	Recipientes Isotérmicos
Publiplast, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Unifera Disagro, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Corporación Internacional de Restaurantes y Bares, S.A. de C.V.	Recipientes Isotérmicos
Palacios González de Villacorta, Imelda Emperatriz	Recipientes Isotérmicos

Fuente: [CIEX, 2003-2012] [BCR, 2003-2012].

1.9 Estireno.

El estireno es un hidrocarburo aromático de fórmula C_8H_8 , un anillo de benceno con un sustituyente etileno, manufacturado por la industria química. Este compuesto molecular se conoce también como vinilbenceno, etenilbenceno, cinameno o feniletileno. El estireno es un líquido incoloro de olor dulce que se evapora fácilmente. A menudo contiene otras sustancias químicas que le otorgan un olor penetrante desagradable. [ASDTR, 2012]

El estireno se usa extensamente en la manufactura de plásticos y caucho. Entre los productos que contienen estireno se incluyen material aislante, fibra de vidrio, cañerías de plástico, partes de automóviles, zapatos, copas para beber y envases para alimentos y el reverso de alfombras. [ASDTR, 2012]

La mayoría de estos productos contienen estireno en forma de una cadena larga (poliestireno) como también estireno sin formar cadenas. Bajos niveles de estireno también ocurren naturalmente en una variedad de alimentos tales como frutas, hortalizas, nueces, bebidas y carnes. [ASDTR, 2012]

1.9.1 Obtención del Estireno.

La manufactura del Estireno se realiza principalmente por el método de la deshidrogenación del etilbenceno. La reacción que se lleva a cabo es la que se presenta en la Ecuación 1.1 deshidrogenación del etilbenceno.



La deshidrogenación del etilbenceno a estireno toma lugar con un catalizador de óxido de hierro y otro de óxido de potasio, en un reactor de lecho fijo a una temperatura entre 550 – 680 °C en presencia de vapor y a baja presión (0.41 atm), dado que bajas presiones favorecen el avance de la reacción.

Los principales subproductos que se obtienen en el reactor de deshidrogenación son tolueno y benceno.

El etilbenceno y el reciclado de etilbenceno son combinados con vapor y precalentado por intercambio de calor con el producto a la salida del reactor. Antes de entrar el reactor se mezcla con más vapor que sale de un sobrecalentador que eleva la temperatura del vapor a 800°C. Esta mezcla es alimentada a los reactores donde se produce la reacción. El efluente del reactor pasa por un intercambiador de calor donde es refrigerado. El condensado es separado en gas de venteo (mayormente hidrógeno), agua de proceso y fase orgánica. El gas de venteo es removido por un compresor para ser usado como combustible o para recuperación de hidrógeno. El agua de proceso es separada de materiales orgánicos y reutilizada. La fase orgánica es bombeada con inhibidores de polimerización a un tren de destilación. Todo este proceso se muestra en el diagrama de la figura 1-2. [Textos científicos, 2005 d]

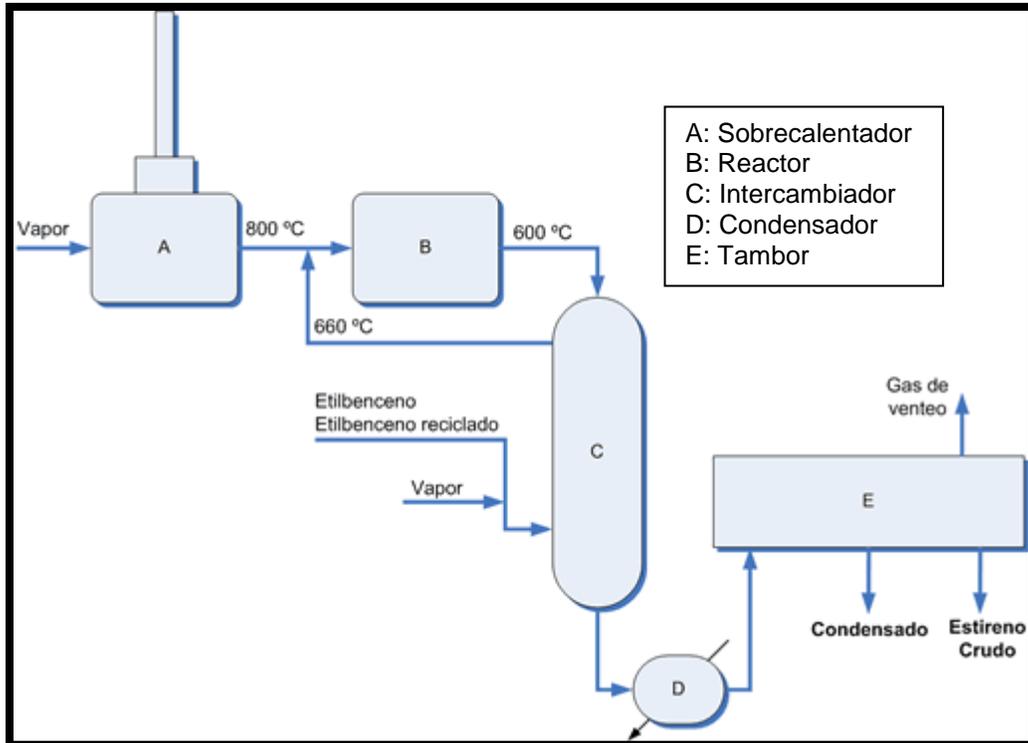


Figura 1-2. Diagrama de las diferentes etapas para obtención de estireno.
Fuente: [Textos científicos, 2005 d].

En el tren de destilación los subproductos benceno y tolueno son recuperados en la parte superior de la columna benceno-tolueno. Las colas de la columna benceno tolueno son destiladas en una columna de reciclado del etilbenceno donde se efectúa la separación del etilbenceno del estireno como se muestra en la figura 1-3.

El etilbenceno que contiene por encima de un 3% de estireno es conducido a la sección de deshidrogenación donde es reciclado. Las colas que contienen estireno, subproductos más pesados que el estireno, polímeros, inhibidor y por encima de 1000 ppm de etilbenceno son bombeados a la columna de acabado de estireno. El producto que sale de la parte superior de la columna de destilación es estireno puro. Las colas son procesadas en un sistema de recuperación de residuos (destilación flash o una columna pequeña de destilación) para separarlo de los productos pesados, polímeros e inhibidor. El residuo es usado como combustible. [Textos científicos, 2005 d]

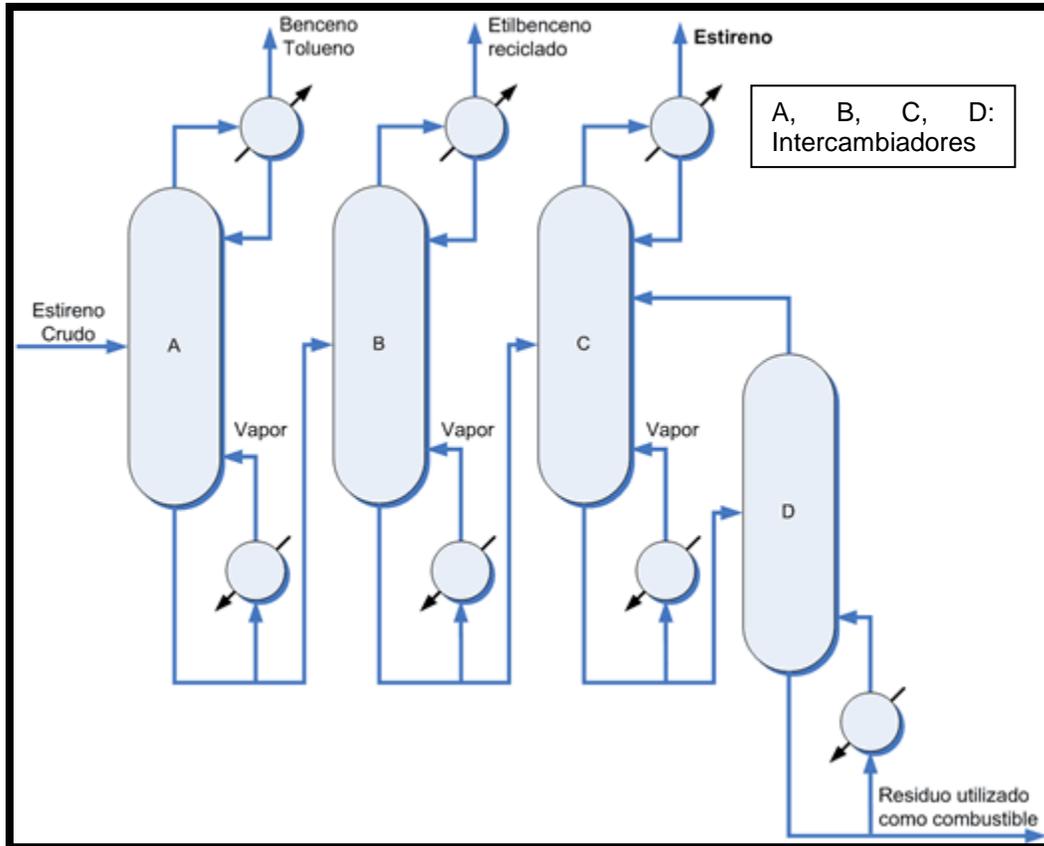


Figura 1-3. Diagrama de recuperación de subproductos en la obtención de estireno.
Fuente: [Textos científicos, 2005 d].

1.9.2 Propiedades físicas del Estireno.

El estireno es un líquido aceitoso e incoloro de olor aromático, es un derivado del benceno de fórmula $C_6H_5 - CH = CH_2$; con punto de ebullición de $145^\circ C$ y densidad relativa de vapor igual a 3,6; es también conocido por otras denominaciones como: Monómero de estireno, vinilbenceno, cinameno, cinnamol, estirolo, estirol, feniletileno, fenileteno, etinilbenceno.

Es insoluble y soluble en alcohol, éter o acetona. El estireno es un líquido inflamable cuyos vapores pueden formar mezclas explosivas en el aire. Su punto de inflamación es $31^\circ C$ en copela cerrada y $34^\circ C$ en copela abierta, su límite inferior de explosividad es de 1,1% en volumen a $29,3^\circ C$ y el superior 6,1% a $65,2^\circ C$. En el cuadro 1-9 se muestran algunas propiedades físicas que caracterizan el estireno. [Arenaza et al, 2003]

Cuadro 1-9. Propiedades físicas del estireno.

Propiedad	Unidades
Punto de ebullición	145°C
Punto de fusión	-30.6°C
Densidad relativa (agua=1)	0.9
Solubilidad en agua g/100 ml a 25°C	
Presión de Vapor:	(Pa)
a 10°C	312
a 20°C	600
a 30°C	1095
a 40°C	1906
Densidad relativa de vapor (aire=1)	3.6
Densidad relativa de vapor/aire a 20°C (aire=1)	1.02
Punto de inflamación en copela cerrada	31°C
Punto de inflamación en copela abierta	34°C
Temperatura de autoignición	490°C
Límites de explosividad % en volumen en el aire	1,1-6.1

Fuente: [Arenaza et al. 2003].

1.9.3 Propiedades Químicas del Estireno.

El estireno no tiene acción corrosiva sobre los metales, exceptuando el cobre y sus aleaciones, con el que reacciona y toma color. La oxidación del estireno produce aldehídos y peróxidos que pueden actuar como catalizadores de polimerización. Todos los productos oxidantes reaccionan de forma violenta con el estireno. El ácido sulfúrico concentrado le ataca, con formación de ácidos xilensulfónicos. El estireno disuelve ciertos cauchos o materiales plásticos. Es un compuesto con un poder reactivo elevado, polimerizándose fácilmente a temperatura ordinaria con formación de Poliestireno. Esta polimerización se potencia bajo la acción de la luz, calor o diversos productos químicos, que puede llegar a provocar explosión. Para paliar su tendencia a la polimerización, el estireno se estabiliza añadiéndole un inhibidor, habitualmente de 10 a 15 ppm de 4-ter-butilcatecol. Esta inhibición no se produce si no hay oxígeno y disminuye rápidamente si la temperatura se eleva por encima de 25°C. Es uno de los

monómeros más importantes que produce la industria petroquímica actual.

Es, asimismo, el nombre corriente del más simple e importante producto de la serie de monómeros bencénicos insaturados. Actualmente más de una cuarta parte del benceno consumido se destina a la fabricación de estireno. El estireno interviene en la síntesis de muchos derivados químicos aplicables a una amplia variedad de industrias. A través de los métodos utilizados corrientemente en la tecnología del plástico, el estireno es polimerizado para producir una vasta cantidad de polímeros y copolímeros. De esto, los más importantes son: Poliestireno, Poliestireno de alto impacto, Poliestireno expandido, estireno acrilonitrilo (SAN), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), resina poliéster, látex y caucho sintético. [Arenaza et al, 2003]

1.9.4 Usos y aplicaciones de Estireno.

Calentado a 200°C el estireno se polimeriza para formar poliestireno, además para formar elastómeros copolímeros. De igual forma se utiliza en la manufactura de resinas, poliésteres y aisladores; el monómero se utiliza en la elaboración de hule sintético a partir de butadieno, resinas, aisladores, impregnación de piezas fundidas de magnesio entre otros.

A continuación se citan algunos de sus usos:

- Se utiliza en la fabricación de una amplia gama de polímeros (como el Poliestireno) y elastómeros. [Enciclopedia de Salud y Seguridad en El Trabajo, s.f.]
- Se utiliza ampliamente en la fabricación de plásticos transparentes. [Enciclopedia de Salud y Seguridad en El Trabajo, s.f.]
- Se emplea para la manufactura de hule sintético a partir de butadieno, resinas, impregnación de piezas fundidas de magnesio. [Enciclopedia de Salud y Seguridad en El Trabajo, s.f.]

1.9.5 Industria del Estireno.

La industria del estireno es un sector maduro en Europa Occidental y Japón. En el caso de los Estados Unidos, donde aproximadamente el 20% de su producción se exporta, no se espera que su capacidad aumente rápidamente. En las otras áreas de la cuenca del pacífico, especialmente en Corea, la capacidad ha aumentado rápidamente desde principios de 1980. América del Norte y el Medio Oriente seguirán siendo los mayores exportadores. En el cuadro 1-10 se puede observar valores de importación de estireno registrados entre el 2007 y el 2010. [CNTQ, 2010]

Cuadro 1-10. Mayores importadores de estireno, 2007-2010.

Países	Kilos Brutos	Kilos Netos	Valor (\$)	Año
Alemania	18,752.00	17,200.00	36,120.00	2007
Colombia	211,420.00	211,420.00	351,424.00	
Estados Unidos	25,020,319.05	24,903,796.30	32,472,034.80	
Países Bajos (Holanda)	56,256.00	50,630.40	107,500.00	
Totales	25,306,747.05	25,183,046.70	32,967,078.80	
Alemania	18,752	17,200	51,187.2	2008
Estados Unidos	8,451,840.56	8,390,611.25	14,533,941.4	
Totales	8,470,592.56	8,407,811.25	14,585,128.6	
Colombia	381,040	381,040	600,295.53	2009
Estados Unidos	20,459,006.5	20,013,436.3	1,758,7358.3	
Gran Bretaña	16,400	14,800	28,120	
San Juan, Isla	31,710	31,710	42,174.3	
Totales	20,888,156.5	20,440,986.3	18,257,948.2	
Holanda	206,272	189,200	403,856	2010
Estados Unidos	7,060,550.98	7,039,966	9,810,759.17	
Panamá	1,904.77	1,714.29	4,693	
Alemania	15,680	15,200	46,208	
México	3,148,000	3,148,000	4,270,801.92	
Bélgica	37,504	33,753.6	84,968	
Totales	10,469,911.8	10,427,833.9	14,621,286.1	

Fuente: [Instituto Nacional de Estadística, Venezuela 2007-2010].

1.10 Obtención del EPS.

El poliestireno es un polímero que se obtiene por un proceso denominado polimerización, que consiste en la unión de muchas moléculas pequeñas para lograr moléculas muy grandes. La sustancia obtenida es un polímero y los compuestos sencillos de los que se obtienen se llaman monómeros.

El monómero utilizado como base en la obtención del poliestireno es el estireno (vinilbenceno), ver figura 1-4. [Texto científico, 2006 e]

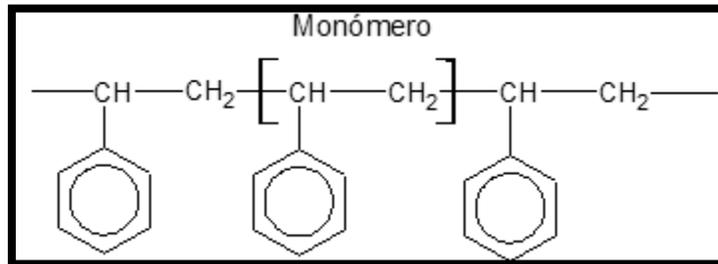


Figura 1-4. Monómero de estireno.
Fuente: [Textos científicos, 2006 e].

A escala industrial, el poliestireno se prepara calentando el etilbenceno ($C_6H_5 - CH_2 - CH_3$) en presencia de un catalizador para dar lugar al estireno ($C_6H_5 - CH = CH_2$). La polimerización del estireno requiere la presencia de una pequeña cantidad de un iniciador, entre los que se encuentran los peróxidos, que opera rompiéndose para generar un radical libre. Este se une a una molécula de monómero, formando así otro radical libre más grande, que a su vez se une a otra molécula de monómero y así sucesivamente. Finalmente se termina la cadena por reacciones tales como la unión de dos radicales, las cuales consumen pero no generan radicales como se muestra en la figura 1-5 [Texto científico, 2006 e]

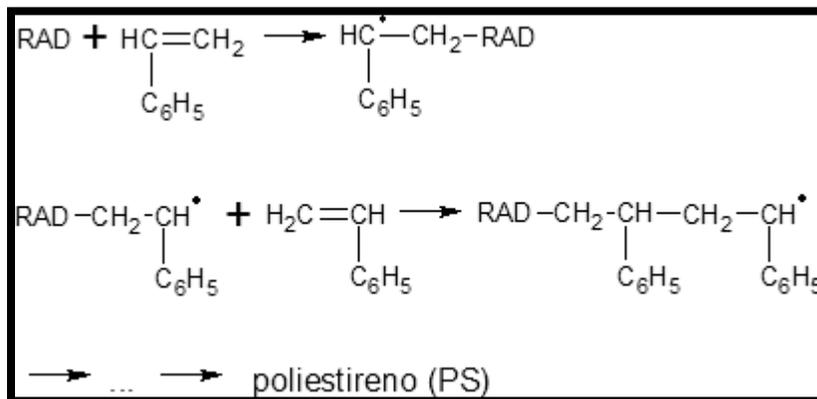


Figura 1-5. Reacción para producir EPS.
Fuente: [Texto científico, 2006 e].

1.10.1 Polimerización del Estireno.

En una primera instancia el estireno es dispersado en forma de gotas en fase de agua en tamaños de 0,1 a 1 mm. Las proporciones agua/estireno varían de 1:1 a 1:3. El tipo de polimerización utilizado es el de Suspensión y se lleva a cabo en reactores vidriados o de acero inoxidable con capacidades entre 9,000 y 136,000 litros. Estos reactores operan en forma discontinua, la temperatura es controlada mediante una camisa y frecuentemente mediante una serpentina interna de refrigeración. [Texto científico, 2005 f]

Cuando las concentraciones del polímero se encuentran entre el 30% y el 70% se produce una aglomeración prematura de porciones del polímero semi-sólido, denso y pegajoso. En este momento es donde se alcanza el estado crítico de la polimerización, la agitación es más forzada y se deben agregar agentes de suspensión, dado que más aglomeración puede provocar la rotura del motor y si la agitación es insuficiente se produce material pobre. Por lo contrario si la agitación es demasiada puede quedar gas atrapado en el material. Una falla momentánea en la agitación produciría la aglomeración inevitable del material. [Texto científico, 2005 f]

Cerca del final de la polimerización la mezcla polímero-agua es enfriada a 85⁰C para que la aglomeración de las partículas de polímero sea mínima al ser transferida al tanque de almacenaje como se muestra en la figura 1-6.

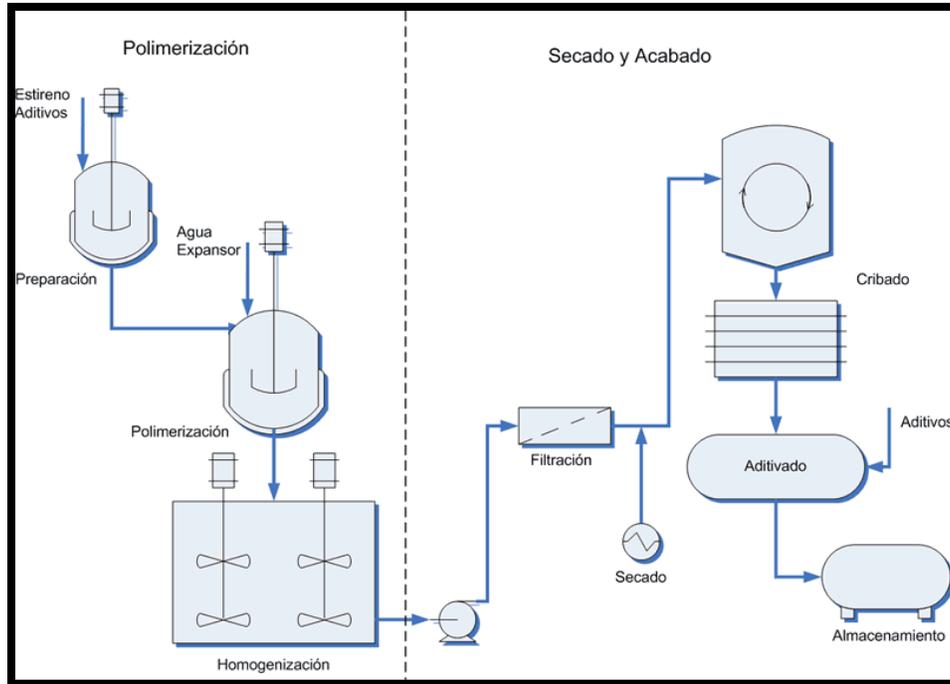


Figura 1-6. Polimerización del Estireno.
Fuente: [Texto científico, 2005 f].

1.10.2 Pre-expansión.

El Poliestireno Expandible, en forma de granos, se calienta en preexpansores con vapor de agua a temperaturas situadas entre 80 y 110 °C aproximadamente, haciendo que el volumen aumente hasta 50 veces el volumen original. Durante esta etapa los granos son agitados continuamente.

En esta etapa es donde la densidad final del EPS es determinada. En función de la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m³ a densidades que oscilan entre los 10 - 30 kg/m³. [Texto Científico, 2005 f]

Luego de la Preexpansión, los granos expandidos son enfriados y secados antes de que sean transportados a los silos.

1.10.3 Reposo intermedio y estabilización.

Durante la segunda etapa del proceso, los granos preexpandidos, conteniendo 90% de aire, son estabilizados durante 24 horas.

Al enfriarse las partículas recién expandidas, en la primera etapa, se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación. Este proceso se desarrolla durante el reposo intermedio del material preexpandido en silos ventilados. Al mismo tiempo se secan las perlas. [Texto Científico, 2005 f]

1.10.4 Expansión y moldeo final.

En esta etapa las perlas preexpandidas y estabilizadas se transportan a unos moldes donde nuevamente se les comunica vapor de agua y las perlas se sueldan entre sí.

En esta operación, las perlas preexpandidas se cargan en un molde agujereado en el fondo, la parte superior y los laterales, con el fin de que pueda circular el vapor. Las perlas se ablandan, el pentano se volatiliza y el vapor entra de nuevo en las cavidades. En consecuencia, las perlas se expanden y, como están comprimidas en el interior del volumen fijo del molde, se empaquetan formando un bloque sólido, cuya densidad viene determinada en gran parte por el alcance de la expansión en la etapa inicial de preexpansión. Durante la operación se aplican ciclos de calentamiento y enfriamiento, cuidadosamente seleccionados para el mejor equilibrio económico de la operación y para conseguir una densidad homogénea a través del bloque así como una buena consolidación de los gránulos, buena apariencia externa del bloque y ausencia de combadura. En la tercera etapa existen distintas alternativas, basadas en la forma que adquiere el producto final. Por un lado se lo puede moldear en forma de grandes bloques que luego pueden ser cortados en forma de planchas. El corte se puede llevar a cabo

por medio de alambres calientes. Por otro lado se lo puede moldear con la forma del envase final, es decir, con forma de recipiente de distintas características. Existen algunas empresas que cortan el EPS mediante sistemas computarizados, basándose en diseños hechos en AutoCad. [Texto Científico, 2005 f]

2. DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA E IMPACTO AMBIENTAL DEL EPS.

El poliestireno expandido es un material ampliamente utilizado en el país, entre sus mayores aplicaciones se tienen: el uso de este como depósito para alimentos, para empaque y embalaje; entre otros. Por lo que se hace necesario conocer qué tipo de gestión de residuos o tratamiento se le está dando y el impacto ambiental que genera luego de ser utilizado.

Por medio del análisis del ciclo de vida (ACV) se pretende dar a conocer cada una de las etapas por las que pasa este material desde la materia prima para su elaboración hasta su disposición final. Con el fin de generar conciencia de la problemática que este material representa a nivel nacional, hacia la sociedad y el impacto ambiental que genera la mala disposición; se muestra en detalle según las fases del ACV identificando los diferentes riesgos presentes durante su vida además de la identificación de los diferentes actores responsables de promover una mejor gestión de este material y el desarrollo de un plan de acción que ayude a disminuir los impactos negativos que este genera.

Además de conocer las diferentes fases del ACV es necesario estudiar el tipo de gestión de residuos de este material y el interés que hay por parte de diferentes instituciones en dar una adecuada disposición al EPS. Actualmente se están impulsando lineamientos con el fin de educar a la población de la importancia que tiene la separación de residuos sólidos con potencial de aprovechamiento, todo esto con el fin de reducir los impactos ambientales generados por este material que ya ha cobrado interés a nivel internacional.

Según datos estadísticos de residuos sólidos generados a nivel nacional incluyendo estos a los plásticos familia a la cual pertenece el EPS es posible obtener el porcentaje que ocupa el EPS de la totalidad de los residuos sólidos, lo que permite la estimación y proyección de datos de consumo anual y el volumen

teórico que ocupa el poliestireno expandido como residuo que termina en botaderos o rellenos sanitarios. El conocimiento de la cantidad y el volumen que se genera a nivel nacional de EPS invita a la búsqueda de alternativas de reciclaje con el fin de reducir la cantidad de desecho generado y darle una segunda vida útil que sea amigable con el medio ambiente.

2.1 Definición del análisis de ciclo de vida (ACV).

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que se utiliza para evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto o sustancia, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida a través de la cuantificación del uso de recursos (“entradas” como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales (“salidas” al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando.

El objetivo de realizar el Análisis de Ciclo de Vida es de suma importancia ya que permitirá identificar y reducir los riesgos y peligros para el ambiente y salud de las personas que se relacionan con su uso. [PNUMA/ONUUDI/CNPML, 2011]

El Análisis de Ciclo de Vida se desarrolla tomando en cuenta las fases que se muestran en la figura 2-1:



Figura 2-1. Fases del Análisis de Ciclo de Vida.
Fuente: [PNUMA/ONU/ONUDI/CNPML, 2011].

2.1.1 Análisis Ciclo de Vida del Poliestireno Expandido (EPS).

Los desarrollos de ACV necesitan coordinación y normalización. La Organización Internacional de Normalización (ISO) ha desarrollado la serie ISO 14000 de normas de gestión ambiental que incluye la sub-serie 14040 sobre análisis de ciclo de vida. A nivel de producto, las Declaraciones Ambientales de Producto (EPD) según la norma ISO 14025 ofrece una buena base de información para el análisis del ciclo de vida.

Según la norma ISO 14040 el ACV es una técnica de evaluación de los aspectos e impactos ambientales de cada etapa del proceso de producción de un producto, que utiliza los siguientes elementos:

- Conformar un inventario de entradas y salidas relacionadas a un sistema. [Norma ISO 14040, 2000]
- Evaluar los impactos ambientales potenciales asociados a esos ingresos y rendimiento. [Norma ISO 14040, 2000]

- Interpretar los resultados del análisis del inventario y las fases de evolución del impacto en relación con los objetivos de estudio. [Norma ISO 14040, 2000]

Un análisis de ciclo de vida de un producto puede ayudar en:

- La identificación de oportunidades para mejorar los aspectos ambientales de los productos en diversos puntos de su ciclo de vida. [Norma ISO 14040, 2000]
- La toma de decisiones en organizaciones industriales bien sea del sector privado o del sector gubernamental, como por ejemplo: decisiones relacionadas con planeamiento estratégico, fijación de prioridades, diseño o rediseño de productos o procesos. [Norma ISO 14040, 2000]
- Selección de indicadores importantes de desempeño ambiental, incluyendo técnicas de medición. [ISO 14040, 2000]
- Mercadeo, por ejemplo una declaración ambiental, una declaración de un producto ambiental, entre otros. [ISO 14040, 2000]

El análisis que se presenta a continuación ha sido extraído del reporte de “Alliance of Foam Packaging Recyclers, (2009)” que ha tomado como base de estudio 1,000 unidades de empaque para aspiradoras hechos con EPS.

En la figura 2-2 se muestran los pasos de cada etapa involucrada en la producción de Poliestireno Expandido, desde su materia prima, el proceso de manufactura de las materias primas, el proceso de producción de EPS, el transporte, el consumo y por último su disposición final. Señalando en qué etapa se utiliza energía y desperdicios.



Figura 2-2. Flujo de desperdicio y utilización de energía en el proceso de producción de Poliestireno expandido “De la cuna a la tumba”.
Fuente: [Alliance of Foam Packaging Recyclers afpr, 2009].

Para el análisis se tomó en cuenta 4 tipos diferentes de procesos:

- Proceso de producción con material virgen.
- Proceso de producción de circuito abierto. Este proceso considera que el material desechado post-consumo es reutilizado para crear otro producto el cual se asume que será dispuesto de alguna manera después de su uso. Para el estudio se tomó como consideración una proporción de recuperación de material desechado del 10%. Vale la pena mencionar que en el proceso de “circuito abierto” el material tiene dos vidas útiles.
- Proceso de producción de circuito cerrado. Este consiste en que el material recuperado se utiliza para luego reciclarlo en el proceso de producción donde se junta y se mezcla con materia virgen. Para el estudio se consideraron 2 opciones de este tipo de proceso: al 10% de recuperación y al 20% de recuperación.

En la tabla 2-1 se muestran los requerimientos de energía clasificados según los diferentes tipos de procesos de producción y reciclaje que se tiene para la industria del Poliestireno expandido.

Tabla 2-1. Requerimiento de energía por categoría de proceso de producción.

Requerimientos Energéticos por categoría - Porcentaje del total			
Proceso	Energía de proceso	Energía de transporte	Recurso de materiales
Material Virgen	56	3.5	40.5
10% de reciclaje circuito abierto	56.6	3.5	39.8
10% de reciclaje circuito cerrado	57.4	3.5	39.1
20% de reciclaje circuito cerrado	59	3.5	37.5

Fuente: Elaboración propia a partir de: [Expanded polystyrene Packaging environmental profile analysis, 2009].

Todo proceso de producción genera emisiones al medio ambiente, el Poliestireno expandido no está exento de esto, a continuación se citan brevemente las emisiones y desechos generados en el proceso de manufactura de EPS.

- Desechos sólidos: Entre estos se encuentran las aguas y lodos residuales, sólidos atrapados en el filtro de aire, material de desperdicio de las operaciones de manufactura que no se reciclan, residuo de ceniza generado de la combustión de carbón o madera para obtener energía; sin olvidar, el desperdicio generado del material posterior al consumo que termina en botaderos o relleno sanitario.
- Emisiones a la atmosfera: Entre estos se pueden incluir el dióxido de carbono así como toda sustancia que se considere contribuya a la polución como dióxidos de nitrógeno, hidrocarburos, óxidos de azufre, y monóxido de carbono.
- Emisiones hacia los mantos acuíferos: en esta categoría se encuentran las sustancias contaminantes como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o la Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, sólidos disueltos, metales pesados, entre otros. Además de las partículas sólidas que llegan al agua luego de ser descartado y desechado el producto, generando que los animales marítimos confundan las pequeñas partículas de Poliestireno expandido con alimento, provocándoles daño e incluso la muerte.

En la tabla 2-2 se muestra el resultado en beneficio al medio ambiente en cuanto al calentamiento global, la acidificación, la eutrofización y la fotoquímica.

Tabla 2-2. Emisiones ambientales producidas por la producción de Poliestireno Expandido.

Emisiones Ambientales - Total polución						
Categoría	Parámetro	Valor de inventario por 1,000 unidades	Materia prima	% de reducción, 10% de reciclaje circuito abierto	% de reducción, 10% de reciclaje circuito cerrado	% de reducción, 20% de reciclaje circuito cerrado
Calentamiento Global	CO ₂ (Dióxido de carbono)	1867	99% Relacionado al combustible	2%	4%	9%
	N ₂ O (Óxido de nitrógeno)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	CH ₄ (metano)	0.029	100% Relacionado al combustible	0%	3%	6%
Acidificación	SO _x (Óxidos de azufre)	7.33	83% Relacionado al combustible	2%	4%	8%
	NO _x (Óxidos de nitrógeno)	5.85	90% combustible fósil	2%	6%	9%
	NH ₃ (Amonio)	0.02	99 % Relacionado al proceso	5%	10%	20%
Eutrofización	SO _x (Óxidos de azufre)	5.85	90% relacionado al combustible	2%	6%	9%
	NO _x (Óxidos de nitrógeno)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	NH ₃ (Amonio)	0.02	99% relacionado al proceso	5%	10%	20%
Fotoquímica	C ₅ H ₁₂ (Pentano)	15.7	100% relacionado al proceso	0%	0%	0%
	CO (Monóxido de carbono)	2.5	98% relacionado al combustible	2%	4%	8%
	Otros orgánicos	0.53	100% relacionado al proceso	2%	4%	8%
	CH ₄ (metano)	0.029	100% relacionado al proceso	0%	3%	6%
	HC's (Hidrocarbonados)	19.7	65% relacionado al proceso	4%	7%	14%

Fuente: Elaboración propia a partir de: [Expanded polystyrene Packaging environmental profile analysis, Alliance of Foam Packaging Reciclors 2009].

2.1.2 Desarrollo del ACV del EPS.

Fase 1. Identificación de Problemas de Producción Responsable.

La fase 1 se ha desarrolla en cuatro pasos:

1. Diagrama de flujo del Ciclo de Vida (CV) del EPS.
2. Identificar los peligros del EPS durante su vida.
3. Identificar los riesgos ambientales, económicos, sociales y a la salud por el uso del EPS.
4. Enlistar las regulaciones ambientales o legales que se apliquen al EPS.

[Metodología del PNUMA para una Producción Responsable]

Paso 1: Diagrama de flujo del Ciclo de Vida (CV) del EPS.

Mediante el diagrama de flujo se identifican y describe las etapas del Ciclo de Vida que deben ser controlados por todos aquellos actores que están relacionados directa o indirectamente con el uso de los productos de EPS. En El Salvador se cuenta con la manufactura de productos de EPS a partir de materia prima (estireno) así como también hay productos que ya ingresan listos para ser distribuidos comercialmente o como parte del empaque y embalaje de diversos productos (ejemplo electrodomésticos, equipos de computadoras etc.), es por esto que el Ciclo de Vida ha sido diseñado para tener control del EPS desde la importación de materia prima, importación de productos ya manufacturados e importación de diversos productos que son empacados con material de EPS hasta su uso y disposición final.

En la figura 2-3, se presenta el diagrama de flujo para el CV del EPS en el cual se identifican las principales etapas, iniciando con la importación de materia prima (estireno), importación de productos ya manufacturados, importación de diferentes productos que utilizan EPS, transporte, almacenaje, usos y finalizando con la gestión de los desechos, es importante resaltar que en la etapa final es donde se tiene mayor impacto ambiental por la disposición final inadecuada que se le da al EPS.

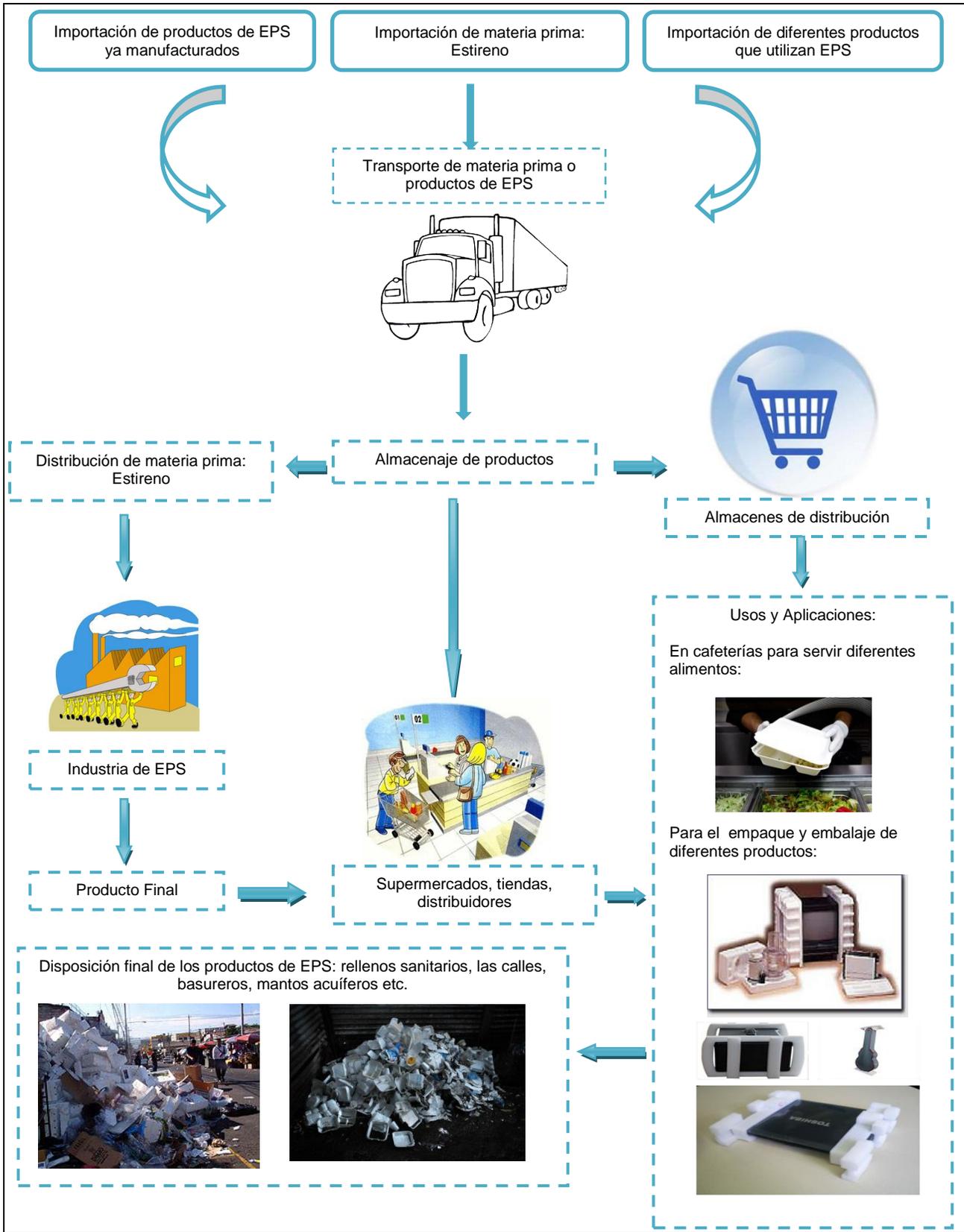


Figura 2-3. Diagrama de flujo de CV del EPS.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

Partiendo de las diferentes etapas por las que pasa el EPS durante su ciclo de vida identificamos los actores dentro de cada una de ellas como se muestra en el cuadro 2-1.

Cuadro 2-1. Actores identificados por etapa de ciclo de vida.

Etapas del ciclo de vida	Actor
Importación de productos o materia prima	ADUANA
Transporte	Empresa de transporte, distribuidores mayoristas o minoritarios pueden tener transporte propio.
Almacenaje de productos de EPS o materia prima	Productos que como parte de su empaque y embalaje utilizan EPS, son almacenados por lo general en bodegas de los diferentes almacenes que distribuyen estos productos Bodegas de empresa que manufactura productos de EPS y proveedores de materia prima.
Distribución de materia prima (estireno)	Proveedores de materia prima para la industria de EPS.
Industria de EPS	Empresas que manufacturan productos de EPS
Almacenes de distribución	Almacenes dedicados a la distribución y venta de diferentes productos de EPS, así como también aquellos almacenes que distribuyen productos que como parte de su empaque y embalaje utilizan EPS.
Producto final	Distribuidores, consumidor por mayor
Supermercados, tiendas, distribuidores	Consumidores por menor
Usos y aplicaciones	Cafeterías, chalet, restaurantes, para empaque y embalaje
Disposición final	Personal de las diferentes alcaldías que recolectan desechos en camiones, rellenos sanitarios, basureros, calles, mantos acuíferos.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Paso 2. Identificación de Peligros.

Peligro se define como “aquello que puede ocasionar un daño o mal”. En el CV del EPS los peligros identificados son el daño al medio ambiente lo que incluye la contaminación visual por la acumulación de basura en las calles, rellenos sanitarios, basureros, etc. contaminación del agua al terminar desechos de EPS en los ríos, lagos y/o playas donde la fauna marina confunde con alimento estos desechos lo que ocasiona muchas veces la muerte de los mismos cuando es ingerida. En la figura 2-4 observamos los diferentes peligros que conlleva el EPS por su uso o manipulación de materia prima del mismo. [Elaboración propia, 2012]



Figura 2-4. Peligros encontrados en ACV del EPS.
Fuente: Elaboración propia a partir de: [IPCS, CE 2006].

Adicional a estos en el caso del estireno por exposición se tienen los siguientes peligros mostrados en el cuadro 2-2.

Cuadro 2-2. Tipo de peligros por exposición al estireno.

Tipo de peligro/Exposición	Síntomas
Inhalación	Vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náuseas, vómitos, debilidad, pérdida del conocimiento
Piel	Enrojecimiento, dolor.
Ojos	Enrojecimiento, dolor.
Ingestión	Náuseas, vómito

Fuente: Elaboración propia a partir de: [IPCS, CE 2006].

En cada una de las etapas del CV del EPS se puede estar expuesto a diferentes peligros identificados por etapas en el cuadro 2-3.

Cuadro 2-3. Peligros identificados por etapas del CV del EPS.

