

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR DIRECCIÓN
GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



SEP

TRABAJO PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

QUE PRESENTA:

VICTOR HUGO FUENTES CASTRO

CON EL TEMA:

“RECICLAMIENTO DEL POLIESTIRENO”

MEDIANTE:

OPCION X

(MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

FEBRERO 2013

DEDICATORIAS

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio, por que jamás me has abandonado en los momentos difíciles y buenos.

A mis padres

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, por que aun en momentos difíciles jamás dejaron de apoyarme y por que sin el apoyo de ellos jamás estaría hasta donde hoy, gracias por ser los mejores padres que dios me pudo haber dado les estoy eternamente agradecido.

ÍNDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.4. Objetivo general	
1.5. Objetivos específicos.	
1.6. Características generales de la dependencia donde se participo.....	6
1.7. Vista de planta de las instalaciones del ITTG.....	7
1.8. Problemas a resolver.....	8
1.9. Alcances y limitaciones.....	10

CAPITULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Historia.....	11
2.2. Poliestireno cristal.....	12
2.3. Poliestireno expandido.....	15
2.4. Poliestireno choque	
2.5. Poliestireno sindiotactico.....	16
2.6. Poliestireno (PS).....	17
2.7. Ramificación.....	19
2.8. Tacticidad.	
2.9. Estructura del poliestireno choque.....	22
2.10. Tipo de caucho.	
2.11. Partículas de caucho.	
2.12. Injerto.....	24
2.13. Reticulación.....	25
2.14. Mecanismo de reacción.....	28
2.15. Inversión de facas.....	29
2.16. Propiedades mecánicas.....	30
2.17. Propiedades ópticas.....	31
2.18. Propiedades eléctricas.	
2.19. Aplicaciones.....	32
2.20. Proceso de producción.....	34
2.21. Proceso del poliestireno cristal.	
2.22. Particularidades del proceso de poliestireno choque.....	37
2.23. Producción del poliestireno a nivel mundial.....	41
2.24. Obtención del poliestireno.	
2.25. Disolventes utilizados.....	43
2.26. Gasolina.	
2.27. Acetona.....	46
2.28. Diesel.....	48

CAPITULO 3. DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS Y DIAGRAMA DEL PROCESO

3.1. Descripción de las actividades realizadas.....	50
3.2. Diagrama del proceso.....	52

CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Características generales de la mezcla de poliestireno con acetona.....	53
4.2. Característica generales de la mezcla de poliestireno con gasolina.....	54
4.3. Discusión de resultados.....	55

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	56
5.2. Recomendaciones	

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
--	-----------

ANEXOS.....	59
--------------------	-----------

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

La problemática originada por la falta de control de los residuos sólidos como el poliestireno (unicel) está creciendo en prácticamente todo el mundo, así como todas las localidades que conforman nuestro país. En la mayoría de estos servicios de recolección y disposición final de los restos sólidos de poliestireno es deficiente, lo que provoca que una gran cantidad de residuos permanezcan dispersos, dando origen a una serie de problemas ambientales públicos.

A nivel mundial el problema es cada vez más grande, ya que la generación per cápita actual de residuos sólidos de poliestireno está aumentando, además que no se encuentra un lugar que reúna las condiciones ambientales para depositar con todas las normas de seguridad.

Ante esta situación, es necesario que se apliquen soluciones urgentes a la práctica antes mencionada, es por ello que se ve la necesidad de contribuir, de manera positiva para mantener limpio el ambiente, por medio de un correcto reciclamiento que permita generar subproductos útiles al hombre.

La falta de cultura y recursos económicos a si como falta de apoyo de la ciudadanía en general, además de ser necesario como el paso hacia una cultura social para el tratamiento del poliestireno (unicel) y el desarrollo sustentable.

A escala mundial, este material constituye una fuente importante de residuos contaminantes. Se trata de la llamada “basura blanca”, que cuando no se da una disposición final adecuada, ensucia por largo tiempo, porque su vida media es alta (puede tardar más de 400 años en degradarse). Su acumulación en basureros y cuerpos de agua, hace que 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”. A pesar de ello, se trata de uno de los materiales más empleados en el ámbito mundial. Según informes internacionales, se pueden encontrar tres kilogramos de unicel por cada medio kilogramo 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 unicel material derivado del petróleo. En la ciudad de México, diariamente se producen en promedio 12 mil toneladas de desechos y de ellos, sólo se recicla el 12 ó 15 por ciento. En cuanto al poliestireno expandido, no se cuenta con datos de reciclado.www.iperllantashidalgo.com. La generación de residuos sólidos va en aumento. Según el INEGI, en 2005 se produjeron un millón 409 mil toneladas de plástico, y en 2006 la cifra ascendió a dos millones 13 mil toneladas. El poliestireno expandido (unicel) y otros plásticos tienen como destino final los rellenos sanitarios.

Ante ese panorama, “nos dedicamos a la búsqueda de alternativas viables técnicamente y económicas” para rehusar el poliestireno en forma de unicel o cristal.

Es por ello que mediante el reciclamiento de poliestireno de desecho se formulará una resina líquida para elaborar un impermeabilizante que permita proteger todo material de la humedad y oxidación.

Todo lo que se tiene que hacer es someter el poliestireno expandido o cristal recolectado de la basura, someterlo a un tratamiento mínimo de limpieza, disolverlo en forma sustentable y a bajo costo, con poco o nulo impacto en el ambiente y de un manejo más fácil y seguro que los convencionales, “porque resultaría absurdo emplear un material que contamina el aire”.

El producto puede durar casi 20 años protegiendo una casa. Además, posee resistencia a los cambios bruscos de temperatura y es aislante.

1.2. Justificación.

Este proyecto se realiza para tener un buen sistema de manejo de los residuos sólidos como el poliestireno, los cuales utilizamos diariamente a nivel mundial y que provocamos una gran contaminación hacia el medio ambiente y posteriormente a la salud humana. El propósito es reciclar el poliestireno para disminuir la contaminación que generan estos desechos, porque nuestra fauna y flora se están extinguiendo a causa de nuestra irresponsabilidad y no nos damos cuenta de eso. Por ello la intención es generar un nuevo producto, reduciendo esta problemática que existe en nuestro entorno.

La importancia del proyecto es elaborar un impermeabilizante y realizar una serie de estudios para su posterior manejo, con la intención de sustituir a los impermeabilizantes que contaminan al medio que nos rodea, poniéndolo a prueba en medios que puedan filtrar agua y comprobar su resistencia y durabilidad. Esto beneficiará a toda la población y sobre todo al medio ambiente porque reducirá la problemática que existe en ella.

Por otra parte, la población debe de tomar en cuenta que para tener un lugar más limpio y confortable, libre de contaminación, debe de tomar conciencia y colaborar para que esto se lleve a cabo, ya que esta problemática va en aumento y si no hacemos nada, el planeta está en riesgo, así como también el hogar para las futuras generaciones.

1.3. Objetivos.

1.4. Objetivo general:

- Elaborar un impermeabilizante a partir del poliestireno reciclado.

1.5. Objetivos específicos:

- Homogenizar el poliestireno reciclado.
- Optimizar las condiciones de mezclado del impermeabilizante.
- Verificar las propiedades impermeabilizantes del producto elaborado.
- Optimizar y probar el uso del impermeabilizante en la intemperie.

1.6. Características generales de la estancia en donde se participó.

Este proyecto se realizó en el edificio D, en el Laboratorio de Ing. Ambiental del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, contando con el equipo necesario para la realización del proyecto “reciclamiento del poliestireno”.

Este proyecto abarca diferentes áreas en el cual está involucrado en su estudio de este proyecto, como son:

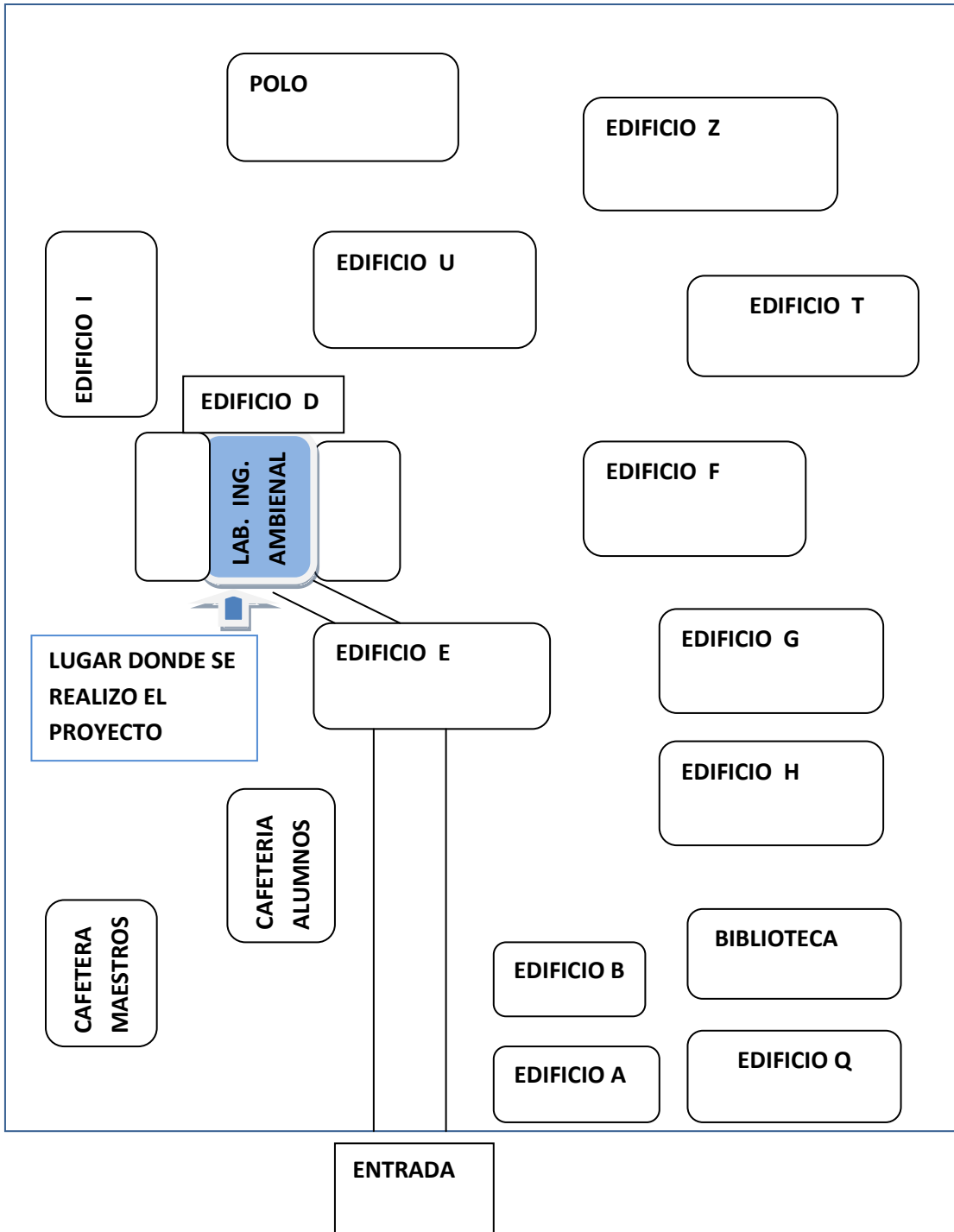
Ingeniería Ambiental, el cual se relaciona con la problemática y el cuidado del medio ambiente.

