

**ESTUDIO EXPLORATORIO PARA EL USO DE COPOLÍMEROS ESTIRENO-
CAUCHO COMO RECUBRIMIENTOS EN LÁMINAS DE METAL DE HIERRO**

**JENNY FABIANA SOLANO MARTINEZ
MAYKA IRINA BAUTISTA BETANCUR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2007**

**ESTUDIO EXPLORATORIO PARA EL USO DE COPOLÍMEROS ESTIRENO-
CAUCHO COMO RECUBRIMIENTOS EN LÁMINAS DE METAL DE HIERRO**

**JENNY FABIANA SOLANO MARTINEZ
MAYKA IRINA BAUTISTA BETANCUR**

Trabajo presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Químico

**Director de Proyecto
JOSÉ CARLOS GUTIÉRREZ GALLEGO
Químico M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2007

DEDICATORIA

A Dios por ser la luz que ilumina mi vida...

A mis padres por su confianza e inmenso amor...

A mi hermanita por estar siempre conmigo...

A mis nonitos y a mis tíos por su compañía y apoyo incondicional...

A mi madrinita por sus sabios consejos...

Y a mis grandes amigos por los hermosos momentos compartidos...

...Todos ustedes son dueños de este triunfo... gracias...

Jenny Fabiana

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia celestial por ser la guía espiritual en todos los momentos de mi vida.

A mis padres Armando y Lucia por ser el motor que me brinda amor y valor para las decisiones tomadas.

**A mis hermanos Pedro, Silvia, Luisa, Diego y Martha
Por ser la fortaleza y ganas de vivir.**

A mi amiga Yasneidy por su consejo y apoyo incondicional.

A mis amigos Diego, Daniela y Fabiana por la compañía y amistad que siempre me manifiestan.

Mayka Irina.

AGRADECIMIENTOS

Nuestros sinceros agradecimientos:

A la colaboración del profesor José Carlos Gutiérrez, como director de nuestro proyecto de grado; por todo su empeño y aporte de valiosas ideas para el desarrollo del proyecto.

A los técnicos Eduardo, Wilson y al Ingeniero Guillermo del laboratorio de Operaciones Unitarias, Escuela de Ingeniería Química por su colaboración en este trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. Conceptos Básicos	3
1.1.1. Recubrimiento Polimérico	3
1.1.2. Copolímero	3
1.2. Materias Primas	3
1.2.1. Estireno	3
1.2.2. Poliestireno PS	3
1.2.3. Caucho Natural (Poliisopreno)	4
1.3. Aportes al Recubrimiento	5
1.4. Catalizadores y Acelerantes	5
1.4.1. Mek Peróxido (peróxido Metil Etil Cetona)	6
1.4.2. Naftenato de Cobalto	6
1.5. Transición Vítreo del Polímero	6
1.6. Proceso de Curado	7
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	7
2.1. Proceso de Lavado de Estireno	7
2.2. Proceso de Hinchamiento Estireno-Caucho	8
2.3. Dispersión de poliestireno post-consumo en Estireno	8
2.4. Polimerización de Estireno lavado	8
2.5. Polimerización de poliestireno post-consumo y estireno	9
2.6. Polimerización Estireno-Caucho	10
2.7. Polimerización Caucho-Estireno-Poliestireno post consumo	11
2.8. Aplicación del recubrimiento y horneado de la lámina	13
3. ANALISIS Y ENSAYOS	14
3.1. Caracterización Físico-Mecánica	14
3.1.1. Espesor	14
3.1.2. Determinación de la densidad	14