Etapa ciclo de vida				Inhalación	Piel	Ojos	Ingestión	Derrame
Importación de productos o materia prima	X	X		X	X	X	X	X
Transporte	X	X						X
Almacenaje de productos de EPS o materia prima	X	X						X
Distribución de materia prima (estireno)	X	X						X
Industria de EPS	X	X		X	X	X	X	X
Almacenes de distribución			X					
Producto final			X					
Supermercados, tiendas, distribuidores			X					
Usos y aplicaciones			X					
Disposición final			X					

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Paso 3. Identificar los riesgos ambientales, económicos, sociales y a la salud por el uso del EPS.

Tomando en cuenta que entenderemos riesgo como la probabilidad de un daño futuro o peligroso, el riesgo que genera el EPS es mayormente evidente en el medio ambiente ya que actualmente no se cuenta con ningún programa de reciclaje de este material, que ayude a la disminución de las cantidades de desechos que son generados día a día por la población salvadoreña. Tampoco existe una cultura de reciclaje de EPS por lo que no es del interés de la población recolectar este material ya sea por los recolectores informales al no recibir una remuneración a cambio del material, ni tampoco por parte de las diferentes empresas productoras de este material al no tener una opción de disposición final adecuada para los residuos de EPS. Es por esto que se tiene el interés de determinar una opción viable económicamente y amigable con el ambiente que contribuya a la disminución de residuos de EPS. [Elaboración propia, 2012]

Sub-paso 1. Identificación de personas, áreas y bienes vulnerables en caso de un accidente.

En el cuadro 2-4 se identifican los grupos de personas y bienes que pueden ser afectados en caso de accidentes, de acuerdo a la etapa del Ciclo de Vida en la que se encuentren.

Cuadro 2-4. Personas, áreas y bienes vulnerables en caso de accidente.

Etapas del ciclo de vida	Vulnerables en caso de accidentes
Transporte y almacenaje	
ADUANA	-Agentes aduaneros
Transporte de materia primera/productos de EPS	-Empresa de transporte y sus conductores -Distribuidor mayoritario -Distribuidores minoristas -Medios de transporte -Terceros como transeúntes
Almacenaje de productos de EPS/materia prima	-Instalaciones de distribuidores -Distribuidores minoristas -Distribuidores mayoristas -Empresas vecinas y comunidades aledañas a las instalaciones de los distribuidores.
Usos y aplicaciones	
Industria de EPS	-personal que manufactura u operarios -Usuario y vecinos
Supermercado, tiendas, distribuidores	N/A
En cafeterías para servir diferentes alimentos	N/A
Para el empaque y embalaje de diferentes productos	N/A
Disposición final	
Rellenos sanitarios	-Fauna
Mantos acuíferos	-Fauna marina
Calles	N/A
Basureros	N/A
Camiones recolectores de basura	Personal de alcaldías recolectores de los desechos

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Sub-paso 2. Identificación escenarios potenciales de accidentes en relación a las etapas del ciclo de vida en las que existen peligros.

En el cuadro 2-5 se presentan los escenarios de posibles accidentes debido a los peligros por cada etapa del Ciclo de Vida del EPS.

Cuadro 2-5. Escenario de accidentes potenciales.

Etapa del ciclo de vida	Peligros	Escenarios de accidentes potenciales
ADUANA	-Incendio -Derrame -Explosión -Exposición	Derrame, incendio explosión, de personal por falta de medidas de precaución y de instalaciones adecuadas. Peligros a la salud por exposición.
Transporte	-Derrame -Incendio -Explosión	-Accidentes de tránsito como consecuencia derrame o hasta un incendio. -Quemaduras de primero, segundo u/o tercer grado como consecuencia de un incendio. -Inhalación de la sustancia (estireno) como consecuencia de un derrame.
Almacenaje de distribuidores mayoristas y minoristas	-Derrame -Incendio -Explosión -Exposición	-Intoxicación de trabajadores por inhalación de la sustancia al momento de un derrame o en un incendio. -Quemaduras de primer, segundo y/o tercer grado como consecuencia de un incendio. -Instalaciones y otros productos almacenados pueden sufrir daños que a su vez pueden derivar en pérdidas económicas de igual magnitud debido a los derrames y/o incendios.
Industria de EPS	-Derrame -Incendio -Explosión -Exposición	-Derrame por la mala manipulación de materia prima (estireno), incendio, explosión por mal manejo de la sustancia.
Producto final	-Daño al ambiente	Disposición inadecuada por parte del usuario.
Supermercados, tiendas, distribuidores	N/A	N/A
Disposición final	-Daño al ambiente	-Contaminación ambiental, acumulación de desecho en calles, basureros, rellenos sanitarios. -Daño a mantos acuíferos.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Sub-paso 3. Identificación de la seriedad del impacto ambiental, social económico y en la salud en caso de accidentes.

1. Asignar factor de severidad.

La severidad del impacto de un accidente es determinada a partir de cómo afectan los factores ambientales, sociales, económicos y la salud de los involucrados. Para asignar la seriedad de un accidente se debe seguir una serie de pequeños pasos.

El factor de severidad debe ser asignado con un consenso entre todos los involucrados.

Se utiliza una escala que puede ser adaptada al contexto del Poliestireno expandido.

La escala asignada fue la siguiente:



Para que cada categoría sea asignada se debe considerar el impacto que un posible accidente tendría en: la salud de la comunidad y los trabajadores, recursos hídricos y calidad del aire, lugar de trabajo y transporte, comunidad e infraestructura social.

Cuadro 2-6. Asignación de severidad de las diferentes etapas de Ciclo de Vida del EPS.

Etapa del ciclo de vida	Peligro
ADUANA	3
Transporte	3
Almacenaje de distribuidores mayoristas y minoristas	3
Industria de EPS	3
Producto final	1
Supermercados, tiendas, distribuidores	1
Disposición final	4

Fuente: Elaboración propia, 2012.

2. Estimar probabilidad de un accidente

Asigna un número dependiendo de la probabilidad que ocurra un accidente en los lugares de peligro identificados en cada una de las etapas del ciclo de vida del EPS.

La escala asignada fue la siguiente



Cuadro 2-7. Frecuencia de los posibles accidentes identificados en cada etapa del ciclo de vida.

Etapa del ciclo de vida	Probabilidad de posibles accidentes
ADUANA	2
Transporte	2
Almacenaje de distribuidores mayoristas y minoristas	3
Industria de EPS	4
Producto final	1
Supermercados, tiendas, distribuidores	1
Disposición final	1

Fuente: Elaboración propia, 2012.

3. Asignar factor riesgo.

Se asigna a cada lugar de peligro un factor de riesgo tomándolo como fracción de la probabilidad de ocurrencia entre la severidad del posible accidente, siendo 1/1 el más bajo y 5/5 el más alto. Se debe considerar los diferentes escenarios posibles en cada uno de los lugares de peligro a la hora de asignar el factor de riesgo.

La siguiente figura 2-5 presenta los factores que deben ser más priorizados y cuales pueden tener una priorización media o baja. Este debe de marcar los factores de riesgo en cada una de las etapas del ciclo de vida del EPS y asignarle el color según aparece en la tabla 2-1, esto ayudará a la priorización.



Figura 2-5. Factores de riesgo.
Fuente: [PNUMA/ONUDI/CNPML, 2011].

Cuadro 2-8. Etapas del Ciclo de Vida del EPS con el factor de frecuencia/severidad de posibles accidentes.

Etapas del ciclo de vida	Factor de frecuencia/severidad de posibles accidentes
ADUANA	2/3
Transporte	2/3
Almacenaje de distribuidores mayoristas y minoristas	3/3
Industria de EPS	4/3
Producto final	1/1
Supermercados, tiendas, distribuidores	1/1
Disposición final	1/4

Fuente: Elaboración propia, 2013.

4. Priorizar lugares de mayor peligro.

Si el factor de una etapa del ciclo de vida de una sustancia cae entre los números que están en rojo fuerte, deben ser priorizados con un grado de atención a la hora de implementar medidas de prevención de accidentes.

Los puntos de mayor priorización se presentan en la figura 2-6.

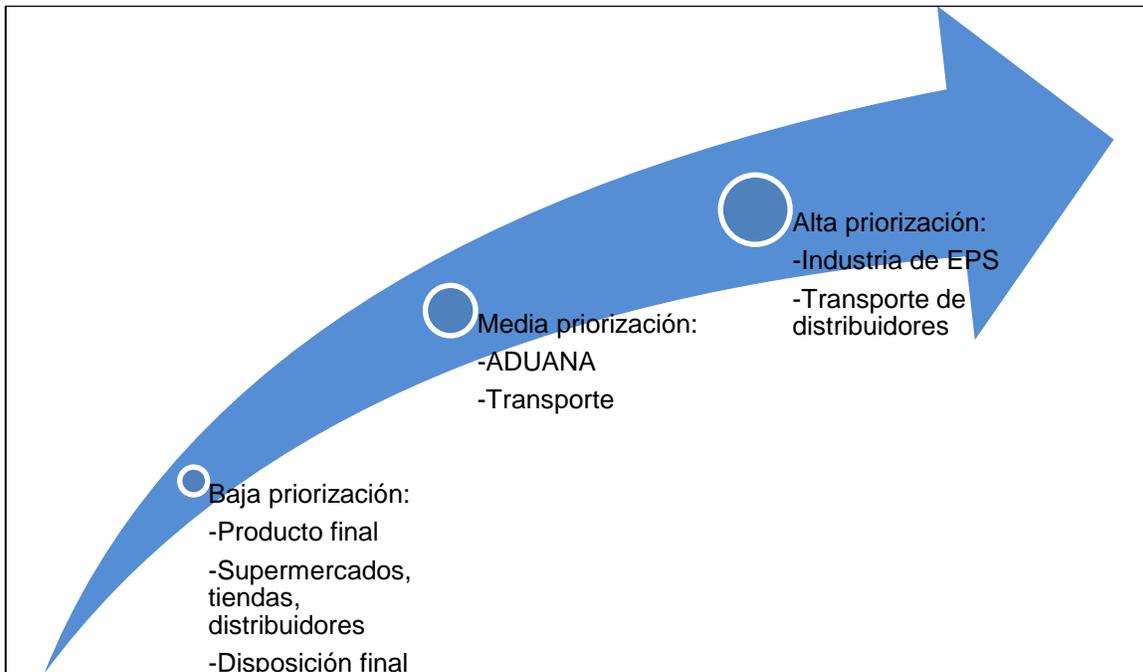


Figura 2-6. Etapas priorizadas del CV del EPS.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

Paso 4. Enlistar las regulaciones ambientales o legales que se apliquen al EPS.

Actualmente el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) ha dado a conocer los lineamientos para impulsar la separación desde el origen y aprovechamiento de los desechos sólidos a nivel municipal, en donde el programa de gobierno 2009-2014, en su componente de Sustentabilidad Ambiental, señala la Política Nacional de Gestión Integral de los Desechos Sólidos, la cual deberá enfocarse en la implementación de una gestión sustentable que incorpore el aprovechamiento ambientalmente adecuado, socialmente aceptable y sostenible de los desechos sólidos, a fin de lograr la reducción de la contaminación ambiental, mediante el compromiso responsable de los diferentes actores. [MARN, 2012]

En este sentido y dando respuesta al problema nacional del manejo de los desechos sólidos, en mayo del 2010 el Presidente de la República de El Salvador,

Mauricio Funes Cartagena presentó el Programa Nacional para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos (MIDS), su formulación está fundamentada en el artículo 52 de la ley de Medio Ambiente. El Programa Nacional comprende 3 Planes.

1. Plan Nacional de Sensibilización para MIDS
2. Plan Nacional de Recuperación de Desechos Sólidos
3. Plan Nacional para el Mejoramiento del Manejo Integral de Desechos Sólidos

Dentro de estos desechos sólidos enlistamos los desechos generados por productos de EPS que tienen una disposición final en conjunto con otros desechos desaprovechando su potencial de reciclaje. Actualmente no se tiene ninguna legislación que aplique únicamente a los desechos sólidos de EPS. La implementación de este plan impulsado por el MARN contribuirá a la separación de sólidos para que estos puedan ser reciclados, facilitando la recolección de los mismos ya que como es de nuestro conocimiento los desechos de EPS tardan más de 500 años en degradarse. [MARN, 2012]

Fase 2. Identificación de Actores Relevantes.

Los actores involucrados en la implementación de reducción de desechos generados por materiales de EPS son el MARN para poder aprovechar el potencial de reciclaje del EPS y evitar la acumulación de este material en los desechos comunes, la Universidad de El Salvador mediante el desarrollo del trabajo de Graduación “Evaluación Técnica de Alternativas de Reciclaje de Poliestireno Expandido (EPS)” que permitirá dar una alternativa de solución a esta problemática de acumulación de desechos de EPS. [Elaboración propia, 2012]

Fase 3. Desarrollo de Plan de Acción.

Mediante el desarrollo del presente trabajo de graduación se realizarán pruebas de laboratorio que permitirán determinar la mejor alternativa de reciclaje para el EPS y mediante esto poder realizar el diseño de una planta piloto. La realización de este proyecto nos dará las herramientas para poder presentar dicha propuesta a las diferentes instituciones y empresas privadas, que se tiene una opción de reciclaje para los desechos de EPS disminuyendo la acumulación de residuos en los desechos comunes. [Elaboración propia, 2012]

2.2. Generación de desechos sólidos en El Salvador.

Para conocer el impacto que generan los desechos sólidos entre los cuales se encuentra el Poliestireno Expandido que ocupa un gran volumen de desechos, se estima que en las áreas urbanas de El Salvador se generan aproximadamente 3,400 toneladas de desechos sólidos por día, en la figura 2-7 se muestra un gráfico donde se refleja la generación de desechos sólidos a nivel nacional detallando cada departamento.

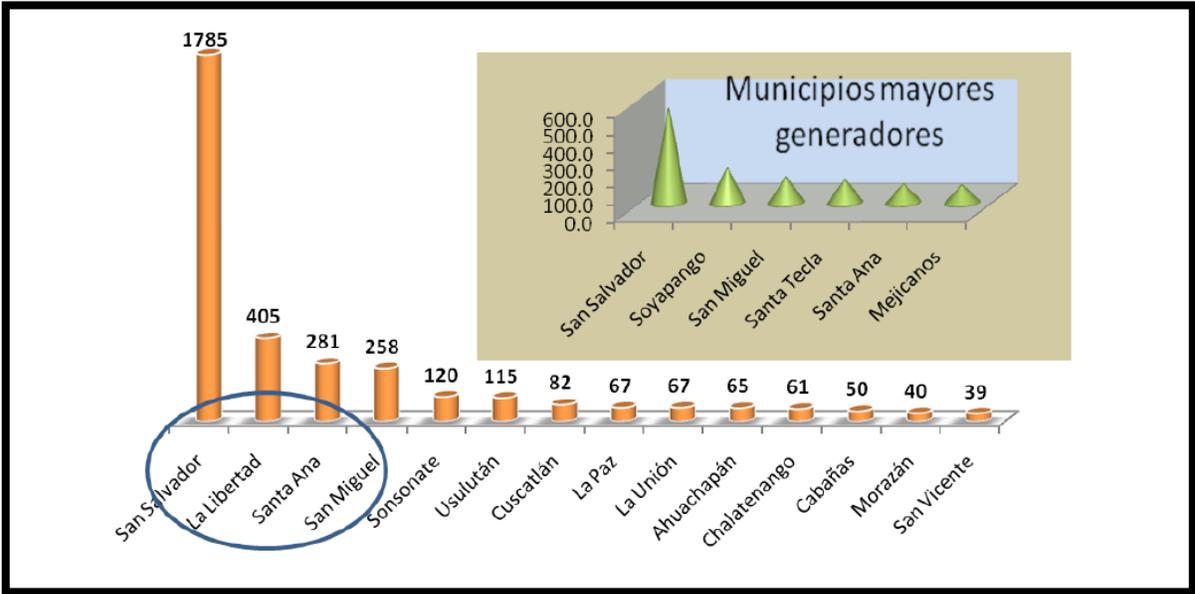


Figura 2-7. Gráfico de generación nacional de desechos sólidos. Fuente: [MARN 2012].

Se puede observar que a nivel nacional los departamentos de San Salvador, La Libertad, Santa Ana y San Miguel son los principales generadores de desechos

sólidos, esto es en base al “Censo de Población y Vivienda 2007”, generando 1,785, 405, 281 y 258 toneladas de desechos sólidos respectivamente para cada departamento.

Para reconocer la problemática de los desechos sólidos generados en El Salvador y qué lugar ocupan los plásticos incluyendo el Poliestireno Expandido es necesario conocer la composición de los desechos sólidos generados.

En la figura 2-8 se muestra un gráfico donde se desglosa la composición de los desechos sólidos, donde se puede observar que el 10% pertenece a los plásticos. Así como también desechos especiales que en su mayoría no reciben un tratamiento adecuado como llantas, electrodomésticos, durapax (Poliestireno expandido), lámparas entre otros.

De la figura 2-8, se puede determinar que más de la mitad de los desechos sólidos lo componen los restos de alimentos y de podas, en el resto se incluyen los plásticos, papel, cartón, vidrio y demás, de los cuales alrededor de dos terceras partes pueden ser recuperados y transformados en nuevos productos.

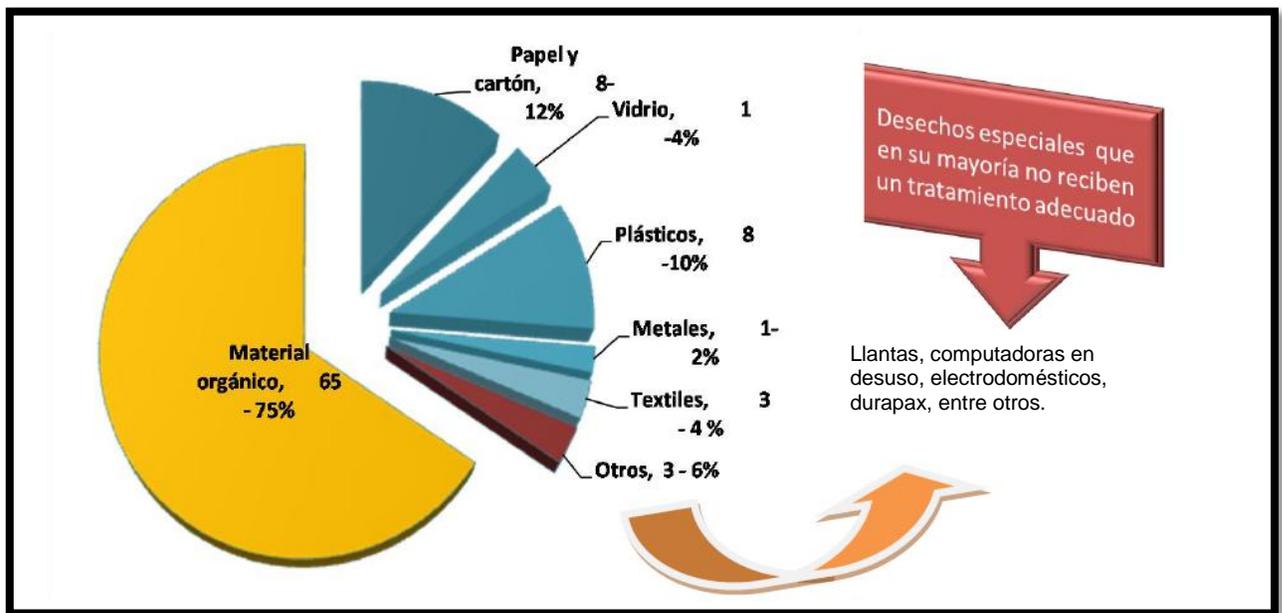


Figura 2-8. Composición de los desechos sólidos en El Salvador en rango de porcentajes.

Fuente: [MARN 2012].

En la figura 2-8 mostrada anteriormente se puede ver que la materia orgánica representa entre el 65 y el 75% de los desechos sólidos generados en El Salvador para fines de cálculo se tomara el promedio de 70% y para el porcentaje de plásticos que se representa entre el 8 y el 10% se tomara el promedio de 9%.

Es importante evaluar qué cantidad de este 10% de desecho plástico está siendo recuperado o reciclado, en la figura 2-9 se muestra la relación entre las cantidades generadas de desperdicios y las cantidades recuperadas o recicladas.

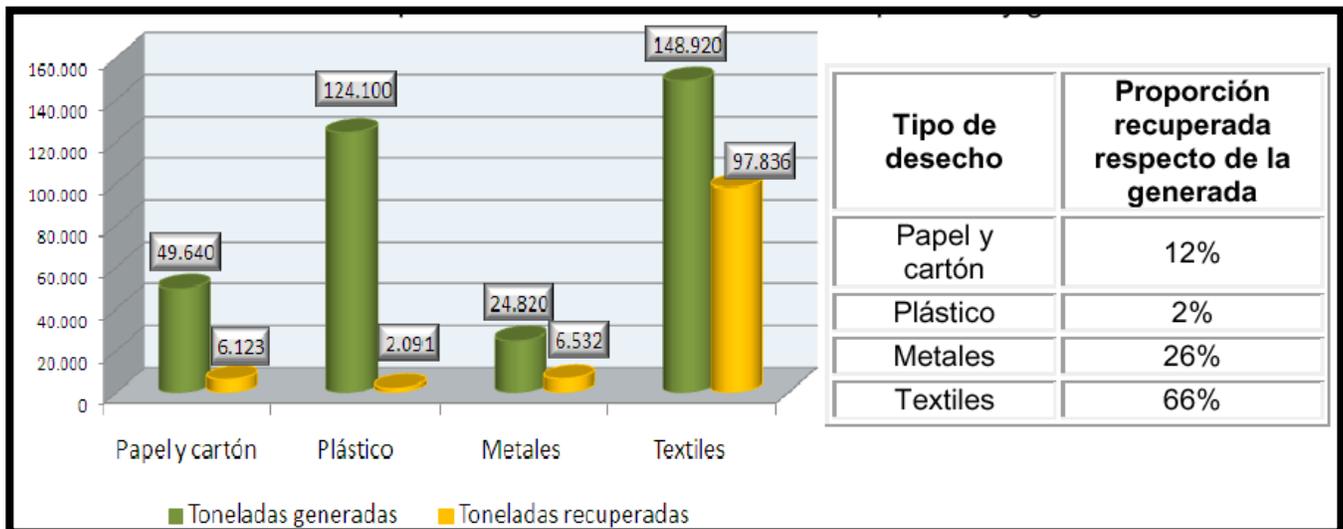


Figura 2-9. Relación de desechos sólidos generados versus la cantidad reciclada o regenerada. Fuente: [MARN 2012].

Según el reporte de desechos recuperados en el marco del Programa Nacional de Recuperación de Plásticos (2009), la relación de recuperación de plásticos es muy baja, por tal razón es importante la búsqueda de alternativas de reciclaje para materiales plásticos entre estos el Poliestireno expandido que hasta la fecha no tiene ningún destino de recuperación y reutilización. La figura 2-10, muestra la relación en porcentaje de plástico recuperado con el plástico generado. [MARN,

2012]

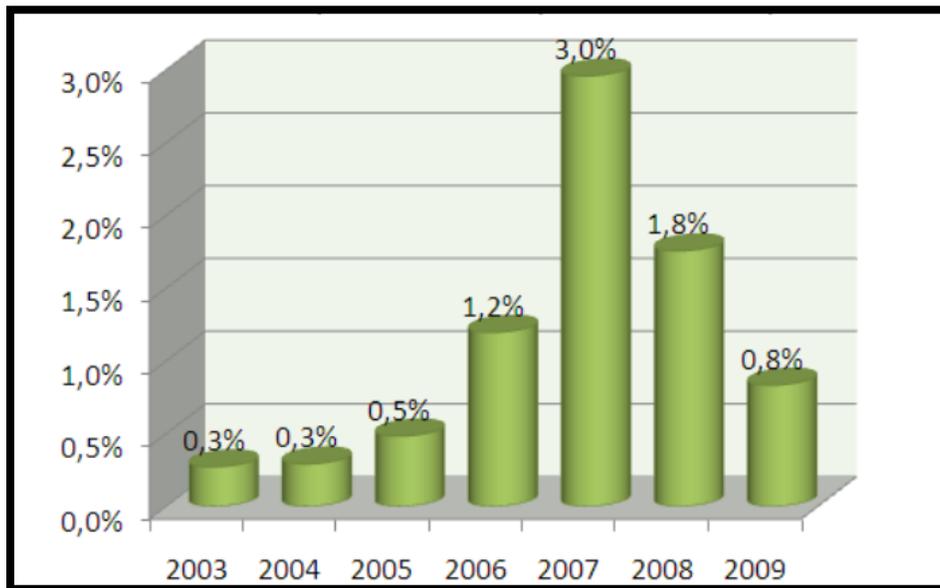


Figura 2-10. Relación de plásticos recuperados y plástico generado.
Fuente: [Programa Nacional de Recuperación de Plásticos 2003-2009].

Actualmente, la recuperación de los desechos sólidos es realizada de manera informal por segregadores ambulantes, pepenadores en rellenos sanitarios, empleados del servicio de recolección municipal, entre otro. [MARN 2012]

El Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), a raíz de la problemática que generan los desechos sólidos impulsa la separación en el origen y aprovechamiento de los desechos sólidos a nivel municipal, en este sentido el Programa Nacional de Manejo Integral de los Desechos Sólidos (PNMIDS) busca impulsar y mejorar la gestión integral de los desechos. [MARN, 2012]

Según entrevista realizada con personal encargado del departamento de Manejo Integral de los Desechos Sólidos (MARN), se tiene un verdadero interés por buscar alternativas de reciclaje para el Poliestireno Expandido conocido en El Salvador como durapax, en vista de la problemática que este material representa ya que reduce la vida útil de los rellenos sanitarios y genera otros impactos ambientales como contaminación visual, contaminación en los mantos acuíferos entre otros.

El MARN con el objeto de impulsar la separación en el origen y aprovechamiento de los desechos sólidos ha desarrollado lineamientos con el objetivo fundamental de “proporcionar un instrumento de apoyo para el manejo integral de los desechos, que fortalezca los procesos de separación en la gente y oriente la regulación de los centros de almacenamiento de los desechos comunes y especiales, con potencial de aprovechamiento, mediante acción que guíen su adecuado funcionamiento”.

La guía esta compuesta por los siguientes capítulos. [MARN, 2012]

- Capítulo 1. Guía para elaborar e implementar el plan de sensibilización para la separación de los desechos sólidos desde el origen.

Este capítulo cuenta con los siguientes apartados:

Coordinación con los actores claves del municipio para el aprovechamiento de los desechos sólidos orgánicos e inorgánicos en las plantas de compostaje y centros de acopio.

Formar y fortalecer el Comité Gestor Ambiental.

Programa de sensibilización ambiental para la separación de los desechos sólidos desde el origen, que consiste en diferentes fases:

1. Involucramiento de la comunidad educativa y grandes generadores (mercados, agroindustria y comercio).
 2. Programa de sensibilización orientado a un sector de población (barrio, colonia, etc.).
 3. Programa de sensibilización ambiental dirigido a toda la población.
- Capítulo 2. Guía para elaborar e implementar el plan de separación de desechos sólidos en mercados municipales.
 1. Beneficios obtenidos al realizar la separación de desechos sólidos.
Ver figura 2-11

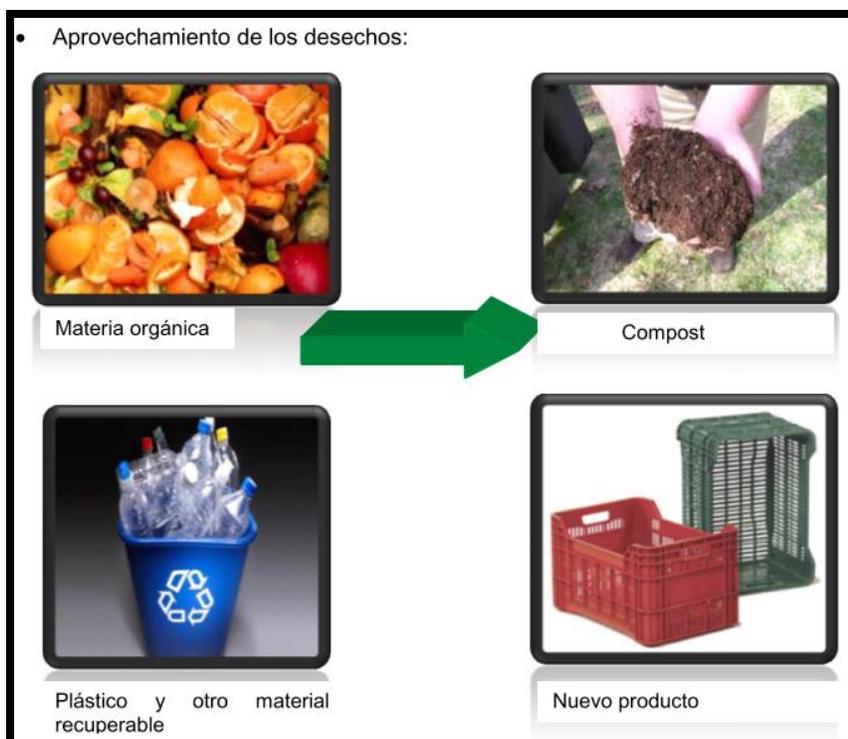


Figura 2-11. Beneficios obtenidos en la separación de desechos sólidos.
Fuente: [MARN 2012].

2. Actividades de parte de la municipalidad, de los comerciantes y estrategias.[MARN, 2012]

- Capítulo 3. Guía para el manejo de centros de acopio de materiales recuperables. Establece los requisitos básicos para el adecuado funcionamiento de Centros de Acopio de materiales recuperables, en cuanto a su localización, infraestructura, regulación y manejo adecuado que permita el ordenamiento y regulación del sector, de acuerdo con los volúmenes y tipos de materiales que se acopien
- Capítulo 4. Guía para el manejo de los centros de acopio para la recuperación de llantas en desuso.
- Capítulo 5. Divulgación y promoción: Estrategias para lograr la colaboración de la población. El capítulo busca establecer programas que fomenten la cooperación de los habitantes respecto del manejo de desechos sólidos. Con programas educativos e involucramiento de voluntarios.

- Capítulo 6. Seguimiento y monitoreo: La importancia de la coordinación interinstitucional.

2.2.1 Gestión actual de residuos de EPS en El Salvador.

En El Salvador actualmente no se cuenta con un mecanismo de reciclaje ni de tratamiento de Poliestireno Expandido propiamente, sin embargo, el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) ha iniciado acciones respecto a esta problemática que se tiene actualmente por este material, ya que genera un gran volumen de desperdicio sin ser tratado. El Ministerio del Medio Ambiente cuenta con unos lineamientos para separación y tratamiento de desechos sólidos titulado “*Lineamientos para impulsar la separación desde el origen y aprovechamiento de los desechos sólidos a nivel municipal 2012*”, que muestra el interés de esta institución para reducir la cantidad de desechos sólidos generados a nivel municipal y general para todo tipo de desecho sólido producido por la población, la industria, el comercio, entre otros.

En este documento se habla de todo desecho sólido a nivel general incluyendo los plásticos rama a la que pertenece el Poliestireno expandido, donde se espera obtener una alternativa viable de reciclaje con el objeto de reducir la cantidad de este material como desecho y darle una segunda vida útil.

Entre los elementos que tiene este programa “*Lineamientos para impulsar la separación desde el origen y aprovechamiento de los desechos sólidos a nivel municipal 2012*” se puede encontrar:

- **Plan Nacional para el mejoramiento de los Desechos Sólidos.** Tiene como finalidad dotar de infraestructura para un adecuado tratamiento y disposición final de los desechos sólidos, por medio de la construcción y ampliación de rellenos sanitarios y plantas de compostaje y recuperación.
[MARN, 2012]

- **Plan Nacional de Recuperación de Desechos sólidos.** Busca la participación de la empresa privada y los gobiernos locales para poder lograr una gestión integrada promoviendo la reducción de contaminantes, la reutilización, la segregación, recolección selectiva y aprovechamiento. Integrando de esta forma a la empresa privada podría ayudar a reducir la cantidad de contaminantes sólidos. Generando alternativas de reciclaje y que sean económicamente viables podría ser un incentivo para las empresas para que tomen un interés real por el tratamiento de desechos de sus productos. [MARN, 2012]
- **Plan Nacional de Sensibilización para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos,** este apartado tiene como objetivo formar conciencia en la sociedad y promover cambio de actitudes, considerando que la mayor cantidad de desechos de Poliestireno expandido (durapax) es utilizado en cafeterías, lugares de comidas rápidas, establecimientos de ventas en la calle, es importante incluir a la población en el interés por la reducción de la contaminación. [MARN, 2012]

Las acciones que se plantean para lograr la sensibilización de la población, de las industrias, sectores comerciales y a todos los implicados en esta problemática para el manejo integral de los desechos sólidos se muestran en la figura 2-12

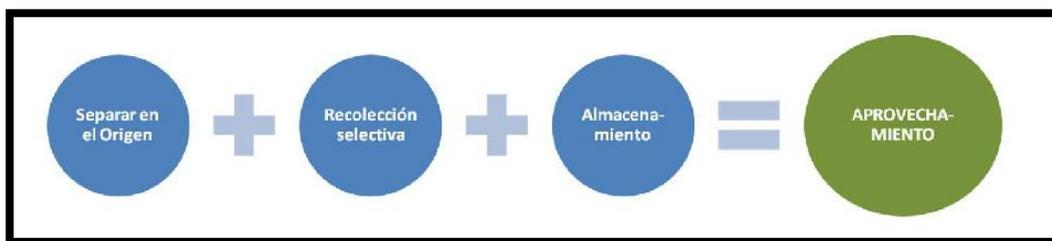


Figura 2-12. Acciones para la sensibilización para el adecuado manejo integral de los desechos sólidos.

Fuente: [MARN, 2012].

- **La etapa de separación**

Trata sobre el lugar donde han sido originados los desechos ya sea en hogares, escuelas, comercios, entre otros. Al separar los desechos desde su origen permiten darle un mejor tratamiento ya que se puede orientar hacia la actividad de reciclaje correspondiente a cada material, así como los plásticos, la materia orgánica para el compost. [MARN, 2012]

- **Recolección selectiva**

Luego de ser separados los desechos sólidos estos deben ser recolectados (2º etapa) por las municipalidades, personas particulares, empresas públicas o privadas donde se les dará un almacenamiento apropiado (3º etapa) y se iniciara la etapa de clasificación, para su posterior reciclaje y aprovechamiento. [MARN, 2012]

- **Almacenamiento**

El almacenamiento adecuado de los desechos sólidos puede evitar:

- Acumulación de desechos que no pueden venderse. [MARN, 2012]
- Promontorios de basura. [MARN, 2012]
- Contaminación de materiales que no podrían venderse. [MARN, 2012]

Luego de haberse cumplido las 3 etapas para iniciar el reciclaje, continua con el aprovechamiento del material a reciclar, convirtiéndose el desecho en una materia prima para la fabricación de un producto nuevo.

Ciclo sano de materiales

“Cuando un bien o producto que se convierte en desecho solido es separado y recuperado para ser reutilizado o reciclado, se incorpora a un **ciclo sano de materiales**, por dos razones: (1) ese desecho se convierte en un recurso o materia prima para fabricar nuevos productos, ingresa nuevamente a la cadena productiva y (2) el reciclar materiales disminuye en gran medida la extracción de recursos naturales para la fabricación de nuevos productos, por ejemplo, utilizar

petróleo para fabricar plástico, cortar árboles para fabricar papel, entre otros. Asimismo, se está contribuyendo a alargar la vida útil de los sitios de disposición final, puesto que habrá una reducción de los volúmenes de desechos”. [MARN, 2012]

En la figura 2-13 se puede observar el ciclo sano para un bien o un producto, vale la pena mencionar que en el caso del Poliestireno expandido no se cuenta todavía con un proceso de separación.

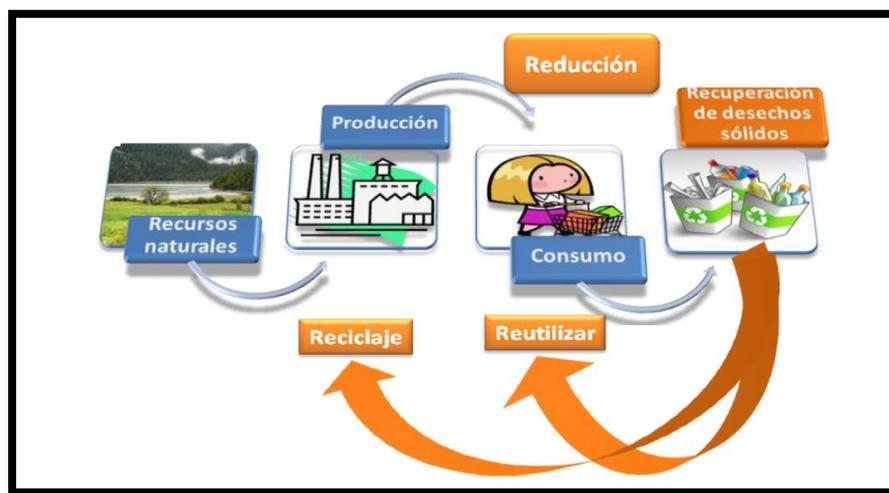


Figura 2-13. Ciclo sano de materiales.
Fuente: [MARN, 2012].

2.3 Impacto Ambiental.

El Poliestireno expandido ha sido diseñado para tener una vida útil de unos minutos o unas horas, sin embargo este continúa en nuestro ambiente por 500 o más años que es lo que tarda en degradarse, por ejemplo en Hong Kong es un grave problema al igual que en nuestro país ya que se utiliza para el almacenamiento de comida ya sea de comidas rápidas o de cafeterías de “comida a la vista”, la cantidad de basura que genera este material tiene preocupadas a las autoridades de Hong Kong ya que el consumo proliferado de comidas que utilizan este material genera una gran carga para su disposición final y los vertederos.

Cabe mencionar que el espacio en los vertederos se podría reducir de manera muy rápida debido a que no se ha generado ninguna otra medida para la disposición final de este material

Una de sus características particulares como su ligereza y capacidad de flotación provoca que este se pueda trasladar fácilmente por medio de canales de agua o drenajes, desembocando, como es de esperarse, en el océano donde se separa en pequeñas piezas no biodegradables que la fauna marina ingiere pensando que es alimento dañándolos o incluso provocándoles la muerte. “Según un estudio hecho en California, Estados Unidos al menos 162 especies marinas incluyendo aves marinas habían ingerido plásticos o algún otro desecho del mar”. [The Way to go, 2008]

El proceso de producción de Poliestireno expandido genera mucha polución al aire y genera grandes cantidades de desechos sólidos y líquidos. En 1986 la Agencia de Protección por el Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en ingles), señaló que la producción de Poliestireno ocupa el quinto puesto en la cantidad de desperdicios sólidos peligrosos genera en Estados Unidos. [The way to go, 2008]

Otro de los impactos ambientales que genera la producción de Poliestireno expandido, es la generación de dióxido de carbono (CO₂) principal causante del efecto invernadero ya que la materia prima para la producción de este material es el estireno que es un derivado del petróleo, material no renovable.

En la figura 2-14 se puede observar los usos que ha tenido el Poliestireno expandido entre los que se encuentran los de empaque y embalaje, platos y vasos desechables, contenedores de comida y piezas de Poliestireno, entre otros y que su disposición final, han sido los vertederos de basura.

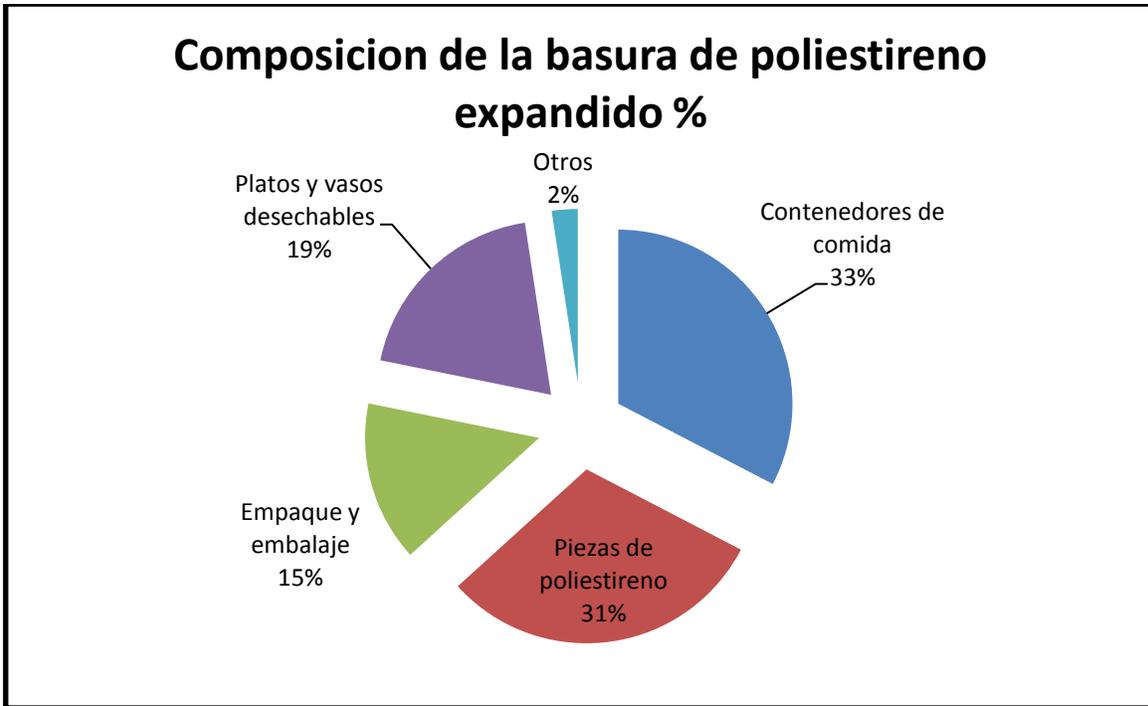


Figura 2-14. Composición de los residuos de PE, según el uso recibido en porcentaje.
Fuente: [Clean Up Australia Day, Rubbish Report 2009].

A escala mundial, el Poliestireno expandido constituye una fuente importante de residuos. Es conocida como la “basura blanca”, que cuando es desechada ensucia por largo tiempo, que como ya se ha mencionado con anterioridad su vida media es alta (puede tardar más de 500 años en degradarse). Este fenómeno hace que su acumulación en basureros y cuerpos de agua produzca graves daños ambientales.

“Hay reportes de especies que confunden las partículas de estos envases con alimento, los ingieren y se asfixian, como tortugas y peces”, refirió Gracia Fadrique del Laboratorio de Superficies del Departamento de Fisicoquímica de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM 2010. Mas sin embargo es uno de los materiales más empleados a nivel mundial.