Operaciones unitarias 1, porque se lleva a cabo la reducción del tamaño del poliestireno.

Balance de materia y energía, porque hay entrada de materia prima y se obtiene un producto terminado, en cual no se aprovecha toda la materia prima, por lo tanto hay un balance.

1.7. Vista de planta de las instalaciones del ittg.

➤ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



1.8. Problemas a resolver.

En el último siglo, la humanidad ha experimentado un incesante incremento poblacional, el cual ha traído como consecuencia que la sociedad tenga que buscar repuestas a sus demandas de bienes de consumo, es por ello, que ha implementado mecanismos de solución que se traducen en un desarrollo económico, tecnológico e industrial, sin embargo, esto ha propiciado un sin número de problemas entre las cuales se destaca el deterioro ambiental, provocado principalmente por la contaminación que ha emanado cambios perjudiciales en las características físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas.

La contaminación causada por desechos de poliestireno es un problema cada vez mayor, no solo en el estado si no en todo el país y el mundo.

Por su parte el crecimiento de la generación de residuos sólidos de poliestireno en el mundo ha aumentado con mayor frecuencia esto implica tomar medidas inmediatas por parte de la sociedad e instituciones públicas como privadas para mitigar los posteriores daños que estos pueden causar al ambiente y a la salud.

Esta contaminación, cada vez más en aumento, está ocasionando graves problemas ambientales, a los que nos enfrentamos hoy en día, siendo el de la generación y disposición final de la basura de (poliestireno) uno de los tantos problemas ambientales que más nos afecta por la degradación del agua, suelo y atmósfera, situación que se ha incrementado en el mundo y la nación.

Es por ello que con esta investigación se contribuirá con una propuesta, para la disminución de contaminación causada por el desecho de poliestireno y a si poder disminuir los efectos nocivos que este causa al medio ambiente, el cual no resuelve el problema.

1.9. Alcances y limitaciones.

➤ Alcances

Elaborar una propuesta para producir una resina líquida capaz de adherirse a cualquier superficie porosa y liza para sellar el paso del agua o cualquier otro líquido que dañe o que absorba humedad, por medio de una mezcla con disolventes sea posible reciclar el unicel (poliestireno) para disminuir la contaminación y elaborar un material que contribuya a disminuir el problema de contaminación, con el mismo, ya que por desgracia no ha sido rehusado y se acumula en detrimento del ambiente.

➤ Limitaciones

Dado que el laboratorio no cuenta con los recursos necesarios, se realizó un trabajo exploratorio con pocos equipos y materiales, para verificar la factibilidad del mismo.

CAPITULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Historia.

Respecto a los residuos sólidos de poliestireno se ha escrito mucho en los últimos años; si bien como país, apenas hemos hecho conciencia de los efectos que provoca su acumulación a cielo abierto.

De los efectos que producen en la salud, basta señalar que la dispersión indiscriminada de ellos, aunada a otras deficiencias.

El unicel es un plástico hecho a partir de un derivado del petróleo conocido como estireno, el cual es considerado actualmente como un posible cancerígeno,

Segrega sustancias tóxicas al contacto con las comidas y bebidas, que amenazan la salud, especialmente el sistema reproductivo, al quemarse produce sustancias tóxicas que contamina el aire que respiramos, al meterse al horno de microondas, produce dioxinas, que al acumularse en el organismo provocan daños a órganos vitales como pulmones, hígado, cerebro, sistema sanguíneo y dañan la capa de ozono.

2.1. Historia.

Desde el descubrimiento del estireno a mediados del siglo XIX, numerosos investigadores describieron su tendencia a convertirse en un plástico sólido. Sin embargo, estas experiencias fueron incorrectamente descritas como "oxidaciones" o "endurecimientos" y se quedaron en meras curiosidades de laboratorio. Fue el alemán Hermann Staudinger el primero en sintetizar deliberadamente poliestireno en su laboratorio y en explicar el fenómeno mediante una "teoría de la polimerización" (1920). Su teoría desató una fuerte controversia y fue rechazada por la comunidad científica de la época. No obstante, Staudinger continuó su trabajo, siendo recompensado con el Premio Nobel de Química en 1953.

2.2. Poliestireno cristal.

La empresa alemana BASF (Badische Anilin und Soda-Fabrik) (integrada por entonces en el conglomerado IG Farben) se interesó por los polímeros e inició un programa de industrialización que le llevó a la primera producción comercial de poliestireno en 1930. Una figura clave de este programa fue Herman F. Mark.

Por la misma época, la compañía estadounidense Dow (The Dow Chemical Company), que había producido grandes cantidades de etilbenceno para un mercado que al final no despegó, decidió transformarlo en estireno y desarrollar de forma fulgurante su propio proceso de producción de poliestireno.

BASF utilizaba un sofisticado proceso continuo de polimerización en masa que permitía una alta productividad y un buen control de la calidad del producto. Cada planta tenía varios reactores en serie, llamados "reactores-torre" por su forma de cilindros verticales. En comparación, el proceso de Dow era muy rudimentario: el estireno se dejaba simplemente reaccionar en el interior de latas metálicas calentadas durante días. Ello no impidió a Dow lanzar su poliestireno al mercado en 1938.

Tanto en América como en Europa lo que limitaba la producción de poliestireno era el suministro del monómero, el estireno. El problema se agudizó durante la Segunda Guerra Mundial porque el estireno se convirtió en materia prima estratégica, al ser uno de los ingredientes clave del caucho sintético.

Al terminar la guerra, el estireno producido por las numerosas plantas construidas en Estados Unidos quedó disponible para otros usos. Fue entonces cuando la producción de poliestireno despegó realmente.

Los técnicos de Dow pudieron visitar las fábricas de BASF tras la derrota de Alemania en 1945 y se quedaron sorprendidos de la sofisticación tecnológica de los alemanes. Inmediatamente aplicaron el conocimiento obtenido para desarrollar un proceso semi-continuo de polimerización en masa, que instalaron en su planta de Midland (Michigan, EE.UU.) y que fue un gran éxito comercial.

En los años siguientes Koppers Chemical puso a punto un proceso alternativo basado en la polimerización en suspensión, que aportaba algunas ventajas en la calidad del producto y que tuvo gran éxito comercial a partir de la década de los 1950.

No obstante, la polimerización en masa siguió siendo utilizada y a partir de los años 1980 volvió a tomar la delantera en tecnología, convirtiéndose en más económico tanto en inversión como en gastos de operación. Además el proceso en suspensión genera agua contaminada con fosfatos que, con el endurecimiento de las normas medioambientales, se ha convertido en un problema cada vez mayor. Poco a poco las plantas de suspensión han ido siendo abandonadas, quedando actualmente dedicadas sólo a la producción de poliestireno expandido y de unos pocos grados de especialidad de poliestireno cristal.

2.3. Poliestireno expandido.

BASF y Dow desarrollaron independientemente el poliestireno expandido a principios de los años 1940. El proceso de BASF, basado en el uso de pentano como agente espumante, resultó ser muy superior y en la posguerra pasó a ser el único utilizado industrialmente.

La demanda de poliestireno expandido se disparó a finales de los años 1960 gracias en parte a la invención de extrusoras que permitían la inyección directa de pentano al poliestireno líquido.

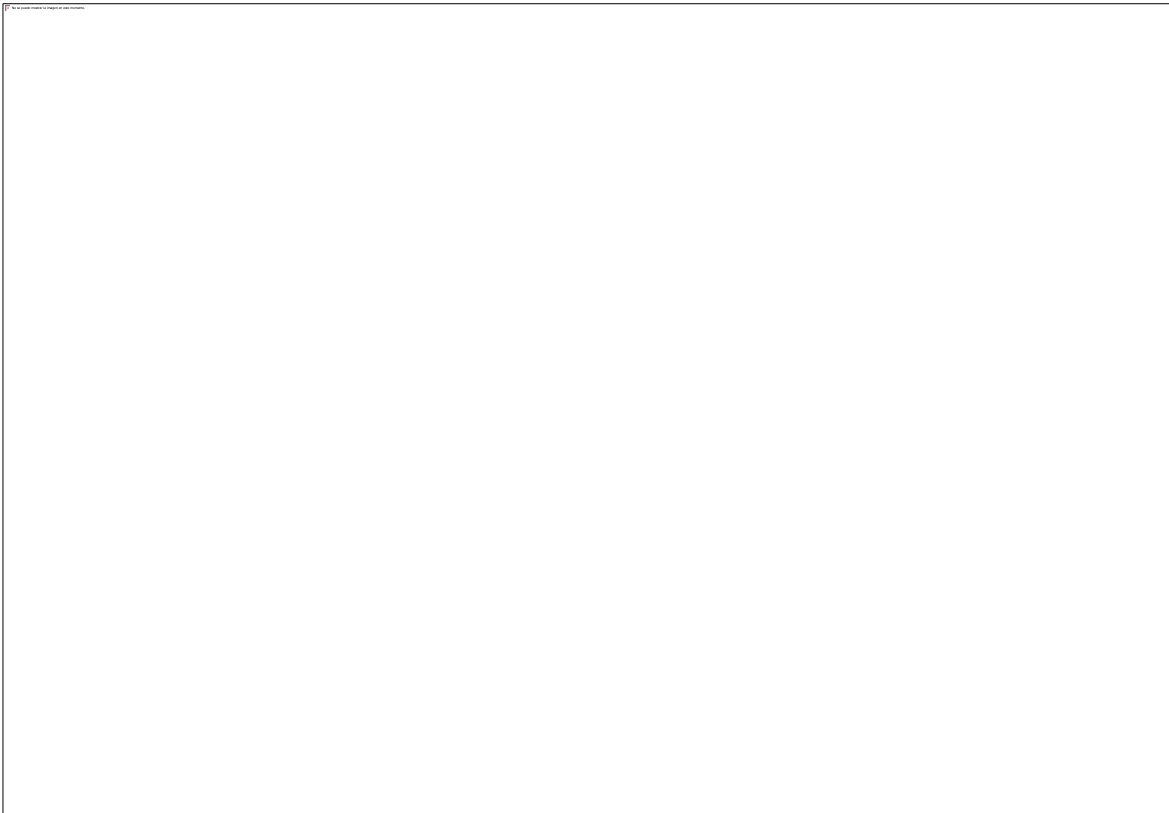
2.4. Poliestireno choque.