3.1.3. Determinación de la Viscosidad	14
3.1.4. Determinación espesor de la película húmeda	15
3.1.5. Cálculo de la volatilidad del solvente	15
3.2. Caracterización Físico-Química	16
3.2.1. Resistencia al ataque químico	16
3.3. Análisis Térmico	16
3.3.1. Análisis Termogravimétrico TGA	16
3.4. Espectroscopia de Infrarrojo	16
3.5. Homogeneidad Superficial	16
4. ANALISIS Y RESULTADOS	17
4.1. Formulación del Recubrimiento	17
4.2. Preparación del Recubrimiento	17
4.3. Mecanismo de Aplicación del Recubrimiento	17
4.4. Caracterización del Recubrimiento	18
4.4.1. Caracterización Físico-Mecánica	18
4.4.1.1. Espesor	18
4.4.1.2. Determinación de la Densidad	18
4.4.1.3. Determinación de la viscosidad	18
4.4.1.4. Espesor y Rendimiento de la Película Húmeda	19
4.4.1.5. Cálculo de la Volatilidad del Solvente	19
4.4.2. Caracterización Físico-Química	20
4.4.2.1. Resistencia al Ataque Químico	20
4.4.3. Análisis Termogravimétrico	22
4.4.4. Espectroscopia de Infrarrojo	26
4.4.5. Homogeneidad Superficial	27
5. IMPACTO AMBIENTAL	29
6. CONCLUSIONES	31
7. RECOMENDACIONES	32
8. BIBLIOGRAFIA	33
9. ANEXOS	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Proceso Hinchamiento del Caucho	42
Tabla 2.	Dispersión de Poliestireno Post-consumo en estireno	8
Tabla 3.	Polimerización de Estireno lavado	9
Tabla 4.	Polimerización Poliestireno post consumo- Estireno	9
Tabla 5.	Polimerización Estireno-Caucho	10
Tabla 6.	Polimerización Caucho- Estireno- Poliestireno Post consumo	11
Tabla 7.	Observaciones Polimerización	12
Tabla 8.	Aplicación del Recubrimiento y horneado de la lámina	13
Tabla 9.	Formulación del Recubrimiento	17
Tabla 10.	Espesor y Rendimiento Película Húmeda	47
Tabla 11.	Cálculo del Porcentaje de Volatilidad del Solvente en el Recubrimiento	19
Tabla 12.	Observaciones del Ensayo del Ataque Químico	20
Tabla 13.	Análisis Termograma del Poliestireno PS	23
Tabla 14.	Análisis Termograma Poliestireno Post-consumo	23
Tabla 15.	Análisis Termograma Caucho Natural	24
Tabla 16.	Análisis Termograma Recubrimiento	24
Tabla 17.	Comparación de Termogramas	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Estructura molecular del Estireno	35
Figura 2.	Estructura molecular del poliestireno	35
Figura 3.	Estructura molecular del caucho natural	35
Figura 4.	Estructura molecular del Mek Peróxido	36
Figura 5.	Caracterización físico-química del Naftenato de Cobalto	36
Figura 6.	Cambios en la transición vítrea del polímero	39
Figura 7.	Resistencia al ataque químico	45
Figura 8.	Relación del rendimiento y espesor de la capa del Recubrimiento Húmeda	48
Figura 9.	Termograma Poliestireno	49
Figura 10.	Termograma Poliestireno reciclado	50
Figura 11.	Termograma Caucho Natural	51
Figura 12.	Termograma Recubrimiento	52
Figura 13.	IR Poliestireno PS	53
Figura 14.	IR Poliestireno PS- Poliestireno post-consumo	53
Figura 15.	IR Recubrimiento	54
Figura 16.	IR Caucho Natural	54

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1.	Caucho Natural	42
Foto 2.	Hinchamiento del caucho natural en estireno	42
Foto 3.	Dispersión del poliestireno post consumo en estireno	43
Foto 4.	Recubrimiento aplicado sobre esferas de metal	44
Foto 5.	Recubrimiento aplicado en vidrio	44
Foto 6.	Recubrimiento aplicado en madera	45
Foto 7.	Lámina después de ser sometida al ataque químico del ácido nítrico	46
Foto 8.	Lámina después de ser sometida al ataque químico del etanol	46
Foto 9.	Foto microscópica del caucho natural en estado sólido	55
Foto 10.	Foto microscópica aplicada sobre el recubrimiento sobre Una lámina de vidrio	55
Foto 11.	Capa extraída del recubrimiento aplicado sobre la lámina de Metal	56
Foto 12.	Capa extraída del recubrimiento aplicado sobre la lámina de Metal	56