Según informes internacionales, se pueden encontrar tres kilogramos de plástico por cada medio kilo de plancton en el mar. Se estima que 18 mil piezas de basura plástica flotan en cada kilómetro cuadrado de océano y cada año cobran la vida de miles de animales marinos. Aves, peces, tortugas y mamíferos marinos engullen este material derivado del petróleo. (bionero 2010)

2.4 Estadísticas de consumos y volumen ocupado por el EPS a nivel nacional.

En una investigación realizada por la Universidad de El Salvador titulada “Propuesta de un sistema de gestión integral de residuos sólidos municipales en el municipio de Ayutuxtepeque, San Salvador, El Salvador”. Se realizó un estudio y una caracterización física de los desechos sólidos generados en los hogares a lo largo de 15 días por 10 familias.

En la tabla 2-3 se muestra el resumen de los resultados obtenidos des estudio poniendo énfasis en grupo G4 al que pertenece el Poliestireno expandido tema de investigación.

Tabla 2-3. Total de kg consumidos por los 10 hogares de cada clasificación de los residuos sólidos.

Grupo	Residuos sólidos	Total kg
G1	Tereftalato de Polietileno (PET)	3.4022
G2	Polietileno de alta densidad (PEAD)	1.1276
G3	Polipropileno (PP)	0.3884
G4	Poliestireno (PS)	0.7230
G5	Plástico flexible	2.0230
G6	Polipropileno Biorientado (BOPP)	0.7498
-	Otros	15.1381
TOTAL		23.5521

Fuente: Elaboración propia a partir de [Propuesta de un sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos municipales en el municipio de Ayutuxtepeque, San Salvador, El Salvador, 2011].

Del total de los 23 kg de residuos sólidos pesados 0.723 kg representa al EPS generando un porcentaje del 3.06% del total. La figura 2-15 muestra el porcentaje del total perteneciente a cada grupo de los residuos sólidos urbanos generados en los 10 hogares.

Este porcentaje, aunque parezca bajo es de tomar en cuenta, considerando el volumen que este ocupa y que este material tarda más de 500 años en degradarse, puede ser una causa de impactos ambientales si no se le da la importancia que merece. Por tal razón se generara una relación de volumen/peso en kg de EPS y así poder realizar un estimado del volumen que ocupa cierta cantidad de kg de Poliestireno expandido.

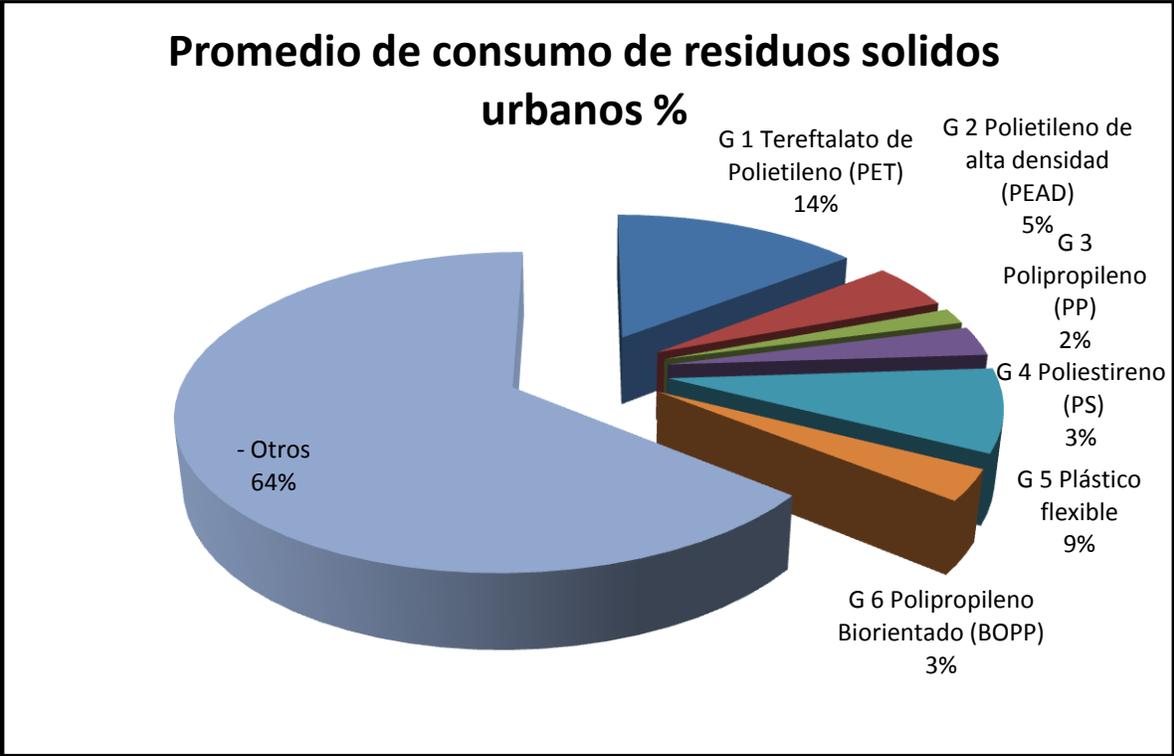


Figura 2-15. Promedio de consumo de residuos sólidos urbanos.
 Fuente: Elaboración propia a partir de [Propuesta de un sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos municipales en el municipio de Ayutuxtepeque, San Salvador, El Salvador, 2011].

Utilizando la fórmula del cálculo de volumen de un prisma rectangular: $V= L*W*h$ se obtuvo el volumen que ocupa el Poliestireno dando un resultado de $5,016 \text{ cm}^3$ o 0.005016 m^3 generando una relación de volumen/peso de:

$$\text{Volumen EPS } m^3 / \text{Peso EPS } kg = \frac{0.005016 m^3}{0.7230 kg} = 0.006937 m^3 / kg$$

Esta relación de volumen/peso se ha obtenido con el fin de proyectar el volumen generado y ocupado de EPS por la cantidad de desperdicio de EPS que se genera a nivel nacional.

La tabla 2-4 muestra la clasificación de los desechos sólidos urbanos y el consumo per cápita por persona y año de cada una de las clasificaciones a partir de los resultados obtenidos en las encuestas realizadas. La base de cálculo ha sido tomada considerando que del total de los desechos sólidos urbanos generados el 50% pertenece a material orgánico mientras el otro 50% pertenece a los materiales reciclables y no reciclables esto según el estudio denominado “Calculo de la generación per cápita y caracterización física de los desechos sólidos en la Ciudad de Ayutuxtepeque, departamento de San Salvador”.

Tabla 2-4. Clasificación de los desechos sólidos y el consumo per cápita.

Residuos Sólidos	Per cápita (Kg/persona*año)	%per cápita (base 50% RSD)
Reciclable	17.1710	20.63%
No reciclable	6.0310	7.32%
Otros	18.3465	22%
TOTAL	41.6085	50.00%

Fuente: Elaboración propia a partir de: [“Propuesta de un sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos municipales en el municipio de Ayutuxtepeque, San Salvador, El Salvador”, 2011].

Tomando de la tabla 2-4 el porcentaje de residuos sólidos reciclables representado con el 20.63% dentro del cual está incluido el Poliestireno expandido, se puede observar en la figura 2-16 el porcentaje que representan los plásticos en el total del porcentaje de residuos sólidos reciclables.

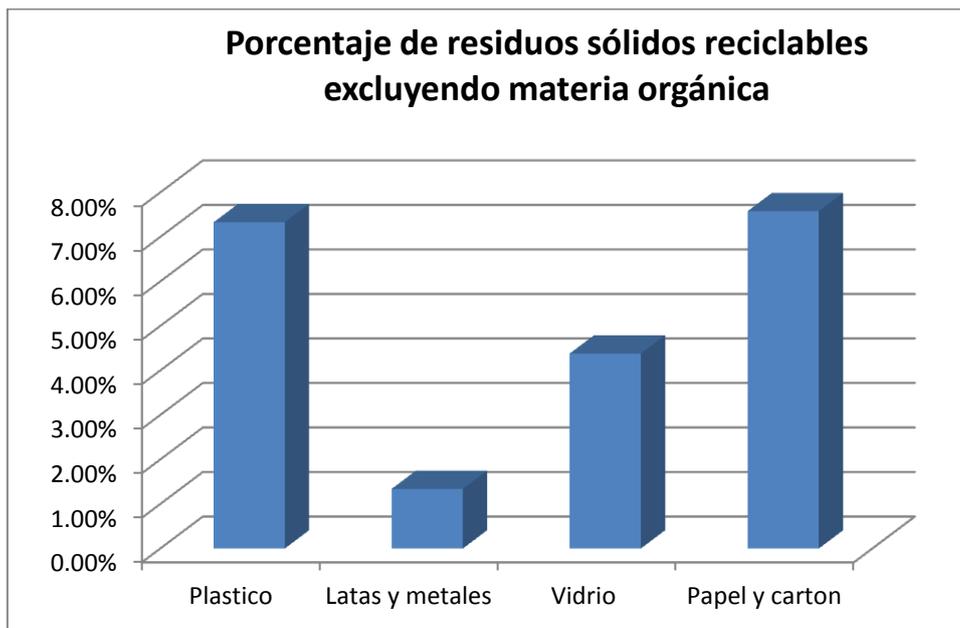


Figura 2-16. Porcentaje de residuos sólidos reciclables excluyendo materia orgánica. Fuente: [Alvarado, Patricia, et al, 2011].

De la figura 2-16 se determina que los plásticos ocupan el segundo lugar en porcentaje representando un 7.33%, en la figura 2-17 se puede ver la clasificación de diferentes plásticos entre ellos el Poliestireno expandido que pertenecen al porcentaje anteriormente mencionado.

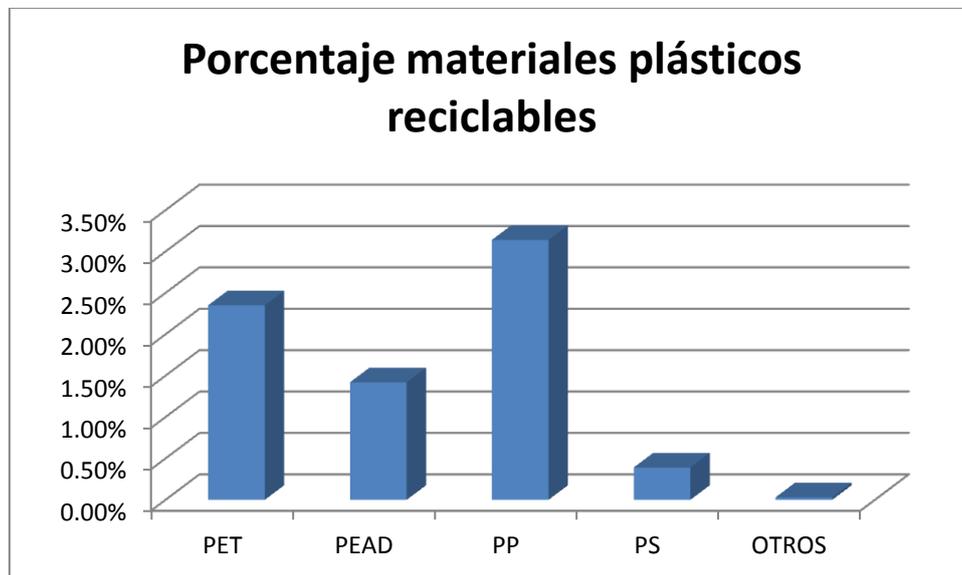


Figura 2-17. Clasificación y porcentaje de materiales plásticos reciclables.
Fuente: [Alvarado, Patricia, et al, 2011].

De la figura 2-17 se puede obtener que el porcentaje que ocupa el Poliestireno expandido en la clasificación de plásticos es de 0.39%, dentro de este porcentaje se encuentran materiales tales como bandejas de frutas o verduras, platos y vasos desechables, vasos de sopas tipo maruchan y depósitos de comida china.

En la tabla 2-5 se muestra la clasificación de los materiales de EPS y el consumo por persona por mes y año. A partir de la tabla 2-5 se puede observar que los materiales de mayor consumo de EPS son los platos y vasos desechables, que se utilizan para reuniones, fiestas, entre otras cosas. Además que el consumo promedio por persona al año es de 0.3284 kg.

Tabla 2-5. Consumo por persona por mes y año de diferentes materiales de EPS.

Plástico	Materiales Plásticos	Per Cápita (g/persona*mes)	Per Cápita (kg/persona*año)
EPS	Bandejas de frutas o verduras	3.0268	0.0363
	Platos y vasos desechables	21.4524	0.2574
	Vasos de sopas tipo Maruchan	2.1325	0.0256
	Depósitos de comidas chinas	0.76	0.0091
	TOTAL	27.3717	0.3284

Fuente: "Propuesta de un sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos municipales en el municipio de Ayutuxtepeque, San Salvador, El Salvador", 2011.

La figura 2-18 muestra que con el 78% los platos y vasos desechables es el mayor porcentaje de consumo per cápita por año por persona, utilizados comúnmente para reuniones o fiestas.

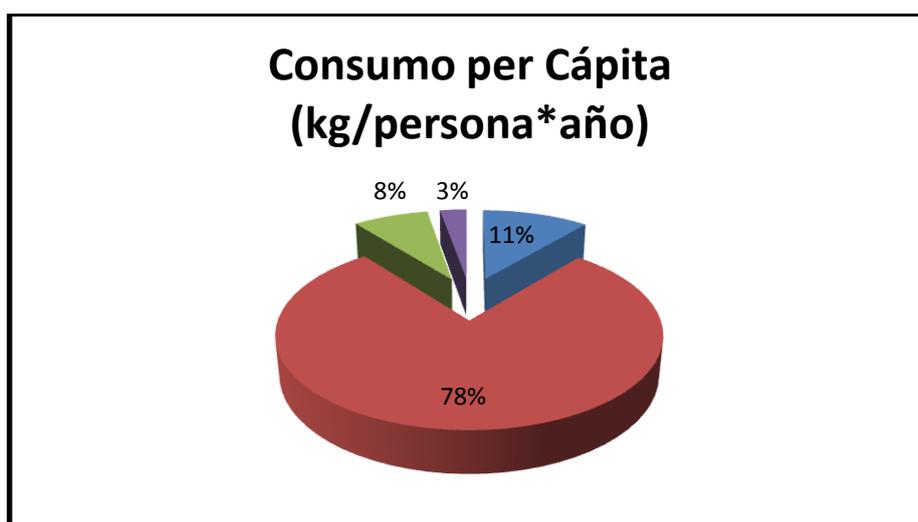


Figura 2-18. Porcentaje de consumo per capital en kg/persona*año de EPS.

Fuente: Elaboración propia a partir de ["Propuesta de un sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos municipales en el municipio de Ayutuxtepeque, San Salvador, El Salvador", 2011].

2.4.1 Proyección de datos y obtención de volúmenes generados de Poliestireno Expandido a nivel de El Salvador, San Salvador y Campus Universitario de la Universidad de El Salvador.

Los datos anteriormente mostrados han sido obtenidos en el año del 2011 por lo que resulta necesario hacer una proyección para el año 2012 de esta manera poder obtener un valor estimado del volumen y cantidad de Poliestireno Expandido que se consume a nivel nacional.

Utilizando una regla de tres simple se puede obtener el valor del porcentaje que ocupa el Poliestireno expandido en los desechos sólidos, tomando el valor previamente mencionado del 0.39% de EPS perteneciente al total del porcentaje de plástico 7.33%.

$$\%EPS = \frac{9\% \text{ plástico, 2012} * 0.39\%EPS, 2009}{7.33\% \text{ plástico, 2009}} = \mathbf{0.4788\% \text{ de EPS}}$$

Este valor representa una estimación y proyección del porcentaje que ocupa el EPS en la totalidad de los desechos sólidos generados a nivel nacional para el 2012.

Tomando el valor presentado en el documento del MARN respecto a la cantidad de desechos generados a nivel nacional con un valor de 3,400 toneladas por día. La cantidad de EPS producido al día por los desechos sólidos de los hogares sería de un aproximado de:

$$\begin{aligned} \text{Ton de EPS/día} &= \frac{0.004788 \text{ de EPS}}{\text{ton de basura}} * 3,400 \text{ ton de basura/día} \\ &= \mathbf{16.2792 \text{ ton de EPS/día}} \end{aligned}$$

16.2792 toneladas de Poliestireno expandido que se estaría generando como residuo por día. Partiendo de la relación volumen/peso que se ha obtenido con anterioridad se puede calcular el volumen que ocupan estas 16.2792 de toneladas de Poliestireno expandido producido por día.

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen de EPS} &= 0.006937 \text{ m}^3/\text{kg} * 16.2792 \text{ ton}/\text{día} * 1,000 \text{ kg}/\text{ton} \\
 &= 112.9288 \text{ m}^3/\text{día} * 365 \text{ día}/\text{año} = \mathbf{41,219.0158 \text{ m}^3/\text{año}}
 \end{aligned}$$

El volumen producido de EPS en un año es aproximadamente de 41,219.0158 m³ esta es la cantidad de desecho producido de este material en El Salvador que sin tener ningún tipo de reciclaje termina en los botaderos o rellenos sanitarios tardando en degradarse aproximadamente 500 años o más.

Otro estimado del consumo de Poliestireno expandido consumido a nivel de San Salvador se puede calcular utilizando el valor de kg de EPS consumido por persona por año (0.3284 kg/año) que se ha mencionado con anterioridad.

Para el caso se tomara como base de la totalidad de la población de San Salvador presentada por la Dirección General de Estadísticas y Censos DIGESTYC junio 2012 en su documento “Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples 2011”.

La EHPM 2011 se desarrolló entre los meses de enero a diciembre, con una muestra de 19,968 hogares obteniendo representatividad a nivel total país, total país urbano, total país rural, Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), departamental y de los 50 municipios más grandes del país. [EHPM, 2011]

Se hará una proyección solo para el departamento de San Salvador ya que el muestreo hecho de donde se obtuvo el consumo de EPS fue realizado a nivel de San Salvador.

Según la EHPM 2011 en San Salvador viven 6,213,730 habitantes, sabiendo que cada persona consume aproximadamente 0.3284 kg de Poliestireno expandido por año se puede obtener la cantidad de EPS consumido por la población de San Salvador y el volumen que este ocupa.

kg de EPS consumido por año

$$\begin{aligned} &= 0.3284 \text{ kg/persona} * \text{año} * 6,213,730 \text{ personas en San Salvador} \\ &= \mathbf{2,040,588.932 \text{ kg EPS/año}} \end{aligned}$$

Para conocer el volumen de esta cantidad de kg de EPS consumida por año se utilizara la misma relación de volumen/peso:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de EPS } m^3/\text{año} &= 0.006937 \text{ m}^3/\text{kg} * 2,040,588.932 \text{ kg EPS/año} \\ &= \mathbf{14,155.565 \text{ m}^3\text{EPS/año}} \end{aligned}$$

Esta es otra estimación de la cantidad de volumen que ocupa el Poliestireno expandido a nivel de San Salvador.

2.4.2 Situación y análisis de datos de consumo y desechos generados de recipientes de Poliestireno Expandido en las cafeterías de la Universidad de El Salvador.

Para tener una idea de la cantidad de desecho generado en la Universidad de El Salvador se realizó una encuesta en las 6 cafeterías que operan dentro de las instalaciones consultando las marcas que utilizan de materiales de durapax o EPS, los lugares donde adquieren los productos, tipos de recipientes que utilizan y sus tamaños; la frecuencia con que adquieren estos productos y lo más importante es la cantidad de material que utilizan diariamente, lo anterior para poder estimar de forma cualitativa la cantidad de desperdicio que se genera en la Universidad de El Salvador, de este material.

Además se consultó si en las cafeterías conocían algún método de reciclaje de durapax y la disposición final que se le da a estos recipientes. Todo esto con el fin de generar conciencia en la población estudiantil de la problemática de este material y la cantidad que se generó en el centro de estudios sin darle ningún tratamiento así

como también tener un nicho donde se pueda iniciar el proceso de separación y reciclaje de este material a través de prácticas de laboratorio para que los estudiantes puedan ser capaces de reconocer los potenciales usos que tiene este material para su reciclado. A continuación se presenta en forma gráfica los resultados de las encuestas.

En la figura 2-19 se muestran las marcas comerciales más utilizadas por las cafeterías de la Universidad de El Salvador, en los resultados se refleja que en una cafetería se utiliza más de una marca comercial en el consumo de productos de EPS.

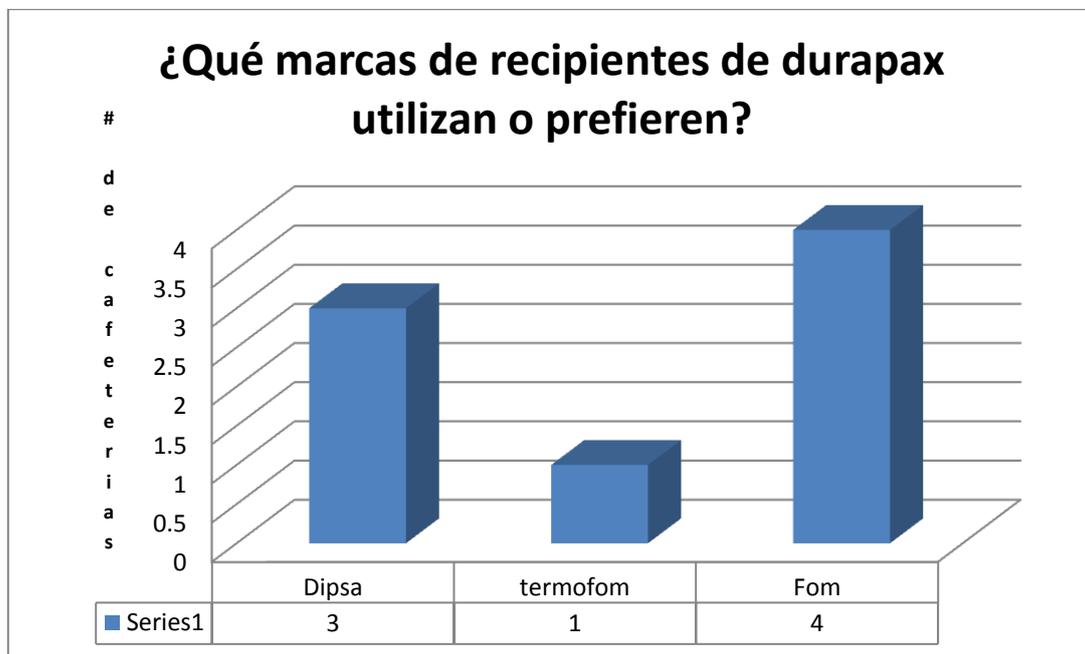


Figura 2-19. Marcas de recipientes de durapax preferidas por las cafeterías de la UES.
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

En la figura 2-20 se puede observar que la marca más utilizada es Fom de la compañía Termoformados Modernos S.A de C.V.

Preferencia de marcas distribuidoras de EPS

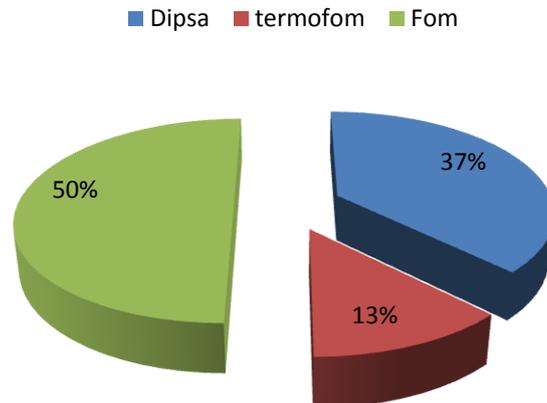


Figura 2-20 Porcentaje representativo de marcas comerciales distribuidoras de material de EPS
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

Las figuras 2-21 y 2-22 muestra los lugares en los que se adquieren los productos de durapax para servir los alimentos vendidos en las cafeterías de la Universidad de El Salvador, el lugar de preferencia son los mercados con un 67% además entre “otros” se pueden encontrar Distribuidora Marymer.

¿En qué lugares adquieren estos productos?

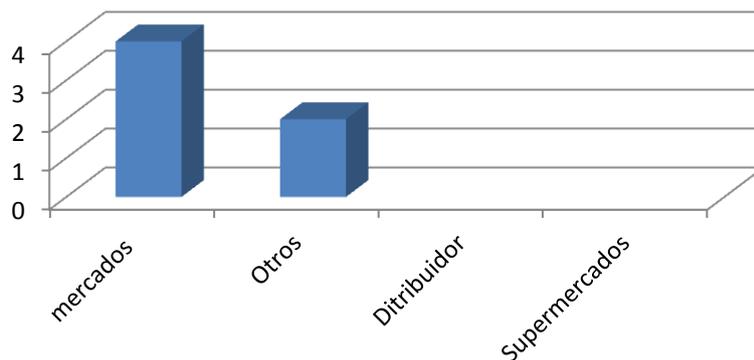


Figura 2-21. Lugares de adquisición de productos de durapax.
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

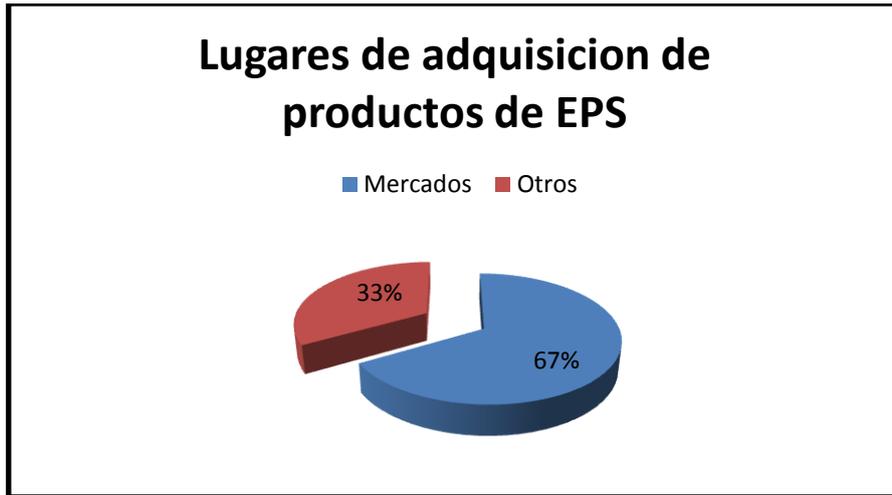


Figura 2-22. Lugares donde mayormente se adquieren productos de EPS
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

De las figuras 2-23 y 2-24 se puede concluir que la mayor cantidad de recipientes utilizados son los platos y los vasos donde se sirven la comida usualmente “para llevar” siendo estos los mayores generadores de residuos que además contienen restos de material orgánico que termina en descomposición.

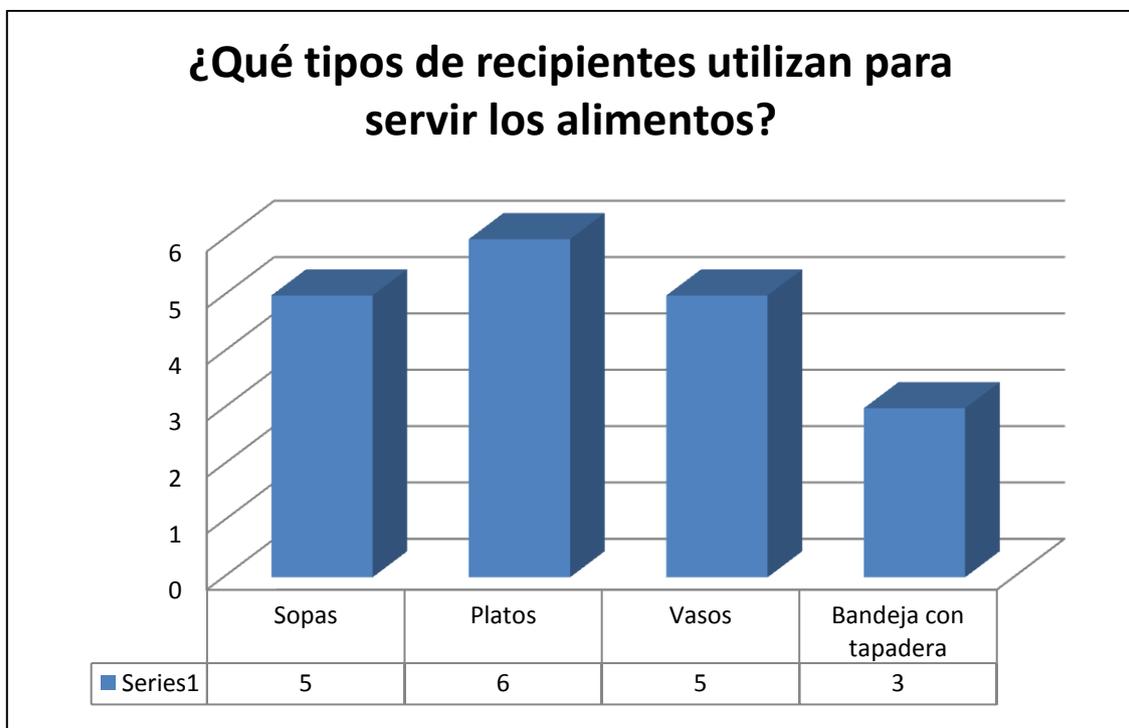


Figura 2-23. Tipos de recipientes utilizados para servir los alimentos.
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

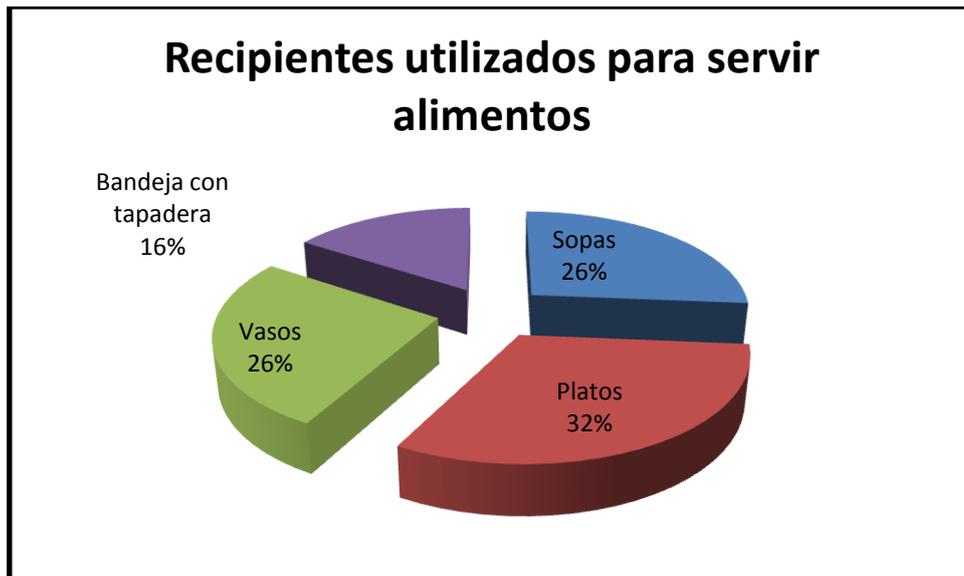


Figura 2-24. Porcentaje de recipientes utilizados de EPS para servir alimentos.
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

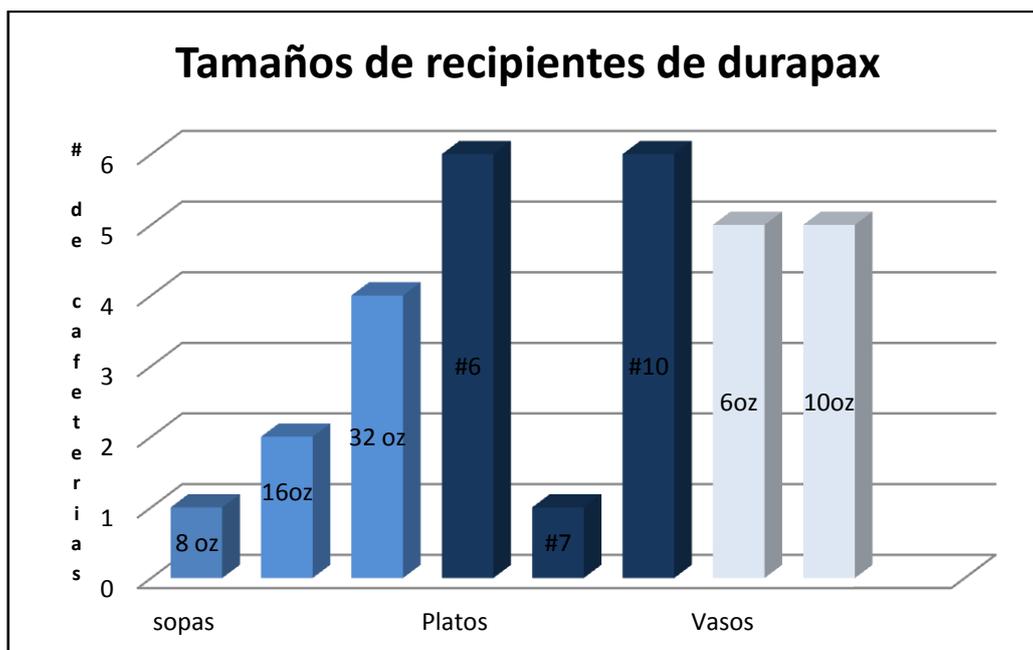


Figura 2-25. Diferentes tamaños de recipientes de durapax utilizados por las cafeterías de la UES.
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

De la figura 2-25 se puede concluir que todas las cafeterías encuestadas el total de ellas utilizan platos #6 y #10 para servir alimentos y solo una cafetería responde no utilizar vasos de 6oz ni de 10oz.

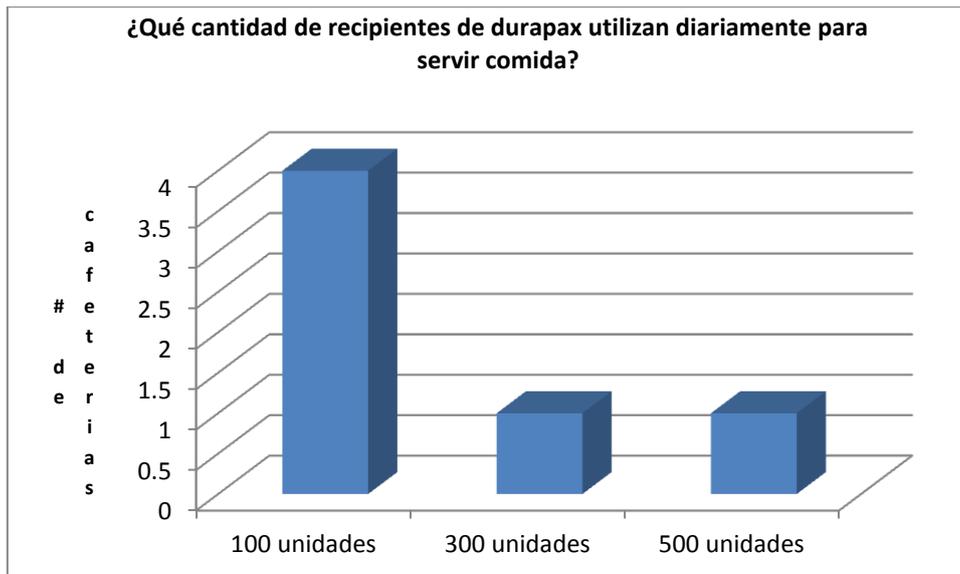


Figura 2-26. Cantidad de unidades utilizadas de durapax para servir los alimentos UES
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

La figura 2-26 muestra que de las 6 cafeterías encuestadas 4 utilizan 100 unidades de durapax diarios aproximadamente, una respondió que utilizan 300 unidades diarias y otra utiliza 500 unidades entre platos, vasos, recipientes soperos, etc.

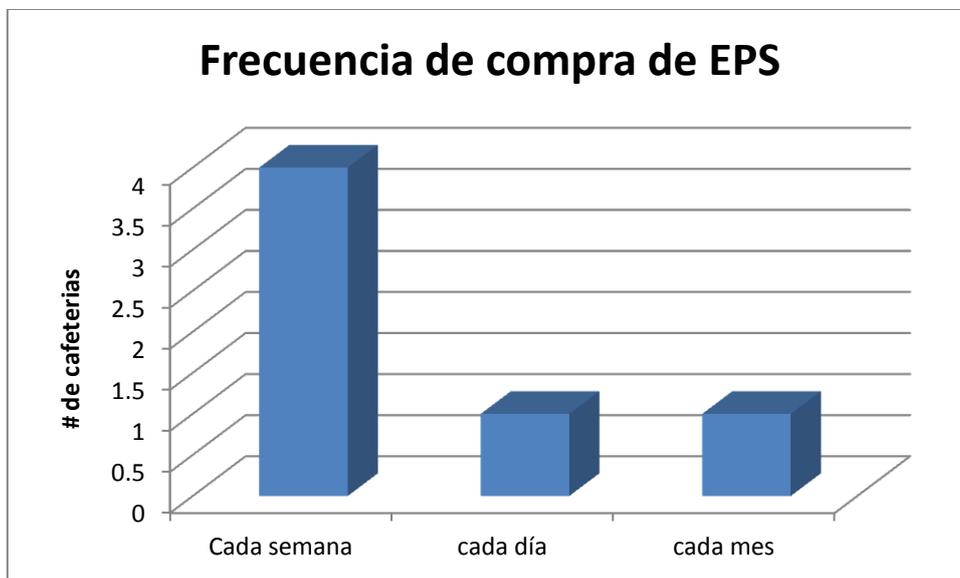


Figura 2-27. Frecuencia de compra de productos de EPS para alimentos
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

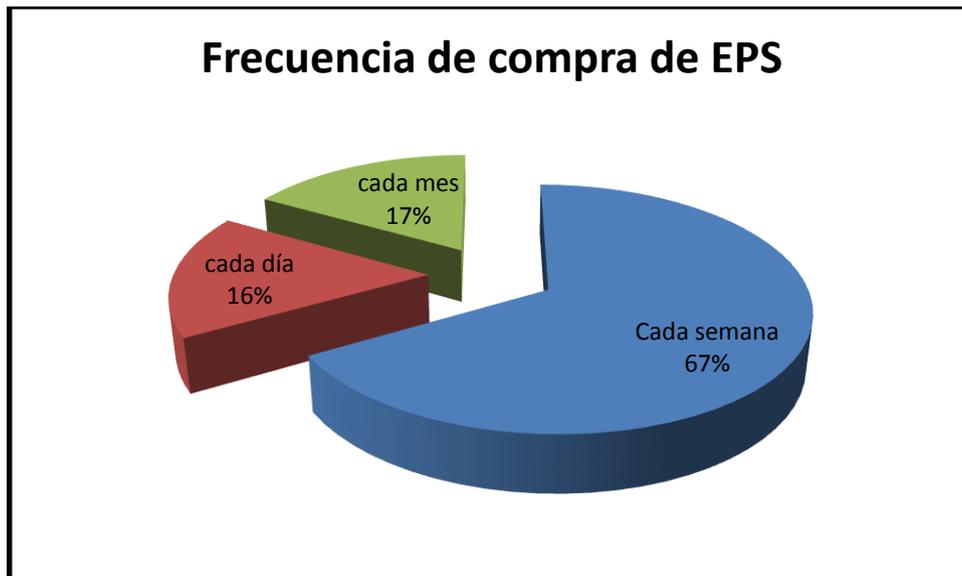


Figura 2-28. Porcentajes de frecuencia de compras de material de EPS.
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

Las figuras 2-27 y 2-28 muestran que el 67% de los encuestados adquieren sus productos de EPS cada semana mientras que solo el 17 se reabastece cada mes y el 16% hace sus compras diariamente.

Por último se realizaron dos preguntas respecto al reciclaje y disposición final que le dan a estos materiales una vez utilizados y desechados, el 100% de los encuestados respondió que no conocía ningún método de reciclaje de material de durapax o Poliestireno expandido además que el 100% de los encuestados respondió que la disposición final que se le da a estos materiales es de dejarlos en la basura y esperar a que se los lleve el recolector de la basura municipal.

Para conocer la cantidad de desperdicio que se genera a nivel de la Universidad de El Salvador se puede tomar en cuenta la cantidad de unidades de EPS que utilizan las cafeterías diariamente y que termina sin ningún tratamiento en la basura municipal o esparcida a lo largo de todo el campus universitario.

El valor se tomara de la figura 2-26 donde muestra la cantidad de EPS utilizado diariamente dando un resultado total para las 6 cafeterías de 1,200 unidades diarias o tomando en cuenta un año calendario serian 438,000 unidades al año con un peso promedio de 0.0042 kg por unidad sería un estimado de 1,839.6 kg por año.

Utilizando nuevamente la relación de volumen/peso es posible calcular el volumen que ocupa esta cantidad de material de Poliestireno expandido generado en la Universidad de El Salvador.

$$\text{Volumen EPS UES} = 0.006937 \text{ m}^3/\text{kg} * 1,839.6 \text{ kg EPS/año} = 12.76 \text{ m}^3/\text{año}$$

Este es un valor aproximado de la cantidad de volumen que se genera de desperdicio de EPS a nivel del campus de la Universidad de El Salvador.

En este apartado se han obtenido 3 estimados de cantidad de EPS generado y el volumen utilizado por este material como desperdicio tanto a nivel de El Salvador, a nivel de San Salvador y a nivel de la Universidad de El Salvador. Para poder tener una imagen de la importancia que tiene darle un tratamiento al Poliestireno expandido para evitar que este termine en botaderos o rellenos sanitarios tardando más de 500 años en degradarse.

Tabla 2-6 Resumen de datos del consumo y volumen ocupado de residuos de EPS a nivel de El Salvador, San Salvador y la UES.

	Ton/año	m ³ /año
El Salvador	5,941.91	41,219.02
San Salvador	2,040.59	14,155.57
UES	1.8396	12.76

Fuente: Elaboración propia, 2012.

En la tabla 2-6 Se muestra un comparativo del consumo a nivel de El Salvador, San Salvador y la UES de la generación de residuos de Poliestireno expandido el 34% de estos residuos se generan en San Salvador, dato que concuerda con lo mencionado anteriormente en el que este departamento es de los mayores generadores de residuos sólidos

2.5 Disposición Final de EPS.

Actualmente la disposición final que tiene el EPS es en un relleno sanitario, tirado en las calles etc. Provocando con esto un significativo impacto ambiental así como contaminación visual, contaminación del aire, del agua, del suelo; la disposición final que se le dé a este tipo de productos (EPS) es de gran valor ya que el aprovechamiento de materiales con potencial reciclable tiene muchos beneficios, entre los más importantes podemos mencionar:

- Preservación de los recursos naturales, pues la materia reciclada se reutiliza, disminuyendo con ello, el uso de los recursos naturales.
- Reducción del volumen de desechos que se depositan en los rellenos sanitarios, por lo que aumenta su vida útil.
- Reducción de costos asociados a la producción de nuevos bienes, ya que muchas veces el empleo de material reciclado supone un costo menor que el material virgen.