Desde el primer momento estuvo claro que el poliestireno cristal tenía una gran desventaja: su fragilidad. Por ello tempranamente surgió la idea de reforzarlo con caucho natural (patente de Ostro mislensky, 1927).

Pero la producción industrial era complicada debido a la tendencia del caucho a reticular en los reactores formando geles. Tras numerosos experimentos fallidos, en 1954 Dow dio con la solución: añadir a su proceso una etapa de "pre polimerización" bajo fuerte agitación. Monsanto llegó a la misma conclusión casi simultáneamente y ambas empresas se involucraron en un largo pleito sobre patentes. Por su mayor complejidad técnica y por la variedad de sus aplicaciones, la mayor parte del esfuerzo de investigación y desarrollo de productos realizado por los Fabricantes de poliestireno se ha centrado en el poliestireno choque. Hoy día es una tecnología tan sólidamente establecida como la del poliestireno cristal.

2.5. Poliestireno sin diotáctico.

En 1985 la japonesa Idemitsu sintetizó por vez primera poliestireno sin diotáctico (sPS) y tres años más tarde inició una colaboración con Dow para su producción industrial. En 1996 Dow abrió una planta de sPS en Schkopau (Alemania) pero en 2005 tuvo que cerrarla por su escaso éxito comercial.



En la foto anterior se observa ejemplo de los distintos usos que se le da al poliestireno.

2.6. Poliestireno (PS).

El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. Existen cuatro tipos principales: el PS cristal, que es transparente, rígido y quebradizo; el poliestireno de alto impacto, resistente y opaco, el poliestireno expandido, muy ligero, y el poliestireno extrusionado, similar al expandido pero más denso e impermeable. Las aplicaciones principales del PS choque y el PS cristal son la fabricación de envases mediante extrusión-termo formado, y de objetos diversos mediante moldeo por inyección. Las formas expandidas y extruida se emplean principalmente como aislantes térmicos en construcción.

La primera producción industrial de poliestireno cristal fue realizada por BASF, en Alemania, en 1930. El PS expandido y el PS choque fueron inventados en las décadas siguientes. Desde entonces los procesos de producción han sido mejorados sustancialmente y el poliestireno ha dado lugar a una industria sólidamente establecida. Con una demanda mundial de unos 10.6 millones de toneladas al año (dato de 2000, excluye el poliestireno expandido), el poliestireno es hoy el cuarto plástico más consumido, por detrás del polietileno, el polipropileno y el PVC.

El producto de la polimerización del estireno puro se denomina poliestireno cristal o poliestireno de uso general (GPPS, siglas en inglés). Es un sólido transparente, duro y frágil. Es vítreo por debajo de 100 °C. Por encima de esta temperatura es fácilmente procesable y puede dársele múltiples formas.

Para mejorar la resistencia mecánica del material, se puede añadir en la polimerización hasta un 14% de caucho (casi siempre polibutadieno). El producto resultante se llama poliestireno de alto impacto (HIPS, High Impact Polystyrene, siglas en inglés). Es más fuerte, no quebradizo y capaz de soportar impactos más violentos sin romperse. Su inconveniente principal es su opacidad, si bien algunos fabricantes venden grados especiales de poliestireno choque translúcido.

Otro miembro de esta familia es el poliestireno expandido (EPS, siglas en inglés). Consiste en 95% de poliestireno y 5% de un gas que forma burbujas que reducen la densidad del material. Su aplicación principal es como aislante en construcción y para el embalaje de productos frágiles.

A partir de poliestireno cristal fundido se puede obtener, mediante inyección de gas, una espuma rígida denominada poliestireno extruido (XPS). Sus propiedades son similares a las del EPS, con el cual compite en las aplicaciones de aislamiento. Pero a diferencia del EPS, el poliestireno extruido presenta burbujas cerradas, por lo que puede mojarse sin perder sus propiedades aislantes, motivo por el cual ha posibilitado la aparición de las cubiertas invertidas. En las últimas décadas se ha desarrollado un nuevo polímero que recibe el nombre de poliestireno sindiotáctico. Se caracteriza por que los grupos fenilo de la cadena polimérica están unidos alternativamente a ambos lados de la misma, mientras que el poliestireno "normal" o poliestireno atáctico no conserva ningún orden con respecto al lado de la cadena donde están unidos los grupos fenilos. El "nuevo" poliestireno es cristalino y se funde a 270 °C, pero es mucho más costoso. Sólo se utiliza en aplicaciones especiales de alto valor añadido.

El pesomolecular promedio del poliestireno comercial varía entre 100.000 y 400.000 g mol^{-1} . Cuanto menor es el peso molecular, mayor es la fluidez y por tanto la facilidad de uso del material, pero menor es su resistencia mecánica.

Para conseguir un poliestireno a la vez fluido y resistente se puede acudir a distribuciones bimodales de pesos moleculares, un activo campo de investigación en el poliestireno.

2.7. Ramificación.

Las moléculas de poliestireno formadas en los procesos industriales actuales son muy lineales. En laboratorio es posible generar ramificación añadiendo al reactor sustancias como el divinilbenceno⁵ o peróxidos tetrafuncionales pero el poliestireno así obtenido es más caro y apenas presenta ventajas frente a sus equivalentes lineales.

2.8. Tacticidad.

Tacticidad es simplemente la forma en la que se encuentran dispuestos los grupos pendientes a lo largo de una cadena polimérica. Hablamos mucho de tacticidad cuando tratamos con los polímeros vinílicos, Para ilustrar la tacticidad, vamos a usar uno de esos polímeros vinílicos.

Muchas veces el poliestireno es representado como una figura plana similar a ésta:



Pero los polímeros no son en realidad así de planos. Los átomos de carbono no se encuentran en línea recta como esa, ni tampoco los hidrógenos y los grupos fenilo están situados de modo de formar ángulos rectos. La cadena carbonada constituye más bien un zigzag como éste:



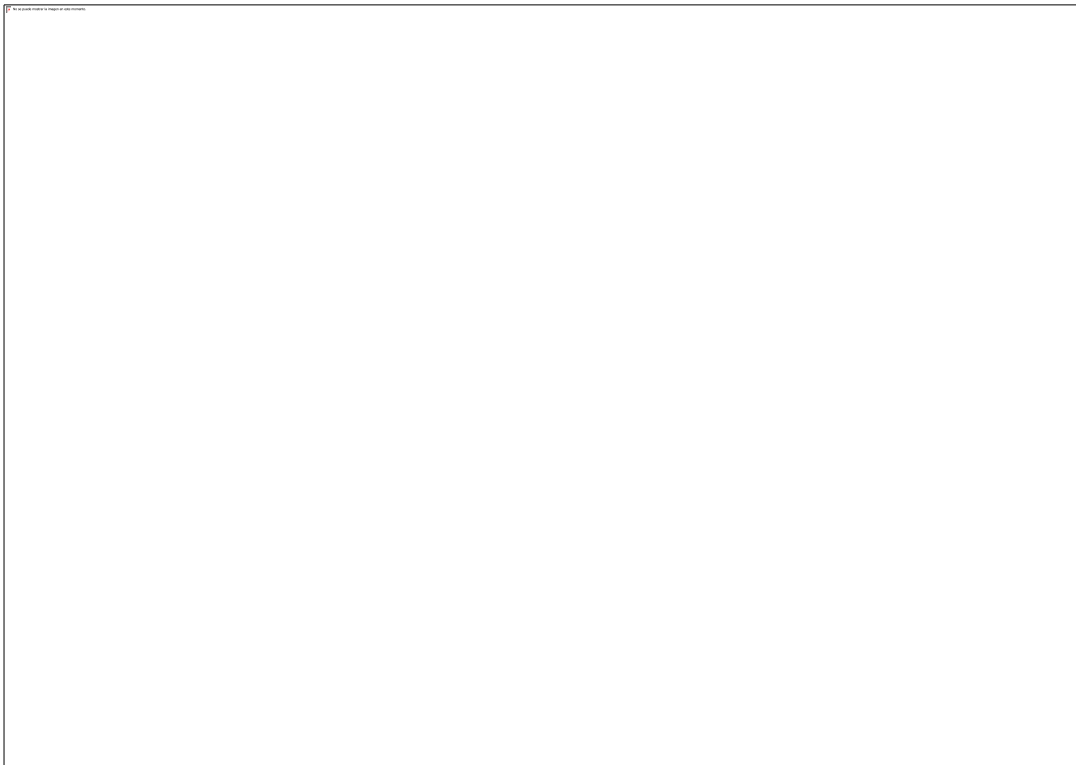
Los grupos pendientes tienden a dirigirse fuera de la cadena, de este modo:



A si es como funciona: las líneas regulares son enlaces químicos en el plano de la pantalla.

Las líneas oscuras gruesas son enlaces químicos apuntando hacia afuera de la pantalla. Las líneas punteadas son enlaces químicos apuntando hacia dentro de la pantalla.

En esa figura, se puede apreciar que los grupos fenilo se encuentran dispuestos del mismo lado de la cadena polimérica. Pero no tienen por qué hacerlo así. Para ilustrarlo, veamos algunas cadenas de poliestireno. Se puede apreciar que los grupos fenilo pendientes pueden estar tanto a la izquierda como a la derecha de la cadena. Si todos los grupos fenilo se encuentran del mismo lado de la cadena, decimos que el polímero es isotáctico. Si los grupos fenilo aparecen alternadamente a ambos lados de la cadena, se dice que el polímero es sindiotáctico. Si los grupos fenilo están distribuidos al azar a izquierda y derecha, sin ningún ordenamiento particular, decimos que el polímero es atáctico.



2.9. Estructura del poliestireno choque.

El poliestireno de alto impacto (high impact polystyrene o HIPS, en inglés) consiste en una matriz de poliestireno cristal en la cual están dispersas partículas microscópicas de caucho, casi siempre polibutadieno.

2.10. Tipo de caucho.

En la gran mayoría de los casos el caucho utilizado es el polibutadieno, en concreto grados fabricados con catalizadores de cobalto ("alto-cis") o litio ("bajo-cis"). El peso molecular del polibutadieno utilizado suele estar comprendido entre 180.000 y 260.000 g mol⁻¹.

En algunas aplicaciones muy minoritarias se utiliza un elastómero consistente en un di bloque estireno-butadieno. Debido a su mayor afinidad por el poliestireno (y por tanto menor tensión superficial), este polímero forma partículas de menor tamaño que las de polibutadieno.

Hasta los años 1960 se usó caucho estireno-butadieno (SBR) para la modificación de poliestireno pero desde entonces ha sido sustituido por el polibutadieno, que proporciona mejores propiedades mecánicas al producto.