En la Figura 2-29 se muestra la disposición final de desechos sólidos que se tiene actualmente en El Salvador:



Figura 2-29. Manejo actual de Desechos Sólidos.
Fuente: [MARN, febrero 2012].

La importancia de conocer la composición de los desechos sólidos (véase figura 2-10) permite identificar alternativas de tratamiento y aprovechamiento o en su defecto una disposición final ambientalmente adecuada, que resguarde el medio ambiente y la salud de la población.

En el país más de la mitad de los desechos sólidos son de naturaleza orgánica, como por ejemplo restos de alimentos y de podas, cuyo aprovechamiento principal puede ser la elaboración de compost. El resto, son desechos inorgánicos como por ejemplo plásticos, papel, cartón, vidrio y demás, de los cuales alrededor de dos terceras partes pueden ser recuperados y transformados en nuevos productos. Es fundamental el aprovechamiento de materiales con potencial reciclable, ya que al recuperarse pueden comercializarse y por lo general son orientados a los siguientes destinos: [MARN, 2012]

- ✓ Empresas acopiadoras que exportan plástico, metales, vidrio, desechos electrónicos, entre otros
- ✓ Empresas recicladoras de metales (ferrosos y no ferrosos), plástico, papel, cartón, vidrio, textiles, llantas y otros no peligrosos.

La recuperación informal ha fomentado la proliferación de sitios donde se almacenan los materiales con potencial de reciclaje, pero funcionando en espacios y condiciones inadecuadas, y la mayoría operan sin los permisos pertinentes.

Un buen porcentaje de desechos que se comercializan se recuperan en rellenos sanitarios, siendo la principal fuente de ingresos para los pepenadores y sus familias.

Además, la búsqueda de alternativas de ingresos económicos en las familias ha generado proliferación de lugares donde acopian diferentes tipos de desechos, que van desde los comunes como latas, plástico, papel, hasta los que acopian desechos especiales como equipos electrónicos y eléctricos; situación que se evidencia a toda escala, minoristas, intermediarios y mayoristas.

El hecho de no contar con una disposición adecuada de los residuos de EPS así como otros desechos sólidos genera altos costos de manejo de los desechos, debido a que los municipios cargan con la disposición final de todos los desechos comunes: plásticos, vidrio, papel; y desechos especiales como: llantas, computadoras, entre otros, también al tener casi nula responsabilidad extendida del productor: los fabricantes y distribuidores-importadores no se responsabilizan de los desechos que generan el consumo de sus productos.

2.6 Alternativas Actuales de Reciclaje.

Entre las alternativas posibles para el reciclaje de Poliestireno Expandido actualmente se tiene las siguientes:

Reciclo en el proceso de producción de Poliestireno expandido.

Hasta el momento el principal método que ha sido utilizado para el reciclaje del Poliestireno expandido es su reutilización en el proceso de producción con material virgen que consiste en despedazar mecánicamente el material para luego formar nuevas piezas con material reciclado, hay que tomar en cuenta que esto solo puede realizarse cuando no se van a realizar piezas para contener alimentos, ya que en ese caso si debe de ser de material 100% virgen para mantener la inocuidad del producto.

Compostaje y aireación del suelo.

El compostaje consiste en la transformación de los residuos y materiales orgánicos en un sustrato denominado compost que posteriormente se utiliza como fertilizante para los suelos en diversos cultivos.

Todos los materiales orgánicos tarde o temprano se descomponen pero la velocidad de descomposición depende de algunos factores que a continuación se mencionan:

- **Relación Carbono – Nitrógeno.** El carbono es utilizado por los organismos como fuente de energía por medio de la oxidación, cuando hay poca presencia de nitrógeno el proceso de descomposición se vuelve más lento,

sin embargo, la excesiva cantidad de nitrógeno puede ocasionar la generación de amoníaco que genera mal olor.

- **Aireación del suelo o disponibilidad de oxígeno.** Este factor es de suma importancia ya que es lo que propicia la descomposición eficiente de los materiales orgánicos.
- **Humedad.** Importante que haya un ambiente húmedo ya que los microorganismos solo pueden utilizar las moléculas orgánicas disueltas en agua; para un buen compostaje el porcentaje de humedad debe estar en el rango de 40 a 60%.

¿Como el Poliestireno expandido puede contribuir con la producción de compost y aireación del suelo? El Poliestireno expandido es un material inerte, tiene muy poca absorción de agua y por supuesto el factor más importante: contiene aire. De esta manera contribuye a que el compost y el suelo tengan un esponjamiento duradero para el material en descomposición.

Para utilizarlo como aireador es necesario triturar el material de Poliestireno expandido ya descartado procurando que alrededor del 60% de las partículas tengan un tamaño de grano de entre 6 – 12mm. Luego se mezcla en una proporción de entre el 25% y el 15% del volumen del suelo o el compost. Además para el compost la presencia del EPS contribuye a la disminución de la generación de lixiviados. (ANAPE)

Obtención de pegamento y barniz.

El Poliestireno expandido es sensible a los disolventes orgánicos y según investigaciones realizadas en la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM es posible utilizar este polímero en solución para diferentes aplicaciones.

Por ejemplo: una disolución a bajas concentraciones se puede utilizar como un recubrimiento común o barniz para papel, cartón o madera, utilizado como un sellador que puede ser aplicado incluso con brocha o aerosol; caso contrario, si la concentración aumenta este se puede convertir en un pegamento para papel, madera o incluso plástico.

Para reducir el impacto ambiental en el proceso de reciclaje y transformación de este material en pegamento o barniz, es necesario utilizar disolventes amigables con el medio ambiente el proceso consiste en disolver una cantidad de Poliestireno expandido en una solución de disolvente orgánico. (UNAM)

Obtención de Loquetas de EPS.

La obtención de Loquetas para colocar en el suelo de los kínder, aéreas de juego o como un material anti golpes; es una posible alternativa de reciclaje para el durapax y muy amigable con el ambiente pero para esto se necesita investigar cual sería el aglomerante que nos permita unir fragmentos de durapax y dar una cohesión al conjunto de material. [Ecoamigos del Plástico, 2012]

Obtención de diferentes Productos (zócalos, marcos para fotos, materiales para construcción).

En Brasil existe una empresa llamada RODAPÉS SANTA LUZIA (ver figura 2-30), esta empresa está orientada al trabajo de sustentabilidad, su idea es el uso de las nuevas tecnologías en el reaprovechamiento de materiales que llevaría décadas en descomponerse en la naturaleza, dándoles ahora un uso productivo.



Figura 2-30. Obtención de material de durapax procesado por RODAPES SANTA LUZIA.
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

RODAPÉS SANTA LUZIA, está implementando un proceso de recuperación de durapax usado, para luego ser transformado en diferentes productos el proceso es el siguiente:

- Recolección del durapax usado, según se muestra en la figura 2-31 cuando ya se tiene todo el durapax agrupado.



Figura 2-31. Durapax recolectado usado.
Fuente: [MARN, Unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos].

- Calentamiento y extracción de todo el oxígeno, para obtener una tira caliente como se muestra en la figura 2-32.



Figura 2-32. Extracción de oxígeno del durapax y muestra de pieza posterior al proceso.
Fuente: [MARN, Unidad de Desechos Sólidos y Peligroso].

- Picado del material. (figura 2-33)



Figura 2-33. Material picado luego de ser extraído el aire.
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

- Comercialización para ser usado en construcción, marcos para fotos etc. (figura 2-34)



Figura 2-34. Producto fina, losetas hechas de Poliestireno expandido reciclado
Fuente: [Elaboración propia, 2012].

Siendo esta una alternativa de mitigación de la cantidad de material depositado en los rellenos sanitarios. [MARN Unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos, 2012]

2.6.1 Experiencias internacionales en el reciclaje del Poliestireno expandido.

México ha sido uno de los países pioneros en el reciclaje de Poliestireno expandido o mejor conocido en México como “unicel” como es el caso de la asociación de dos empresas (QUALY PANEL S.A de C.V y CITIZEN DE MEXICO S.A de C.V a través del programa CONCAMIN-NISP para el reciclaje de este material en la producción de paneles.

QUALY PANEL es una industria en México que se ha dedicado a la producción de paneles de Poliestireno expandido desde 1993 mezclando material virgen con material reciclado; CITIZEN DE MEXICO es una empresa Japonesa que labora en México desde hace más de 40 años en la producción de relojes.

El asocio entre estas dos empresas surgió luego de darse cuenta que en la compañía CITIZEN las partes que utilizan para producir los relojes venían con material de embalaje de Poliestireno expandido, material que aprovecha la empresa QUALY PANEL para la producción de sus productos a partir de material reciclado.

El Programa Nacional de Simbiosis Industrial (NISP, por sus siglas en inglés) es el que ha permitido este asocio de empresas.

“La simbiosis industrial involucra industrias tradicionalmente separadas y otras organizaciones en un acercamiento colectivo con una ventaja competitiva que trata del intercambio físico de materiales, energía, agua y/o subproductos, además del uso compartido de activos, logística, expertos y transferencia de conocimientos”. [NISP, 2008].

La figura 2-35 muestra de manera resumida los logros generados por el programa CONCAMIN-NISP.

Reciclaje de Empaque de Poliestireno		
Antes	Sinergia	Después
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa dedicada al ensamble de relojes: <ol style="list-style-type: none"> 1. Recibía piezas de ensamble en empaques de unigel. 2. Unigel se disponía en relleno en vía recolector. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de residuo como materia prima. 	<p>Empresa receptora recicla el unigel para producir paneles de poliestireno expandido.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beneficios: <ol style="list-style-type: none"> 1. Se evitó la disposición de 360 kg de unigel a relleno sanitario. 2. Ahorro de \$14,400 por dejar de enviar el material a relleno. 3. Ahorro por donación del material de \$1,440.

Figura 2-35. Logros de reciclaje de Poliestireno expandido en México, por medio de programa CONCAMIN-NISP.
Fuente: [NISP, 2008].

3. PRUEBAS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE RECICLAJE DE EPS

Partiendo de la revisión bibliográfica de los capítulos anteriores fue posible conocer las diferentes aplicaciones que se le puede dar al EPS como material de reciclaje con el fin de reducir la cantidad de este material generando una segunda vida útil. La validación de las alternativas de reciclaje con disolventes orgánicos para adhesivos y barniz se llevará a cabo mediante el análisis del diseño de experimento para cada una de ellas mostrando como influyen las diferentes variables que intervienen en el proceso de reciclaje como lo puede ser la concentración de durapax en diferentes solventes para obtener barniz o adhesivos. El uso de las proyecciones y estimaciones de volumen y peso de desperdicio generado de “durapax” presentadas en el capítulo 2 permitirá tener una idea de la cantidad de producto que se pueda obtener de acuerdo a la alternativa que se esté evaluando (adhesivos, barniz) y poder ser una alternativa viable tanto económicamente y amigable con el medio ambiente.

3.1 Recolección y muestreo de EPS post consumo en Universidad de El Salvador.

En la búsqueda por encontrar soluciones factibles ante la problemática presente en nuestra sociedad por el alto índice de contaminación debido a los diversos productos de Poliestireno Expandido, se realizó un muestreo en el campus de la Universidad de El Salvador en los lugares cercanos a cafeterías y donde por lo general hay más aglomeración de estudiantes para cuantificar la acumulación de productos de durapax luego de ser utilizados para diversas actividades humanas, posterior a esto se procedió a clasificar los diversos productos de EPS, limpieza de los mismos, pesaje de cada uno, sucio, así como también luego de ser lavados. Es importante mencionar que la cultura que se tiene actualmente con respecto a la disposición final de estos productos es prácticamente ninguna como lo evidenciamos en la figura 3-1, 3-2 y 3-3.



Figura 3-1. Acumulación de diversos productos de EPS en alrededores de cafetería-UES.
Fuente: Elaboración propia, 2012.



Figura 3-2. Productos de EPS acumulados en alrededores de cafetería-UES.
Fuente: Elaboración propia, 2012.



Figura 3-3. Utensilios de EPS post consumo en instalaciones de cafetería-UES.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

Fue posible comprobar que los diversos productos utilizados por clientes de los diferentes establecimientos de la cafetería de la UES los dejan en cualquier lugar luego de cumplir con su función, generando con esto la obstrucción de canaletas, alcantarillas, acumulación de desechos en lugares inapropiados etc, como se muestra en las figuras 3-4, 3-5 y 3-6.



Figura 3-4. Obstrucción de alcantarilla por productos de EPS cafetería-UES.
Fuente: Elaboración propia, 2012.



Figura 3-5. Acumulación de productos de EPS alrededores cafetería-UES.
Fuente: Elaboración propia, 2012.



Figura 3-6. Desechos de EPS en campus UES.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

El potencial de reciclaje que tiene el EPS es poco aprovechado en general por la población, debido a que es muy común encontrar el EPS en basureros junto con otros desechos como se muestra en la figura 3-7.



Figura 3-7. Basurero campus UES.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

Se recolectaron diversos materiales de EPS que se encontraban a lo largo del campus universitario como basura, entre los que se pueden mencionar vasos, platos, bandejas entre otros tipos por lo que fue necesario realizar una clasificación de cada uno de ellos como se muestra en la figura 3-8, para determinar qué tipo de material es el que más se utiliza en la Universidad. Luego de haber tomado los datos fue posible confirmar que la mayoría de personas en la cafetería y los alrededores de la Universidad de El Salvador consumen más los vasos de 6 onzas. Hay que tomar en cuenta que el tipo de material que se pueda encontrar en el campus dependerá de la hora en que se realice el muestreo; en las mañanas se venden productos tales como café, leche, chocolate, poleada, etc, razón por la cual se encuentran más vasos de diversas dimensiones, al mediodía por ser la hora del almuerzo de los estudiantes es posible encontrar mayor cantidad de bandejas, platos, recipientes de sopa, etc.



Figura 3-8. Clasificación de muestras de EPS
Fuente: Elaboración propia, 2012.

Previo a la realización de pruebas de reciclaje de EPS se procedió a pesar las diferentes muestras con la suciedad proveniente de los diferentes lugares de donde se obtuvo, luego se realizó un lavado y nuevamente se verificó el peso, esto con el fin de poder evidenciar la diferencia de pesos al limpiar la muestra y poder conocer el peso útil que tendría el “durapax” para su uso como material reciclado. En la tabla 3-1 se pueden observar los valores promedio obtenidos de cada tipo de producto recolectado previo al lavado y posterior al lavado (ver también Anexo 3-1).

Tabla 3-1. Resumen de clasificación de muestras de durapax

Tabla resumen de clasificación de platos de durapax				
Tipo	Cantidad	Promedio peso sucio (gr)	Promedio peso limpio (gr)	Diferencia de peso (gr)
Vasos de 6oz	37	1.84	1.46	0.38
Vaso de 10oz	17	3.37	2.19	1.18
Plato grande	17	3.72	3.32	0.4
Vaso de 8oz	4	2.65	1.9	0.75
Bandeja	3	3.7	2.6	1.1
Plato hondo	5	2.68	1.98	0.7
Plato pequeño	3	1.47	1.2	0.27

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Una vez obtenidos los valores de peso efectivo de “durapax” ya lavado, el siguiente paso es evaluar cada una de las alternativas de reciclaje planteadas en el capítulo anterior, las cuales son:

- Pruebas con disolventes orgánicos para adhesivos.
- Pruebas de disolventes orgánicos para barniz

Cada uno de ellos se desarrollará a continuación.

3.2 Pruebas con disolventes orgánicos para obtención de adhesivos.

El objetivo de esta prueba es verificar el comportamiento del durapax frente a diferentes disolventes orgánicos con el fin de obtener adhesivo que pueda ser utilizado para la industria y de esta forma darle una segunda vida útil al material. El tipo de adhesivo que se pretende generar es un *Adhesivo por evaporación o difusión* que consiste en una solución donde se disuelve el soluto en solventes orgánicos.

Se realizaron pruebas para determinar de forma cualitativa que disolventes son los que tienen la capacidad de disolver el durapax de manera completa, se decidió trabajar a temperatura ambiente debido a la alta volatilidad de los disolventes y de esta manera evitar riesgos de inflamabilidad.

En la tabla 3-2 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3-2. Comportamiento del durapax frente a diferentes disolventes

Disolventes	Solubilidad (+ o -)
Butanol	-
Acetona	+ -
Hexano	-
Heptano	-
MEK (Metil Etil Cetona)	+
Tolueno	+
Acetato de etilo	+
MIBK (Metil Isobutil Cetona)	+
Xileno	+
Butil Acetato	+
ButilCellosolve	-

-: No disuelve el durapax
 +: Si disuelve el durapax
 + -: Disuelve poco el durapax
 Fuente: Elaboración propia, 2013.

La acetona forma una aglomeración de partículas de durapax pero este no forma una solución homogénea sino más bien genera una pasta maleable que al secarse se solidifica quedando un sólido con alta dureza (ver figura 3-9).



Figura 3-9. Aglomeración de durapax.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

Luego se trató de realizar una mezcla de disolvente del grupo acetona con disolvente del grupo acetato para obtener una mezcla y utilizar las cualidades de los dos disolventes, el resultado de las mezclas es una solución heterogénea formando dos fases insolubles unas con otras (ver figura 3-10), por lo que se descarta el uso de disolventes del grupo acetona para la realización de las pruebas.

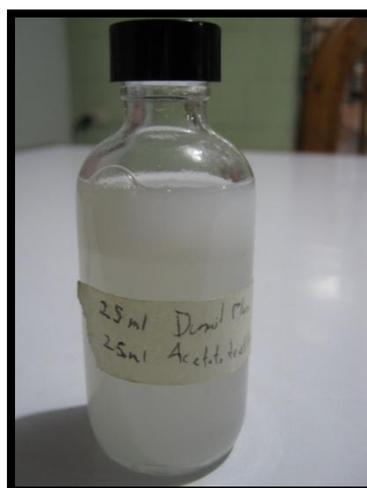


Figura 3-10. Mezcla de durapax 50% acetato/50% acetona.
Fuente: Elaboración propia, 2012.

De los resultados mostrados en la tabla 3-2 se puede concluir que los grupos de los alcoholes (butanol), los glicoles (butilcellosolve) y los alifáticos (heptano, hexano) no son buenos disolventes de durapax, en el caso de las acetonas existen algunas

que si son capaces de disolver el durapax como el MIBK; el grupo que mejor disuelve este material es el de los acetatos. En base a lo observado se tomó la decisión de utilizar para las pruebas el MIBK, el butil acetato y el acetato de etilo.

Se descartó el uso del Xileno debido a que tiene un aroma muy fuerte lo que puede afectar el uso potencial comercial como adhesivo, además se descartó el uso del MEK y del Tolueno debido a que estos causan adicción al ser inhalados, evitando así afectar la salud de las personas y el medio ambiente.

3.2.1 Diseño experimental para la validación en la obtención de adhesivo a partir de Poliestireno Expandido (durapax) reciclado.

Para llevar a cabo la validación en la obtención de un buen adhesivo a partir de la disolución de durapax en diferentes solventes orgánicos es necesario un análisis de diseño de experimento bifactorial donde se podrá evaluar la importancia y la influencia de los factores seleccionados sobre el proceso de obtención de adhesivo y posteriormente se realizará otro análisis de diseño de experimento que validará la capacidad de adhesividad que tienen las diferentes soluciones obtenidas y poder determinar cuál es la que mejor comportamiento presenta para ser utilizada como adhesivo.

Para el primer análisis de diseño se tomará en consideración dos factores: la mezcla de disolventes y la concentración de durapax en la solución.

- *Factor concentración:* Este factor es un valor variable y que será controlado por el investigador agregando diferentes concentraciones de durapax a las diferentes mezclas de disolventes. Se medirá en % peso solución % peso durapax.
- *Factor disolventes:* Será un factor variable y controlable, se tomarán diferentes mezclas y concentraciones de disolventes orgánicos al cual se le agregará durapax a diferentes concentraciones para determinar cuál de las mezclas es más efectiva para determinar la mejor viscosidad. Se medirá en mililitro de disolución por mililitro de mezcla.

- *Factor temperatura:* La temperatura es valor importante en las disoluciones, cuanto mayor es la temperatura de un disolvente mayor es su capacidad para disolver el sólido, en este caso por ser los disolventes orgánicos demasiado volátiles se trabajará a temperatura ambiente en un rango de 24°C a 28°C.

La variable respuesta que se medirá en el diseño y elaboración del experimento será la viscosidad y como esta afecta a la capacidad de adhesividad de la solución y su comportamiento como barniz, será medida en centipoise (cP). Se ha decidido tomar como variable respuesta la viscosidad debido a su facilidad de medición ya que su valor representa el tipo de adhesivo que se genera, la forma de aplicación ya sea por spray, brocha entre otros, mejora el tiempo de secado (mientras menor es la viscosidad mejor es el tiempo de secado), y genera una película más grande. [Alvarenga, E.A. 2013]

Luego se tomarán mediciones de % de sólidos disueltos para cada una de las soluciones, que determina el poder de adhesividad que tiene un adhesivo ya que a mayor cantidad de sólidos mayor será su adherencia al sustrato.

Como el diseño experimental es de dos factores controlados por el investigador (concentración de durapax y mezcla de disolventes) se realizará una prueba preliminar con el fin de determinar los niveles con los que se trabajará y cuál será la concentración inicial para empezar las pruebas.

3.2.2 Pruebas preliminares de disolución de durapax en butil acetato.

En base al diseño experimental elaborado para esta prueba se decidió tomar en cuenta dos factores controlables como es la concentración de durapax en la mezcla y distintas mezclas de disolventes (MIBK, acetato de etilo y butil acetato).

De manera preliminar se realizó una prueba para poder evaluar el comportamiento del durapax frente a los disolventes y como el cambio de concentración incide en el valor leído de la viscosidad. Se inició la prueba con 450 gr de butil acetato y 50 gr de durapax para obtener una solución con un peso total de 500 gr a una concentración

de 10.00 %p/p y se midió el valor de la viscosidad como variable respuesta para observar el comportamiento de este en relación con la concentración de durapax dando un valor de $\mu=112.5\text{cP}$.

A continuación se detalla el proceso realizado para la toma de mediciones.

1. Se pesaron 450 gr de butil acetato (ver figura 3-11).

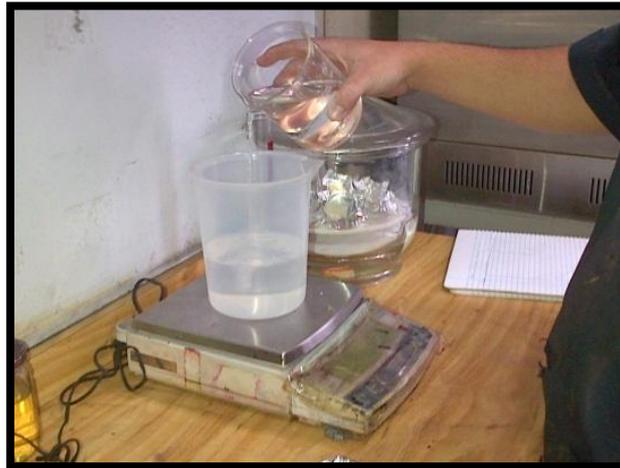


Figura 3-11. Pesaje de butil acetato.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

2. Luego se pesaron 50 gr de durapax (ver figura 3-12).



Figura 3-12. Pesaje de durapax.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

3. Con un agitador eléctrico se procedió a realizar la disolución del soluto (durapax) con el disolvente butil acetato (véase figura 3-13).



Figura 3-13. Disolución del durapax en butil acetato.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

4. Se tomó una muestra de la disolución para medir el valor de viscosidad en el viscosímetro Brookfield (véase figura 3-14).



Figura 3-14. Medición de la viscosidad.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

5. Luego se fue adicionando en una proporción de 10 gr de durapax a la solución con el fin de aumentar la concentración y evaluar el nivel de significancia de la variable respuesta (véase figura 3-15).



Figura 3-15. Adición de durapax.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Para la prueba se realizaron 7 adiciones de 10 gr aproximadamente cada una y se evaluó el valor resultante de la viscosidad. En la tabla 3-3, se muestran los valores obtenidos.

Tabla 3-3. Resultados de mediciones de viscosidad en solución de butil acetato.

Solvente inicial (450gr) butil acetato					
Medición	Peso de durapax (gr)	Peso total adicionado (gr)	Peso de solución (gr)	Concentración %p/p	viscosidad μ (cP)
1	50	50	500	10.00%	112.5
2	10.4	60.4	510.4	11.83%	112.5
3	10	70.4	520.4	13.53%	125
4	10	80.4	530.4	15.16%	125
5	10.4	90.8	540.8	16.79%	125
6	10.1	100.9	550.9	18.32%	150
7	10	110.9	560.9	19.77%	181.25
8	10	120.9	570.9	21.18%	200

Fuente: Elaboración propia, 2013.

De los datos obtenidos se elaboró un gráfico para poder evaluar el comportamiento de la viscosidad vrs la concentración de durapax en solución (ver figura 3-16).

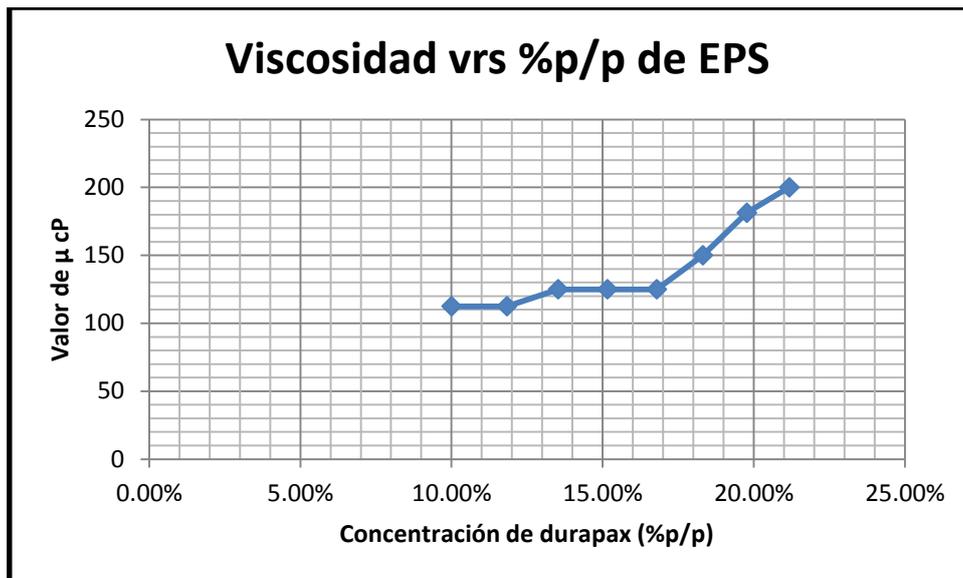


Figura 3-16. Viscosidad versus porcentaje p/p de durapax en solución de butil acetato.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

De la figura 3-16 fue posible concluir que a partir de concentraciones del 15%p/p en adelante la variabilidad en el valor de viscosidad es más significativa, además hay que tomar en cuenta que el durapax de alta densidad genera un aumento más significativo debido a que contiene menos aire y más contenido de durapax.

A partir de los datos obtenidos se decidió tomar como punto inicial de concentración valores entre 16 %p/p y 17 %p/p para todas las mezclas de disolventes que se utilizaron ya que es a partir de este rango de concentración donde la variación en la viscosidad respecto a la concentración es más significativo.

A partir de los datos obtenidos en las pruebas preliminares fue posible determinar los niveles de concentración con los que se trabajó, así mismo, los niveles de los disolventes se han considerado a partir de los precios del mercado de cada uno de ellos, siendo el más económico el etil acetato (véase Anexo 3-2). En la tabla 3-4 se detallan los factores y los niveles con los que se trabajó el diseño de experimento.

Tabla 3-4 Formato de interacción de concentración de durapax con diferentes disolventes.

Factores	Niveles	Variable Respuesta
Disolventes	100% Etil Acetato	Viscosidad cP
	100% Butil Acetato	
	100% MIBK	
	70% Etil acetato 30% Butil acetato	
	70% Etil acetato 30% MIBK	
	60% Butil acetato 40% MIBK	
Concentración	16.5 %p/p	
	19.3% p/p	
	21.9% p/p	
	24.3% p/p	
	26.5% p/p	
	28.7% p/p	
	30% p/p	

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Para el análisis de los datos se utilizó el modelo bifactorial de bloques que permite el análisis con dos factores de control, utilizando el método de análisis de la varianza (ANOVA).

En la siguiente etapa se presenta cada uno de los resultados de las pruebas de cada disolvente a diferentes concentraciones para posteriormente realizar el análisis de la varianza de modelo bifactorial de bloques. En cada una de las pruebas realizadas se determinó la viscosidad, se construyó un gráfico para poder observar el comportamiento de la viscosidad frente a los cambios de concentración y por último se calculó el valor de pérdidas generado en el proceso para su uso posterior en el diseño de una planta piloto.

3.2.3 Prueba de disolución con butil acetato 100%.

Se realizó nuevamente la prueba con butil acetato con 250 gr de butil acetato al 100 % y 50 gr iniciales de durapax dando una concentración de 16.72 % y se le midió la viscosidad obtenida con un valor de 137.5 cP. Luego se agregó 10 gr de durapax y se volvió a medir el valor de la viscosidad y así sucesivamente hasta una

concentración de 28.69 %. Se pesó cada elemento por separado en una balanza analítica, luego se realizó la mezcla con un agitador eléctrico y una vez finalizada la disolución de “durapax” se procedió a tomar el valor de la viscosidad con un viscosímetro Brookfield bajo el “procedimiento de medición de viscosidad” desarrollado por Empresas ADOC, S.A de C.V. utilizando una aguja LV2 con un factor de multiplicación de 25 (véase Anexo 3-3), dando un valor de viscosidad de 125 cP.

En la tabla 3-5 se muestra el resumen de los valores obtenidos.

Tabla 3-5. Resultados de viscosidad a diferentes concentraciones en solución de butil acetato 100%

Medición	Cantidad inicial de butil acetato 250 gr				
	Peso durapax gr	Peso acumulado durapax gr	Peso solución gr	%p/p	Viscosidad cP
1	50.2	50.2	300.2	16.72%	137.5
2	10	60.2	310.2	19.40%	137.5
3	10.1	70.3	320.3	21.94%	175
4	10	80.3	330.3	24.31%	287.5
5	10.2	90.5	340.5	26.57%	587.5
6	10.1	100.6	350.6	28.69%	1100

Fuente: Elaboración propia, 2013.

De los datos obtenidos en la tabla 3-5 es posible generar un gráfico para observar el comportamiento de la viscosidad con las variaciones de la concentración. La figura 3-17 muestra este comportamiento.

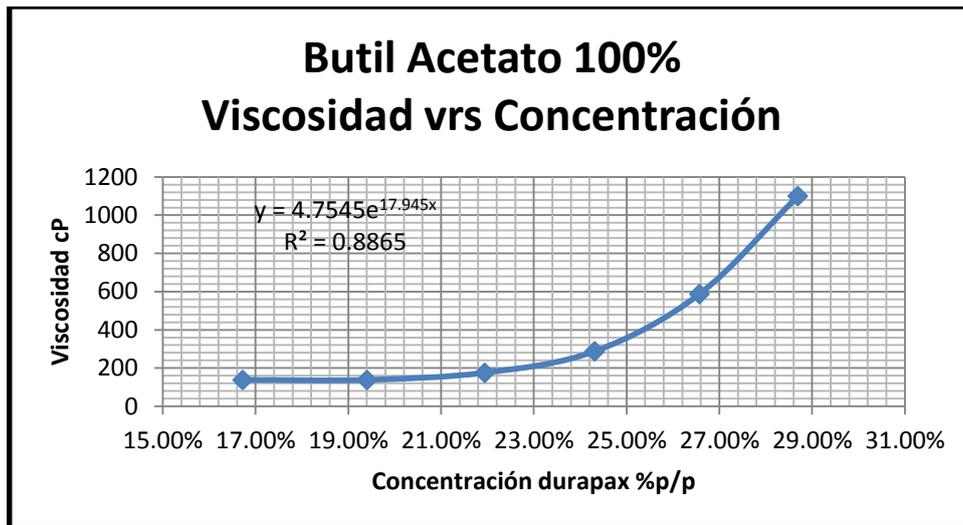


Figura 3-17. Comportamiento de la viscosidad frente a la concentración en solución de butil acetato.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

De la figura 3-17 se puede observar un comportamiento exponencial de la viscosidad al aumentar la concentración de durapax en la solución, siendo la ecuación Ec. 3-1 la que representa los datos experimentales.

$$y = 4.7545e^{17.945x}; R^2 = 0.8865 \text{ Ec. 3-1}$$

Además del dato teórico de peso de solución (350.6 gr) con el valor del peso final de la solución (306.8 gr) se puede obtener un porcentaje de pérdidas del proceso debido a la volatilidad de los disolventes y al manejo del producto cuyo cálculo se muestra a continuación.

$$\% \text{ de pérdidas} = \frac{|350.6\text{gr} - 306.8\text{gr}|}{350.6} * 100\% = \mathbf{12.49\% \text{ de pérdidas.}}$$

3.2.4 Prueba de disolución con etil acetato 100%.

Se realizó la prueba de disolución con etil acetato tomando como base de referencia un total de peso de solución de 301.5 gr; con 250 gr de etil acetato y 51.1 gr de “durapax” dando como resultado una concentración inicial de 17.08 % p/p.

Luego se agregó de manera progresiva a la solución, aproximadamente 10 gr de “durapax” procediéndose a realizar la disolución, tomándose nuevamente el dato de viscosidad y el valor de concentración; realizándose 7 mediciones. En la tabla 3-6 se pueden observar los resultados.

Tabla 3-6. Resumen de datos de viscosidad en solución con etil acetato 100%.

Medición	Cantidad inicial de etil acetato 250 gr				
	Peso durapax gr	Peso acumulado durapax gr	Peso solución gr	%p/p	Viscosidad cP
1	51.1	51.1	301.5	17.08%	125
2	10.8	62.3	312.3	19.95%	150
3	9.9	72.2	322.2	22.40%	162.5
4	9.9	82.1	332.1	24.72%	250
5	10.1	92.2	342.2	26.94%	550
6	9.9	102.1	352.1	28.99%	1250
7	2.3	104.4	354.4	29.45%	1700

Fuente: Elaboración propia, 2013.

En la figura 3-18 se puede observar la tendencia exponencial del comportamiento de los valores de la viscosidad respecto a los cambios en la concentración de la solución de etil acetato. La ecuación Ec. 3-2 que describe el comportamiento de los datos experimentales se presenta a continuación:

$$y = 2.1019e^{21.312x}; R^2 = 0.8718 \text{ Ec. 3-2}$$

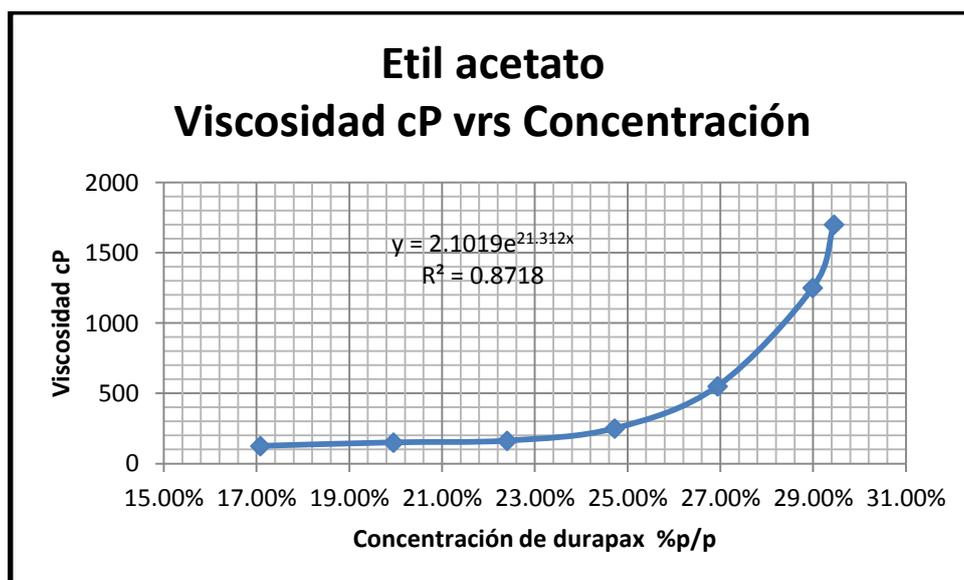


Figura 3-18. Comportamiento de la viscosidad frente a la concentración en solución de etil acetato. Fuente: Elaboración propia, 2013.

Luego de finalizadas las pruebas y mediciones se pesó la solución sobrante para evaluar las pérdidas en el proceso debido a lo que se pierde en las paredes de los recipientes, la volatilidad del producto, entre otros factores, esto con el fin de tener una idea de la cantidad de producto final que se obtendrá.

De la tabla 3-6 Se puede obtener el valor teórico de solución siendo 354.4 gr; al finalizar las pruebas el peso resultante fue de 213.1 gr de solución. A partir de estos valores se puede obtener el valor de las pérdidas del proceso.

$$\% \text{ de pérdidas} = \frac{|354.4\text{gr} - 213.1\text{gr}|}{354.4\text{gr}} * 100\% = 39.87\% \text{ de pérdidas}$$

3.2.5 Prueba de disolución con metil isobutil cetona (MIBK) 100%.

Para la prueba con MIBK se siguió el mismo procedimiento que con los otros solventes, se tomó como referencia 300 gr de solución, 50.6 gr de durapax y 250 gr de MIBK dando una concentración inicial de 16.83 %p/p. Se tomó el valor de la viscosidad inicial dando como resultado 125 cP.

Luego se fue agregando aproximadamente 10 gr de durapax a la solución para aumentar la concentración, se midió la viscosidad, realizándose 7 mediciones; en la tabla 3-7 se pueden observar los valores obtenidos para cada una de las mediciones.

Tabla 3-7. Resumen de datos de viscosidad en solución con MIBK 100%.

Medición	Cantidad inicial de Metil Isobutil Cetona (MIBK) 250gr				
	Peso durapax gr	Peso acumulado durapax gr	Peso solución gr	%p/p	Viscosidad cP
1	50.6	50.6	300.6	16.83%	125
2	10.5	61.1	311.1	19.63%	137.5
3	10.1	71.2	321.2	22.16%	150
4	10.3	81.5	331.5	24.58%	175
5	10.1	91.6	341.6	26.81%	275
6	10.1	101.7	351.7	28.91%	500
7	10.2	111.9	361.9	30.92%	800

Fuente: Elaboración propia, 2013.

De los datos de la tabla 3-7 se construyó un gráfico (véase figura 3-19) para observar el comportamiento de la viscosidad frente a los cambios en la concentración de la solución.

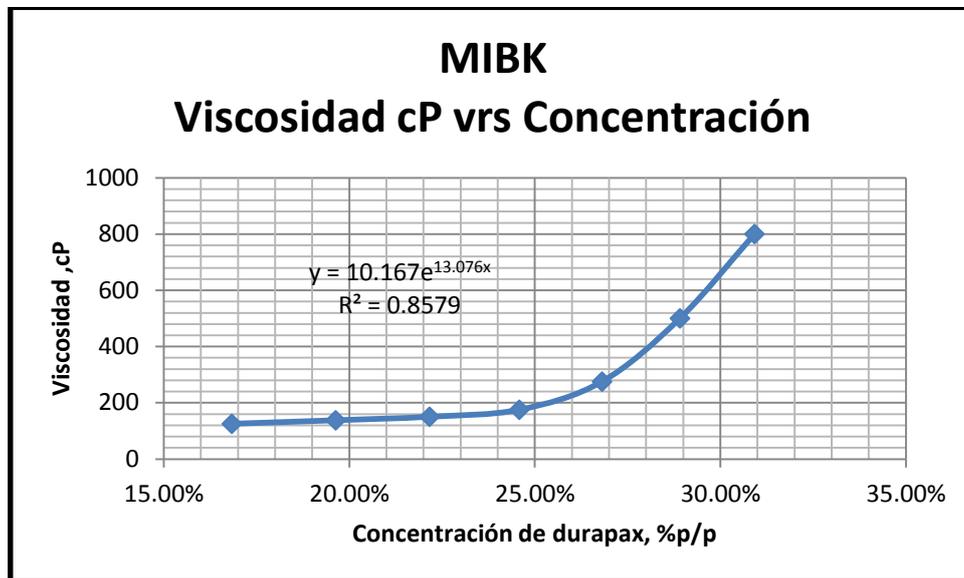


Figura 3-19. Comportamiento de la viscosidad frente a la concentración en solución de MIBK.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

De igual manera se calculó el porcentaje de pérdidas del proceso con un peso teórico de solución final de 361.9 gr y con un peso real final de 280.6 gr.

$$\% \text{ pérdidas} = \frac{|361.9 \text{ gr} - 280.6 \text{ gr}|}{361.9 \text{ gr}} * 100\% = \mathbf{22.46\% \text{ de pérdidas}}$$

La ecuación que describe el comportamiento de los datos experimentales de la figura 3-19 se presenta a continuación:

$$y = 10.167e^{13.076x}; R^2 = 0.8579 \text{ Ec. 3-3}$$

3.2.6 Prueba de disolución con mezcla de disolventes 70% etil acetato y 30% butil acetato.

Una vez se han realizado las pruebas del comportamiento de cada uno de los disolventes en estado puro, resulta conveniente realizar y ver el comportamiento del durapax frente a las mezclas. En este caso se ha considerado una mezcla con el 70% en peso de etil acetato y el 30% de butil acetato, en parte debido a los costos del producto (véase Anexo 3-2) ya que el etil acetato es más económico.

A continuación, en la tabla 3-8 se presentan los resultados obtenidos de la disolución a diferentes concentraciones de durapax en la mezcla de disolvente.

Tabla 3-8. Medición de viscosidad en mezcla de etil acetato y butil acetato.

Cantidad inicial de 70% etil acetato 175.8 gr y 30% butil acetato 75 gr Total inicial 250.8 gr					
Medición	Peso durapax gr	Peso acumulado durapax gr	Peso solución gr	%p/p	Viscosidad cP
1	49.9	49.9	300.7	16.59%	550
2	10.3	60.2	311	19.35%	750
3	10.1	70.3	321.1	21.89%	1500
4	10.1	80.4	331.2	24.27%	2950
5	6.9	87.3	338.1	25.82%	6500
6	Saturación				
7					

Fuente: Elaboración propia, 2013.

A través de la experimentación fue posible observar que a partir de una concentración de 24.27% la disolución del durapax fue más difícil y más lenta hasta que llegó a la saturación donde la disolución era mínima y demasiado lenta como para ser factible continuar agregando más durapax a la solución por lo que se decidió suspender el experimento y tomar los valores obtenidos para poder generar una gráfica y una tendencia del comportamiento de la viscosidad frente a la concentración en la mezcla de disolventes. Ver figura 3-20.

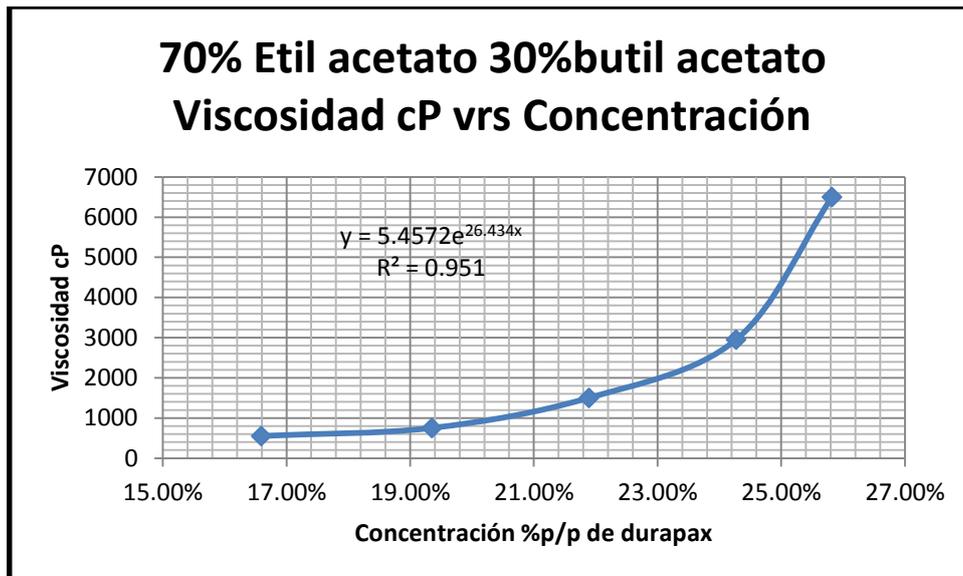


Figura 3-20. Comportamiento de la viscosidad frente a los cambios de concentración de durapax en solución 70% etil acetato 30% butil acetato.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

De la figura 3-20 es posible observar que el comportamiento de la viscosidad frente a las diferentes concentraciones de durapax genera una tendencia exponencial con un aumento elevado de la viscosidad y una baja concentración ya que se ha logrado alcanzar valores de hasta 6,500 cP con una concentración de 25.82%, que en el caso de los disolventes puros a esta concentración ronda los 200 ó 500 cP.

Nuevamente se pesó la solución final para poder obtener las pérdidas del proceso siendo el peso final de 246.3 gr y con el valor teórico de 338.1 gr se puede calcular el porcentaje de pérdidas.

$$\%p\u00e9rdidas = \frac{|338.1gr - 246.3gr|}{338.1gr} * 100\% = \mathbf{27.15\% \textit{ de p\u00e9rdidas}}$$

La ecuación que describe los datos experimentales de la figura 3-20 se presenta a continuación:

$$y = 5.4572e^{26.434x}; R^2 = 0.951 \text{ Ec. 3-4}$$

3.2.7 Prueba de disolución con mezcla de disolventes 70% etil acetato y 30% metil isobutil cetona (MIBK).

En esta prueba se realizó otra mezcla de disolventes para un total en peso de 250 gr y utilizándose la relación de 70% etil acetato (175 gr) mezclado con 30% de MIBK (75 gr). Luego se agregaron 50 gr de durapax para obtener 300 gr de mezcla y obtener una concentración inicial de 16.69 %p/p. Se midió la viscosidad dando como resultado 125 cP, luego se agregó de manera alterna 10 gr, midiéndose la viscosidad a cada agregado. En la tabla 3-9 se muestran los resultados.

Tabla 3-9. Medición de viscosidad en mezcla de etil acetato y MIBK.

Cantidad inicial de 70% etil acetato 175 gr y 30% MIBK 75 gr Total inicial 250 gr					
Medición	Peso durapax gr	Peso acumulado durapax gr	Peso solución gr	%p/p	Viscosidad cP
1	50.1	50.1	300.1	16.69%	125
2	9.9	60	310	19.35%	125
3	10.2	70.2	320.2	21.92%	125
4	10.2	80.4	330.4	24.33%	150
5	10	90.4	340.4	26.55%	250
6	10.1	100.5	350.5	29%	500
7	10	110.5	360.5	31%	962.5

Fuente: Elaboración propia, 2013.

La figura 3-21 muestra el gráfico con la tendencia y el comportamiento de la viscosidad respecto a los cambios de concentración de durapax en solución.

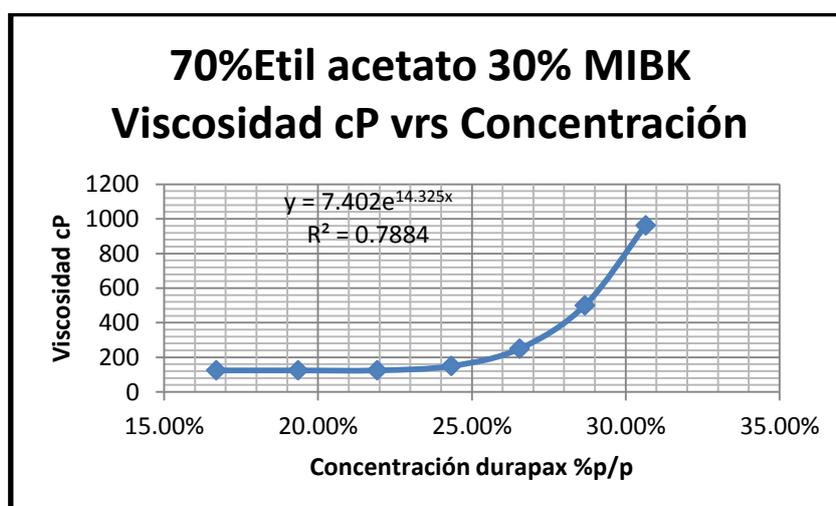


Figura 3-21. Comportamiento de la viscosidad frente a los cambios de concentración de durapax en solución 70% etil acetato 30% MIBK.

Fuente: Elaboración propia, 2013.

De la figura 3-21 se puede observar que entre las concentraciones de 16.69% hasta 21.92% el valor de la viscosidad no cambia, sin embargo, a partir de este valor empieza a observarse una variación significativa con el aumento de la concentración generando una tendencia exponencial del comportamiento de la viscosidad respecto a los cambios de concentración.

Se calculó el valor de las pérdidas de proceso a partir del valor teórico de solución (360.5 gr) comparado con el valor real de peso de la solución (297.8 gr).

$$\% \text{ de pérdidas} = \frac{|297.8\text{gr} - 360.5\text{gr}|}{360.5\text{gr}} * 100\% = \mathbf{17.39\% \textit{ de pérdidas}}$$

La ecuación que describe el comportamiento de los datos experimentales de la figura 3-21 se presenta a continuación:

$$y = 7.402e^{14.325x}; R^2 = 0.7884 \text{ Ec. 3-5}$$

3.2.8 Prueba de disolución con mezcla de disolventes 60% butil acetato y 40% metil isobutil cetona (MIBK).

En las pruebas anteriores se tomó como principal disolvente el etil acetato debido a que presenta una buena disolubilidad frente al durapax además de ser más económico que los otros dos disolventes que se han probado, pero, de igual forma se realizó la prueba con butil acetato y el MIBK para observar el comportamiento de la mezcla de ellos frente al durapax; se consideró el butil en mayor proporción debido a que pertenece a las familias de los acetatos que son los que mejor disolución presentan.

En la tabla 3-10 se muestra una tabla resumen con los valores obtenidos de la medición de la viscosidad.

Tabla 3-10. Medición de viscosidad en mezcla de butil acetato y MIBK.

Cantidad inicial de 60% butil acetato 150 gr y 40% MIBK 100 gr Total inicial 250 gr					
Medición	Peso durapax gr	Peso acumulado durapax gr	Peso solución gr	%p/p	Viscosidad cP
1	50	50	300	16.60%	125
2	10.1	60.1	310.1	19.38%	125
3	10	70.1	320.1	21.89%	150
4	10.3	80.4	330.4	24.33%	250
5	10.3	90.7	340.7	26.62%	650
6	10	100.7	350.7	29%	700

Fuente: Elaboración propia, 2013.

A partir de los datos obtenidos durante la medición es posible construir una gráfica (ver figura 3-22) para poder observar el comportamiento de la viscosidad frente a la concentración de durapax en solución.

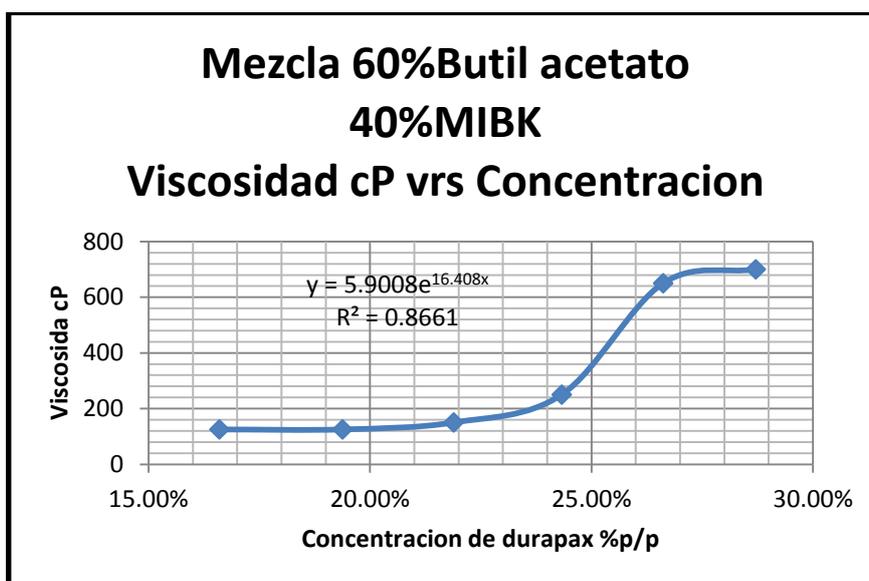


Figura 3-22. Comportamiento de la viscosidad frente a los cambios de concentración de durapax en solución 60% butil acetato 40% MIBK.

Fuente: Elaboración propia, 2013.

De la figura 3-22 se puede observar un comportamiento muy particular, al inicio los valores de viscosidad se mantuvieron constantes luego empezó a crecer tomando una forma exponencial y al final de la gráfica se observa como el cambio en la viscosidad se reduce considerablemente, esto es debido a que la solución ya estaba llegando a su punto de saturación.

De la solución resultante se calculan las pérdidas generadas durante el proceso con un peso teórico de 350.7 gr y peso final real de 300 gr.

$$\% \text{ de pérdidas} = \frac{|350.7 \text{ gr} - 300 \text{ gr}|}{350.7 \text{ gr}} * 100\% = \mathbf{14.45\% \text{ de pérdidas.}}$$

La ecuación que describe el comportamiento de los datos experimentales de la figura 3-22 se presenta a continuación:

$$y = 5.9008e^{16.408x}; R^2 = 0.8661 \text{ Ec. 3-6}$$

3.2.9 Análisis de datos obtenidos en las pruebas de disolución de Poliestireno Expandido.

Luego de haber realizado cada una de las pruebas de manera individual y de haber observado el comportamiento de la viscosidad a los cambios de concentración, es posible realizar el análisis de la varianza (ANOVA) para determinar cuál es el efecto de cada uno de los factores sobre la variable respuesta (viscosidad). En la tabla 3-11 se muestra el resumen de los datos obtenidos en la experimentación.

Tabla 3-11. Resumen de datos obtenidos de la influencia de la concentración y los disolventes.

		Concentración durapax %p/p						
		16.5%	19.3%	21.9%	24.3%	26.5%	28.7%	30.0%
Disolventes	Butil acetato 100%	137.5	137.5	175	287.5	587.5	1100	-
	Etil acetato 100%	125	150	162.5	250	550	1250	1700
	MIBK 100%	125	137.5	150	175	275	500	800
	70%etil 30%butil	550	750	1500	2950	6500	-	-
	70%etil 30%MIBK	125	125	125	150	250	500	962.5
	60%butil 60%MIBK	125	125	150	250	650	700	-

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Luego de tabular los valores de viscosidad a diferentes concentraciones y con diferentes disolventes se procede a realizar el análisis de la varianza ANOVA para determinar el nivel de influencia que tiene cada factor anteriormente definido. Para este análisis se ha considerado un nivel de confianza del 95% por lo que todo p-valor de cada factor por debajo de 0.05 será considerado como influyente sobre la variable respuesta. Para la realización del análisis se utilizó la herramienta

informática “statgraphics” que permite realizar un análisis estadístico cuyos resultados para cada factor individual se presentan en la tabla 3-12.

Tabla 3-12. Resultados statgraphics de los efectos de la concentración y solvente sobre la viscosidad.

Efectos	Suma de cuadrados	Grados de libertad	promedio de cuadrados	F	p-valor
Concentración	1.00128E+07	6	1.6688E+06	2.35	0.0605
Solvente	2.11629E+07	5	4.23258E+06	5.95	0.0009
Total corregido	4.72515E+07	37			

Fuente: Elaboración propia, 2013.

A partir de los resultados del p-valor se puede observar que la concentración tiene poca influencia o significancia en la variable respuesta (viscosidad), caso contrario el factor “solvente” cuyo p-valor de 0.0009 indica que tiene una significativa influencia sobre los valores de la viscosidad, para un p-valor del 5%. A partir de estos datos se tomará en cuenta para su análisis el factor solvente ya que es el que ha mostrado una influencia significativa sobre la variable respuesta. En la figura 3-23 se puede observar el diagrama de dispersión para los valores de viscosidad frente a los diferentes tipos de solventes, en este caso se han numerado los diferentes solventes de la siguiente manera: 1-butil acetato, 2-etil acetato, 3-MIBK, 4-etil/butil acetato, 5-etil/MIBK y 6-Butil/MIBK.

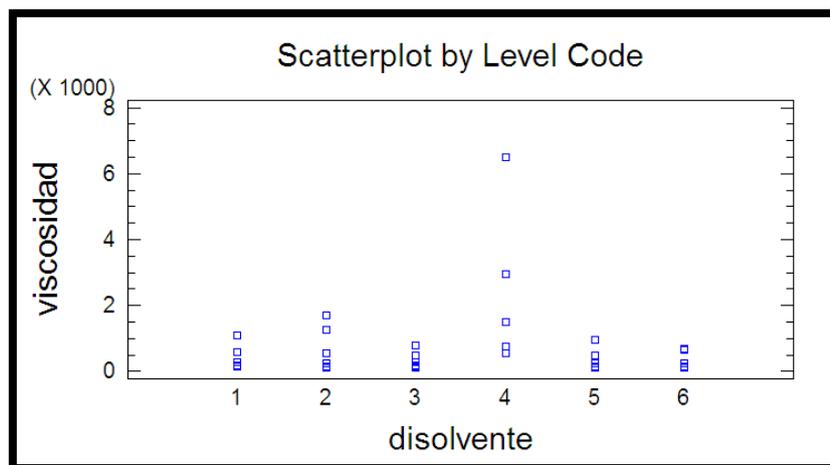


Figura 3-23. Diagrama de dispersión viscosidad vrs solventes.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

De la figura 3-23 se puede observar que el numeral 4 (etil/butil) presenta mayor dispersión en sus valores por lo que se descartará su uso y se consideraran las demás mezclas para su evaluación posterior de adhesividad.

Además de analizar de manera individual cada factor, resulta necesario evaluar la interacción que tienen los dos factores entre ellos y el nivel de significancia que tiene la interacción para la variable respuesta, utilizando el método ANOVA, como se puede ver en la figura 3-24.

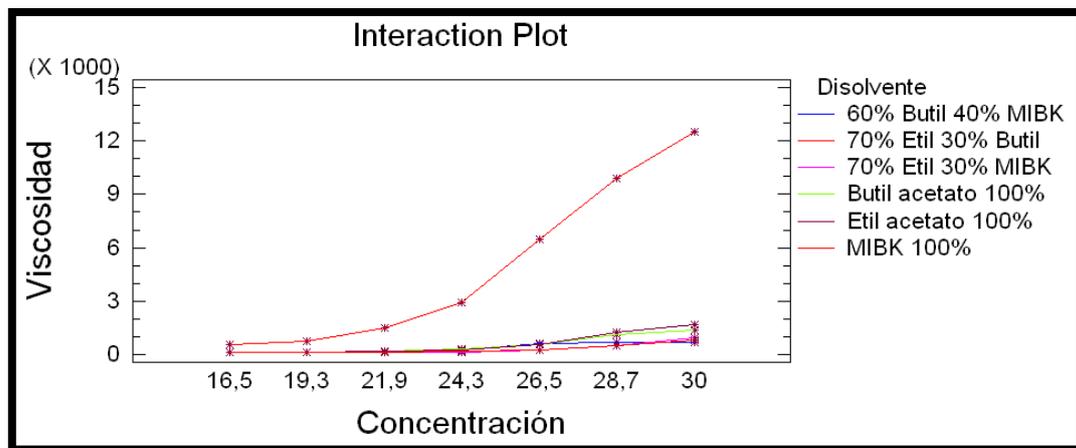


Figura 3-24. Interacción de variables por el método ANOVA.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

La figura 3-24 muestra el comportamiento de los diferentes tipos de solventes y las diferentes concentraciones en los valores de la viscosidad en donde se puede observar un aumento en la viscosidad en cada uno de ellos conforme la concentración aumenta, además se puede comprobar la dispersión de datos que genera la curva de etil/butil y aunque muestre un aumento considerable de la viscosidad en relación con la concentración este es menos estable que el resto de las muestras que han sido sometidas al análisis. Además se puede observar que para las demás soluciones su comportamiento es muy parecido por lo que será necesario someterlas a pruebas de adhesividad para determinar cuál es la que mejor resultado genera debido a su funcionalidad como adhesivos y su viscosidad que determina el modo o método de aplicación de la solución.

Al finalizar las pruebas y luego de dejarlas reposar por una semana aproximadamente se volvió a tomar el valor final de la viscosidad para poder observar cual es el valor final obtenido (véase figura 3-25), ya que al momento de la toma del valor de viscosidad en el laboratorio este todavía conservaba cantidades considerables de burbujas de aire lo cual genera variaciones en el resultado. En la tabla 3-13 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3-13. Medición final de viscosidad.

Solvente	Viscosidad previa cP	Viscosidad final cP	% de desviación	Aguja
Etil acetato	1700	1500	-22%	LV3
Butil acetato	1100	900	-18%	LV3
MIBK	800	800	0%	LV3
Etil/ Butil	6500	9250	42%	LV4
Etil/ MIBK	962.5	1300	35%	LV3
Butil/ MIBK	700	800	14%	LV3

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Las variaciones en los valores permitirán realizar un ajuste de la viscosidad final que se desea obtener del producto.



Figura 3-25. Mediciones finales de viscosidad.

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Además de las mediciones de viscosidad se le realizó a las soluciones finales obtenidas mediciones del porcentaje de sólidos disueltos; esta prueba sirve para determinar el contenido total de materia sólida de un adhesivo, cuyo valor mientras más alto sea, mayor será su capacidad de adhesividad sobre el sustrato que se desee unir y menores serán sus aplicaciones al sustrato.

Esta prueba se realizó en base a la norma "Método: Determinación del contenido de sólidos disueltos", ADOC 2005. Los pasos se describen a continuación:

1. Se elaboraron 2 cápsulas de aluminio de 5 cm de diámetro, se etiquetaron debidamente dependiendo de la solución a medir y se pesaron en una balanza analítica anotando cada valor, como A.
2. Luego se le agregó a cada cápsula un aproximado de entre 1 gr y 2 gr de solución y se tomó el valor, como B. Ver figura 3-26.



Figura 3-26. Adición y toma de peso de solución en cápsula.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

3. Se coloca cada cápsula con la muestra en un horno a 105°C por un aproximado de 2 hr para asegurar la evaporación total de solvente. Ver figura 3-27.



Figura 3-27. Colocar las cápsulas en un horno a 105°C por 2 hr aproximadamente.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

4. Luego sacar las cápsulas y ponerlas en un desecador para dejar que la muestra se enfríe hasta temperatura ambiente y luego realizar la última lectura de peso, como C.

Utilizando la fórmula (Ec. 3-7) para el porcentaje de contenido de sólidos se puede obtener el valor final de este.

$$\% \text{Contenido de sólidos (\%TS)} = \frac{(C-A)}{(B-A)} * 100\% \text{ Ec. 3-7}$$

En la tabla 3-14 se puede observar el resumen de todos los valores obtenidos para cada una de las soluciones realizadas y comparadas con la concentración teórica al finalizar las pruebas y el porcentaje de diferencia entre cada uno de ellos.

Tabla 3-14. Resumen de valores de porcentaje de sólidos para diferentes soluciones de durapax y solvente.

	Cápsula (A)	Solución (B)	Cap y solución (C)	Peso final	% sólidos	Prom	%p/p teórico	% Diferencia
Etil acetato (29.45%)	0.1227	1.6268	1.7495	0.7276	37%	37%	29%	128.96%
	0.1294	1.3961	1.5255	0.6448	37%			
Butil Acetato (28.69%)	0.136	1.4086	1.5446	0.6169	34%	35%	29%	118.85%
	0.1381	2.0217	2.1598	0.8741	36%			
MIBK (30.92%)	0.1376	1.1134	1.251	0.5601	38%	39%	31%	126.13%
	0.1305	1.8487	1.9792	0.8681	40%			
Etil/Butil (25.82%)	0.1368	2.0307	2.1675	1.1591	50%	50%	26%	193.65%
	0.1392	1.6605	1.7997	0.965	50%			
Etil/MIBK (30.65%)	0.1307	1.81	1.9407	0.8125	38%	38%	31%	123.98%
	0.1362	1.42	1.5562	0.6776	38%			
Butil/MIBK (28.71%)	0.1246	1.6415	1.7661	0.7324	37%	37%	29%	128.87%
	0.1255	1.5884	1.7139	0.7068	37%			

Fuente: Elaboración propia, 2013.

A partir de los datos obtenidos de las últimas mediciones se puede observar que los valores (ver tabla 3-14) del porcentaje de sólidos disueltos han aumentado respecto a los datos preliminares y teóricos con los que se contaba, lo que se puede relacionar directamente con la alta volatilidad de los solventes ya que estos se volatilizan en la atmósfera al estar expuestos provocando que la cantidad de sólidos en solución aumente.

3.2.10 Prueba de tensión (Pull Test) para los diferentes solventes.

Para esta prueba se realizó un análisis de diseño experimental para determinar los factores que influyen sobre la capacidad de adhesión de cada una de las soluciones.

Para el caso se contará con dos factores independientes (tiempo de secado y tipos de disolventes) y la variable respuesta será la tensión en lbf/plg^2 que se medirá en un tensiómetro Monsanto.

- *Factor tiempo de secado:* Este factor es un valor variable y que será controlado por el investigador, tendrá 5 niveles que serán tiempos de secado en intervalos de 2 min previo a la unión de los sustratos. Se medirá en min.
- *Factor disolventes:* Será un factor variable y controlable. Se tomarán diferentes mezclas y concentraciones de disolventes orgánicos a las cuales se les agregará durapax a diferentes concentraciones para determinar cuál de las mezclas genera una mejor adherencia de los sustratos. Se medirá en mililitro de disolución por mililitro de mezcla.

La variable respuesta que se medirá en el diseño y elaboración del experimento será la adhesión medida en lbf/plg^2 para poder determinar qué mezcla de disolventes es la que presenta mejores resultados y cuál es el tiempo de curado ideal para lograr una buena adhesión.

Como el diseño experimental es de dos factores controlados por el investigador (concentración de durapax y tiempos de secado) se utilizará el modelo de análisis bifactorial de la varianza (ANOVA). En la tabla 3-15 se puede observar los niveles de cada factor y su variable respuesta.

Tabla 3-15. Formato de interacción de diferentes solventes con diferentes tiempos de secado.

Factores	Niveles	Variable Respuesta
Disolventes	100% Etil Acetato	Adhesividad (lbf/plg ²)
	100% Butil Acetato	
	100% MIBK	
	70% Etil acetato 30% Butil acetato	
	70% Etil acetato 30% MIBK	
	60% Butil acetato 40% MIBK	
Tiempo	2 min	
	4 min	
	6min	
	8 min	
	10 min	

Fuente: Elaboración propia, 2013.

El procedimiento para la prueba se realizó en base a la norma “Procedimiento de prueba de tensión (Pull Test)”, ADOC 2009. Los pasos se describen a continuación:

1. Se cortaron 10 piezas de lona de 3”x5” por cada adhesivo a probar (10 piezas para 5 pares). Se le aplicó una capa de adhesivo a la lona con el fin de sellar los poros de la lona y poder obtener una buena adherencia, dejar reposar por unos 30 min.
2. Aplicar sobre las piezas de lona el adhesivo dejando una pulgada libre para la sujeción de las mordazas de la máquina. Dejar secar por 1 hr a temperatura ambiente.
3. Luego aplicar nuevamente el adhesivo sobre cada par de piezas y dejar secar por 2 min, 4 min, 6 min y así sucesivamente para cada par hasta lograr los 10 min de secado. Luego de cada tiempo unir las piezas y aplicarle 100 lb de presión en prensa por 30 seg. Dejar secar 24 hr.
4. Eliminar longitudinalmente 0.5” a cada orilla de las piezas, con la finalidad de desechar partes con adhesión defectuosa. Cortar las piezas de lona

longitudinalmente en dos en el cual se obtendrán dos probetas de prueba de 1"x5" con sus respectivas partes libres para colocar las mordazas y poder hacer el ensayo por duplicado. Ver figura 3-28.



Figura 3-28. Prueba de tensión.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

5. Pasar las probetas por el tensiómetro colocando las mordazas adecuadas para las lonas con una velocidad (crosshead speed) de 102. Anotar los valores obtenidos de la gráfica. Ver figura 3-29

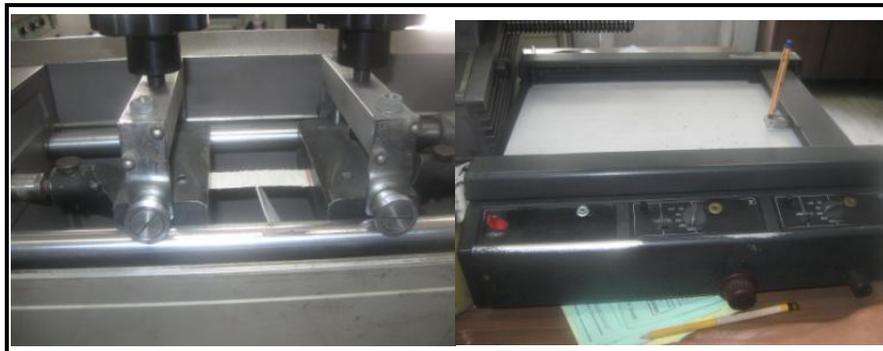


Figura 3-29. Tensiómetro.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

En la tabla 3-16 se puede observar el resumen de los resultados de la tensión medida en lbf/plg^2 obtenidos posterior a las mediciones.

Tabla 3-16. Tensión medida en lbf/plg² en tensiómetro Monsanto.

		Tiempo de secado en intervalos de 2 minutos				
		2 min	4 min	6 min	8 min	10 min
Disolventes	butil acetato 100%	15.4	16.5	9.9	8.8	0
	etil acetato 100%	17.05	19.8	20.9	17.6	18.7
	MIBK 100%	14.4	12.1	15.4	16.5	14.3
	70% etil 30%butil	22	22	22	22	22
	70%etil 30%MIBK	14.3	13.2	14.85	11	13.2
	60%butil 40%MIBK	12.1	17.6	13.75	14.85	10.45

Fuente: Elaboración propia, 2013.

La variación en los datos además de ser influenciada por los factores de control también es afectada por la aplicación del adhesivo sobre el sustrato, además se puede observar que en la mayoría de adhesivos el tiempo óptimo de adhesión ronda entre los 4 min y los 6 min a excepción de la mezcla de etil/butil acetato que mantiene constante su valor de adhesión. Cabe mencionar que a pesar que la mezcla de etil/butil fue la que mejor rendimiento mostró es además la que tiene valores más altos de viscosidad lo que vuelve más complicado la aplicación de este en los sustratos. Descartando los valores de etil/butil acetato el otro adhesivo que mostró buenas propiedades de adhesión fue el etil acetato al 100% con un valor máximo de 20.9 a los 6 minutos de aplicación.

Luego de tabular los valores de adhesividad con diferentes solventes y con diferentes tiempos de secado se procede a realizar el análisis de la varianza ANOVA para determinar el nivel de influencia que tiene cada factor anteriormente definido. Para este análisis se ha considerado un nivel de confianza del 95% por lo que todo p-valor de cada factor por debajo de 0.05 será considerado como influyente sobre la variable respuesta. Para la realización del análisis se utilizó la herramienta informática “statgraphics” que permite realizar un análisis estadístico cuyos resultados para cada factor individual y su interacción entre ellos se presentan en la tabla 3-17.

Tabla 3-17. Resultados del Análisis estadístico mediante “statgraphics”.

Efectos	Suma de cuadrados	Grados de libertad	promedio de cuadrados	F	p-valor
Solvente	2.66E+02	4	6.64E+01	1.72	0.2814
Tiempo de secado	6.33E+01	4	1.58E+01	0.41	0.7961
Interacción	177.886	16	11.1179	0.29	0.9743
Residual	193.146	5	38.6293		
Total corregido	6.86E+02	29			

Fuente: Elaboración Propia, 2013.

Del análisis ANOVA realizado se puede observar que tanto el solvente como el tiempo de secado están por encima del 0.05 lo que nos indica que ninguno de los factores tiene una influencia significativa sobre la fuerza de adhesividad de cada una de las soluciones; al observar el p-valor de la interacción entre los factores confirma que no hay una verdadera influencia de ellos sobre la variable respuesta.

En las figuras 3-30 y 3-31 se puede observar el comportamiento de las medias para cada uno de los factores con respecto a la variable respuesta.

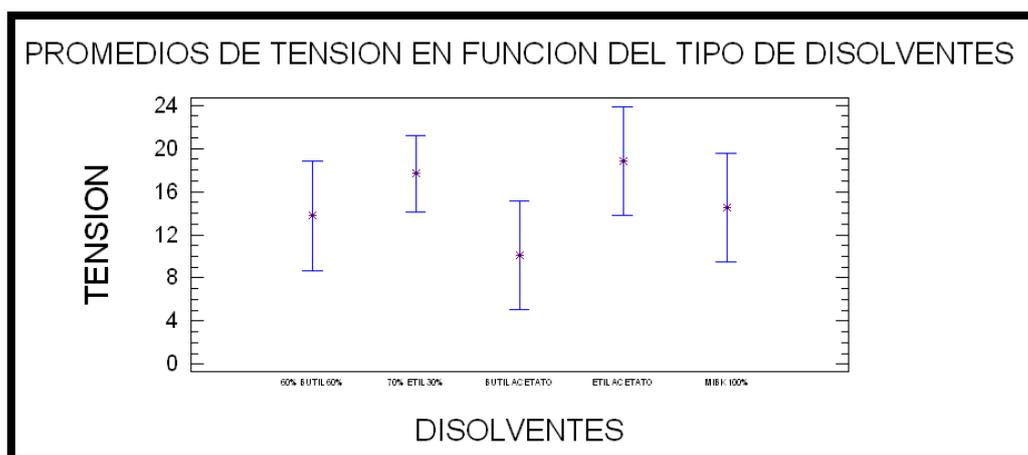


Figura 3-30. Comportamiento de los factores respecto a la variable respuesta.

Fuente: Elaboración Propia, 2013.

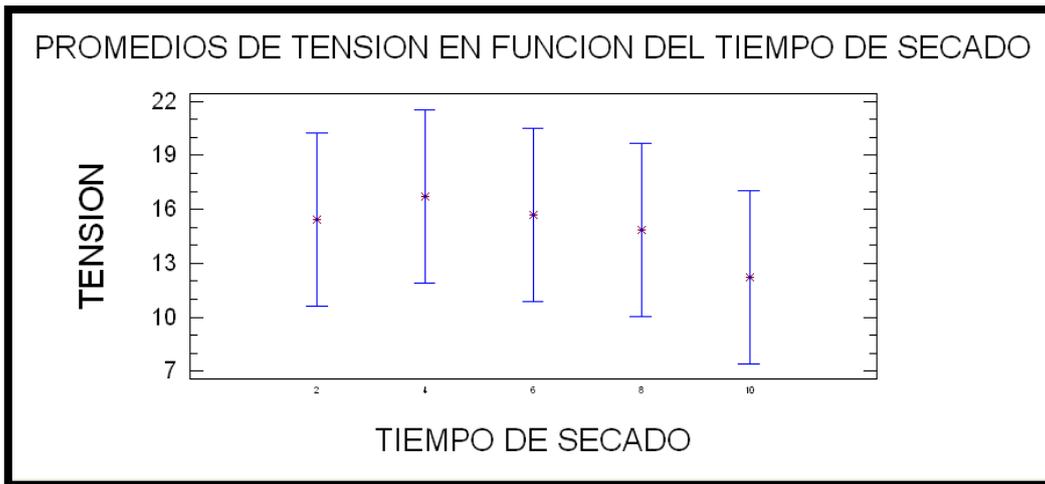


Figura 3-31. Comportamiento de los factores respecto a la variable respuesta.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

De la figura 3-30 se puede observar que la solución de butil acetato al 100% presenta el menor valor de promedio de medias y el que presenta el mayor promedio es el etil acetato. Al observar la figura 3-31 es posible darse cuenta que los tiempos óptimos donde se tienen los mejores valores de adhesividad están en el rango de 2 minutos a 6 minutos ya que luego le sigue un decaimiento en los valores de adhesividad transcurrido los 6 minutos.

La figura 3-32 presenta el diagrama de dispersión del factor solvente frente a los valores de adhesividad.

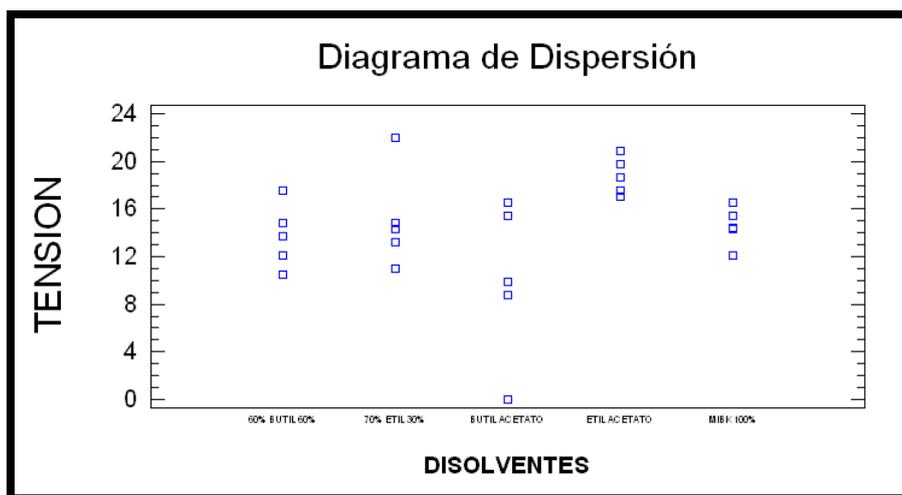


Figura 3-32. Diagrama de dispersión solvente vrs valores de adhesividad.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

De la figura 3-32 se puede observar que el etil acetato al 100% y el MIBK al 100% presentan una menor dispersión de datos por lo que estas dos sustancias podrían ser de gran interés para su uso como adhesivos.

A partir de los análisis de las pruebas realizadas sobre las muestras obtenidas de la disolución de durapax en diferentes solventes orgánicos y a diferentes concentraciones, se obtienen valores de viscosidad, % de sólidos disueltos y fuerza de adhesión, lo que permite determinar cuál de todas las mezclas es la que mejor rendimiento ha generado. Por lo que para el diseño de una planta industrial se ha decidido trabajar con el etil acetato 100%.

3.2.11 Validación de etil acetato 100% como adhesivo a partir de material reciclado.

Partiendo de los resultados obtenidos en pruebas anteriores el etil acetato al 100% ha sido elegido para realizar el diseño de una planta industrial, por lo que se procedió a la validación del mismo con materiales de durapax reciclado (platos, vasos, bandejas etc.); se inició con 500 gr de etil acetato y 100 gr de durapax obteniendo un total 600 gr de solución para dar como resultado una concentración de 16.67 %p/p y una viscosidad de 100 cP y se fueron adicionado 20 gr de durapax sucesivamente hasta completar 7 mediciones, cuyos resultados se presentan en la tabla 3-18.

En las figuras 3-33, 3-34, 3-35 a continuación se presenta el proceso llevado a cabo para obtener el adhesivo a partir de bandejas de durapax recicladas:

1. Se pesaron 500 gr de etil acetato y 100 gr de durapax (véase figura 3-33).



Figura 3-33. Pesaje de bandejas de durapax recicladas.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

2. Disolución de durapax en etil acetato (véase figura 3-34).



Figura 3-34. Disolución de durapax en etil acetato.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

3. Medición de viscosidad (véase figura 3-35).



Figura 3-35. Medición de viscosidad solución etil acetato.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Tabla 3-18 Medición de viscosidad en solución etil acetato 100%

Medición	Solvente inicial (500gr) Etil Acetato				
	Peso de durapax (gr)	Peso total adicionado (gr)	Peso de solución (gr)	Concentración %p/p	viscosidad μ (cP)
1	100	100	600	16.67	100
2	20	120	620	19.35	125
3	20	140	640	21.88	150
4	20	160	660	24.24	200
5	20	180	680	26.47	400
6	20	200	700	28.57	1100
7	20	220	720	30.56	2200

Fuente: Elaboración propia, 2013.

En la figura 3-36 se puede observar que la tendencia de los datos experimentales da como resultado un comportamiento exponencial de la viscosidad respecto a los cambios en la concentración de la solución validando con esto la prueba realizada a partir de utensilios reciclados de durapax.

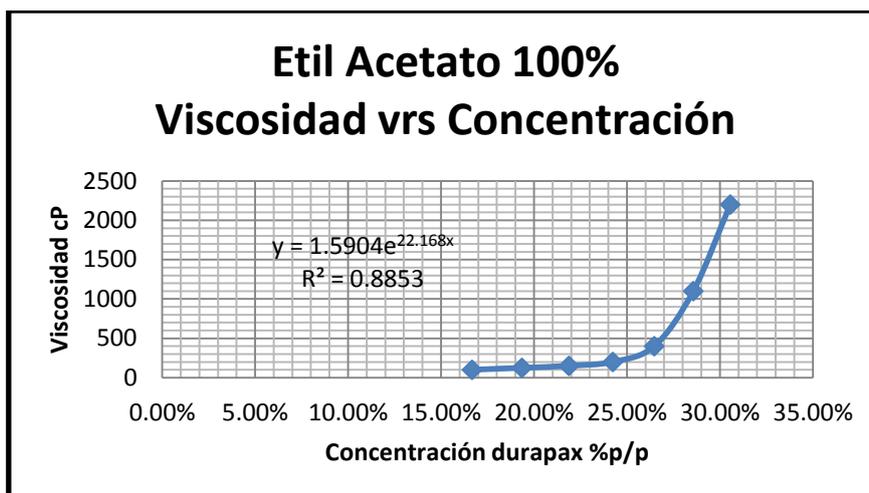


Figura 3-36. Comportamiento de la viscosidad frente a la concentración en solución de etil acetato 100%.

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Al finalizar la prueba se midió la solución final para evaluar las pérdidas en el proceso debido a lo que se pierde en las paredes de los recipientes utilizados y por la volatilidad del solvente teniendo un valor teórico del peso de la solución de 720 gr y obteniendo un valor de peso final de la solución de 524.6 gr, mediante estos datos se observó un porcentaje de pérdidas de 27.14%.

$$\% \text{ de pérdidas} = \frac{720 - 524.6}{720} * 100 = \mathbf{27.14\% \text{ de pérdidas}}$$

La ecuación que describe el comportamiento de los datos experimentales de la figura 3-33 se presenta a continuación:

$$y = 1.5904e^{22.168x}; R^2 = 0.8853 \text{ Ec. 3-8}$$

En la figura 3-37 podemos evidenciar la cantidad de solución que queda en las paredes de los recipientes utilizados en el proceso.



Figura 3-37. Pérdidas de solución en el proceso de obtención de adhesivo a partir de durapax.
Fuente. Elaboración propia, 2013.

Posterior a la medición de la viscosidad se procedió a realizar la medición de sólidos disueltos en la muestra, ya que mientras mayor sea este valor, mayor será su capacidad de adhesividad.

Con una temperatura de 105 °C y una concentración de 30.56 %p/p se obtuvieron los siguientes datos recopilados en la tabla 3-19.

Tabla 3-19. Porcentaje de sólidos disueltos en solución de etil acetato.

Cálculo del % solidos disueltos		
Medición	1	2
Tara	0.1330	0.1346
Sln	3.1148	1.6307
Seco	1.2495	0.7252
% solidos	0.3585	0.3622

Fuente. Elaboración propia, 2013.

Muestra 1.

$$\% \text{ solidos} = \frac{1.2495 - 0.1330}{3.1148} = 0.3585 * 100$$

$$\% \text{ solidos} = 35.85$$

Muestra 2.

$$\% \text{ solidos} = \frac{0.7252 - 0.1346}{1.6307} = 0.3622 * 100$$

$$\% \text{ solidos} = 36.22$$

$$\% \text{ Solidos Promedio} = 36.035$$

A continuación en la figura 3-38 se muestran las cápsulas luego de ser colocadas en la estufa:



Figura 3-38. Cápsulas con sólidos disueltos.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

3.3 Validación de muestras obtenidas en laboratorio para su utilización como barniz comercial.

Para la realización de las pruebas se contó con la colaboración de la empresa PINSAL S.A de C.V. que fué la encargada de realizar el certificado de calidad para cada una de las muestras.

El proceso consistió en elaborar probetas de prueba en recipientes de vidrio con 30ml de cada una de las soluciones elaboradas previamente. En la tabla 3-20 muestra cual fue la codificación que se tomó para él envío de las muestras.

Tabla 3-20. Codificación de muestras.

Muestras 30ml	Significado
A	Butil Acetato 100%
B	Etil Acetato 100%
C	MIBK 100%
D	Butil/MIBK
E	Etil/MIBK

Fuente: Elaboración propia, 2013.

A las muestras enviadas a la empresa se le realizaron dos diferentes pruebas de calidad: dureza y brillantez del barniz. A continuación se detallan los procesos realizados. Se decidió no enviar muestra de mezcla de etil acetato y butil acetato debido a su alta viscosidad, lo que hace difícil poder realizar una correcta y buena aplicación.