2.11. Partículas de caucho.

En la mayoría de los poliestirenos comerciales la fase elastomérica se presenta en forma de partículas con una estructura llamada "tipo salami": una partícula más o menos esférica de polibutadieno que tiene a su vez en su interior partículas de

Poliestireno de diferentes tamaños, a las que se denomina "oclusiones". En algunos casos se observan partículas con morfología "core-shell" (que podría traducirse como "núcleo-envoltura"), en las que el caucho forma sólo una delgada membrana alrededor de una única oclusión de poliestireno, normalmente de pequeño tamaño (inferior a una micra de diámetro).

Para tener un poliestireno de alto impacto con buena resistencia mecánica hacen falta partículas tipo salami con un tamaño comprendido entre 1 y 6 micrómetros. Cuando el tamaño es inferior a una micra el producto se vuelve casi tan frágil como el poliestireno cristal, si bien la transparencia aumenta, lo cual puede ser interesante en algunas aplicaciones.

El tamaño de las partículas depende esencialmente de tres factores:

- el cizallamiento durante la inversión de fases.
- la relación de viscosidades entre el polibutadieno y la matriz de poliestireno.
- la cantidad de poliestireno injertado.

Se ha comprobado que una distribución bimodal de tamaños de partícula aumenta la resistencia al impacto del material. Existen diversos métodos químicos y físicos para conseguir o al menos aproximarse a la bimodalidad, siendo el más habitual el emplear dos polibutadienos de viscosidad diferente.

Al cociente entre el volumen ocupado por las partículas de polibutadieno (incluyendo las oclusiones) y el volumen total del poliestireno se le denomina

"fracción en volumen de la fase elastomérica" (RPVF, siglas en inglés). En líneas generales, cuanto mayor es la RPVF mejores son las propiedades mecánicas del poliestireno choque. Para aumentar la RPVF se puede añadir más polibutadieno pero esto tiene un grave inconveniente: el polibutadieno es más caro que el estireno o que el propio poliestireno choque. Por ello, la vía preferida es aumentar la cantidad de poliestireno ocluido en el interior de las partículas, lo cual constituye uno de los objetivos de todos los productores de poliestireno de alto impacto.

2.12. Injerto.

Durante la polimerización del estireno, a veces ocurre que un radical libre ataca uno de los dobles enlaces de las moléculas de polibutadieno, formando así una molécula de poliestireno unida químicamente a una de polibutadieno. Se dice entonces que el poliestireno está "injerto" en el polibutadieno.

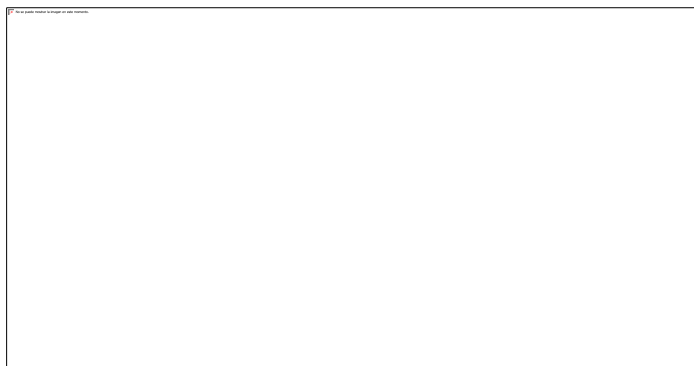
El injerto mejora las propiedades del poliestireno de alto impacto por dos motivos. Por un lado facilita la transmisión de energía entre las fases polibutadieno y poliestireno. Por otro, actúa como un emulsionante, estabilizando la dispersión de partículas de caucho en la matriz de poliestireno. Los productores de poliestireno de alto impacto tratan de adaptar su proceso para maximizar el injerto, a fin de Obtener la mejor relación posible entre propiedades mecánicas del producto y cantidad de caucho utilizado.

2.13. Reticulación.

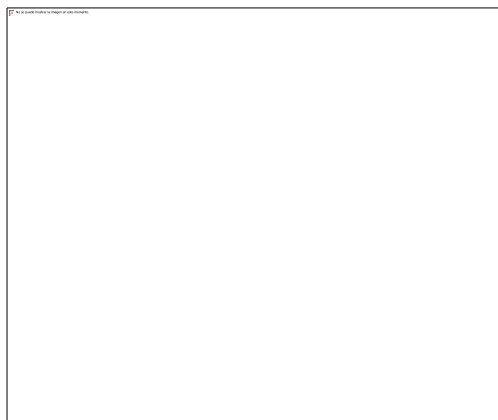
Los dobles enlaces del polibutadieno también pueden reaccionar entre sí, formando puentes entre las moléculas. A esto se le denomina "reticulación" de la fase elastomérica. La reticulación es más intensa cuanto más tiempo pasa el polibutadieno a alta temperatura. En el proceso de producción del poliestireno choque ocurre sobre todo en la sección de desvolatilización.

Cierto nivel de reticulación es necesario para que el caucho sea elástico pero, si la reticulación llega demasiado lejos, el caucho se vuelve rígido y por tanto el poliestireno pierde parte de su resistencia mecánica.

Química del poliestireno



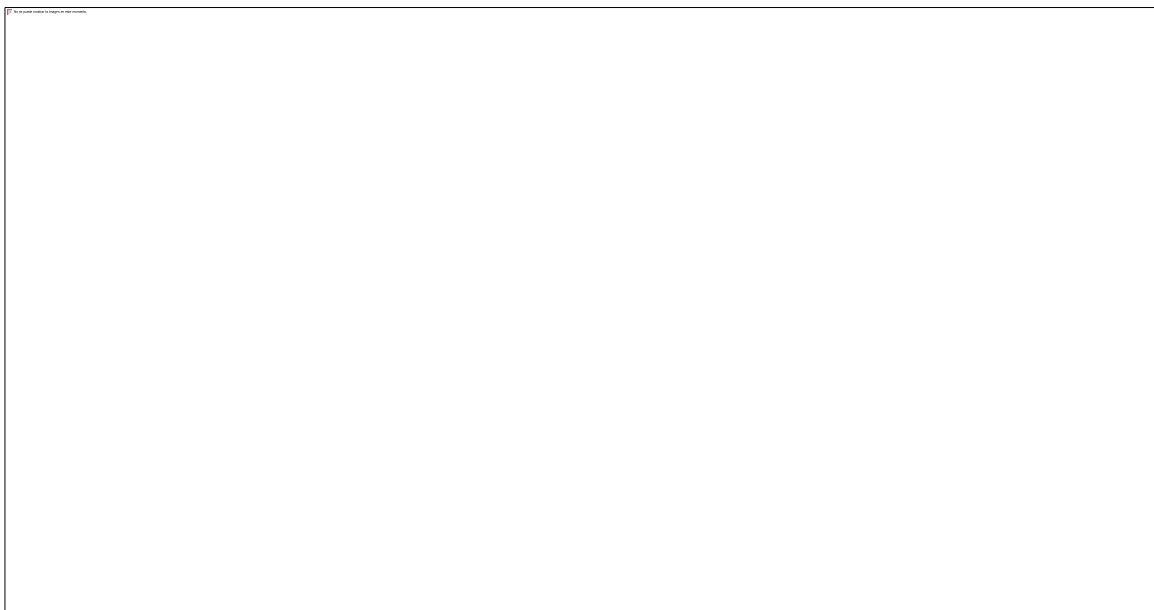
En la imagen anterior se muestra la fórmula del poliestireno.



En la imagen anterior se muestra la forma estructural del monómero de estireno.



En la imagen anterior se muestra el espectro de transmisión de infrarrojos de la película de poliestireno.



En la imagen anterior se muestra la estructura del poliestireno vista al microscopio, con 200 aumentos.

A escala industrial, el poliestireno se prepara calentando el etilbenceno en presencia de un catalizador para dar lugar al estireno. La polimerización del estireno se da por radicales libres, polimerización catiónica, polimerización aniónica o sobre catalizador.

2.14. Mecanismos de reacción.

El estireno puede polimerizar por cuatro mecanismos diferentes:

1. Por radicales libres. Los radicales de estireno se forman espontáneamente, a mayor velocidad cuanto mayor sea la temperatura. Por ello el estireno es almacenado en tanques refrigerados y estabilizado con inhibidores, que consumen los radicales libres. La velocidad de reacción se vuelve significativa a partir de una temperatura superior a los 100 °C. Se puede acelerar añadiendo iniciadores como por ejemplo peróxidos, que generan radicales libres adicionales.
2. Polimerización aniónica.
3. Polimerización catiónica.
4. Sobre catalizador.

Mediante el uso de catalizadores de Ziegler Natta o de tipo metalloceno se puede controlar de forma precisa la tacticidad del polímero formado. El poliestireno sindiotáctico se produce industrialmente de este modo.

En todos los casos la polimerización del estireno genera la misma cantidad de calor: 165 cal g⁻¹.

2.15. Inversión de fases.

En la producción de poliestireno choque, el medio de reacción consiste inicialmente sólo en una fase, una solución de polibutadieno en estireno ("fase PB"). A medida que el estireno va reaccionando, el poliestireno generado empieza a precipitar (a partir de 2% de conversión) y forma así una fase distinta, la "fase PS", que consiste en partículas de poliestireno dispersas en la fase PB. Las partículas de poliestireno van creciendo y siendo cada vez más numerosas hasta que, en cierto momento, ocupan un volumen igual al de la fase PB. A partir de entonces la disposición de las fases se invierte: la fase PS se convierte en el medio continuo y la fase PB pasa a formar partículas en el seno de la fase PS. A este fenómeno se le denomina inversión de fases.

La inversión de fases no es un fenómeno puntual ni instantáneo sino que se desarrolla sobre un intervalo de conversión relativamente amplio. El valor de este intervalo depende de varios parámetros, principalmente el porcentaje de caucho y el grado de injerto. En todo caso, es necesario un cierto grado de agitación en el reactor para que ocurra la inversión de fases; en caso de no hacerse de esta forma, el producto obtenido aparece como una mezcla informe de poliestireno y polibutadieno, sin distinción clara entre las dos fases.

Durante la inversión de fases la viscosidad de la mezcla aumenta de forma notable. Esto permite que sea detectada en laboratorio.

2.16. Propiedades mecánicas.

Tabla 1: Se describen las propiedades del PS choque y el PS cristal. Para el EPS.

Propiedad	PS cristal	PS choque	Comentarios
Módulo elástico en tracción(GPa)	3,0 a 3,4	2,0 a 2,5	
Alargamiento de rotura en tracción (%)	1 a 4	20 a 65	El PS cristal no es nada dúctil
Carga de rotura en tracción (MPa)	40 a 60	20 a 35	
Módulo de flexión (GPa)	3,0 a 3,4	1,6 a 2,9	El PS choque es mucho más flexible que el cristal y similar al ABS
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m ²)	2	3 a 12	El PS cristal es el menos resistente de todos los termoplásticos; el PS choque es intermedio
Dureza Shore D	85 a 90	60 a 75	El PS cristal es bastante duro, similar al policarbonato. El PS choque es similar al polipropileno.