3.3.1 Método de determinación de dureza en barniz.

Aplicación

La finalidad de los ensayos de dureza al rayado es determinar la resistencia de los recubrimientos o barnices a los efectos del rayado sobre la superficie.

Características

Este ensayo es particularmente valioso para mobiliario o pinturas para la automoción, siendo también útil en el desarrollo de resinas sintéticas u otros recubrimientos.

Generalmente, la dureza al rayado se mide desplazando un objeto afilado bajo una presión dada sobre la superficie de ensayo. El resultado puede ser tanto el valor de la presión que se requiera para rayar el material de ensayo si se utiliza una herramienta de rayado de dureza constante, como la variación de la dureza de la herramienta de rayado mientras se aplica una presión constante.

- Se utilizan 20 lápices de grado 9B hasta 9H con un soporte estándar. Ver figura 3-39.

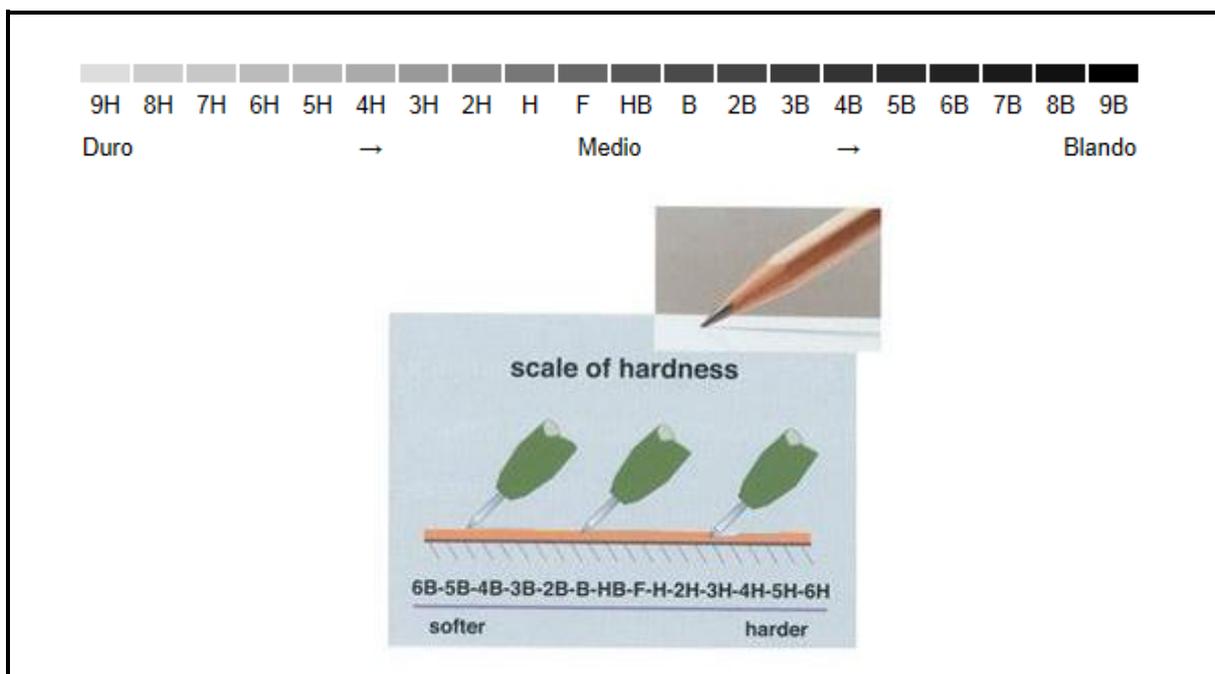


Figura 3-39. Escala de dureza de lápices.
Fuente: CR Medición Instrumental de Medición y Control, 2013.

- Los lápices se desplazan sobre la superficie bajo una presión y un ángulo de fijación determinado que aseguran el mínimo error por parte del usuario. Ver figura 3-40.
- Los lápices pueden cambiarse fácilmente para minimizar los paros durante los ensayos

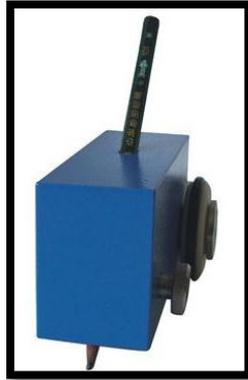


Figura 3-40. Durómetro de lápiz.
Fuente: CR Medición Instrumental de Medición y Control, 2013.

Principio del ensayo y Método

- El ensayo se realiza con una presión fija de 750 g y un ángulo de 45 grados.
- La superficie del material de ensayo debe prepararse y limpiarse correctamente antes de comenzar.
- Seleccione un lápiz tipo medio como el 2H.
- Para lápices de madera, afile cada lápiz aproximadamente 5 mm (3/16 in) teniendo especial cuidado en dejar la mina entera, sin marcas y lisa.
- Coloque el durómetro sobre su cara inferior, inserte el lápiz hasta que toque la superficie del ensayo, y apriete el tornillo de sujeción.
- Coloque el durómetro sobre la superficie de ensayo y empuje hacia delante de 6 a 12 mm (1/4 - 1/2 in) sujetando el durómetro por las muescas situadas sobre las ruedas.
- Gire el lápiz 90 grados, coloque el aparato 12 mm (1/2 in) al lado del primer ensayo y repita el paso anterior. [CR Medición Instrumental de Medición y Control, 2013]

3.3.2 Medición de brillo del barniz.

El brillo es una percepción visual como resultado de la evaluación de las superficies. Cuanta mayor luz directa refleja, mayor percepción de brillo se obtiene.

El aparato para medir el brillo en las superficies se llama brillómetro que se encarga de medir la reflexión especular. La intensidad de luz reflejada, es captada por encima de un pequeño margen del ángulo de reflexión. Ver figura 3-41.

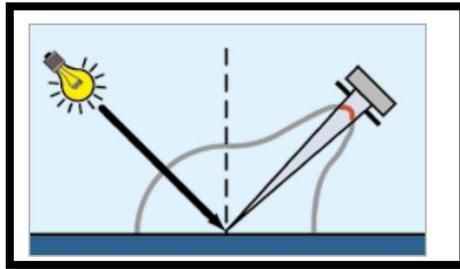


Figura 3-41. Medición de la reflexión especular.
Fuente: Lausitzer Strasse, Alemania.

La intensidad de la luz reflejada depende del material y del ángulo de iluminación. En los objetos no metálicos (pinturas, plásticos), la cantidad de luz reflejada aumenta con el incremento del ángulo de iluminación. El resto de la luz iluminada penetra el material y es absorbida o ligeramente difuminada dependiendo del color.

Los resultados de medición del brillómetro, se refieren a la cantidad de luz reflejada en un patrón de calibración de cristal negro con un índice de refracción definido y no a la cantidad de luz incidente. El valor de medición de este patrón es igual a 100 unidades de brillo (calibración).

Los brillómetros y su procedimiento operativo, tuvieron que ser internacionalmente especificados para poder obtener resultados de medición comparativos. El ángulo de incidencia o iluminación influyen altamente (ver figura 3-42). Para poder diferenciar claramente las superficies desde altamente brillantes hasta mates, se normalizaron 3 geometrías, es decir, se definieron 3 rangos y 3 ángulos de medida. Ver tabla 3-21.

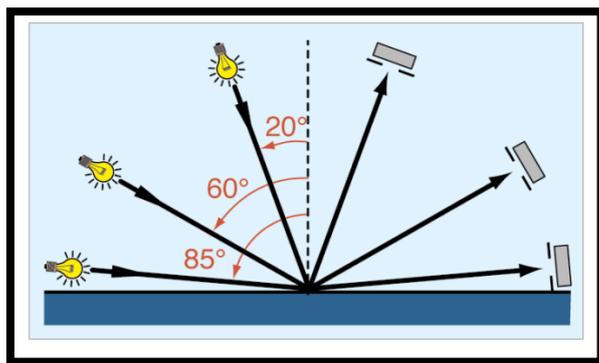


Figura 3-42. Ángulos de incidencia de la luz.
Fuente: Lausitzer Strasse, Alemania.

Tabla 3- 21. Normalización de geometrías.

Brillo	Valor de 60°	se mide con
brillo medio	10 hasta 70	geometria 60°
Brillo alto	> 70	geometria 20°
Brillo mate	< 10	geometria 85°

Fuente: "Brillo", Lausitzer Strasse, Alemania.

En la tabla 3-22 se pueden observar las diferentes normas aplicadas a la medición de brillo en superficies y sus determinados ángulos y tipo de brillo.

Tabla 3-22. Normas aplicadas a la medición de brillo en superficies.

Aplicación	20°	60°	85°
	Recubrimientos, plasticos y otros materiales		
DIN EN ISO 2813	•	•	•
ASTM D 523	•	•	•
ASTM D 2457	•	•	•
DIN 67530	•	•	•
JIS Z 8741	•	•	•

Fuente: "Brillo", Lausitzer Strasse, Alemania.

Al realizar las pruebas mencionadas con anterioridad se obtuvieron los siguientes resultados. (Ver tabla 3-23).

Tabla 3-23. Resultados de pruebas de dureza y brillo.

Muestra	Dureza (Estándar: > HB)	Brillo (Estándar: 20 - 30)	Observaciones
Barniz A	HB	24.8	No se recomienda uso, por baja dureza
Barniz B	-	24.5	No se pudo medir dureza, pues al aplicar el barniz, este se desprendía de la lámina por el nivel de plastificado. No se recomienda su uso
Barniz C	H	29.9	Estándares ideales, se recomienda uso
Barniz D	H	24.1	Estándares ideales, se recomienda uso
Barniz E	< HB	23.3	Usando el lápiz de menor dureza (HB), este aun así rayaba el barniz aplicado. Por lo cual no se da una calificación exacta de dureza. No se recomienda uso

Fuente: Certificado de calidad, PINSAL, Julio 2013.

A partir de los resultados obtenidos es posible observar que tanto la muestra A (butil acetato 100%) y la muestra E (etil/MIBK) no dieron resultados positivos para su uso en barnices debido a que poseen baja dureza.

En el caso de la muestra B (etil acetato 100%), el problema que se presentó es que se genera una lámina plastificada lo que ocasiona que no se pueda realizar la prueba de dureza sobre este material, descartándose para su uso.

Para las muestras C (MIBK 100%) y muestra D (butil/MIBK) dieron positivos los resultados de dureza con valores de H y de brillo con valores de 29.9 y de 24.1 respectivamente. Estando estos valores en los estándares de calidad de PINSAL S.A de C.V certificando de esta manera su uso como barniz.

4. DETERMINACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE RECICLAJE DEL EPS.

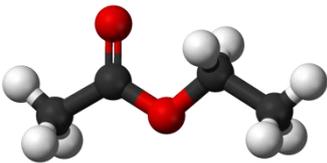
Luego de la realización de las diferentes pruebas de durapax para obtención de adhesivos y barniz con solventes orgánicos (MIBK, Butil Acetato y Acetato de Etilo) es necesario conocer más de las ventajas y desventajas que presentan estos adhesivos obtenidos, por lo que necesitamos conocer su naturaleza y comportamiento tomando como base las diferentes propiedades de los solventes usados para obtener dichos adhesivos.

El uso de los adhesivos como material de unión presenta una serie de ventajas y desventajas partiremos de estas para definir la mejor alternativa obtenida en las pruebas antes descritas en el capítulo 3. Es importante tomar en cuenta que los adhesivos permiten realizar uniones de sustratos con diferentes geometrías, tamaños y composición, podemos unir cristales, plásticos, metales, materiales cerámicos etc., eliminan la corrosión asociada a la unión de metales diferentes con distinto potencial galvánico, por ejemplo la unión de acero con aluminio, no produce ninguna deformación en las piezas o sustratos, poseen función de sellado y protección frente a la corrosión; en el caso de los adhesivos obtenidos con los diferentes solventes estos fueron aplicados en madera, cartón, lona y papel, resultando con adhesividad muy buena; en el caso del barniz se aplicó en madera y cartón observándose un recubrimiento y brillo aceptable en estas superficies.

4.1 Propiedades de los diferentes solventes utilizados en alternativas de reciclaje para EPS.

A continuación citaremos las diferentes propiedades de los solventes utilizados en las diferentes pruebas de adhesivos.

Tabla 4-1. Propiedades del acetato de etilo.

Acetato de Etilo	Propiedades
 <p>CH₃COOC₂H₅</p>	<p>Punto de ebullición: 77°C Punto de fusión: -84°C Densidad relativa (agua = 1): 0.9 Solubilidad en agua: Muy buena Presión de vapor, kPa a 20°C: 10 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.0 Punto de inflamación: 7°C (o.c.)°C Temperatura de autoignición: 427°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.2-11.5</p>

Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de CCE, IPCS 1994.

Tabla 4-2. Aspectos relacionados con la seguridad en el manejo del acetato de etilo.

Tipo de Peligro /Exposición	Peligros/Síntomas Agudos	Prevención	Primeros Auxilios/Lucha contra incendios
INCENDIO	Altamente inflamable	Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.	AFFF, espuma resistente al alcohol, polvos, dióxido de carbono
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra). Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua. Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa, incluyendo equipo autónomo de respiración.

EXPOSICIÓN	Peligros/Síntomas Agudos	Prevención	Primeros Auxilios/Lucha contra incendios
INHALACIÓN	Tos, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náusea, jadeo, dolor de garganta, pérdida de conocimiento, debilidad.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someter a atención médica. Respiración artificial si estuviera indicado.
PIEL	Enrojecimiento, dolor.	Guantes protectores, traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.
OJOS	Enrojecimiento, dolor.	Gafas ajustadas de seguridad	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
INGESTION	Dolor abdominal, vértigo, náusea, dolor de garganta, debilidad.	----	Enjuagar la boca, dar a beber abundante agua y someter a atención médica.

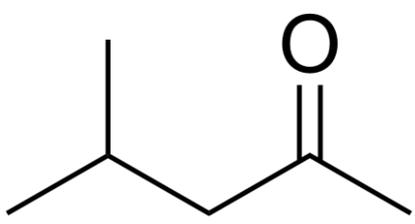
Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de CCE, IPCS 1994.

Tabla 4-3. Datos Importantes del acetato de etilo.

Datos importantes	Descripción
Estado físico; aspecto	Líquido incoloro, de olor característico
Peligros físicos	El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.
Peligros químicos	El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. La sustancia se descompone bajo la influencia de luz UV, bases y ácidos. La solución en agua es un ácido débil. Reacciona con oxidantes fuertes, bases o ácidos. Ataca muchos metales en presencia de agua. Ataca los plásticos.
Límites de exposición	TLV: 400 ppm; 1400 mg/m ³ (ACGIH 1990-1991).
Vías de exposición	La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor.
Riesgo de Inhalación	Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
Efectos de exposición de corta duración	La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso. La exposición muy por encima del OEL puede producir la muerte. Se recomienda vigilancia médica.
Efectos de exposición prolongada o repetida	El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de CCE, IPCS 1994.

Tabla 4-4. Propiedades del metil isobutil cetona (MIBK).

Metil Isobutil Cetona (MIBK)	Propiedades
 $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	<p>Temperatura de ebullición °C: 117 Temperatura de fusión °C: -84.40 Temperatura de inflamación °C: 17.70 Temperatura de autoignición °C: 460.00 Densidad relativa: 0.8 Densidad de vapor (Aire=1): 2.0 Peso molecular: 100.20 Estado físico, color y olor: Liquido incoloro con olor agradable. Velocidad de evaporación (butil-acetato): 1.60 Solubilidad en agua (%): 1.91 Presión de vapor (mmHg 20°C): 16.00 Porcentaje de volatilidad por volumen (%): 100.00</p>

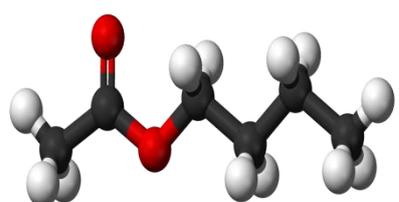
Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Merck & Co. 1983.

Tabla 4-5. Aspectos relacionados con la seguridad en el manejo del metil isobutil cetona (MIBK).

Emergencia y primeros auxilios	
Contacto con los ojos	Enjuagar con abundante agua al menos por 15 minutos, levantándolos párpados.
Contacto con la piel	Remueva la ropa, lavar el área de contacto con agua y jabón.
Ingestión	No inducir vómito, enjuague la boca, lavado gástrico con agua en abundancia.
Inhalación	Permanecer en área con aire fresco. Si la respiración se dificulta o se detiene, administrar oxígeno o proporcionar respiración de boca a boca respectivamente.
Otros riesgos o efectos para la salud	El producto puede causar depresión en el sistema nervioso central.
Datos para el medico	El paciente debe mantenerse bajo observación médica.
Antídoto	En caso de ingestión aplique lavado gástrico con agua en abundancia.

Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de GENIUM'S Handbook of Safety 1999.

Tabla 4-6. Propiedades del butil acetato.

Butil Acetato	Propiedades
 $\text{CH}_3\text{CO}_2(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	<p>Punto de ebullición: 126,5 °C Punto de fusión: -77,9 °C Punto de Inflamación: 22 °C Temperatura de auto ignición: 360°C Límites de explosión (inferior/superior): 1,2/7,2 vol.% Presión de vapor: 13 hPa (20 °C) Densidad (20/4): 0,883 Solubilidad: 7 g/l en agua a 20 °C</p>

Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Grupo Español de Conservación s.f.

Tabla 4-7. Aspectos relacionados con la seguridad en el manejo del butil acetato.

Exposición	Peligro/Síntomas
Contacto con los ojos	Fuertemente irritante. Si no se elimina rápidamente, lesiona el tejido ocular y provoca daño permanente.
Contacto con la piel	Este producto disuelve la capa grasa de la piel. Síntomas por el contacto son irritación y decoloración de la piel. Ocasionalmente se desarrollan alergias. Personas alérgicas pueden desarrollar sarpullido a niveles bajos de exposición.
Inhalación	Causa irritación al tracto respiratorio. Entre los síntomas se incluye: tos, respiración lenta. Concentraciones altas tienen un efecto narcótico.
Ingestión	Es irritante para los tejidos. Entre los síntomas por ingestión tenemos: inflamación de la garganta, malestar estomacal, náuseas, vómitos, diarrea. Tiene un efecto narcótico. Una onza produce envenenamientos severos.
Efectos crónicos	
Contacto con la piel	Repetidos y prolongados contactos con la piel pueden resecarla y producir irritación y dermatitis.
Medidas de primeros auxilios	
Contacto con los ojos	Lave inmediatamente los ojos con agua en abundancia durante mínimo 15 minutos. Levantando ocasionalmente los párpados superior e inferior. Acuda inmediatamente al médico.
Contacto con la piel	Lavar inmediatamente con gran cantidad de agua, usar jabón si hay disponible. Quitar la ropa contaminada incluyendo zapatos, una vez que se ha comenzado el lavado. Lave la ropa antes de ser usada y limpie minuciosamente el calzado.
Inhalación	Usando protección respiratoria adecuada, se saca inmediatamente a la víctima del ambiente de exposición a donde hay aire fresco. En caso de interrupción de la respiración, se aplica respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Se le presta atención médica inmediata.
Ingestión	Si se ingiere no inducir el vómito. Mantener a la persona en descanso. No suministre nada por la boca a una persona inconsciente. Requerir ayuda médica inmediata.

Fuente: Elaboración propia a partir de Grupo Español de Conservación s.f.

Tabla 4-8. Datos importantes del butil acetato.

Datos Importantes	Descripción
Ventajas	Relativamente poco tóxico. Puede utilizarse para disolver muchas resinas sintéticas, acrílicas (todos los tipos de Paraloid, Elvacite, Plexisol), polivinil acetatos, cetónicas y aldehídicas. A menudo se asocia al DMSO para ralentizar la acción disolvente. Puede ser espesado con etil celulosa N300
Peligros	Los vapores del producto forman con el aire mezclas inflamables o explosivas a temperatura ambiente, además pueden alcanzar fuentes de ignición distantes. Productos de su combustión; monóxido de carbono y bióxido de carbono. Irritación de mucosas y tracto respiratorio, mareo, dolor de cabeza, náuseas. Al contacto con la piel produce irritación, sequedad y daño en el tejido. Irritación en los ojos y conjuntivitis. Una de las propiedades más importante de estos 3 solventes es que poseen gran volatilidad, por lo que presentan una alta presión de vapor, pudiendo pasar fácilmente a la atmósfera en forma de vapor durante su manejo y por ello susceptibles de ser inhalados fácilmente; esta es una de las razones por las que se tiene pérdidas en los procesos llevados a cabo para la obtención de los diferentes solventes.

Fuente: Elaboración propia a partir de Grupo Español de Conservación s.f.

4.2 Alternativas de reciclaje y su factibilidad.

Dentro de las alternativas de reciclaje estudiadas para la obtención de adhesivos y barniz tenemos 6 diferentes para las cuales se realizaron las pruebas de: % sólidos disueltos, prueba de tensión, esto para la validación de las mismas, así como también prueba de dureza y brillo en el caso del barniz. La factibilidad de las mismas viene dada por el factor económico, impacto en el ambiente y calidad del producto obtenido.

El adhesivo preparado con etil acetato al 100% es el que podría tener, por ser el etil acetato el más barato el menor costo, de los 3 solventes utilizados para la obtención de adhesivos, por lo que en cuanto a factibilidad económica es el más recomendable. Además actualmente no existe ningún tipo de ley regulatoria del uso de esta sustancia, ni el MARN ni el Ministerio de Salud cuentan con legislaciones para el manejo de esta, pero es de hacer énfasis en que si se manipula por mucho tiempo este solvente puede generar irritación en los ojos y dolor de cabeza debido a

la volatilidad del mismo. En cuanto al rendimiento, por ser muy volátil presentó el mayor valor en pérdidas del proceso con 39.87%, con un porcentaje de sólidos de 37%, poseyendo una capacidad de adhesividad buena la que se comprobó en la prueba de tensión obteniéndose un valor de 20.9 lbf/plg² en 6 minutos de aplicación y lo definimos como el de la mejor alternativa ya que el valor de viscosidad es el mejor de todas las pruebas con 1700 cP.

El Butil Acetato 100% es el solvente de mayor costo pero es el menos volátil respecto a los demás ya que generó el menor porcentaje de pérdidas con 12.49% y un porcentaje de sólidos disueltos de 35%, siendo el menor valor en sólidos presentes en la muestra lo que hace que sea el de menor capacidad de adhesividad de las 6 muestras.

El metil isobutil cetona (MIBK) 100% es el de costo intermedio de los tres solventes utilizados, y el adhesivo es el de menos viscosidad resultante de los preparados con los 3 solventes puros, al igual en el porcentaje de pérdidas resultó un valor intermedio con 22.46% y un porcentaje de sólidos disueltos mayor que los otros dos solventes con 39%.

De las 3 pruebas anteriormente citadas el factor determinante es la viscosidad que es tomada como variable respuesta por lo que nos da como resultado que la prueba con etil acetato al 100% es seleccionada como la que mejor responde a las diferentes pruebas.

En cuanto a las otras 3 pruebas que se realizaron con una mezcla de etil acetato 70% y 30% butil acetato, etil acetato 70% y 30% MIBK, 60% butil acetato y 40% MIBK resultaron con una muy buena adhesividad; en el caso del etil acetato/butil acetato fue descartado su valor de % de sólidos disueltos ya que la viscosidad de este es demasiado alta, lo que no permite su aplicación correcta y dificulta la manipulación del mismo para aplicar en diferentes sustratos. El etil acetato/MIBK y butil acetato/MIBK poseen una buena adhesividad por la cantidad de sólidos disueltos pero poseen los valores de viscosidad más bajos.

Luego de la evaluación de todas las alternativas con solventes orgánicos para la obtención de adhesivos se puede concluir que la más factible es la realizada con etil acetato al 100%, por su costo, viscosidad, sólidos disueltos al final y prueba de tensión; es la que mejor responde a todas y cada una de las pruebas realizadas a cada solución.

En el caso de las pruebas realizadas a cada muestra para validar su utilización como barniz comercial fue necesario elaborar probetas de prueba de 30 ml en recipientes de vidrio, siendo las pruebas de dureza y brillo las consideradas para certificar nuestras muestras aptas para ser utilizadas como barniz, resultando la muestra de MIBK al 100% la mejor para utilizarse como barniz comercial con un brillo de 29.9, obteniendo estándares ideales de dureza dentro de la escala; cabe mencionar también que el butil acetato/MIBK cumple también los estándares ideales y con un brillo de 24.1 se recomienda también su uso.

4.3 Impacto ambiental.

La emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVs) a la atmósfera tiene algunos problemas importantes para el medio ambiente al igual que en la salud humana. Algunos COVs contribuyen a la degradación de la capa de ozono atmosférico, a continuación se muestra un listado de los diferentes disolventes orgánicos y cuál es su porcentaje de emisiones en tabla 4-9.

Tabla 4-9. Emisiones procedentes del uso de disolventes en la industria en Europa.

Actividad consumidora de disolventes orgánicos	Porcentaje de emisiones
Aplicación de pinturas fabricación de automóviles	6,3
Otras aplicaciones industriales de pinturas	32,0
Desengrasado de metales	12,8
Limpieza en seco	4,1
Tratamiento del caucho	2,1
Fabricación de productos farmacéuticos	4,5
Fabricación de pinturas y tintas	1,4
Fabricación de adhesivos	3,6
Imprenta	13,4
Extracción de grasa y aceite comestible y no comestible	4,3
Recubrimiento adhesivo	10,4
Conservación de bosques	5,1

Fuente: PROYECTO Fitema, s.f. base de datos CORINAIR.

Los riesgos para la salud asociados a la emisión de COVs a partir del uso de disolventes orgánicos se derivan de sus propiedades volátiles, liposolubles, tóxicas e inflamables. [PROYECTO Fitema, s.f.]

El carácter volátil de los disolventes hace que éstos se evaporen rápidamente en el aire, alcanzando concentraciones importantes en espacios confinados. Los riesgos mayores para el ser humano se producen por la absorción de éstos a través de la piel y por inhalación. El contacto directo con la piel permite que el disolvente pase a la sangre, causando efectos inmediatos y a más largo plazo. La inhalación constituye la vía de exposición más peligrosa, porque los pulmones son muy eficaces en distribuir éstas, o cualquier otra sustancia, por todo el cuerpo pudiéndose inhalar concentraciones muy elevadas en plazo breve, siendo esta vía, además, particularmente difícil de controlar. [PROYECTO Fitema, s.f.]

Los disolventes orgánicos son liposolubles, es decir, que una vez que se introducen en el organismo tienen afinidad con los tejidos grasos y no suelen disolverse en agua, aunque sus metabolitos sí son hidrosolubles. Por la vía de inhalación, recorre las vías respiratorias, de donde pasa a la sangre y de ahí a los diferentes órganos, donde tienden a acumularse. Con el paso del tiempo las concentraciones acumuladas pueden alcanzar niveles que representen un riesgo para la persona y,

en particular, para un feto durante su desarrollo embrionario. [PROYECTO Fittema, s.f.]

En algunos estudios de toxicidad, en los que se relacionan las lesiones neurológicas con la exposición crónica a disolventes, los investigadores hallaron un menor rendimiento en los trabajadores/as que estaban expuestos a niveles inferiores a los máximos legales fijados por las autoridades. Por ejemplo, en un estudio efectuado en Suecia sobre los pintores de automóviles y de la industria que utilizan aerosoles, se descubrió un aumento estadístico significativo de síntomas psiquiátricos como la irritabilidad y dificultades de concentración. [PROYECTO Fittema, s.f.]

La mayoría de los disolventes son inflamables y explosivos, lo que representa otro tipo de riesgo diferente asociado a estas sustancias. Algunos no arden necesariamente con facilidad, pero sí tienden a descomponerse a altas temperaturas dando lugar a otros compuestos altamente tóxicos, tal es el caso de los disolventes halogenados que se convierten en fosgeno, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, etc. El peligro de explosión varía de un disolvente a otro, por lo que es necesario conocer las condiciones de concentración, presión, temperatura, etc. en cada caso para evitar este riesgo. [PROYECTO Fittema, s.f.]

En la tabla 4-10 a continuación se muestran los riesgos para la salud derivados del uso, manipulación y exposición a los disolventes a largo plazo, de los principales disolventes orgánicos de utilización industrial.

Tabla 4-10. Riesgo a largo plazo de los principales disolventes orgánicos de utilización industrial.

Solvente	Mutagenidad	Cancerígenos en humanos	Cancerígenos en animales	Neurotoxicidad	Hepatotoxicidad
Acetato de metilo					X
Acetato de etilo					X
Acetonitrilo o cianuro de metilo				X	
Alcohol metílico				X	
Benceno		X		X	
Clorobenceno				X	X
Cloroformo			X	X	X
Cloruro de metileno o diclorometano			X	X	X
Dicloroetano				X	X
Dicloropropano				X	
Dimetilcetamida (DMA)					X
Dimetilformamida				X	X
Dioxano			X	X	
Estireno	X			X	
Éter etílico				X	
Etilenglicol					X
Formaldehído	X	X		X	
N-Hexano e isómeros				X	
Metil-n-butilcetona (MBK)				X	
Metiletilcetona (MEK)				X	
Nitrobenceno				X	
2-Nitropropano			X		X
Tetracloroetileno o percloroetileno			X	X	X
Tetracloruro de carbono			X	X	X

Tolueno				X	X
1,1,1, tricloroetano o metilcloroformo				X	X
Tricloroetileno	X		X	X	X
Xileno e isómeros				X	

Fuente: Laurení, U., Rigosi, F. 1985, et. al.

En la actualidad existen propuestas concretas de sustitución de disolventes orgánicos con diferentes grados de aplicabilidad. F. Sorensen y H. J. Styhr Petersen, del Departamento de Ingeniería de la Universidad Técnica de Dinamarca, han recopilado un buen número de estas alternativas que se muestran a continuación en la tabla 4-11.

Tabla 4-11. Sustitución de disolventes orgánicos.

Alimentación		
Proceso de producción	Disolventes orgánicos	Alternativas de sustitución
Limpieza de equipo con surfactantes	Butilenglicol, propilenglicol, etanol.	1 Surfactantes en emulsión salina. 2 Otros tipos de surfactantes.
Extracción de aceites vegetales	N-Hexano	Extracción sobre el punto crítico con Dióxido de carbono.
Industria textil		
Proceso de producción	Disolventes orgánicos	Alternativas de sustitución
Lavado de tejidos con surfactantes	Butilenglicol, Propilenglicol	1 Surfactantes en emulsión salina. 2 Otros tipos de surfactantes.
Lavado de tejidos con Anti-foam	2-Propanol	Emulsión de surfactantes.
Quitar manchas de aceite	CFC 113, 1,1,1-tricloroetileno	Evitar las manchas ajustando maquinas.
Limpieza en seco	CFC 113, Tetracloroetileno	Diseñar y vender ropa que no precise limpieza en seco.
Industria del calzado		
Proceso de producción	Disolventes orgánicos	Alternativas de sustitución
Unir los adornos y refuerzos	N-Heptano, Acetato de etilo	1 Adhesivos al agua. 2 Cinta adhesiva a dos caras.
Pretratamiento de suelas	Acetato de etilo	Preparación mecánica (rascado).
Unión del cuero con la suela	Tolueno, acetona, diclorometano, MEK, acetato de etilo	1 ¿Adhesivo al agua? 2 ¿Película adhesiva?

Unión de la cubierta de la suela y pieza de látex	Tolueno, heptano, acetato de etilo	1 Fusión por calor. 2 Capa adhesiva.
Acabado del zapato, color y pulido	Nafta White spirit (*)	¿Agentes de base acuosa?
Madera y muebles		
Proceso de producción	Disolventes orgánicos	Alternativas de sustitución
Tapizado de muebles	1,1,1-Tricloroetano, N-Hexano, acetona, Tolueno	1 Adhesivos al agua. 2 Sujeción mecánica (grapas) 3 ¿Cinta adhesiva a dos caras?
Limpieza de serrín en las partes metálicas pulidas	Queroseno	Limpieza con bloques de caucho crudo.
Protectores de superficie de la madera	Hidrocarburos aromáticos, alicíclicos y alifáticos	Agentes de base acuosa.
Pintura, lacado	Acetato de butilo, Acetato de etilo	1 No tratamientos. 2 Capa de cera (pino). 3 Tratamiento con jabón (haya). 4 Pintura de base acuosa.
Imprentas		
Proceso de producción	Disolventes orgánicos	Alternativas de sustitución
Limpieza de lentes, pantallas luminosas y películas	1,1,1-Tricloroetano, etanol.	Solución al 1% de carbonato de sodio.
Productos antiestáticos en películas	1,1,1-Tricloroetano.	Usar películas antiestáticas.
Pegado en montaje y composición	1,1,1-Tricloroetano, nafta.	1 Barra de cola. 2 Cera 3 Adhesivo de doble cara. 4 Pantalla estirada.
Retocado de películas	Tolueno, etanol	1 Cubierta de color base acuosa usando pluma o cepillo. 2 Tapa roja para negativo de película
Revelado de película	Etilenglicol, metilenglicol, propilenglicol, y derivados.	Usar revelador sin disolventes orgánicos.
Metal	1,1,1-Tricloroetileno	Etil acetato, butil acetato
Fotopolímeros	Etanol	Agua, usando otro tipo de plancha.
Planchas de off-set	Etilenglicol, metilenglicol, propilenglicol y derivados	Revelador base agua sin disolventes orgánicos, usando otro tipo de plancha.

Retocado de planchas (con ácido hidrofúrico)	Dimetil formaldehído	1 Revisar y limpiar la película antes de la exposición. 2 Exposición de la plancha con hoja difusora. 3 Hacer una nueva plancha
Pantalla de imprimir pegado de pantalla a la estructura (con isocianato)	Acetato de etilo, acetona	Montaje con sistema elástico incorporado.
Pantalla de imprimir emulsiones de impresión	Alcoholes	1 Revisar y limpiar los positivos y películas antes de la exposición. 2 Usar la emulsión y reexponer
Flexo impresión goma de pegar cliché y plancha	Nafta	1 Adhesivo de doble cara 2 Junta mecánica
Reveladores para cliché de fotopolímeros	Butanol/tetracloro etileno	Nafta/etanol usando otro tipo de cliché de fotopolímeros.
Huecograbado fotorrelieves	Disolventes orgánicos	Reveladores en base acuosa usando un nuevo tipo de revelador.
Tinta de imprimir en offset con disolvente en forma de aerosol	1,1,1-Tricloroetano	En bote con boca plana directamente, con rodillo sin disolvente orgánico.
Limpieza de planchas	White spirit (*)	Polvos de limpieza hidrosolubles.
Pegar papel, arreglar roturas durante la impresión	N-Hexano	Cinta adhesiva por ambos lados.
Lavado de rodillo de color y otros equipos (ej. emulsión con agua)	Nafta, acetonas, tolueno	1 Fregar con cepillo y agua caliente. 2 Agua a presión.
Limpieza de superficies de máquinas de imprenta	Queroseno	Agua caliente y jabón.
Tratamiento de superficies después de imprimir	Acetato de butilo, acetato de etilo, xileno, tolueno	1 Tinta sin color 2 Laminado con productos base acuosa
Impresión por pantalla Tintas	Tintas con disolventes	1 Tintas en base acuosa. 2 Tintas plastisol.
Impresión por pantalla limpieza de pantalla	Disolventes orgánicos	1 Evitar secado de la tinta. 2 Agua si se eficaz
Fotoimpresión	Etanol, 2-propanol, acetato de etilo, MEK,	Tintas en base acuosa (con 5-25% de disolventes orgánicos) y limpieza con agentes

	tolueno	en base acuosa.
Huecograbado	Tolueno, nafta	Tintas en base acuosa y limpieza con agentes en base acuosa.
Encuadernación de libros con cola	1,1,1-Tricloroetano, tolueno, etanol, acetato de etilo	1 Adhesivos PVA sin disolventes orgánicos 2 Fundido por calor
Tratamiento de superficies y encuadernación	Acetato de etilo, etanol, tolueno, 2-Propanolacetato, acetona	Productos en base acuosa
Laminar	Acetona, MEK, acetato de etilo 2-Propanolacetato	1 Adhesivos en base acuosa. 2 Especifico hoja de poliéster fijada en papel mediante calor. 3 Co-extrusión.
Utilización de agentes antiestáticos en forma de aerosol en superficies de equipos de encuadernación	1,1,1-Tricloroetano	Bote con cuello plano en plano a cepillo sin disolvente orgánico.
Fundición		
Fundición en moldes con fijador orgánico (isocianatos)	C9-C10 Alquilaromáticos	Usar fijadores inorgánicos (silicato de sodio) sin disolventes orgánicos.
Betún	Etanol, 2-propanol	Agentes base acuosa
Desmoldeado en fundición de troqueles a presión	Etilen glicol	Almacenamiento sin congelación.
Fabricación de piezas metálicas, maquinaria y equipos		
Proceso de producción	Disolventes orgánicos	Alternativas de sustitución
Corte de roscas y taladrar en acero inoxidable y cobre	1,1,1-Tricloroetano	1 Agentes basados en aceites vegetales (de colza con 50% de ácido eruca). 2 Agentes de base acuosa sin disolventes orgánicos
Corte con agente de base acuosa y disolvente orgánico	Hexilen glicol, propilen glicol y derivados	Agente de base acuosa sin disolventes orgánicos.
Bruñido	Queroseno	Hidrocarburos alifáticos con punto de ebullición 250 °C

Pulido previo	Queroseno	Agentes base acuosa.
Acabado final	Queroseno	Hidrocarburos alifáticos con punto de ebullición 250 °C
Mecanizado de bujías	Queroseno	Hidrocarburos alifáticos con punto de ebullición 250 °C
Soldadura fase vapor industria electrónica	CFC 113	Horno continuo de infrarrojos.
Eliminación de flujos post-soldadura en la industria electrónica	CFC 113/etanol, aceite terpeno naranja	1 Usar flujos hidrosolubles. 2 No eliminar, usar flujos con poco contenido de residuos. 3 No eliminar, usar flujos con ácido fórmico o adípico en circuito cerrado con nitrógeno.
Pegar	1,1,1-Tricloroetano, tolueno, acetato, MEK diclorometano, etanol, xileno, estireno, metacrilato de metilo	1 No unir (cambiar diseño). 2 Unir de forma mecánica. 3 Cinta adhesiva por ambos lados 4 Adhesivo menos perjudiciales; base acuosa, fundido en caliente, silicona.
Lubricación	1,1,1-Tricloroetano	Lubricantes sin disolventes orgánicos.
Desengrasar metales	Diclorometano, tetracloroetileno, 1,1,1-Tricloroetano, 1,1,1-Tricloroetileno, CFC 113, tolueno, Xileno, 2-propanol, nafta, n-hexano, queroseno, butilenglicol, White spirit (*)	Solución alcalina acuosa sin disolventes orgánicos.
Pintura	Xileno, tolueno, butanol, 2-propanol, etilenglicol, butilenglicol, acetato de butilo	1 Pintura de base acuosa con un máximo de 10% de disolvente orgánico. 2 Chapa pretratada
Eliminación de pintura vieja	Diclorometano, metano	1 Solución alcalina 2 Quemar 3 Tratar arena caliente 4 Amolado 5 Soplar con por ejemplo virutas de acero. 6 Congelado con nitrógeno líquido.

Fuente: Gabinete Salud Laboral, CC OO. (*) *White spirit* mezcla de parafinas e hidrocarburos.

Debido a que no existe una legislación ni impacto ambiental específico para los solventes utilizados en las pruebas realizadas para obtención de adhesivos y barniz podemos validar estas por el aspecto económico, el valor de viscosidad obtenido porque es nuestra variable respuesta y la respuesta del adhesivo a las pruebas de sólidos disueltos realizada, que es la prueba de tensión, por lo que se concluye que la mejor alternativa de reciclaje para el diseño de la planta piloto es el etil acetato al 100%, como solvente de EPS, para fabricar adhesivos.

Debemos de tomar en cuenta las siguientes medidas de seguridad para la manipulación del etil acetato en el proceso de obtención de adhesivos a partir de EPS reciclado (ver tabla 4-12).

Tabla 4-12. Equipo de seguridad para manipulación de etil acetato.

Equipo de seguridad	Descripción
	<p>Protección de las vías respiratorias: equipos filtrantes frente a gases y vapores.</p>
	<p>Los anteojos protectores para trabajadores ocupados en operaciones que requieran empleo de sustancias químicas corrosivas o similares, serán fabricados de material blando que se ajuste a la cara, resistente al ataque de dichas sustancias</p>
	<p>Para manipular sustancias químicas se recomienda el uso de guantes largos de hule o de neopreno</p>



Quando se seleccione ropa de trabajo se deberán tomar en consideración los riesgos a los cuales el trabajador puede estar expuesto y se seleccionará aquellos tipos que reducen los riesgos al mínimo.

Fuente: Elaboración propia 2013, a partir de Equipos de Protección Personal.

5. DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PRODUCTORA DE ADHESIVO A PARTIR DE EPS.

Para el diseño y factibilidad de una planta piloto que produzca adhesivo a partir de Poliestireno Expandido reciclado es necesario conocer cuál es la situación de los adhesivos a nivel nacional tanto de exportaciones como de importaciones. Los datos que se presentan a continuación han tomado como base de estudio exportaciones e importaciones desde el 2008 hasta la fecha. En la tabla 5-1 se puede observar la descripción arancelaria del producto.

Tabla 5-1. Descripción arancelaria del producto.

Inciso arancelario n	35069190
Capitulo	Materias albuminoideas; productos a base de almidón o de fécula modificados; colas; enzimas
Partida	Colas y demás adhesivos preparados, no expresados ni comprendidos en otra parte; productos de cualquier clase utilizados como colas o adhesivos, acondicionados para la venta al por menor como colas o adhesivos, de peso neto inferior o igual a 1 kg
Sub partida	- - adhesivos a base de polímeros de las partidas 3901 a 3913 o de caucho:
Inciso arancelario	- - - otros
Vigencia	Desde 01/01/2012

Fuente: Dirección General de Aduanas El Salvador, 2013.

Los datos obtenidos de importaciones y exportaciones están contemplados bajo este código arancelario. En la figura 5-1 se puede observar el gráfico de importaciones totales en valores económicos (dólares) realizadas durante el período del 2008 hasta el 2012, de esta gráfica se puede observar que a lo largo de los años se ha mostrado una tendencia al aumento en el valor de las importaciones.

En la figura 5-2 se puede observar los principales países de donde El Salvador importa adhesivos, se observa que los principales importadores de adhesivos hacia El Salvador son: Estados Unidos, México, Guatemala, Costa Rica, China y Taiwan; representando el 87% del total de las importaciones de adhesivos realizadas hacia nuestro país.