El poliestireno "compacto" (sin inyección de gas en su interior) presenta la conductividad térmica más baja de todos los termoplásticos. Las espumas rígidas de poliestireno XPS presentan valores aun más bajos de conductividad, incluso menores de $0,03 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$, por lo que se suele utilizar como aislante térmico.

Sin embargo, tiene relativamente poca resistencia a la temperatura, ya que reblandece entre 85 y 105 °C (el valor exacto depende del contenido en aceite mineral). Cuando el poliestireno es calentado las cadenas son capaces de tomar numerosas conformaciones. Esta capacidad del sistema para deformarse con facilidad sobre su temperatura de transición vítrea permite que el poliestireno sea moldeado por calentamiento fácilmente.

2.17. Propiedades ópticas.

Mientras que el PS choque es completamente opaco, el PS cristal es transparente. Tiene un índice de refracción en torno a 1,57, similar al del policarbonato y el PVC.

Las mezclas de PS choque y cristal son más translúcidas pero también más frágiles cuanto más PS cristal contienen. Es posible encontrar un compromiso entre ambas propiedades de forma que los objetos fabricados, por ejemplo vasos desechables, sean transparentes a la vez que aceptablemente resistentes.

2.18. Propiedades eléctricas.

El poliestireno tiene muy baja conductividad eléctrica (típicamente de $10^{-16} \text{ S m}^{-1}$), es decir, es un aislante. Por sus propiedades suele usarse en las instalaciones de alta frecuencia.

2.19. Aplicaciones.

Las ventajas principales del poliestireno son su facilidad de uso y su costo relativamente bajo. Sus principales desventajas son su baja resistencia a la alta temperatura (se deforma a menos de 100 °C, excepto en el caso del poliestireno sindiotáctico) y su resistencia mecánica modesta. Estas ventajas y desventajas determinan las aplicaciones de los distintos tipos de poliestireno.

- El poliestireno choque se utiliza principalmente en la fabricación de objetos mediante moldeo por inyección. Algunos ejemplos: carcasas de televisores, impresoras, puertas e interiores de frigoríficos, maquinillas de afeitar desechables, juguetes. Según las aplicaciones se le pueden añadir aditivos como por ejemplo sustancias ignífugas o colorantes.
- El poliestireno cristal se utiliza también en moldeo por inyección allí donde la transparencia y el bajo coste son importantes. Ejemplos: cajas de CD, perchas, cajas para huevos. Otra aplicación muy importante es en la producción de espumas rígidas, denominadas a veces "poliestireno extruido" o XPS, a no confundir con el poliestireno expandido EPS. Estas espumas XPS se utilizan por ejemplo para las bandejas de carne de los supermercados, así como en la construcción.

- En Europa la mayor aplicación del poliestireno es la elaboración de envases desechables de productos lácteos mediante extrusión termo formado.

En estos casos se suele utilizar una mezcla de choque y de cristal, en proporción variable según se desee privilegiar la resistencia mecánica o la transparencia. Un mercado de especial importancia es el de los envases de productos lácteos, que aprovechan una propiedad casi exclusiva del poliestireno: su secabilidad. Es esto lo que permite separar un yogur de otro con un simple movimiento de la mano.

- La forma expandida (poliestireno expandido) se utiliza como aislante térmico y acústico y es ampliamente conocido bajo diversas marcas comerciales (Poliexpan, Telgopor, Emmedue, Icopor, etc.).
 - La forma extruida (poliestireno extruido) se emplea como aislamiento térmico en suelos, debido a su mayor resistencia mecánica, y también como alma en paneles sándwich de fachada. Pero su uso más específico es el de aislante térmico en cubiertas invertidas, donde el aislamiento térmico se coloca encima del impermeabilizante, protegiéndolo de las inclemencias del tiempo y alargando su vida útil.
 - Otras aplicaciones menores: indumentaria deportiva, por ejemplo, por tener la propiedad de flotar en agua, se usa en la fabricación de chalecos salvavidas y otros artículos para los deportes acuáticos; o por sus propiedades ligeras y amortiguadoras, se usa en la fabricación de cascos de ciclismo; también se utiliza como aglutinante en ciertos explosivos como el RDX y en el Napalm (por ejemplo en el MK77¹⁸).
-

2.20. Proceso de producción.

El proceso más utilizado en la actualidad para el poliestireno se basa en la polimerización radical en masa. "Radical" significa que la reacción es iniciada por radicales libres, generados bien térmicamente bien mediante moléculas específicas denominadas iniciadores. "En masa" significa que el medio de reacción está formado esencialmente por estireno y poliestireno, añadiéndose a veces otro hidrocarburo inerte perfectamente miscible con el estireno, a menudo etilbenceno, que sirve para moderar la velocidad de reacción. Las líneas basadas en procesos en emulsión y en solución han quedado anticuadas hoy día, siendo reservadas a la producción de grados de especialidad.

Existen numerosas licencias de proceso de estireno disponibles en el mercado. Se diferencian en detalles tecnológicos que tratan de mejorar tanto la calidad del producto como la productividad del proceso pero en esencia el fondo del proceso es el mismo para todas.

2.21. Proceso del poliestireno cristal.

1. Acondicionamiento de las materias primas. Al no estar basado en catalizadores, el proceso del poliestireno puede aceptar concentraciones altas de impurezas en las materias primas, por lo que prácticamente no se realiza purificación de las mismas. Algunas plantas hacen pasar el estireno por un lecho de alúmina para retirar el inhibidor de polimerización.

2. **Reacción.** El estireno polimeriza espontáneamente y de manera rápida en cuanto más alta sea la temperatura. Los reactores son en esencia recipientes en los que se fija una temperatura (típicamente entre 100 y 200 °C) y se asegura la homogeneidad mediante agitación. Para acelerar la reacción se pueden añadir también peróxidos, que actúan como iniciadores de polimerización. Existen muchos diseños diferentes de reactor que se diferencian principalmente por la forma de evacuar el calor (por tubos internos o condensador externo), por la distribución de tiempos de residencia (tanque agitado o flujo pistón) y por el tipo de agitación.

3. **Desvolatilización.** La conversión en los reactores oscila, según el proceso concreto de que se trate, entre un 60 y un 90%. El estireno no convertido y Etilbenceno son separados del poliestireno en la sección de desvolatilización y recirculados a la alimentación. Aunque los diseños varían según las licencias, la desvolatilización consiste generalmente de uno o varios recipientes vacíos (llamados desvolatilizadores) en los que se aplica alta temperatura y vacío extremo a fin de dejar menos del 0,1% de hidrocarburos residuales en el producto. No obstante, la temperatura no debe superar cierto valor (entre 250 y 300 °C) para no degradar las propiedades del poliestireno.

4. Purificación del reciclo. El estireno y etilbenceno separados en la desvolatilización (corriente a la que se llama *reciclo*) contienen gran parte de las impurezas introducidas con las materias primas. En algunas plantas se procede a una purificación del reciclo, bien por destilación en vacío, bien mediante lechos de alúmina. En otras plantas simplemente se purga una parte del reciclo, lo cual permite mantener la concentración de impurezas en el proceso bajo control.

5. Granulación. En el proceso más frecuente, el poliestireno fundido que sale del desvolatilizador pasa por una hilera de agujeros, formando hilos de pocos milímetros de espesor que son enfriados en un baño de agua, secados y cortados en forma de pequeños cilindros a los que se denomina granza.

En otro proceso los hilos se cortan antes de secarlos, con la ventaja de generar menos polvo. Por último, en una pequeña minoría de plantas el cortador está situado directamente dentro del baño de agua, en una configuración idéntica a la utilizada para las poliolefinas por ejemplo.

6. Expedición. El poliestireno es o bien enviado a silos para ser vendido a granel o bien ensacado y embalado en palés de una tonelada.

2.22. Particularidades del proceso del poliestireno choque.

El poliestireno choque se produce según un proceso muy similar al del poliestireno cristal, por lo que a continuación sólo se enumeran las diferencias.

La diferencia más obvia es que hay que disolver el caucho (normalmente polibutadieno aunque en ocasiones se utiliza estireno-butadieno) en el estireno antes de alimentarlo a los reactores. Para ello se emplean grandes tanques agitados.

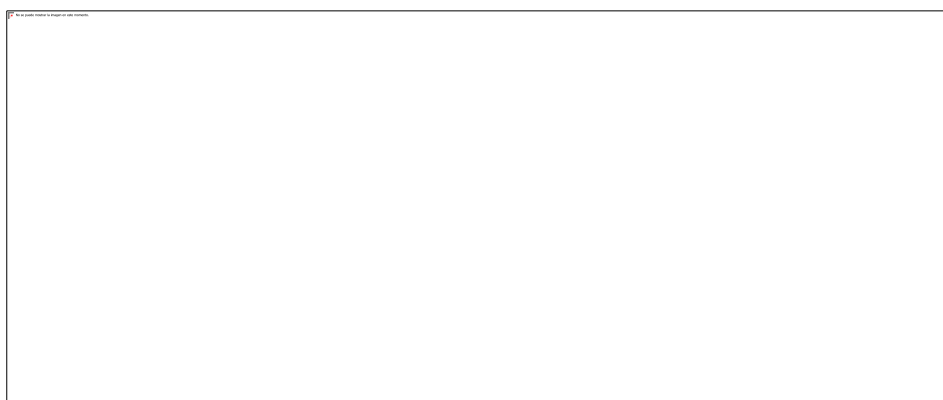
Los reactores pueden tener la misma geometría que los del poliestireno cristal pero su control es mucho más delicado porque los parámetros de la reacción influyen en la morfología de las partículas de polibutadieno (cantidad de partículas, tamaño, forma), lo cual tiene un gran efecto sobre las propiedades mecánicas del Producto final. Por último, la temperatura de desvolatilización también debe ser controlada de forma más fina porque de ella depende la reticulación del polibutadieno, que no debe ser ni excesiva ni insuficiente.

En la tabla 2 se muestra el consumo de los plásticos más utilizados por la industria donde se destaca al **poliestireno** como el quinto más usado.

Tabla: 2

PLÁSTICOS	ABREVIATURA	MILES DE TONELADAS
➤ Polietileno de baja densidad	PEBD	1314
➤ Polietileno de alta densidad	PEAD	1022
➤ Tereftalato de polietileno	PET	633
➤ Polipropileno	PP	974
➤ Poliestireno	PS	389
➤ Policloruro de vinilo	PVC	535
	TOTAL	6424

En la gráfica 1 se observa el porcentaje a nivel mundial de la producción de distintos plásticos.