En la figura 5-3 se puede observar los valores en kilogramos de importación de adhesivos realizadas durante el periodo de 2008 a 2012 hacia El Salvador. De esta gráfica se puede observar nuevamente que durante el periodo de estudio se ha dado un aumento en los valores de las importaciones. La figura 5-4 muestra los valores de los principales países importadores hacia El Salvador en valores de kilogramos.

La figura 5-5 muestra los datos de exportaciones de adhesivos realizadas por El Salvador en valores de económicos en el periodo de 2008 hasta el 2012. En la figura 5-5 se puede observar que hay una tendencia a la baja en cuanto a las exportaciones de adhesivos.

La figura 5-6 muestra los datos de exportación en valores de kilogramos durante el periodo de estudio de 2008 a 2012.

Conociendo que en el país hay exportaciones de productos adhesivos es importante conocer cuáles son los países hacia dónde van destinadas estas exportaciones; en la figura 5-7 se muestran los valores en dólares de las exportaciones realizadas por El Salvador en el período de 2008 a 2012.

De la figura 5-7 se puede observar que los principales países compradores de adhesivos a El Salvador son países Centroamericanos, para Estados Unidos, México y República Dominicana los valores tan bajos pueden ser debido a un pedido de muestra de adhesivos más que debido a una exportación constante con estos países.

La figura 5-8 muestra los valores en kilogramos de las exportaciones realizadas por el país en el periodo de 2008 a 2012.

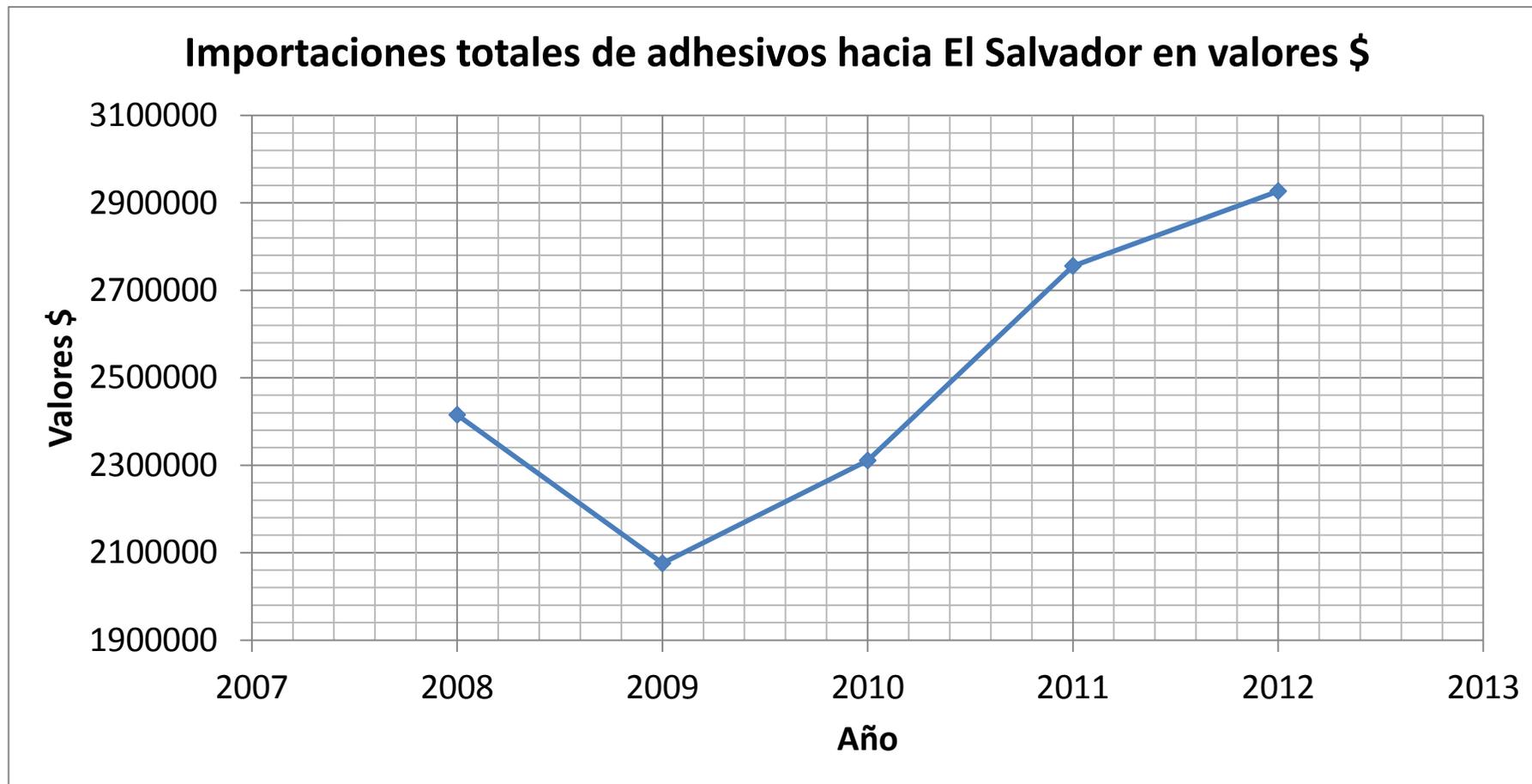


Figura 5-1. Importaciones totales en dólares de adhesivos en el período de 2008 a 2012.
Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.

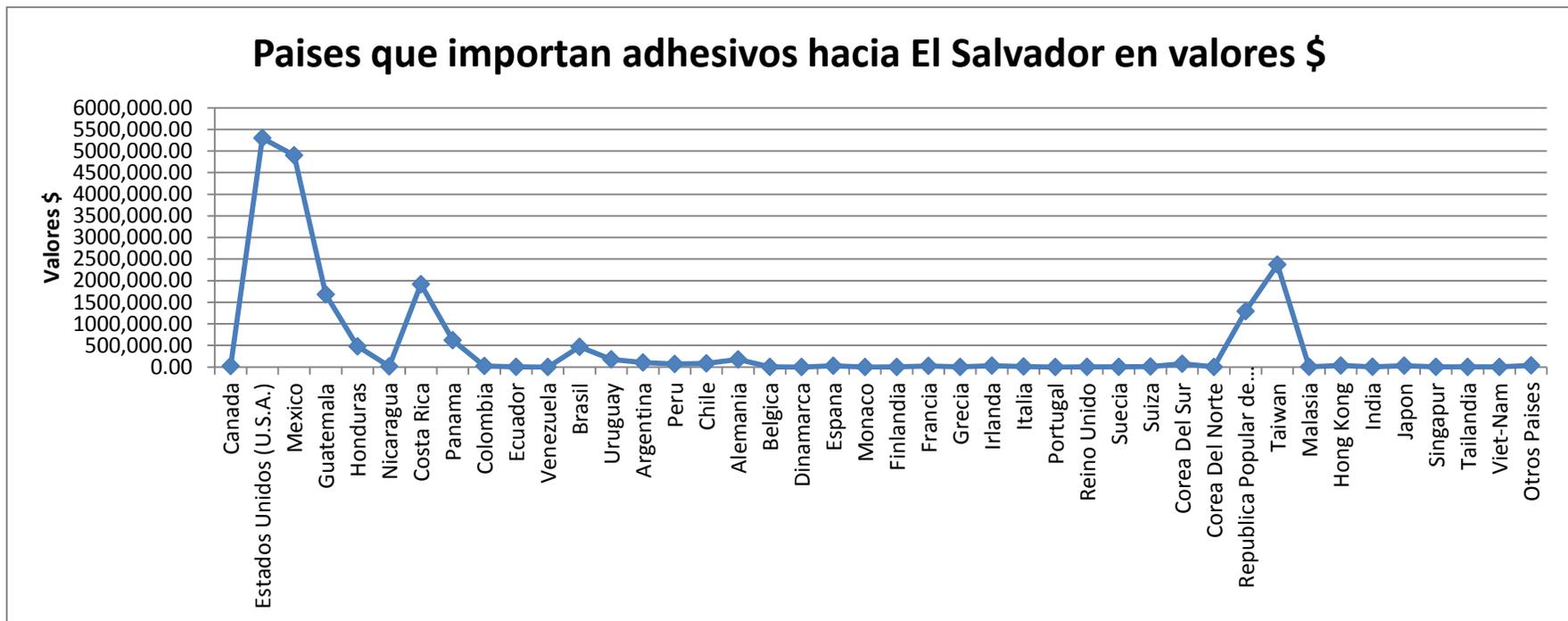


Figura 5-2. Principales países importadores de adhesivos en valores \$.
Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.

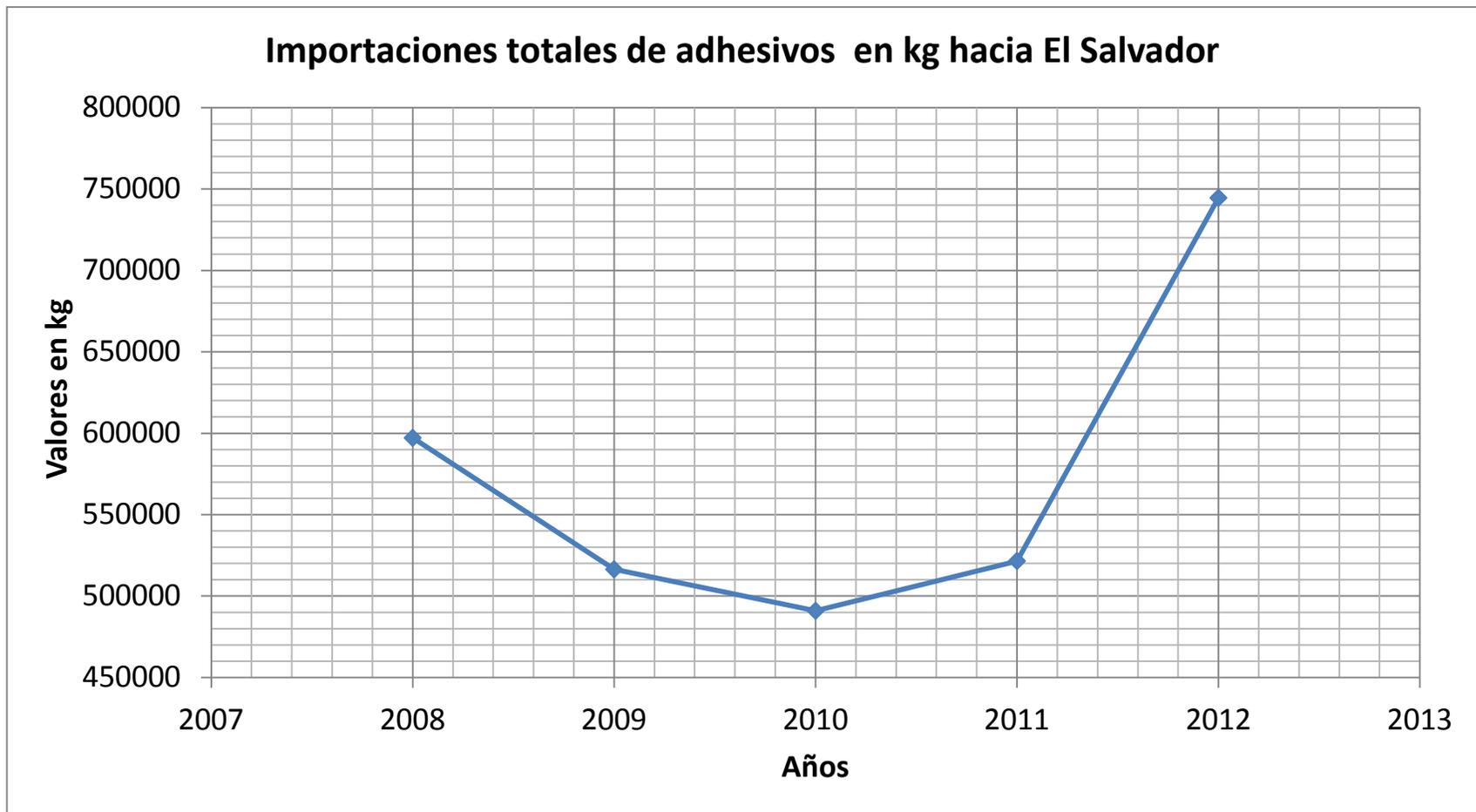


Figura 5-3. Importaciones totales en kilogramos durante el periodo 2008 a 2012.
Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.



Figura 5-4. Países importadores en kilogramos hacia El Salvador.
Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.

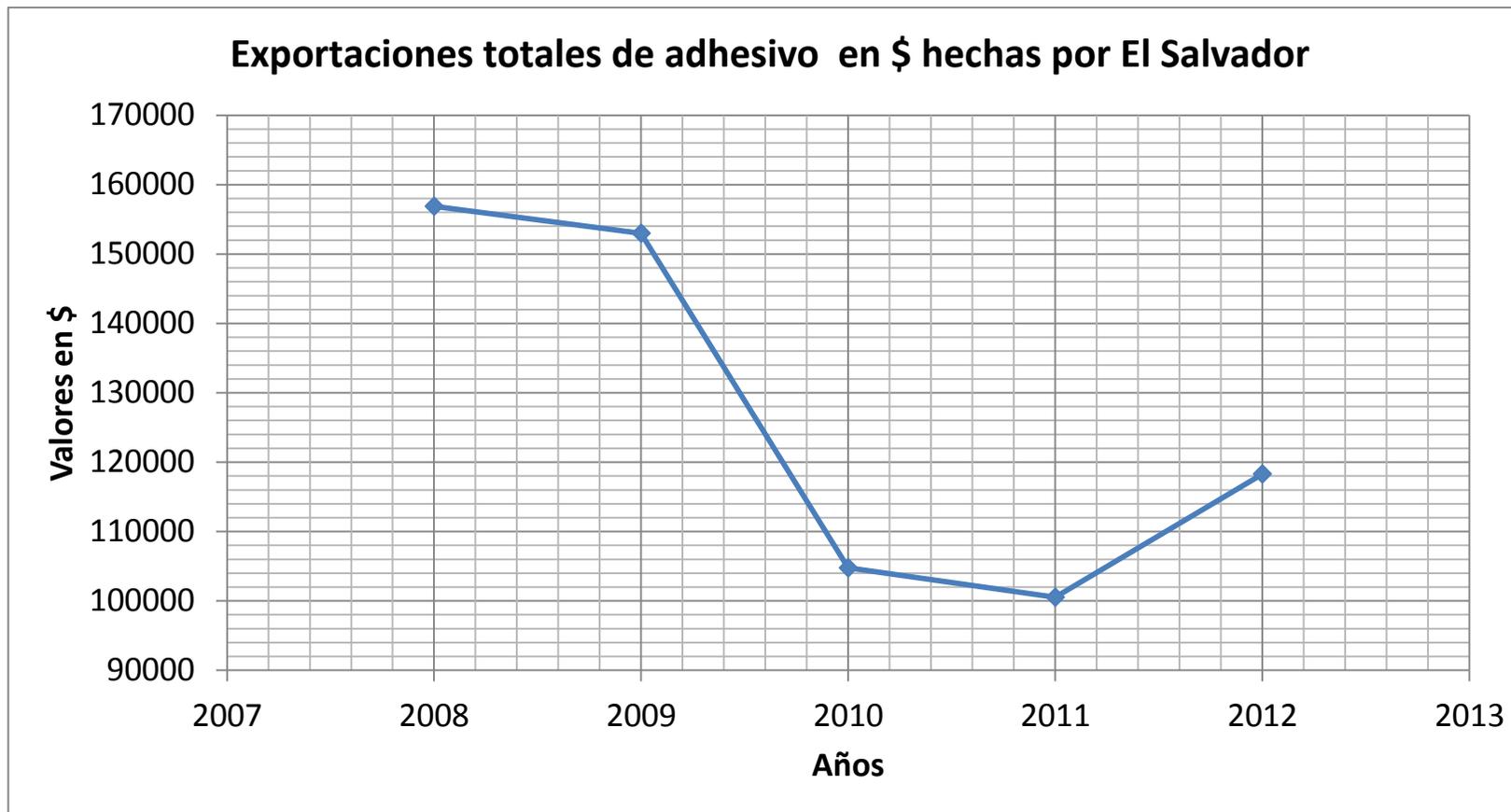


Figura 5-5. Exportaciones en valor económico del periodo de 2008 a 2012.
Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.



Figura 5-6. Exportaciones totales en kilogramos durante el periodo de 2008 a 2012.
Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.



Figura 5-7. Destino de exportaciones nacionales en el periodo del 2008 a 2012.
 Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.



Figura 5-8. Exportaciones en kilogramos a diferentes países.
 Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.

Luego de revisar las figuras presentadas anteriormente se puede observar una tendencia al alza referente a las importaciones y una baja en cuanto a las exportaciones, lo que puede significar que la demanda interna de estos productos ha aumentado considerablemente, ya que el país se ve obligado a importarlos y lo producido a nivel nacional se vende localmente.

Con los datos de precios y demandas es posible calcular un precio estimado por kilogramo de adhesivo, En la tabla 5-2 se pueden observar los precios de compra de adhesivos importados de los principales países exportadores y en el anexo 5-1 se puede encontrar la tabla completa con el precio promedio de todos los países importadores de adhesivos.

Tabla 5-2. Promedio de precios de adhesivos importados hacia El Salvador.

Precios de importaciones			
País	Total kg	Total \$	Precio \$/kg
Estados Unidos (U.S.A.)	679765.05	5301182.5	\$7.80
México	545918.37	4901740.7	\$8.98
Guatemala	128187.68	1680798.7	\$13.11
Costa Rica	222944.68	1916527.5	\$8.60
República Popular de China	504242.59	1292897.6	\$2.56
Taiwan	705873.69	2371306.3	\$3.36
Precio promedio			\$7.40

Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.

De la tabla 5-2 se puede observar que el país que más caro vende su producto al país es Guatemala con un precio estimado de 13.11\$/kg y el que más barato vende es China con 2.56\$/kg, generando un precio promedio total entre los principales países importadores de 7.40\$/kg, lo que podría ser por el tipo de adhesivo que cada uno de estos países exporta.

Del mismo modo es posible obtener el precio de venta de productos adhesivos que el país exporta como se muestra en la tabla 5-3.

Tabla 5-3. Precio promedio de exportaciones.

Precios de exportaciones			
país	Total kg	Total \$	Precio \$/kg
Estados Unidos (U.S.A.)	5.15	54.6	\$ 10.60
México	8	50	\$ 6.25
Guatemala	108519.17	216041.33	\$ 1.99
Honduras	29655.21	209366.29	\$ 7.06
Nicaragua	25649.96	135776.58	\$ 5.29
Costa Rica	8336.37	15345.24	\$ 1.84
Panamá	1249.25	62174.94	\$ 49.77
República Dominicana	4.6	110	\$ 23.91
Precio promedio			\$ 13.34

Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.

De la tabla 5-3 se puede observar que el país que compra más barato el adhesivo es Costa Rica con un precio de 1.84\$/kg y el que más caro ha comprado es Panamá a un precio de 49.77\$/kg, dando un precio promedio de venta de 13.34\$/kg

Con los valores de importaciones y exportaciones se puede obtener un estimado de la demanda que tiene el país de este tipo de productos. En la tabla 5-4 se muestra un estimado de la demanda de productos adhesivos que ha tenido el país desde el año 2008.

Tabla 5-4. Demanda anual de adhesivo en El Salvador.

Año	Importaciones Kg	Exportaciones Kg	Demanda en kg
2008	597135.07	33418.57	563716.5
2009	516379.2	49907.34	466471.86
2010	490913.69	28184.12	462729.57
2011	521495.44	30164.49	491330.95
2012	744508.33	30567.89	713940.44
Demanda promedio			488402.84

Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.

En la figura 5-9 se puede observar la tendencia de consumo anual de adhesivo desde el año 2008.



Figura 5-9. Demanda anual de adhesivo en El Salvador,
Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de Banco Central de Reserva.

Como se puede observar en la figura 5-9 la demanda de adhesivo ha sido bastante constante a lo largo de los años, teniendo un repunte en el 2012. Al observar la alta demanda que tiene el país de adhesivo es posible apreciar la necesidad de que haya más producción de este material a nivel local para poder sustituir las importaciones y hacer crecer más la economía.

5.1 Análisis de mercado.

Como el producto se considera un bien de consumo final se utilizará el método de los mínimos cuadrados aplicando la ecuación:

$$Y = a + b * X \text{ Ec. 5-1}$$

Donde: Y = demanda proyectada.

X = correlativo del año de datos base y años a proyectar.

a, b = parámetros estadísticos evaluados por las relaciones.

n = años de datos del estudio.

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n} \text{ Ec. 5 - 2}$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \text{ Ec. 5 - 3}$$

Ahora bien se tabulan los datos de producción e importación y el año de estudio, en este caso se tienen datos desde el año 2008, hasta lo que va del presente año 2012 (como no se logró obtener registros de producción de adhesivos se tomará el valor de cero producción); luego se calculan los parámetros Y, X, X², y X*Y. Ver tabla 5-5

Tabla 5-5. Cálculo de parámetros para la obtención de demanda de adhesivos.

Año	Producción Kg	Importaciones Kg	Consumo aparente (Y)	X	X ²	X*Y
2012	0	744508.33	744508.33	5	25	3722541.65
2011	0	521495.44	521495.44	4	16	2085981.76
2010	0	490913.69	490913.69	3	9	1472741.07
2009	0	516379.2	516379.2	2	4	1032758.4
2008	0	597135.07	597135.07	1	1	597135.07
Total		2870431.73	2870431.73	15	55	8911157.95

Fuente: Elaboración propia, 2013.

$$\text{Consumo aparente (Y)} = \text{produccion} + \text{importacion}.$$

Luego se calculan los demás valores y se encuentran los valores de a y b. Para un n de 6.

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{5 * 8,911,157.95 - 15 * 2,870,431.73}{5 * 55 - 15^2} = \mathbf{29,986.276}$$

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n} = \frac{2,870,431.73 - 29,986.276 * 15}{5} = \mathbf{484,127.518}$$

Ahora se sustituye en la ecuación principal para obtener la proyección de consumo, en este caso se proyectarán 11 años ver datos en tabla 5-6.

$$Y = 484,127.518 + 29,986.276 * X$$

Tabla 5-6. Proyección de consumo de adhesivo hasta el año 2023.

Año proyectado	n	Proyección de consumo (Kg)
2013	6	664045.174
2014	7	694031.45
2015	8	724017.726
2016	9	754004.002
2017	10	783990.278
2018	11	813976.554
2019	12	843962.83
2020	13	873949.106
2021	14	903935.382
2022	15	933921.658
2023	16	963907.934

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Los datos obtenidos muestran un incremento anual de la demanda de adhesivo para el país, por lo que se puede concluir que es conveniente seguir con el estudio de prefactibilidad económica para el desarrollo de una planta generadora de adhesivo a partir de material reciclado de Poliestireno Expandido.

5.2 Diagrama de flujo de proceso.

En la figura 5-10 se presenta el diagrama de flujo del proceso de elaboración de adhesivo a partir de Poliestireno Expandido y etil acetato y en la tabla 5-7, se presentan las siglas utilizadas en el proceso.

Tabla 5-7. Descripción de siglas utilizadas en el proceso.

Significado de siglas	
A	Durapax sucio
B	Durapax sucio
C	Durapax limpio sin contaminación
D	Durapax en pequeñas partículas
E	Adhesivo
F	Agua de lavado
G	Agua de lavado y suciedad
H	Acetato de Etilo

Fuente: Elaboración propia, 2013.

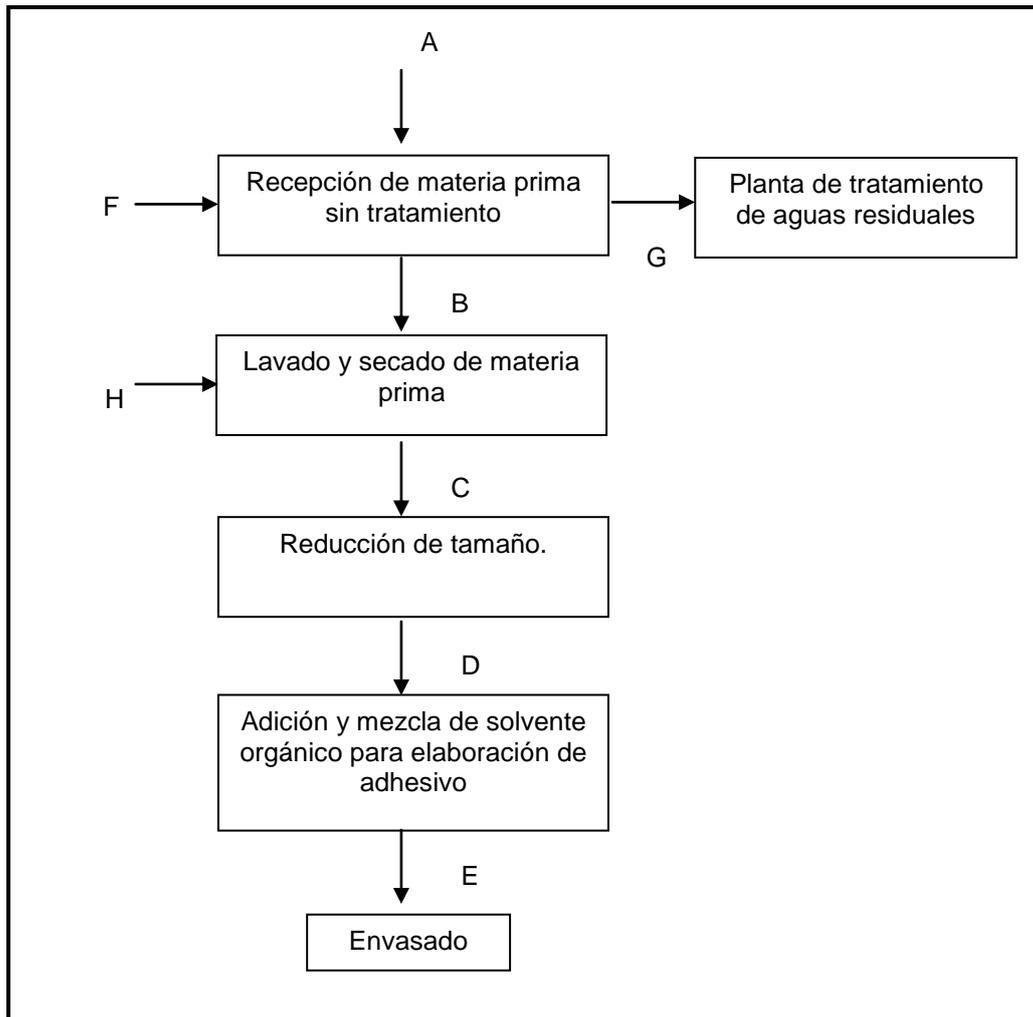


Figura 5-10. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de adhesivo
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Para el diseño de la planta piloto se considerará que del total de EPS producido a nivel nacional en un año (5,941,908 kg) se reciclará el 10% anual dando un valor total de EPS reciclado de 594,190.8kg anuales reciclados. Para el balance de materia se tomará como base la generación diaria de desperdicio de EPS que sería de 16,279.2 kg/día a un porcentaje de reciclaje del 10% la entrada al proceso sería de 1,627.92 kg/día.

5.3 Balance de Materia.

Tomando en cuenta que la entrada del proceso será 1,627.92 kg de durapax para reciclar y a partir de las pruebas de laboratorio se tienen las siguientes relaciones:

- En el proceso de lavado y secado se pierde un 25% del peso original.
- Para el mezclador la relación de peso de etil con respecto al EPS es de la siguiente manera:

$$\frac{250gr_{etil\ acetato}}{104.4gr_{EPS}} = 2.3946\ Etil\ acetato/_{EPS}$$

El diagrama de flujo con las nuevas relaciones quedaría de la siguiente manera:

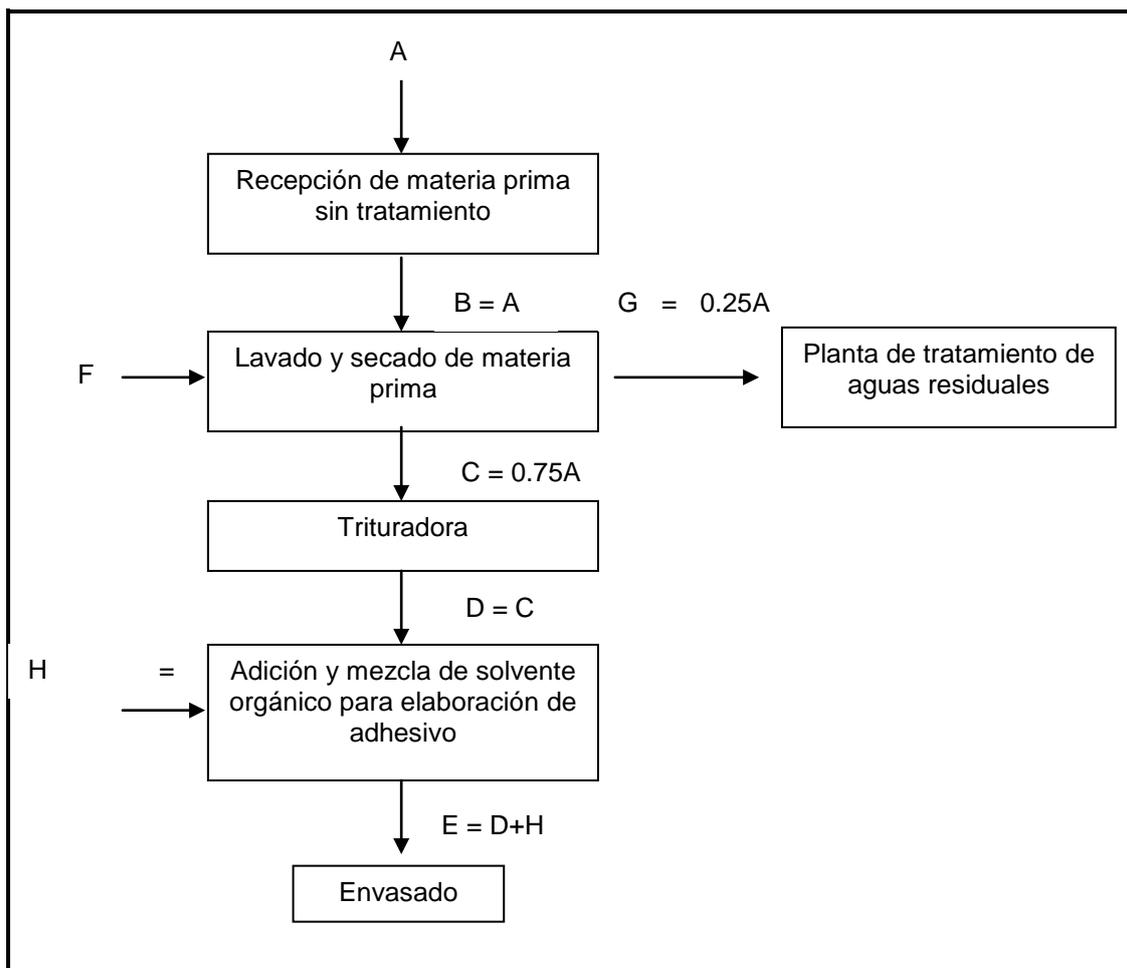


Figura 5-11. Diagrama de flujo con relaciones consideradas inicialmente.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Sustituyendo los valores quedaría de la siguiente manera:

$$A = B = 1,627.92 \text{ kg de EPS}$$

Lavado y secado de materia prima:

$$C = 0.75 * A = 0.75 * 1,627.92 \text{ kg de EPS} = 1,220.94 \text{ kg de EPS}$$

$$G = 0.25 * A + F = 0.25 * 1,627.92 \text{ kg de EPS} + F = 406.98 \text{ kg de suciedad} + F$$

$$F + B = G + C \text{ Ec. 5-4}$$

Donde:

$$A = B = 1,627.92 \text{ kg de EPS}$$

$$G = 0.25A + F$$

$$C = 0.75A$$

Sustituyendo en ecuación 5-4:

$$\begin{aligned} F + 1627.92 \text{ Kg de EPS} \\ = 0.25(1,627.92 \text{ Kg de EPS}) + F + 0.75(1,627.92 \text{ kg de EPS}) \end{aligned}$$

Trituradora

$$D = C = 1,220.94 \text{ kg de EPS}$$

Mezclador

$$\begin{aligned} H &= 2.3946 * C = 2.3946 \text{ Acetato de Etilo} / \text{EPS} * 1,220.94 \text{ kg de EPS} \\ &= 2,923.66 \text{ kg de etil acetato} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= D + H = 1,220.94 \text{ kg de EPS} + 2,923.66 \text{ kg de Acetato de Etilo} \\ &= 4,144.6 \text{ kg de adhesivo} / \text{día} \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores en el diagrama de flujo queda de la siguiente manera como se muestra en la figura 5-12.

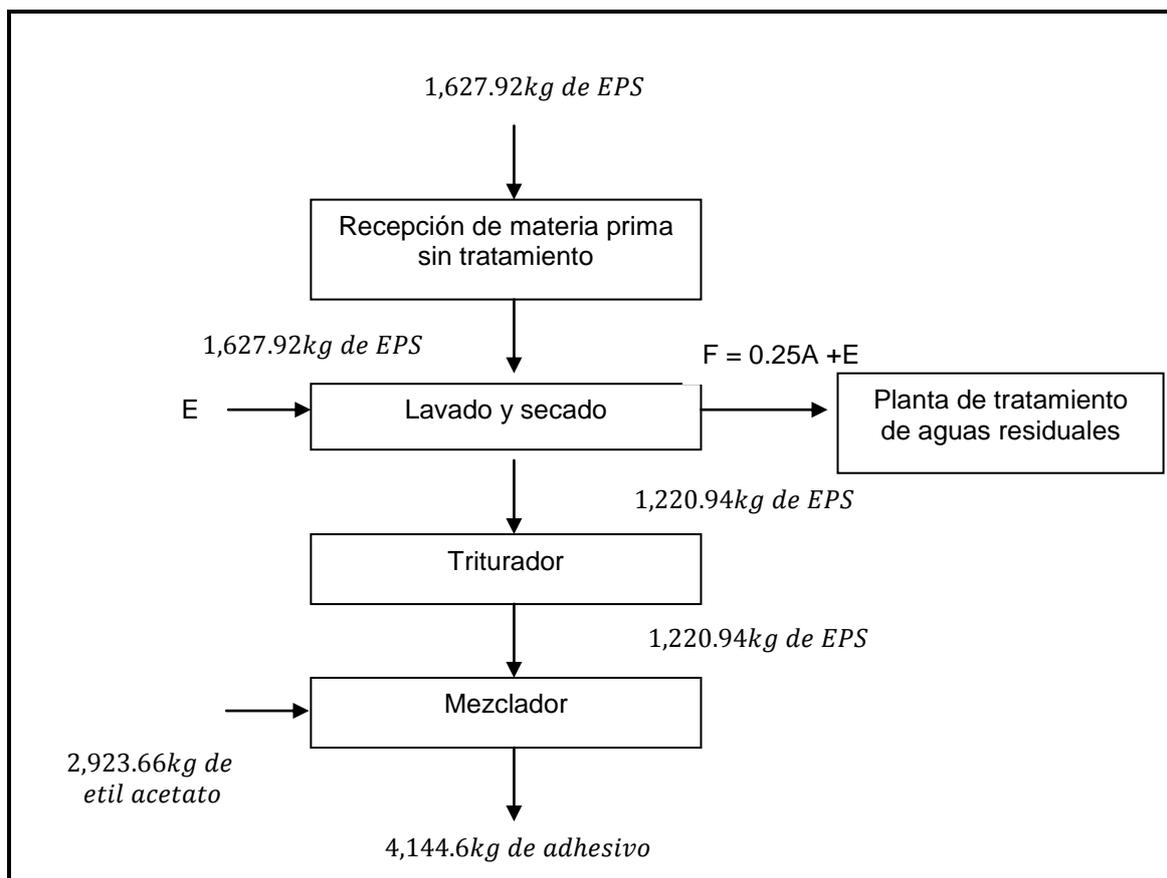


Figura 5-12. Diagrama de flujo del proceso.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Para el diseño de la planta se ha tomado que se reciclara el 10% del EPS que se genera diariamente, con esta cantidad y después de haber realizado los cálculos de balance de masa es posible saber cuál será la cantidad de adhesivo que se estará produciendo diariamente dando un resultado de 4,144.6kg de adhesivo diario.

5.4 Evaluación económica.

Para realizar una evaluación económica de prefactibilidad para la instalación de una planta piloto productora de adhesivo utilizando EPS reciclado es necesario conocer los factores que influyen en los costos de operación desde la maquinaria, hasta los salarios para mantener en operaciones la planta.

En la sección anterior se esquematizó el proceso de producción con sus respectivas etapas desde la recolección de la materia prima, el lavado y secado para la eliminación de todas las impurezas y suciedad que pudiera traer el EPS, el triturado que consisten en reducir el tamaño de partícula para poder

realizar una mejor disolución, luego el mezclador que es donde se da la disolución de EPS para la obtención de adhesivo y finalmente el envasado y almacenaje para la venta.

5.4.1 Maquinaria y equipo.

En esta sección se describirá de manera breve las maquinarias pesadas que se utilizarán para la producción de adhesivo, incluyendo algunos datos técnicos importantes y por supuesto el precio de cada una de ellas.

5.4.1.1 Lavadora y secadora de material de EPS.

En este paso se realizará la limpieza del material recolectado y reciclado, para eliminar la mayor cantidad de impurezas y suciedad que el EPS pueda traer ya que su uso común es en alimentos. En la tabla 5-8 se puede observar algunos datos técnicos de la máquina.

Tabla 5-8. Datos técnicos de máquina lavadora y secadora.

Item	Lavado y secado
Lugar de origen	China (continental)
Energía	55 kw
Voltaje	380v
Capacidad	500kg/hr
Precio	\$ 100,000.00

Fuente: www.alibaba.com, 2013.

El equipo (ver figura 5-13) consiste en una máquina de lavado de tornillo, transportador de tornillo, secadora centrífuga y silos de almacenaje.



Figura 5-13. Equipo de lavado y secado de EPS reciclado.
Fuente: www.alibaba.com, 2013.

5.4.1.2 Trituradora A-silo System.

Esta máquina (ver figura 5-14) será la encargada de reducir el tamaño de partícula del EPS recolectado para su posterior reciclaje; la importancia de reducir el tamaño de partícula es para que se dé una mejor y más rápida disolución del EPS en el solvente. En la tabla 5-9 Se puede observar algunos datos técnicos de la maquinaria

Tabla 5-9. Datos técnicos de máquina trituradora A-silo system.

Item	A-Silo System
Compactadora	A-C200S*1
Trituradora	R300*1 (4km)
Soplador	1 pc
Silo	1 pc
Material Aplicable	EPS/XPS/PSP
Capacidad de Producción	300-400 kg per hour / 660-880 lbs per hour
Radio de compresión de EPS	50:1
Densidad de comprimido de EPS	200-400 kg/m ³ / 570-1140 lbs/cubic yard
Standard	CE / UL / CSA
Precio	70,000\$

Fuente: www.alibaba.com, 2013.



Figura 5-14. Máquina A-silo System trituradora de EPS.
 Fuente: www.alibaba.com, 2013.

5.4.1.3 Mezclador sólido/líquido.

Esta máquina (ver figura 5-15) es la más importante del proceso debido a que es en esta etapa donde se realiza la mezcla del “durapax” previamente lavado y triturado con el solvente (acetato de etilo) para formar el adhesivo que es el producto final.



Figura 5-15. Mezcladora sólido/líquido
 Fuente: www.alibaba.com, 2013.

En la tabla 5-10 se pueden observar algunos datos técnicos de la maquinaria.

Tabla 5-10. Datos técnicos de mezcladora Maxwell

Item	Lavado y secado
Uso	Mezclador solido/liquido
Marca	Makwell
Voltaje	220V/380v
Certificación	ISO 9001
Energía (W)	2.2kw
Lugar de origen	China (Continental)
Capacidad de cargamento máxima	5,000 lt
Precio	\$ 50,000.00

Fuente: www.alibaba.com, 2013.

5.4.1.4 Envasadora de adhesivo.

Esta máquina (ver figura 5-16) será la encargada de envasar y sellar el producto para su venta y de esta manera garantizar la duración del producto evitando que se contamine o se pierda producto debido a la volatilidad del solvente.

En la tabla 5-11 se puede observar algunos datos técnicos de la maquinaria.

Tabla 5-11. Datos Técnicos de envasadora.

Item	Envasadora
Tipo	Máquina de llenado
Tipo de empaquetado	Tanque, botella, barril, bolsa
Trabajo	Neumático
Tipo de llenado	De pistón
Voltaje	0
Uso	Alimentos, bebida, productos químicos
Certificación	ISO 9001
Principio de llenado	Presión atmosférica
Volumen de llenado	5ml a 5,000ml
Velocidad de llenado	1 - 30 botellas/hr
Precio	3,000 \$

Fuente: www.alibaba.com, 2013.



Figura 5-16. Envasadora de adhesivo.

Fuente: www.alibaba.com, 2013.

La ventaja que ofrece este equipo es que no consume energía eléctrica ya que su funcionamiento está basado en trabajo neumático.

5.4.1.5 Equipo de tratamiento de aguas.

Para que el adhesivo sea de mejor calidad y que no contenga impurezas, es necesario realizar un lavado previo al EPS de reciclaje, el cual se realizará en una lavadora y por supuesto que esta utilizará agua para realizar el lavado y eliminar la mayor cantidad de suciedad o residuos que este pueda traer, por lo tanto se tomará en cuenta un equipo para el tratamiento de las aguas residuales que salgan de este proceso de lavado del durapax para su posterior secado, triturado y transformado en adhesivo.

Este es un equipo que puede trabajar bajo tierra por lo que es capaz de reducir espacio para la planta y presentar una mejor apariencia. En la figura 5-17 se puede observar el esquema del funcionamiento de la planta y una imagen de cómo queda el equipo instalado bajo tierra. En la tabla 5-12 se presentan los datos técnicos del equipo de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 5-12. Datos técnicos de equipo de tratamientos de agua residual.

Item	Equipo
Origen	China
Función	Tratamiento de aguas residuales
Material	Acero inoxidable
Certificado	ISO 9001
Capacidad	0.5-10m ³ /hr
Energía	11kw
Costo	\$57,299.00

Fuente: Elaboración propia a partir de www.alibaba.com, 2013.



Figura 5-17. Esquema del funcionamiento del equipo de tratamiento de aguas e imagen de instalación finalizada.

Fuente: www.alibaba.com, 2013.

5.4.2 Análisis de costos.

Ya se han descrito las maquinarias que se utilizarán en el proceso. En la tabla 5-13 se puede observar el resumen de los costos de cada una de las máquinas.

Tabla 5-13. Costos de maquinaria.