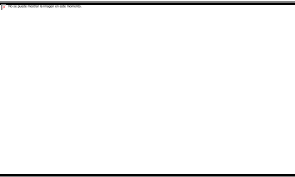
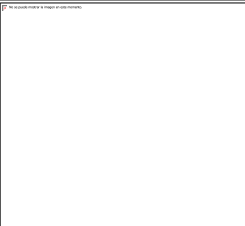


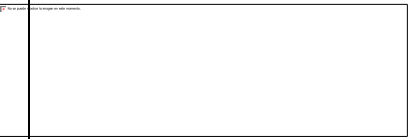



En la tabla 3 se indican los modos de fabricación y usos del poliestireno.

Tabla: 3

MÉTODO DE FABRICACIÓN	USOS
MOLDEO POR INYECCIÓN	Juguetes Carcasas de radio y televisión Partes del automóvil Instrumental médico Menaje doméstico Tapones de botellas Contenedores
MOLDEO POR SOPLADO	Botellas Contenedores Partes del automóvil
EXTRUSIÓN	Películas protectoras Perfiles en general Reflectores de luz Cubiertas de construcción
EXTRUSIÓN Y TERMOCONFORMADO	Interiores de frigoríficos Equipajes Embalajes alimentarios Servicios desechables Grandes estructuras del automóvil

La Tabla 4 muestra los polímeros más utilizados y usos.

POLÍMERO	ESTRUCTURA [...] _n	USOS	CANTIDAD (10 ⁹ ton/año en 1995)
POLÍMEROS DE ADICIÓN: POLIETILENO	[-CH ₂ -CH ₂ -]	Películas, empaques, botellas	10,4
POLIPROPILENO		Utensilios de cocina, fibras, aparatos domésticos	4,3
POLIESTIRENO		Empaque, recipientes desechables para alimentos, aislamiento	2,6
CLORURO DE POLIVINILO		Empalmes de tuberías, película transparente para empacar carnes	5,0
POLÍMEROS DE CONDENSACIÓN POLIURETANOS		Relleno de espuma para muebles, aislamiento aplicado por aspersión, partes de automóviles, calzado, recubrimientos impermeables al agua	0,7
POLIETILEN- TEREFTALATO (UN POLIÉSTER)			1,7
NYLON 6,6		Muebles, cortinas, ropa, fibras para alfombra, sedal para pescar	1,2

2.23. Producción de poliestireno a nivel mundial.

El monómero utilizado como base en la obtención del poliestireno es el estireno (vinilbenceno): $C_6 H_5 - CH = CH_2$

2.24. Obtención del poliestireno.

A escala industrial, el poliestireno se prepara calentando el etilbenceno ($C_6 H_5 - CH_2 - CH_3$) en presencia de un catalizador para dar lugar al estireno ($C_6 H_5 - CH = CH_2$). 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.



Figura de la polimerización del estireno en presencia de un indicador.

Proceso de obtención del poliestireno a nivel industrial.



En la figura anterior se muestra el proceso de la obtención del poliestireno a nivel industrial.

2.25. Disolventes utilizados.

2.26. Gasolina. La gasolina es una mezcla de hidrocarburos derivada del petróleo que se utiliza como combustible en motores de combustión interna con encendido por chispa convencional o por compresión (Dies Otto), así como en estufas, lámparas, limpieza con solventes y otras aplicaciones. En Argentina, Paraguay y Uruguay, la gasolina se conoce como «nafta» (del árabe «naft»), y en Chile, como «bencina».

Tiene una densidad de 680 g/L^1 (un 20% menos que el gasoil, que tiene 850 g/L). Un litro de gasolina tiene una energía de 34,78 megajulios, aproximadamente un 10% menos que el gasoil, que posee una energía de 38,65 megajulios por litro de carburante. Sin embargo, en términos de masa, la gasolina tiene 3,5% más de energía.

Composiciones químicas.

Normalmente se considera nafta a la fracción del petróleo cuyo punto de ebullición se encuentra aproximadamente entre 28 y 177 °C (umbral que varía en función de las necesidades comerciales de la refinería). A su vez, este subproducto se subdivide en nafta ligera (hasta unos 100 °C) y nafta pesada (el resto). La nafta ligera es uno de los componentes de la gasolina, con unos números de octano en torno a 70. La nafta pesada no tiene la calidad suficiente como para ser utilizada para ese fin, y su destino es la transformación mediante reformado catalítica, proceso químico por el cual se obtiene también hidrógeno, a la vez que se aumenta el octanaje de dicha nafta.

Además de la nafta reformada y la nafta ligera, otros componentes que se usan en la formulación de una gasolina comercial son la nafta de FCC, la nafta ligera isomerizada, la gasolina de pirólisis desbencenizada, butano, butenos, MTBE, ETBE, alquilato y etanol. Las fórmulas de cada refinería suelen ser distintas (incluso perteneciendo a las mismas compañías), en función de las unidades de proceso de que dispongan y según sea verano o invierno.

La nafta se obtiene por un proceso llamado fluid catalytic cracking *FCC* (a veces denominada gasolina de FCC) de gasoil pesado. Si no está refinada puede tener hasta 1.000 ppm de azufre. Tiene alrededor de un 40% de aromáticos y 20% de olefinas. Sus números de octano (MON/RON) están en torno a 80/93.

La nafta ligera isomerizada (isomerato) se obtiene a partir de la nafta ligera de destilación directa, mediante un proceso que usa catalizadores sólidos en base platino/aluminio o zeolíticos. Es un componente libre de azufre, benceno, aromáticos y olefinas, con unos números de octano (MON/RON) en torno a 87/89.

La gasolina de pirólisis desbencenizada se obtiene como subproducto de la fabricación de etileno a partir de nafta ligera. Está compuesta aproximadamente por un 50% de aromáticos (tolueno y xilenos) y un 50% de olefinas (isobuteno, hexenos). Tiene en torno a 200 ppm de azufre.

El benceno que contiene en origen suele ser purificado y vendido como materia prima petroquímica. Sus números de octano (MON/RON) están en torno a 85/105.

El alquilato se obtiene a partir de isobutano y butenos, mediante un proceso que usa catalizadores ácidos (bien ácido sulfúrico bien ácido fluorhídrico). Tampoco tiene azufre, benceno, aromáticos ni olefinas. Sus números de octano (MON/RON) están en torno a 94/95.

Tabla 5: Comparaciones con otros combustibles.

Combustible	Densidad Energética	Proporción de Mezcla Aire Combustible	Energía Específica	Calor de Vaporización	RON	MON
Gasolina y Biogasolina	32 MJ/L	14.6	2.9 MJ/kg air	0.36 MJ/kg	91– 99	81– 89
Butanol	29.2 MJ/L	11.1	3.2 MJ/kg air	0.43 MJ/kg	96	78
Etanol	19.6 MJ/L	9.0	3.0 MJ/kg air	0.92 MJ/kg	107	89
Metanol	16 MJ/L	6.4	3.1 MJ/kg air	1.2 MJ/kg	106	92

2.27. Acetona.

La acetona es un líquido incoloro, de olor característico agradable, volátil, altamente inflamable y sus vapores son más pesados que el aire.

Se obtiene como subproducto en la fermentación por medio de la cual se obtiene alcohol butílico; por oxidación de isopropanol; por ruptura de hidroperóxido de cumeno en la cual se obtiene, además, fenol; por destilación de acetato de calcio; por destilación destructiva de madera y a partir de oxidación por cracking de propano.

Es utilizada como disolvente de grasas, aceites, ceras, hules, plásticos, lacas y barnices. Se usa en la manufactura de algunos explosivos, rayón, películas fotográficas, elaboración de removedores de pinturas y barnices, purificación de parafinas, en la deshidratación y endurecimiento de tejidos, en la extracción de algunos productos vegetales y animales y como materia prima en una gran variedad de síntesis en química orgánica. Por otra parte, junto con hielo y dióxido de carbono sólido, se puede utilizar para enfriar a temperaturas muy bajas.

FÓRMULA: C_3H_6O , CH_3COCH_3 .

PESO MOLECULAR: 58.08 g/ mol.

COMPOSICIÓN: C: 62.04 %; H: 10.41 % y O: 27.55 %.

Propiedades físicas y termodinámicas.

Punto de ebullición: 56.5 °C

Punto de fusión: -94 °C.

Densidad: 0.788 g/ ml (a 25 °C); 0.7972 g/ml (a 15 °C)

Índice de refracción: 1.3591 (a 20 °C) y 1.3560 (a 25 °C).

Punto de inflamación en copa cerrada (flash point): -18 °C.

Temperatura de autoignición: 538 °C.

Presión de vapor a (20 °C): 185 mm de Hg

Densidad de vapor (aire = 1): 2

Limites de explosividad: 2.6-12.8 %

Conductividad eléctrica (S/cm): 5.5 X 10⁸ (a 298.15 K)

Temperatura crítica: 235.05 °C

Presión crítica: 35257.5 mm de Hg

Volumen crítico: 0.209 l/mol.

Momento dipolar: 2.88 debyes.

Volumen molar (l/mol): 0.739 (a 298.15 K)

Densidad molar (mol/l): 16.677 (sólido a -99 °C), 13.506 (líquido a 298.15 K)

Temperatura de punto triple: -94.7 °C.

Presión de punto triple: 19.46 mm de Hg

Solubilidad: Miscible con agua, alcoholes, cloroformo, dimetilformamida, aceites y éteres.

2.28. Diesel. El gasóleo, también denominado gasoil o diesel, es un líquido de color blanco o verdoso y de densidad sobre 850 kg/m^3 ($0,850 \text{ g/cm}^3$), compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en motores diesel y en calefacción. Su poder calorífico es de 8.800 Kcal/kg .

Cuando es obtenido de la destilación del petróleo se denomina petrodiesel y cuando es obtenido a partir de aceites vegetales se denomina biodiesel. El diesel cuesta algo menos que la gasolina por una cuestión de impuestos, su rendimiento es más eficaz (un vehículo diesel consume menos combustible por distancia recorrida que un vehículo de gasolina).

En los motores Diesel, su combustión no utiliza la chispa de una bujía para encender la mezcla (donde el gasóleo es el combustible y el oxígeno el comburente), sino el aumento de presión y por lo tanto, de temperatura en la compresión que se produce en el segundo tiempo de los motores de combustión interna. En el motor de cuatro tiempos, dependiendo de las carreras del pistón, se dan sucesivamente admisión, compresión, expansión (tras la combustión de la mezcla) y escape. En el motor de dos tiempos la admisión ocurre en la misma carrera que la expansión y la compresión en la misma carrera que el escape.

Propiedades.

En 2010 la densidad del diesel proveniente de petróleo era aproximadamente de 0.832 kg/l (varía según la región), un 12% más que la gasolina que tiene una densidad de 0.745 kg/l. Aproximadamente el 86.1% del diesel es carbono, y cuando se combustión ofrece un valor calorífico de 43.1 MJ/kg contra 43.2 MJ/kg de la gasolina. Sin embargo, debido a la mayor densidad, el diesel ofrece un densidad volumétrica energética de 35,86 MJ/l contra los 32,18 MJ/l de la gasolina, lo que supone un 11% mayor, que podría ser considerada cuando comparamos la eficiencia del gasoil frente al volumen. Las emisiones de CO₂ del diesel son de 73,25 g/MJ, solo ligeramente más bajas que la gasolina, con 73,38 g/MJ.

El gasóleo es generalmente más simple de refinar del petróleo que la gasolina, y contiene hidrocarburos con un punto de ebullición entre 180-360 °C. El precio del diesel suele crecer en los meses fríos ya que aumenta la demanda de fueloil, que es refinado de la misma fracción. Debido a los recientes cambios en la normativa de calidad del combustible, las refinerías están obligadas a sustraer el sulfuro, lo que contribuye a aumentar el coste. En algunas zonas de Estados Unidos, Reino Unido y Australia, el diesel puede ser más caro que la gasolina, debido a razones muy variadas: Cortes en el suministro en el Golfo de México, filtrado de los sulfuros, desvió de la capacidad de refino en masa a la producción de gasolina. En Suecia, existe un diesel designado MK-1 que tiene menos contenido de aromáticos, limitados al 5%, y es ligeramente más caro que el normal, pero menos contaminante.

CAPITULO 3. DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS Y DIAGRAMA DE PROCESO.

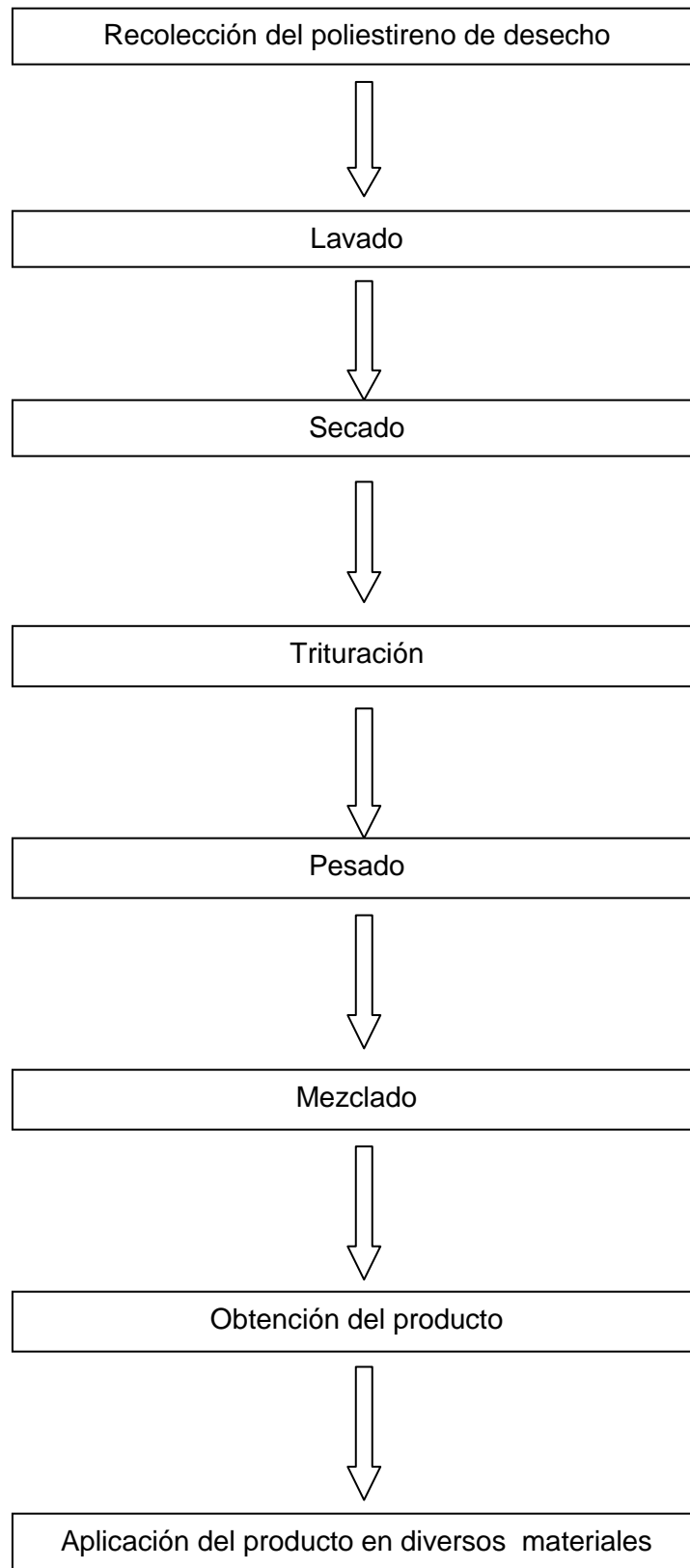
3.1. Descripción de las actividades realizadas.

1. Recolección del poliestireno de desecho. Se recolectó unigel de laboratorios donde tienen equipos nuevos, estos venían protegidos por unigel a si como de envases y platos para alimentos.
2. Lavado. Se lava con detergente y abundante agua el poliestireno recolectado, para quitar cualquier tipo de suciedad y color impregnado.
3. secado. Se expone al sol y al aire libre durante un día al poliestireno, para obtener un secado adecuado.
4. Trituración. Se hizo una trituración manualmente hasta obtener partículas pequeñas para hacer un mezclado adecuado.
5. Pesado. Se pesa el poliestireno en bolsas de plástico, para obtener mayor exactitud, en una balanza analítica.
6. Mezclado. Se elabora mezcla del unigel con distintos disolventes en diferentes proporciones.

7. Obtención del producto. Se formularon diferentes productos debido a que se utilizaron distintos disolventes en diferentes proporciones.

8. Aplicación del producto en diversos materiales porosos. Se hicieron pruebas en techos porosos, para verificar su calidad de impermeabilizante, ejemplo: concreto y madera que van a estar expuestas al agua.

3.1. Diagrama de flujo del proceso.



CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Características generales de la mezcla de poliestireno con acetona.

Tabla 1.

TABLA DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MEZCLA DE POLIESTIRENO CON ACETONA					
TABLA 1					
PRODUCTO	POLIESTIRENO (grs)	ACETONA (ml)	DENSIDAD (g/cm ³)	RENDIMIENTO (cm ²)	COLOR
1	25	30	0.89	20	Blanco
2	28	40	0.19	30	Blanco
3	30	40	0.45	35	Blanco
4	40	45	0.255	35	Blanco
5	50	50	0.57	40	Blanco
6	60	70	0.575	45	Blanco

Tabla 2. Características generales de los productos de poliestireno con proporciones diferentes de acetona.

TABLA DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MEZCLA DE POLIESTIRENO CON ACETONA					
TABLA 2					
PRODUCTO	TIEMPO DE SECADO (min)	TIEMPO DE SECADO TOTAL (hrs.)	VENTAJAS DEL PRODUCTO	DESVENTAJAS DEL PRODUCTO (más de 1000hrs)	COLOR
1	60	24	Buena adherencia, resistencia	Quiebre	Blanco
2	60	24	Buena adherencia, resistencia	Quiebre	Blanco
3	60	24	Buena adherencia	Quiebre	Blanco
4	60	24	Buena adherencia	Quiebre	Blanco
5	60	24	Buena adherencia	Quiebre	Blanco
6	60	24	Buena adherencia	Quiebre	Blanco

4.2. Características generales del producto de poliestireno con gasolina.

Tabla 3.

TABLA DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MEZCLA DE POLIESTIRENO CON GASOLINA					
TABLA 3					
PRODUCTO	POLIESTIRENO (grs)	GASOLINA (ml)	DENSIDAD (g/cm ³)	RENDIMIENTO (cm ²)	COLOR
1	30	30	0.295	20	Traslucido
2	40	30	0.223	20	Traslucido
3	50	50	0.433	30	Amarillo
4	55	60	1.01	35	Amarillo
5	60	60	0.33	35	Amarillo
6	70	100	0.95	40	Amarillo

Tabla 4. Características generales de los productos de poliestireno con proporciones diferentes de gasolina.

TABLA DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MEZCLA DE POLIESTIRENO CON GASOLINA					
TABLA 4					
PRODUCTO	TIEMPO DE SECADO (min)	TIEMPO DE SECADO TOTAL(hrs.)	VENTAJAS DEL PRODUCTO	DESVENTAJAS DEL PRODUCTO	COLOR
1	60	24	adherencia, resistencia, flexible	Aplicación	Traslucido
2	60	24	adherencia, resistencia, flexible	Aplicación	Traslucido
3	60	24	adherencia, flexible	Aplicación	Amarillo
4	60	24	adherencia, flexible	Aplicación	Amarillo
5	60	24	adherencia, resistencia	Aplicación	Amarillo
6	60	24	B adherencia, resistencia	Aplicación	Amarillo

4.3. Discusión de resultados.

El poliestireno es un material adecuado para disolverlo en distintos solventes ya que tiene características adecuadas para formar una pasta que puede ser utilizado como un impermeabilizante, al ser mezclado con solventes como la gasolina, acetona y el diesel le dan características especiales ya que resiste altas y bajas temperaturas, se adhiere a cualquier superficie con gran efectividad y es muy resistente.

- La mezcla diesel con poliestireno no es adecuada ya que no logra disolverlo en su totalidad, por lo tanto, el diesel es una mala opción como disolvente.
- La mezcla acetona con poliestireno forma pasta lechosa de fácil aplicación, resistente a altas temperaturas, se adhiere muy bien a cualquier superficie; pero al evaporarse el disolvente y al transcurrir el tiempo se vuelve quebradiza, por lo que no es una buena opción.
- La mezcla de gasolina con el poliestireno forma una pasta que se adhiere con mayor efectividad, resiste altas temperaturas, y cambios bruscos del clima, es transparente y no se quiebra; además tiene una vida mayor por lo tanto constituye la mejor opción.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

En la realización de pruebas de laboratorio y a la intemperie se utilizaron disolventes; entre los que se pueden citar, diesel, acetona y gasolina.

Los resultados obtenidos de dichas pruebas nos indican que el disolvente más adecuado para utilizarlo con el poliestireno es la gasolina; entre las propiedades obtenidas en el producto elaborado con este disolvente podemos citar: que se adhiere con mayor efectividad, resiste altas temperaturas, y cambios bruscos del clima, es transparente y no se quiebra; además tiene una mayor vida útil como impermeabilizante en la intemperie.