Maquinas	Unidad	Costo \$/unidad	Total
Lavadora y secadora	1	\$100,000.00	\$100,000.00
Trituradora	1	\$70,000.00	\$70,000.00
Mezcladora	1	\$50,000.00	\$50,000.00
Envasadora	1	\$3,000	\$3,000
Equipo de tratamiento de aguas	1	\$57,299	\$57,299
Total	1	\$280,299.00	\$280,299.00

Fuente: Elaboración propia, 2013.

A partir de los datos de precios de las maquinas es posible obtener un estimado de los costos de inversión inicial que se tendrán al momento de montar la planta productora de adhesivo, tales como la instalación de la maquinaria, costos fijos, construcción de la planta, entre otros. En la tabla 5-14 se pueden observar estos costos.

Tabla 5-14. Costos de inversión inicial.

Tipo de costo	Valor
Costo de equipo FOB	\$280,299.00
Instalación del equipo (20% del equipo)	\$56,059.80
Tubería del proceso (30% del equipo)	\$84,089.70
Instrumentación (12% de equipo)	\$33,635.88
Construcción de la planta (80% del equipo)	\$224,239.20
Costos fijos	\$678,323.58
Imprevisto (12.5% de los costos fijos)	\$84,790.45
Factor de tamaño (15% de los costos fijos)	\$101,748.54
Costo total de la planta	\$1543,186.14
Capital de trabajo (20% del costo total de la planta)	\$308,637.23
Inscripción de empresa, telefonía, luz, anda, etc.	\$2,000.00
Capital total	\$3397,009.52

Fuente: Elaboración propia, 2013.

De la tabla 5-14 Se puede observar que el costo inicial para poner en marcha la planta ronda los 3 millones 400 mil dólares. El cálculo de los costos fijos se realizó mediante la suma de todos los costos que se hacen una vez como el costo de maquinaria, instalación del equipo, tuberías del proceso, instrumentación y construcción de la planta.

Además es necesario reconocer que uno de los gastos más fuertes que se tendrá es el costo de la energía eléctrica debido al funcionamiento de las maquinas. Para el cálculo se ha tomado como referencia el cobro de energía eléctrica de CAESS según el pliego tarifario de la superintendencia general de electricidad y telecomunicaciones con vigencia hasta el 15 de julio. (Ver tabla 5-15)

Tabla 5-15. Precios máximos de suministro eléctrico.

III. Grandes Demandas (>50kw)								
Baja tensión con medidor horario								
	CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Cargo de comercialización								
Atención al cliente US\$/Usuario m	12.87632	14.0451952	12.248176	13.884105	13.833238	17.533254	3.274463	6.580180
Cargo de energía								
Energía en punta US\$/kwh	0.195940	0.208720	0.197521	0.206333	0.205008	0.214391	0.160949	0.215588
Energía en resto US\$/kwh	0.199327	0.210630	0.202307	0.208410	0.211456	0.215807	0.161489	0.219111
Energía en valle US\$/kwh	0.187780	0.206517	0.190971	0.202260	0.204809	0.206616	0.156766	0.201161
Carga de distribución								
Potencia US\$/kw-mes	13.154854	21.395565	21.606374	27.052718	26.634291	35.917192	8.269907	19.585692
Media tensión con medidor horario								
Cargo de comercialización								
Cargo fijo US\$/kwh-m	12.876732	14.451952	12.248176	13.884105	13.833238	17.533254	3.274463	6.580180
Cargo de energía								
Energía en punta US\$/kwh	0.0181518	0.191062	0.180139	0.183987	0.181699	0.198975	0.149683	0.190540
Energía en resto US\$/kwh	0.184657	0.192811	0.184504	0.185839	0.187413	0.200289	0.0150185	0.193654
Energía en valle US\$/kwh	0.173959	0.189046	0.174166	0.180356	0.181523	0.191759	0.145792	0.177789
Cargo de distribución								
Potencia US\$/kw-mes	6.235631	6.836782	11.996774	17.314987	16.540008	16.396882	2.455745	5.046238

Fuente: Superintendencia de electricidad y telecomunicaciones, 2013.

A partir de estos valores y conociendo la potencia con que trabajan las maquinas es posible obtener un estimado del valor de los costos energéticos en la planta, además se han considerado un aproximado de uso de 30 focos comunes y algunos costos extras a los que se le ha asignado un valor de potencia de 2 kw. En la tabla 5-16 Se pueden observar los valores. Para el trabajo de las maquinas por mes se estimó un uso de 10 hr por día.

Tabla 5-16. Costos energéticos de la planta.

Maquina	Potencia kw	Horas al mes	Consumo total kw	Precio kw/h	Costo mensual \$	Costo anual \$
Lavadora y secadora	55	300	16500	\$6.24	\$102,887.91	\$1234,654.94
Trituradora	37	300	11100	\$6.24	\$69,215.50	\$830,586.05
Mezcladora	2.2	300	660	\$6.24	\$4,115.52	\$49,386.20
Equipo de tratamiento de aguas residuales	11	300	3300	\$6.24	\$20,592.00	\$247,104.00
30 focos	0.54	300	162	\$6.24	\$1,010.17	\$12,122.07
otros	2	300	600	\$6.24	\$3,741.38	\$ 44,896.54
Total	\$107.74	\$1,800.00	\$32,322.00	-	\$201,562.48	\$2418,749.80

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Además de los costos de inversión inicial y los costos de energía eléctrica es necesario calcular los costos de pagos de salarios para las personas empleadas para la operación de la planta desde el gerente de recursos humanos hasta el personal de limpieza y seguridad. Se ha estimado que se trabajaran en jornadas de 8 horas laborales. En la tabla 5-17 se muestra la plantilla de empleados y los salarios incluyendo los descuentos.

Tabla 5-17. Plantillas de pago de salarios de personal.

Empleados	Puesto	Salarios Mínimo	Total US\$	ISSS	AFP	Salario con descuento	Salario total con descuento	Salario total/año
1	Vigilante	1	\$219.35	\$16.45	\$13.71	\$189.19	\$189.19	\$2,632.20
1	supervisor de producción	3	\$658.05	\$49.35	\$41.13	\$567.57	\$567.57	\$7,896.60
1	Encargado de planta de tratamientos de agua	3	\$658.05	\$49.35	\$41.13	\$567.57	\$567.57	\$7,896.60
1	Recibidor de materia prima	2	\$438.70	\$32.90	\$27.42	\$378.38	\$378.38	\$5,264.40
1	Encargado de calidad en el proceso de limpieza de EPS y calidad de producto final	3	\$658.05	\$49.35	\$41.13	\$567.57	\$567.57	\$7,896.60
1	personal de limpieza	1	\$219.35	\$16.45	\$13.71	\$189.19	\$189.19	\$2,632.20
1	Operador máquina lavadora y secadora	2	\$438.70	\$32.90	\$27.42	\$378.38	\$378.38	\$5,264.40
1	Operador de trituradora	2	\$438.70	\$32.90	\$27.42	\$378.38	\$378.38	\$5,264.40

1	operador de mezcladora	2	\$438.70	\$32.90	\$27.42	\$378.38	\$378.38	\$5,264.40
3	empacadores de producto	1	\$219.35	\$16.45	\$13.71	\$189.19	\$567.57	\$7,896.60
1	Personal de mantenimiento	3	\$658.05	\$49.35	\$41.13	\$567.57	\$567.57	\$7,896.60
1	Gerente general	7	\$1,535.45	\$115.16	\$95.97	\$1,324.33	\$1,324.33	\$18,425.40
1	Encargado de despacho y compras	3	\$658.05	\$49.35	\$41.13	\$567.57	\$567.57	\$7,896.60
1	Contador general	2	\$438.70	\$32.90	\$27.42	\$378.38	\$378.38	\$5,264.40
1	Encargado de recursos humanos	3	\$658.05	\$49.35	\$41.13	\$567.57	\$567.57	\$7,896.60
1	Secretaria	2	\$438.70	\$32.90	\$27.42	\$378.38	\$378.38	\$5,264.40
1	operador de planta de tratamiento de aguas	2	\$438.70	\$32.90	\$27.42	\$378.38	\$378.38	\$5,264.40
Total								\$115,816.80

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Nota: El pago del seguro social (7.5% del salario) además del pago de Fondo de Pensiones AFP (6.25% del salario), calculado mensual y anualmente.

El pago total de salario anual asciende a 115,816.80\$ por año incluyendo a todo el personal involucrado en el proceso de elaboración de adhesivo a partir de EPS, tomando como base el salario mínimo actual vigente de \$219.35 para el sector industrial.

Una vez obtenidos todos los costos de salarios es necesario conocer los valores de los costos de producción ya en operación de planta incluyendo los costos de la materia prima para realizar el adhesivo (durapax reciclado y acetato de etilo), costos indirectos, entre otros con el fin de obtener el valor real de costo de operación de planta. En la tabla 5-18 se puede observar más detalladamente cada uno de los costos de producción.

Tabla 5-18. Costos de producción en la elaboración de adhesivo a partir de Poliestireno Expandido.

Tipo de costo	Precio	Cantidad	Costo anual
Acetato de etilo	5.55\$/gln	306428.42gln/año	\$1700,677.73
EPS reciclado	0.50\$/kg	594190.8kg/año	\$297,095.40
Envase metálico	0.50\$/unidad	262,315unidades/año	\$131,157.46
Agua	25.96\$/m ³	> 200m ³	\$4,384.80
Energía eléctrica	6.235631\$/kw	96.74	\$2418,749.80
Salarios	219.35 - 1316.10	20 puestos	\$133,946.08
Costos indirectos y administrativos (40% de mano de obra)	-	-	\$53,578.43
Total			\$4,739,589.70

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Para el cálculo de la cantidad de envases metálicos que se utilizaran para almacenar el producto se realizó el cálculo de cuantos litros se generarían anualmente de adhesivo a partir de la producción anual en kilogramos. Se utilizará el valor de la densidad de adhesivo que se ha obtenido de las pruebas de laboratorio para realizar los cálculos.

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}} = \frac{38\text{gr}}{40\text{ml}} = 0.95 \text{ gr/ml} = \mathbf{0.95 \text{ Kg/lit}}$$

A partir del valor de densidad se puede obtener el valor de litros obtenidos por cada kilo de producción anual.

$$\text{Producción anual} = 1.0526 \text{ lt/Kg} * 1,245,995.8 \text{ kg/año} = \mathbf{1,311,574.53 \text{ lt/año}}$$

Tomando en cuenta que la capacidad de los envases metálicos es de 5lt se puede determinar la cantidad de envases necesarios anualmente para almacenar el producto.

$$\text{Envases anuales} = \frac{1,311,574.53 \text{ lt/año}}{5 \text{ lt/unidad}} = \mathbf{262,315 \text{ unidades/año}}$$

5.4.3 Ingresos económicos de la planta.

Los ingresos generados a la planta se pueden entender como todas las entradas financieras que recibe la planta para este caso serán los recibidos a partir de la venta del adhesivo elaborado. El precio de venta se ha estimado a partir de los costos de producción entre la producción total anual, con un porcentaje de ganancias del 40% sobre el costo de producir cada kilo de adhesivo.

$$\text{Precio de venta} = \frac{4,739,589.7 \text{ \$/año}}{1,245,995.8 \text{ kg/año}} = 3.80 \text{ \$/kg} * 1.40 = \mathbf{5.32 \text{ \$/kg}}$$

Para redondear el valor se tomará como precio de venta 5.10\$/kg.

Si se toman los valores de venta de exportación de este material tomando como base los principales países compradores (ver tabla 5-3) como Guatemala, Nicaragua, Honduras y Costa Rica para el cálculo promedio de venta se tiene el valor de \$4.05 por cada kilo de adhesivo generado. En la tabla 5-19 se pueden observar los valores de los ingresos generados por la venta del

adhesivo obtenido. Para el cálculo se tomará 5.30\$/kg como precio de venta.

Tabla 5-19. Ingresos por ventas anuales de adhesivo.

Producto	precio \$/kg	Producción anual kg/año	Ingreso anual
Envase metálico	\$5.30	1,245,995.8	\$6,603,777.74

Fuente: Elaboración propia, 2013.

5.4.4 Análisis de rentabilidad.

Una vez obtenidos los valores de todos los costos y los valores de los ingresos netos a la planta es posible realizar un análisis de rentabilidad económica de la planta para determinar si es viable o no es viable el proyecto económicamente. Para el caso se utilizará el valor del Beneficio Bruto (BB) que es la diferencia entre las ventas o entradas económicas (V) y los costos de producción (C), estos valores son calculados para el total de un año.

$$BB = V - C \text{ Ec. 5-5.}$$

Donde:

$$V = 6,603,777.74 \text{ \$/ anuales}$$

$$C = 4,739,589.7 \text{ \$/anuales}$$

Sustituyendo en la ecuación:

$$\begin{aligned} BB &= 6,603,777.74 \text{ \$/anuales} - 4,739,589.7 \text{ \$/anuales} \\ &= \mathbf{1,864,188.04 \text{ \$/anuales}} \end{aligned}$$

Del resultado anterior se puede observar que se tendrán ganancias económicas anuales lo que permitiría la mantener la planta trabajando en un nivel óptimo y ser viable el proyecto.

Para confirmar la viabilidad del proyecto se calculara la tasa de retorno cuyo valor significa el porcentaje de retorno económico que tendrá la inversión inicial y con este valor se podrá determinar la factibilidad económica de la planta.

La tasa de retorno i_{ROI} es conocida también como retorno porcentual sobre la inversión inicial donde se incluye el valor de beneficio bruto (BB) y la inversión inicial total (i_T) y se define matemáticamente de la siguiente manera.

$$i_{ROI} = \frac{BB}{I_T} * 100\% \quad \text{Ec. 5-5.}$$

Donde:

BB: 1, 864,188.04 \$

I_T : 3, 397,009.52 \$

Sustituyendo los valores en la ecuación

$$i_{ROI} = \frac{1,864,188.04\$}{3,397,009.52\$} * 100\% = 55\%$$

El valor de la tasa de retorno de 55% significa que de la inversión inicial se recuperará el 55% de la inversión en un año, según los economistas una tasa de retorno por encima de 9.50% es válido para dar por factible un proyecto económico (Raul Lira Briceño, 2010).

A partir de los valores obtenidos de beneficio bruto y de tasa de retorno es posible concluir que la puesta en marcha de una planta productora de adhesivo a través de EPS o comúnmente conocido como durapax es viable y económicamente factible. Ayudando de esta manera a darle una segunda vida útil a este material que de lo contrario se convierte en un desecho que no tendría ningún tipo de tratamiento tardándose muchos años en degradarse y ocasionando problemas en los océanos y ríos.

CONCLUSIONES.

1. Los solventes orgánicos utilizados durante la investigación han demostrado tener gran capacidad para poder ser utilizados como solventes de Poliestireno Expandido (EPS) o “durapax” y lograr así mezclas homogéneas capaces de ser utilizadas como adhesivos o barnices.
2. La mezcla de Etil acetato y butil acetato es una mezcla que genera una sustancia bastante viscosa al disolver EPS en ella, aunque presente gran capacidad de adhesividad no es recomendable su uso debido a la difícil aplicación que representa esta mezcla.
3. Las mezclas de solventes orgánicos con EPS demuestra generar una curva de viscosidad frente a la concentración de EPS en solución con una tendencia exponencial o polinomial. La cual puede ser utilizada para predecir comportamientos a diferentes concentraciones.
4. A partir de los diseños de experimento se ha podido demostrar que la mezcla de etil acetato con Poliestireno Expandido es la que mejor resultados generó para ser utilizado como adhesivo comercial, siendo este el objetivo del análisis de costos y evaluación económica.
5. La mezcla de MIBK con EPS y butil acetato/MIBK con EPS han sido validadas como las que mejor desempeño presentan para su uso como barniz comercial teniendo una dureza y un brillo dentro de los estándares de calidad de PINSAL S.A. de C.V.
6. No existen leyes ambientales reguladoras del manejo y control de solventes orgánicos como los utilizados durante la investigación: acetato de etilo, butil acetato y etil isobutil cetona (MIBK).
7. Según las estadísticas de comercio y los cálculos de proyección de demanda generados es posible determinar que a lo largo de los años la demanda de adhesivo estará en aumento constante, lo que le da una razón más para el desarrollo de una planta piloto generadora de adhesivo.

8. Para el desarrollo del proceso de producción será necesario tener una planta de tratamiento de aguas residuales debido a los lavados que se le realizará al material de EPS reciclado con el fin de reducir los contaminantes que puedan afectar la calidad del producto final.
9. Una vez realizados los análisis de costos evaluando el valor de Beneficio Bruto (BB) y el valor de la tasa de retorno, es posible concluir que el montaje de una planta generadora de adhesivo a partir de Poliestireno Expandido (durapax) es factible su funcionamiento económico y que se tendrá un retorno de inversión inicial en alrededor de 2 años.

RECOMENDACIONES.

1. Realizar un diseño de experimento para el desarrollo y validez experimental del uso de solventes orgánicos como etil acetato, butil acetato y MIBK para la obtención de barniz comercial que cumpla con las características y normas de calidad requeridas.
2. Realizar pruebas y análisis de diseño de experimento de las diferentes alternativas citadas en el presente trabajo, para su validación como alternativa de reciclaje.
3. Desarrollar más a profundidad un estudio sobre el manejo de las aguas residuales generadas en el proceso de producción de adhesivo a partir de Poliestireno Expandido.
4. Investigar nuevas formas y alternativas de reciclaje de EPS para darle una segunda vida útil a este producto que genera tanta contaminación a nivel nacional.
5. Realizar una investigación profunda de los efectos medioambientales que tienen los solventes utilizados en los experimentos para determinar su tratamiento y los peligros de su uso.
6. Realizar un estudio de prefactibilidad económica de una planta piloto productora de barniz utilizando Poliestireno Expandido reciclado, tomando en cuenta los valores comerciales de exportación, importación y demanda de este producto.
7. Hacer un estudio de las emisiones generadas de los solventes orgánicos e investigar diferentes normas internacionales que limiten el uso de estos solventes debido a su alta volatilidad. Y que este pueda ser un impedimento para una futura instalación de la planta.

REFERENCIAS.

Referencias bibliográficas

1. Javna, J., Javna, S., Javna, J. (2009), “50 cosas sencillas que tu puedes hacer para salvar la tierra”
2. Asociación Argentina del Poliestireno Expandido AAPE (2005), “Comportamiento al Fuego del Poliestireno expandido”, Argentina
3. Secrest, R. (s.f.) “How is expanded polystyrene foam made?”
4. Neufert, E. (1970), “Manual Del Styropor”, Editorial Herder S.A, Barcelona.
5. Ministerio de Economía de la Republica de El Salvador MINEC (2012), “Balanza Comercial Banco Central de Reserva (BCR)”.
6. Banco Central de Reserva de El Salvador BCR (2003 – 2012), “Centro de Trámites de Importaciones y Exportaciones CIEX”, El Salvador.
7. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, ATSDR (2012), “Reseña Toxicológica del Estireno”, EE.UU.
8. Arenaza Amezaga, J.; Bengoechea, Elicegui, L. (2003), “Exposición a Estireno en la fabricación de poliéster reforzado con fibra de vidrio”, OSALAN, Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales, 1º Edición.
9. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, s.f. “Propiedades de los Hidrocarburos Aromáticos”, s.f.
10. Instituto Nacional de Estadísticas (2007 – 2010), Venezuela.
11. Meléndez, C. (2006), “Estudio Sobre el Mercado Potencial del Reciclaje en El Salvador”, MARN.
12. IPCS (2006), International Programme on Chemical Safety, “Fichas Internacionales de Seguridad Química”.
13. MARN (20012), “Lineamientos para Impulsar la Separación desde el Origen y Aprovechamiento de los Desechos Sólidos a nivel Mundial, Unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos”.
14. Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes (2000), “Norma ISO 14040:2000 Evaluación ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Principios y estructura”, Primera Edición, Ecuador.

15. Clean up Australia (2010), "20 years of clean up day", rubbish report.
16. Alvarado, P.; Amador, O.; Cuéllar R. (2011), "Propuesta de un sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos municipales en el municipio de Ayutuxtepeque, San Salvador, El Salvador", Universidad de El Salvador.
17. Dirección General de Estadísticas y Censos DIGESTYC (2012), "Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples 2011".
18. Tobar, Y., Vaquero, N., Umanzor, L. (2011), PNUMA/ONUDI/CNPML, "Ciclo de Vida del Cloro", El Salvador.
19. Tobar, Y., Vaquero, N., Umanzor, L. (2011), PNUMA/ONUDI/CNPL, "Ciclo de Vida del Agroquímico", El Salvador.
20. National Industrial Symbiosis Programme NISP (2008), "Reciclaje de empaque de poliestireno", México.
21. The Merck Index, (1983). An Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals. Tenth Edition. Merck & Co., Inc. Rahway, N.J., U.S.A
22. GENIUM'S Handbook of Safety, Health, and Environmental Data for common hazardous substances (1999), Mc. Graw Hill. U.S.A.
23. Martyn S. Ray and David W. Johnston (1989), "Chemical Engineering Design Project a Case Study Approach", Volumen 6.
24. Peters, M.S., Timmerhaus, K.D. (1991), "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", McGraw-Hill, Fourth Edition.

Referencias Electrónicas

1. Texto científico (2005) a. "Poliestireno Expandido".
www.textoscientificos.com.
2. Textos científicos (2005) b. "Propiedades Químicas del Poliestireno Expandido". www.textoscientificos.com.
3. Texto científico (2005) c. "Usos y aplicaciones del EPS".
www.textoscientificos.com.
4. Texto científico (2005) d. "Obtención de Estireno".
www.textoscientificos.com.

5. Texto Científico (2006) e. “Poliestireno”. www.textoscientificos.com.
6. Texto científico (2005) f. “Producción de Poliestireno Expandido”.
www.textoscientificos.com.
7. QuimiNet (2006) a. “Industrias que se benefician del EPS”.
www.QuimiNet.com.
8. QuimiNet (2006) b. “Usos del Poliestireno expandido en el empaque de diversas industrias”. www.QuimiNet.com.
9. QuimiNet (2012) c. “Métodos de transformación del EPS”.
www.QuimiNet.com.
10. “¿Qué es el Poliestireno Expandido?” (s.f.), Aplicaciones diversas,
www.corchoblanc.com.
11. Centro Nacional de Tecnología Química (2010), “Estireno”.
www.cntq.gob.ve.
12. EPS, Industry Alliance Packaging (2009), “Expanded Polystyrene Packaging Environmental Profile Analysis”.
http://www.epspackaging.org/images/stories/EPS_Environmental_Profile_Analysis-lores.pdf.
13. Asociación Nacional de Poliestireno Expandido, ANAPE (2012), “Decálogo Medioambiental del EPS” <http://www.anape.es/>.
14. <http://www.bionero.org/>, (2010).
15. The way to go, (2008), “Polystyrene Fast Facts”, <http://www.way-to-go.org>.
16. IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas CCE, (1994), “Fichas Internacionales de Seguridad Química”
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/301a400/nsfn0367.pdf>
17. Grupo Español de Conservación “Acetato de Butilo” s.f.
http://geiic.com/index.php?option=com_fichas&Itemid=83&tasko=viewo&task=view2&id=40

18. Nom-010-STPS-1999, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
<http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/ISI%20BUTIL%20CETONA.pdf>
19. Equipos de Protección Personal http://www.paritarios.cl/especial_epp.htm
20. Copyright © 1999-2013 Alibaba.com, Inc. o afiliados.
a. <http://spanish.alibaba.com/product-gs/plastic-crusher-blades-grinder-for-sale-849866867.html>,
21. Copyright © 1999-2013 Alibaba.com, Inc. o afiliados
b. <http://spanish.alibaba.com/product-gs/powerful-plastic-crusher-used-plastic-crusher-for-hot-sale-1007102479.html>
22. Copyright © 1999-2013 Alibaba.com, Inc. o afiliados.
c. <http://spanish.alibaba.com/product-gs/waste-plastic-mill-611983348.html>
23. Paúl Lira Briceño “La tasa interna de retorno, fácil de entender pero..” s.f.
<http://blogs.gestion.pe/deregresoalobasico/2010/10/la-tasa-interna-de-retorno-fac.html>
24. Laurení, U., Rigosi, F. 1985, Spencer, P. S., Schaumburg, H. H. 1985, Mousel, M. L., Picot., A. 1985, Quer Brossas, S., Mira Muñoz, M. 1989, Turuguet, D. 1990.
http://www.istas.net/risctox/gestion/estructuras/_3085.pdf

Referencias Personales

1. Castro, K. (2012), MARN Unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos.
2. Loucel, G. (2012), MARN Unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos.
3. Trejo, C. (2012), Presidente Ecoamigos del Plástico.
4. Alvarenga, E.A. (2012, 2013), Gerente Planta Adhesivos Empresas ADOC S.A. DE C.V.

GLOSARIO.

Adhesivo: Sustancia que pega dos cuerpos.

Alta dureza: Es la resistencia de un material a ser penetrado o rayado.

Alifáticos: Son compuestos orgánicos constituidos por carbono e hidrogeno cuyo carácter no es aromático.

Aglomerante: Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por métodos exclusivamente físicos: la cola es un aglomerante.

ANOVA Bifactorial: Es una técnica estadística para analizar el efecto de dos variables independientes (factores) sobre una variable respuesta.

Barniz: Es una disolución de aceites o sustancias resinosas en un disolvente, que se volatiliza o se seca al aire mediante evaporación de disolventes o la acción de un catalizador, dejando una capa o película sobre la superficie a la que se ha aplicado.

Eutrofización: Un río, un lago o un embalse sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes.

Hepatotoxicidad: La hepatotoxicidad, también llamada enfermedad hepática tóxica inducida por drogas implica daño —sea funcional o anatómico— del hígado inducido por ingestión de compuestos químicos u orgánicos

Hidrosoluble: que se puede disolver en agua.

Liposoluble: Se llama liposolubles a las sustancias solubles en grasas, aceites y otros solventes orgánicos no polares como el benceno y el tetracloruro de carbono.

Losetas: Losa pequeña, generalmente de cerámica, que se pone en las paredes o en el suelo.

Neurotoxicidad: La neurotoxicidad es un término que hace referencia a aquellas alteraciones funcionales, estructurales y bioquímicas producidas en el SN y que conllevan a la manifestación de diferentes clases de efectos adversos como consecuencia de una exposición a un producto químico.

Polución: Contaminación intensa del agua o del aire, producida por los residuos de procesos industriales o biológicos.

ANEXOS

ANEXO 2-1. Encuesta Realizada en Cafetines de la UES.

Sondeo de consumo de recipientes para alimentos de durapax (EPS) en cafeterías y comedores de la Universidad de El Salvador

Indicación: Conteste el siguiente cuestionario según su criterio y conocimiento.

1. ¿Utilizan recipientes de durapax para la venta de alimentos? (si su respuesta es No termina la encuesta) Sí ____ No ____
2. ¿Qué marcas de recipientes de durapax utilizan o prefieren?

3. ¿En qué lugares adquieren estos productos?
Mercados ____
Supermercados ____
Directamente con el distribuidor de marca _____ (especifique el distribuidor)
Otros _____
4. ¿Qué tipos de recipientes utilizan para servir los alimentos? (puede marcar varios)
Recipientes para sopas ____
Platos desechables ____
Vasos desechables ____
Recipientes grandes con tapadera ____
Otros _____
5. Existen diferentes tamaños de recipientes de durapax. Mencione los diferentes tamaños que utilizan para servir los alimentos
Recipientes para sopas _____
Platos desechables _____
Vasos desechables _____
Recipientes grandes con tapadera _____
Otros _____

6. ¿Qué cantidad de recipientes de durapax utilizan diariamente para servir comida?

50 _____

100 _____

200 _____

500 _____

Otros _____

7. ¿Cuál es la frecuencia con la que compran los productos de durapax?

Cada día _____

Cada 2 días _____

Cada semana _____

Cada mes _____

Otros _____

8. ¿Conoce algún tratamiento de reciclaje para estos recipientes de durapax?

9. ¿Cuál es la disposición final que le dan a los recipientes de durapax, después de ser utilizados por sus clientes?

Anexo 3-1. Resumen del muestreo de productos de Poliestireno expandido realizado en Universidad de El Salvador.

Anexo 3-1-1. Pesos de vasos de 6 onzas.

Numero muestra	Clasificación	Muestra sucia (gr)	Muestra lavado (gr)	Diferencia de peso (gr)
1	Vaso de 6 onz.	1.6	1.4	0.2
2	Vaso de 6 onz.	1.4	1.4	0
3	Vaso de 6 onz.	1.6	1.5	0.1
4	Vaso de 6 onz.	1.4	1.4	0
5	Vaso de 6 onz.	1.4	1.4	0
6	Vaso de 6 onz.	2.4	1.6	0.8
7	Vaso de 6 onz.	1.8	1.5	0.3
8	Vaso de 6 onz.	1.8	1.6	0.2
9	Vaso de 6 onz.	1.7	1.5	0.2
10	Vaso de 6 onz.	1.6	1.5	0.1
11	Vaso de 6 onz.	1.4	1.4	0
12	Vaso de 6 onz.	2.2	1.5	0.7
13	Vaso de 6 onz.	1.5	1.5	0
14	Vaso de 6 onz.	1.4	1.4	0
15	Vaso de 6 onz.	1.4	1.4	0
16	Vaso de 6 onz.	1.7	1.5	0.2
17	Vaso de 6 onz.	1.9	1.6	0.3
18	Vaso de 6 onz.	1.6	1.4	0.2
19	Vaso de 6 onz.	1.8	1.4	0.4
20	Vaso de 6 onz.	1.8	1.4	0.4

21	Vaso de 6 onz.	2.3	1.6	0.7
22	Vaso de 6 onz.	2	1.4	0.6
23	Vaso de 6 onz.	1.8	1.5	0.3
24	Vaso de 6 onz.	2.1	1.5	0.6
25	Vaso de 6 onz.	2.1	1.4	0.7
26	Vaso de 6 onz.	2.9	1.5	1.4
27	Vaso de 6 onz.	1.9	1.5	0.4
28	Vaso de 6 onz.	1.8	1.4	0.4
29	Vaso de 6 onz.	1.7	1.6	0.1
30	Vaso de 6 onz.	1.9	1.4	0.5
31	Vaso de 6 onz.	1.8	1.5	0.3
32	Vaso de 6 onz.	1.4	1.3	0.1
33	Vaso de 6 onz.	1.4	1.3	0.1
34	Vaso de 6 onz.	2.3	1.5	0.8
35	Vaso de 6 onz.	2.6	1.5	1.1
36	Vaso de 6 onz.	2.2	1.5	0.7
37	Vaso de 6 onz.	2.4	1.4	1
Promedio		1.84	1.46	0.38

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 3-1-2. Pesos de vasos de 10 onzas.

Numero muestra	Clasificación	Muestra sucia (gr)	Muestra lavado (gr)	Diferencia de peso (gr)
1	Vaso de 10 onz.	2.5	2.3	0.2
2	Vaso de 10 onz.	2.4	2.1	0.3
3	Vaso de 10 onz.	3	2.2	0.8
4	Vaso de 10 onz.	2.5	2.4	0.1
5	Vaso de 10 onz.	10.4	2.2	8.2
6	Vaso de 10 onz.	2.4	2.1	0.3
7	Vaso de 10 onz.	2.3	2.2	0.1
8	Vaso de 10 onz.	2.1	2.1	0
9	Vaso de 10 onz.	2.3	2.1	0.2
10	Vaso de 10 onz.	3.7	2.2	1.5
11	Vaso de 10 onz.	2.5	2	0.5
12	Vaso de 10 onz.	3.7	2.2	1.5
13	Vaso de 10 onz.	3	2.3	0.7
14	Vaso de 10 onz.	2.6	2.1	0.5
15	Vaso de 10 onz.	2.6	2.2	0.4
16	Vaso de 10 onz.	5.7	2.3	3.4
17	Vaso de 10 onz.	3.6	2.2	1.4
Promedio		3.37	2.19	1.18

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 3-1-3. Pesos de platos grandes.

Numero muestra	Clasificación	Muestra sucia (gr)	Muestra lavado (gr)	Diferencia de peso (gr)
1	Plato grande	3.3	2.9	0.4
2	Plato grande	3.3	3.1	0.2
3	Plato grande	3.3	3	0.3
4	Plato grande	4.3	3.9	0.4
5	Plato grande	4	3.9	0.1
6	Plato grande	4.98	4	0.98
7	Plato grande	5.1	4	1.1
8	Plato grande	3.3	2.9	0.4
9	Plato grande	3.5	3.1	0.4
10	Plato grande	3.6	3.3	0.3
11	Plato grande	3.7	3.4	0.3
12	Plato grande	3.8	3.5	0.3
13	Plato grande	3.9	3.5	0.4
14	Plato grande	3	2.9	0.1
15	Plato grande	3.2	3	0.2
16	Plato grande	3.4	3	0.4
17	Plato grande	3.6	3	0.6
Promedio		3.72	3.32	0.40

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 3-1-4. Pesos de vasos de 8 onzas.

Numero muestra	Clasificación	Muestra sucia (gr)	Muestra lavado (gr)	Diferencia de peso (gr)
1	Vaso de 8 onz.	1.8	1.8	0
2	Vaso de 8 onz.	2.3	2.1	0.2
3	Vaso de 8 onz.	1.8	1.7	0.1
4	Vaso de 8 onz.	4.7	2	2.7
Promedio		2.65	1.9	0.75

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 3-1-5. Pesos de bandejas.

Numero muestra	Clasificación	Muestra sucia (gr)	Muestra lavado (gr)	Diferencia de peso (gr)
1	Bandeja	4.6	2.7	1.9
2	Bandeja	3.3	2.2	1.1
3	Bandeja	3.2	2.9	0.3
Promedio		3.7	2.6	1.1

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 3-1-6. Pesos de recipientes para sopas.

Numero muestra	Clasificación	Muestra sucia (gr)	Muestra lavado (gr)	Diferencia de peso (gr)
1	Recipiente para sopa	4.1	2.1	2
2	Recipiente para sopa	1.6	1.4	0.2
3	Recipiente para sopa	2.3	2.2	0.1
4	Recipiente para sopa	2.7	1.9	0.8
5	Recipiente para sopa	2.7	2.3	0.4
Promedio		2.68	1.98	0.7

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 3-1-7. Pesos de platos pequeños.

Numero muestra	Clasificación	Muestra sucia (gr)	Muestra lavado (gr)	Diferencia de peso (gr)
1	Plato pequeño	1.4	1.3	0.1
2	Plato pequeño	1.3	1.2	0.1
3	Plato pequeño	1.7	1.1	0.6
Promedio		1.47	1.2	0.27

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 3-2. Precio de disolventes orgánicos.

Precios de disolventes \$/gal	
Acetato de etilo	5.55\$/gal
Butil Acetato	7.80\$/gal
MIBK	7.24\$/gal

Fuente: Ing. Edwin Alvarenga, Gerente Adhesivos ADOC, 2013.

Anexo 3-3. Factor FINDER BROOKFIEL.

LV	LV	LV	LV
1	2	3	4
0.3 200	0.3 1M	0.3 4M	0.3 20M
0.6 100	0.6 500	0.6 2M	0.6 10M
1.5 40	1.5 200	1.5 800	1.5 4M
3 20	3 100	3 400	3 2M
6 10	6 50	6 200	6 1M
12 5	12 25	12 100	12 500
30 2	30 10	30 40	30 200
60 1	60 5	60 20	60 100

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Anexo 3-4. Prueba de resistencia de cajas de cartón aplicando adhesivo con etil acetato.

Luego de la obtención del adhesivo con el solvente etil acetato y durapax reciclado se procedió a realizar pruebas con cajas de cartón de diferentes dimensiones para verificar la resistencia de las mismas aplicando este adhesivo. A continuación detalle del proceso realizado:

1. Como primer paso se desarmaron las cajas y se les retiro todo residuo de cinta adhesiva y pegamento (ver figuras 3-4-1 y 3-4-2).



Figura 3-4-1. Limpieza y desmontaje de cajas.

Fuente: Elaboración propia, 2013.



Figura 3-4-2. Caja desarmada.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

2. Aplicación del adhesivo (solución etil acetato y durapax) en las 4 pestañas de cada caja (ver figuras 3-4-3 y 3-4-4).



Figura 3-4-3. Aplicación de adhesivo en cajas.
Fuente: Elaboración propia, 2013.



Figura 3-4-4. Caja de cartón con adhesivo en 4 pestañas.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

3. Al cumplirse el tiempo necesario para que el adhesivo cristalice se procede a pegar pestaña con pestaña aplicando cierta fuerza (ver figuras 3-4-5 y 3-4-6).



Figura 3-4-5. Montaje de cajas.
Fuente: Elaboración propia, 2013.



Figura 3-4-6. Interior de caja luego de pegar pestañas.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

4. Luego se dejaron todas las cajas para finalizar el secado (ver figuras 3-4-7 y 3-4-8).



Figura 3-4-7. Cajas al final del proceso.
Fuente: Elaboración propia, 2013.



Figura 3-4-8. Cajas en proceso de secado.
Fuente: Elaboración propia, 2013.

CERTIFICADO DE CALIDAD A30

 **CERTIFICADO DE CALIDAD**

LINEA: Barnices Muestras A – E FECHA: 05/JULIO/2013

EVALUACION DE PROPIEDADES FISICOQUIMICAS

MUESTRA	DUREZA	BRILLO	OBSERVACIONES
	(Estandar: > HB)	(Estandar: 20 – 30)	
BARNIZ A	HB	24.8	No se recomienda uso, por baja dureza
BARNIZ B	-	24.5	No se pudo medir dureza, pues al aplicar el barniz, este se desprendía de la lámina por el nivel de plastificado. No se recomienda uso.
BARNIZ C	H	29.9	Estandares ideales, se recomienda uso
BARNIZ D	H	24.1	Estandares ideales, se recomienda uso
BARNIZ E	< HB	23.3	Usando el lapiz de menor dureza (HB), este aún así rayaba el barniz aplicado. Por lo cual no se da una calificación exacta de dureza. No se recomiendo uso.

Con la cantidad de muestra suministrada, solo fue posible obtener lecturas para el brillo y dureza de cada caso analizado.


ELABORADO POR: ING. MARLON CAMPOS

Página 1

Figura 3-5-1. Certificado de calidad PINSAL.
Fuente: PINSAL, Julio 2013.

Anexo 5-1. Importaciones de adhesivos en dólares hacia El Salvador.

Importaciones de adhesivos totales en valores \$ hacia El Salvador						
Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013
PAIS	VALOR CIF US\$					
Canada	2,134.57	1,292.01	3,174.52	5,835.01	2,198.73	234.88
Estados Unidos (U.S.A.)	585,468.42	654,006.44	650,412.11	769,201.99	624,087.40	312,358.39
Mexico	603,634.39	349,135.21	755,044.75	570,195.24	795,664.93	231,102.99
Guatemala	36,613.60	21,733.06	42,322.48	529,732.84	220,772.97	39,558.95
Honduras	140,485.74	51,821.03	44,304.85	26,374.32	74,268.62	20,505.32
Nicaragua	0	0	0	2,691.35	4,483.65	0
Costa Rica	363,935.56	268,067.88	238,943.25	185,187.73	306,585.45	31,017.22
Panama	117,420.45	113,968.76	91,682.39	99,385.22	39,450.30	9,939.83
Colombia	13,313.50	1,094.66	6,414.85	784.94	214.13	841.45
Ecuador	0	620.46	0	273.6	639.68	518.87
Venezuela	0	0	0	0	38.02	0
Brasil	50,587.18	23,418.51	46,563.94	41,770.88	112,088.60	19,625.58
Uruguay	88,890.94	74,786.45	8,208.00	684	0	2,122.21
Argentina	0	218.7	924.71	0	51,696.02	0
Peru	770.17	1,825.44	1,964.61	1,595.34	26,523.70	4,977.14
Chile	11,383.56	36,134.22	11,044.46	705	4,222.39	7,738.62
Alemania	23,311.14	19,350.56	20,331.12	18,327.23	30,542.50	7,580.97
Belgica	829.6	72.39	0	615.25	36.97	0
Dinamarca	0	0	71.71	0	0	0
Espana	2,831.92	628.72	793.92	8,946.89	3,256.69	0
Monaco	6.49	0	0	0	0	0
Finlandia	266.44	431.79	565.13	19.51	0	0
Francia	10,358.46	654.49	615.35	988.44	6,318.81	0
Grecia	0	0	828.81	0	389.84	0
Irlanda	0	4,775.36	4,643.64	0	11,083.55	0
Italia	0	0	1,049.19	495.59	1,991.21	2,618.95
Portugal	0	0	0	0	0	8.48
Reino Unido	775.83	0	0	0	0.54	1,676.10
Suecia	328.03	118.79	1,219.40	460.1	273.74	0
Suiza	1,602.82	0	53.94	4,179.31	196.64	171
Corea Del Sur	0	1,556.73	731.81	10,403.95	7,124.70	18,441.64
Corea Del Norte	600	0	0	46.5	0	0
Republica Popular de China	167,472.25	255,386.98	223,213.37	99,793.97	138,547.56	85,070.98
Taiwan	186,005.65	194,371.69	142,715.16	365,554.17	439,357.62	119,195.13

Malasia	0	0	0	1,752.48	682.14	0
Hong Kong	0	31.76	7,699.81	0	12,877.47	67.66
India	0	0	0	2,353.84	257.88	0
Japon	2,237.01	47.36	3,471.03	7,370.36	2,779.21	2,613.30
Singapur	3,960.00	0	0	0	0	0
Tailandia	0	0	1,799.69	0	131.73	0
Viet-Nam	0	0	0	0	139.17	0
Otros Países	0	0	0	38.25	7,954.74	10,277.56
totales	2,415,223.72	2,075,549.45	2,310,808.00	2,755,763.30	2,926,877.30	928,263.22

Fuente: Banco Central de Reserva, 2013.

Anexo 5-2. Exportaciones de adhesivos en dólares hechas por El Salvador.

Exportaciones valores en \$ hechas por El Salvador						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
PAIS	VALOR FOB US\$	VALOR FOB US\$				
Estados Unidos (U.S.A.)	0	15	0	0	39.6	0
Mexico	50	0	0	0	0	0
Guatemala	44,265.53	58,496.45	27,577.53	46,216.28	37,186.62	2,298.92
Honduras	30,835.65	25,645.95	52,552.04	37,102.97	61,178.27	2,051.41
Nicaragua	22,171.46	62,077.50	22,885.86	14,567.86	13,112.72	961.18
Costa Rica	444.3	5,539.40	0	2,644.16	6,575.38	142
Panamá	59,118.40	1,216.90	1,638.36	0	201.28	0
Republica Dominicana	0	0	110	0	0	0
totales	156,885.34	152,991.20	104,763.79	100,531.27	118,293.87	5,453.51

Fuente: Banco Central de Reserva, 2013.