5.2. Recomendaciones.

- Construir una planta piloto para procesar poliestireno recolectado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- <http://www.anape/es/pdf/eco-eps.pdf>
- <http://www.anipac.com.mx/externo/2012ima/UNICEL5.pdf>
- <http://www.basurillas.org/reciclaje-de-poliestireno-expandido-o-corcho-blanco/>
- BIRON, Michel (1998) (en francés). Propriétés des thermoplastiques. Techniques de l'Ingénieur.
- <http://www.cassaverdde.com/desventajasdeunicel.html>
- <http://www.comoreciclar.com/reciclar-poliestireno-expandido.php>
- <http://epsproecologia.blogspot.mx/2008/02/formas-de-reciclar-y-reutilizar.html>
- http://ehowenespanol.com/pasos-reciclar-poliestireno-como_43567/
- http://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno_expandido
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno>
- www.imperllantashidalgo.com
- <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r64362.PDF>
- <http://www.ikkaro.com/reciclar-poliestireon-styrofoam>
- J.glynn Henry y Gary w. Heike (1999). Ingeniería ambiental: México Pretince Hall. Segunda edición.
- Kiely Gerard (1999), Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, España: Mc graw hill interamericana. Primera edición.
- <http://www.linkedin.com/groups/NUEVA-ENTRADA-BLOG-Reciclaje-Poliestireno-3816515.S.119474148>

- <http://www.miltek.com.mx/Poliestireno.aspx?ID=15883>

- <http://noticias.universia.net.mx/en-portada/noticia/2011/11/07/885931/unam-creo-programa-reciclaje-poliestireno.html>

- [http://noticias.universia.net.mx/ciencia-nt/noticia/2011/10/14/878350/unam-impulsa-programa-reciclar-productos-poliestireno-expandido-\(unicel\).html](http://noticias.universia.net.mx/ciencia-nt/noticia/2011/10/14/878350/unam-impulsa-programa-reciclar-productos-poliestireno-expandido-(unicel).html)

- <http://noticias.universia.net.mx/en-portada/noticia/2011/11/07/885931/unam-creo-programa-reciclaje-poliestireno.html>

- <http://www.parqueespana2.com.mx/Responsabilidadsocial/Unicel/tabid/135/Default.aspx>

- <http://www.pslc.ws/spanish/tact.htm>

- <http://www.quiminet.com/productos/poliestireno-reciclado-6250257434.htm>

- <http://reciclajeverde.wordpress.com/2012/05/29/reciclaje-poliestiren/>

- <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno/usos>

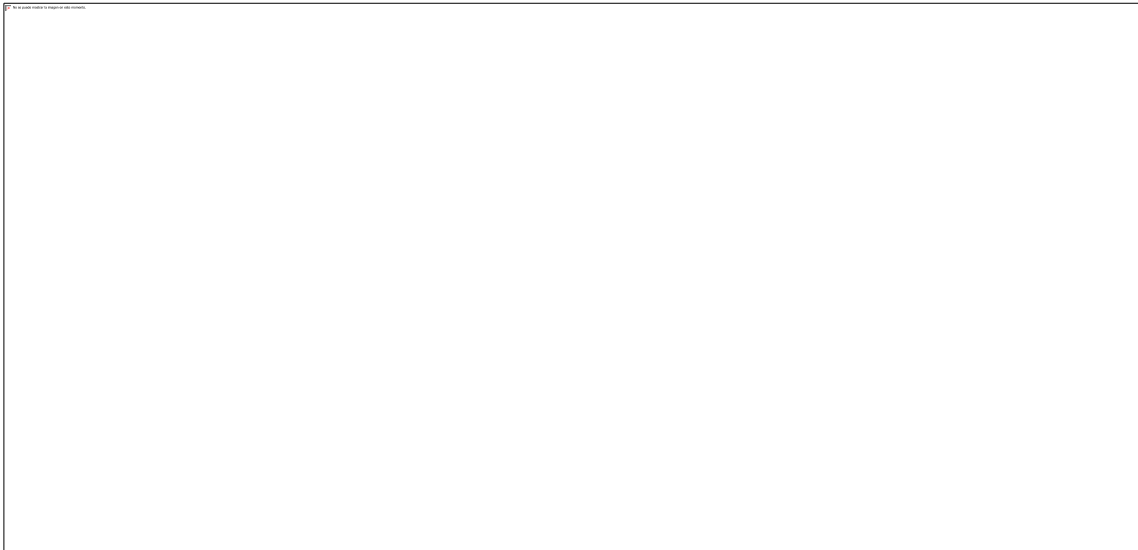
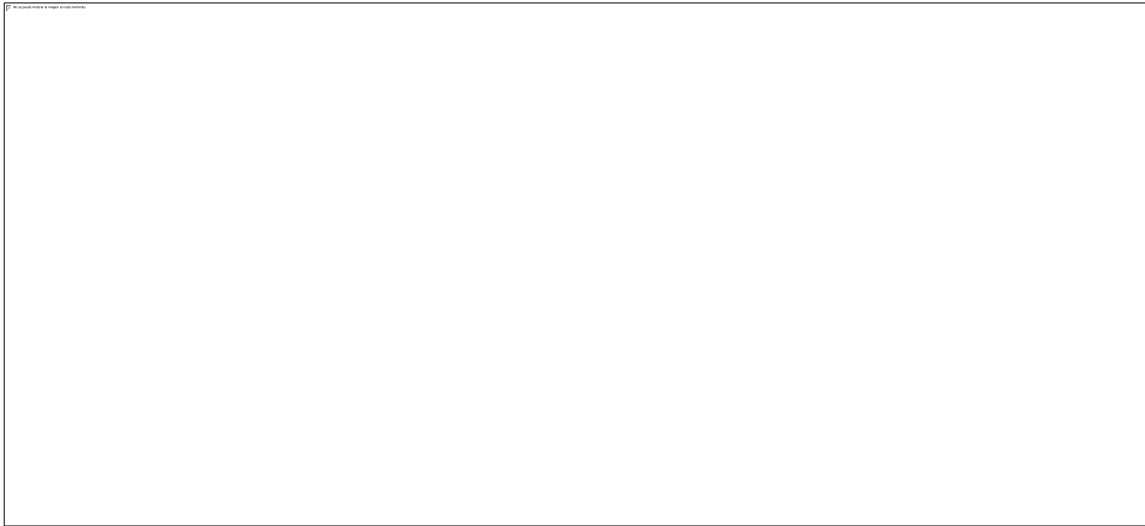
- <http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietireno/reciclado>

- <http://usic13.ugto.mx/pimaug/pdf/uNICEL2.pdf>

ANEXOS

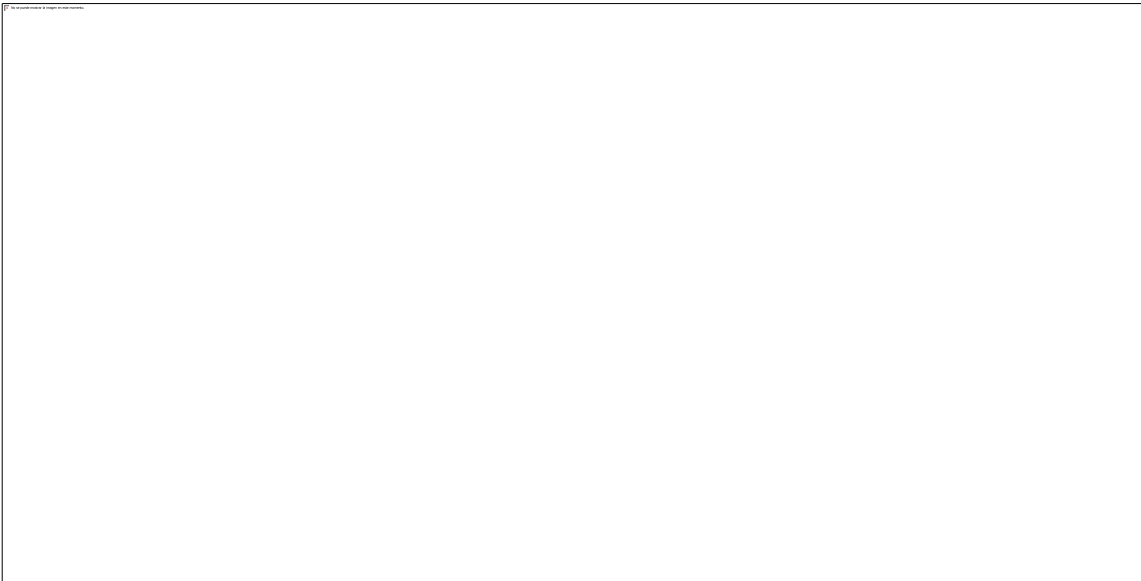
➤ Anexos 1.

Imágenes de la mezcla de poliestireno con acetona a distintas concentraciones aplicada en madera.



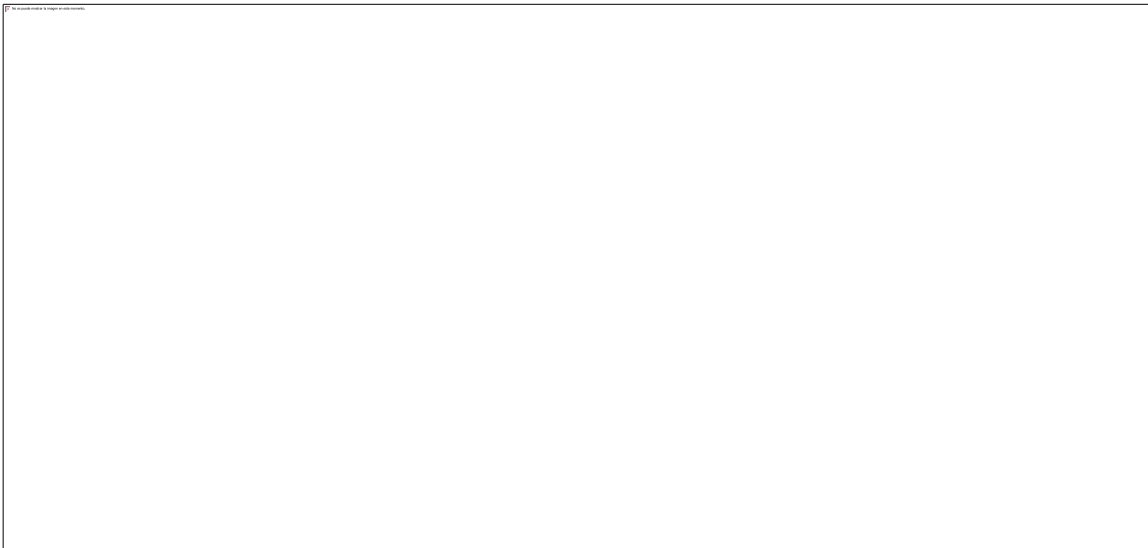
➤ Anexos 2.

Imágenes de la mezcla de poliestireno con acetona a distintas concentraciones aplicada en techos de concreto.



➤ Anexos 3.

Imágenes de la mezcla de poliestireno con gasolina a distintas concentraciones aplicada en madera.



➤ Anexos 4.

Imágenes de la mezcla de poliestireno con gasolina a distintas concentraciones aplicada en techos de concreto.