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.	Estructuras Moleculares	35
Anexo B.	Complemento teórico Catalizadores y Acelerantes	37
Anexo C.	Transición Vítreá del Copolímero	39
Anexo D.	Fundamento Teórico Curado de la Resina	40
Anexo E.	Hinchamiento del Caucho Natural	42
Anexo F.	Dispersión Poliestireno post-consumo	43
Anexo G.	Ensayos de Ataque Químico	44
Anexo H.	Determinación del Espesor de la Película Húmeda Y Cálculos de Rendimiento Aproximado.	47
Anexo I.	Análisis Termográfico	49
Anexo J.	Análisis de Espectroscopia de Infrarrojo	53
Anexo K.	Análisis de Homogeneidad Superficial	53
Anexo L.	Causas y Soluciones ante posibles defectos Generados al momento de aplicación del Recubrimiento sobre la lámina.	55
Anexo M.	Glosario	60
Anexo N.	Fichas Técnicas de los Reactivos	63

LISTA DE ABREVIATURAS

IR	Infrarrojo
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Cloruro de Polivinilo
PET	Polietilentereftálico
PMMA	Polimetacrilato de metilo
PS-I	Poliestireno medio y alto Impacto
SPI	Código de Identificación de Resinas
Tg	Temperatura de Transición Vítrea
Ti	Temperatura Inicial de Degradación
Tf	Temperatura final de degradación
TG	Termograma

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO EXPLORATORIO PARA EL USO DE COPOLÍMEROS ESTIRENO-CAUCHO COMO RECUBRIMIENTOS EN LÁMINAS DE HIERRO.*

AUTORES: MAYKA IRINA BAUTISTA BETANCUR
JENNY FABIANA SOLANO MARTINEZ **

PALABRAS CLAVE: Recubrimiento Polimérico, Reciclaje, Poliestireno.

DESCRIPCIÓN

Un recubrimiento polimérico permite dotar a las superficies de los materiales tradicionales como hierro, madera y vidrio con las características de continuidad de superficie, coloración y resistencia química de los plásticos, o reparar los daños causados en los mismos por el paso del tiempo. Con el desarrollo de éste proyecto se pretende elaborar un estudio exploratorio del copolímero Estireno-Poliestireno post consumo-Caucho como recubrimiento en láminas de hierro. Se buscó elaborar el recubrimiento a partir de PS post-consumo como una opción ante la problemática ambiental vivida en el país y como una manera de reciclaje, lo cual, representa una excelente alternativa como destino final para este tipo de polímeros, evitando que terminen en basureros y rellenos sanitarios a la vez que se están reduciendo costos en la producción del recubrimiento.

Este estudio basado principalmente en una parte experimental permitió determinar las propiedades tanto físicas como químicas del recubrimiento aplicado sobre la lámina, a partir de ensayos como el de espesor, densidad, volatilidad, homogeneidad superficial, resistencia al ataque químico, análisis termogravimétricos y de infrarrojos se caracterizó al copolímero especificándose todas las propiedades que lo describen como una excelente opción al momento de recubrir láminas de hierro, ya que posee óptimas cualidades de secado, adherencia, protección y homogeneidad al ser aplicado en superficies de hierro galvanizado, plomo, vidrio y madera.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director José Carlos Gutiérrez M Sc

SUMMARY

TITLE: STUDY EXPLORATORIO FOR THE USE OF COPOLÍMEROS ESTIRENO-CAUCHO AS ROOF IN SHEET OF IRON.*

AUTHORS: MAYKA IRINA BAPTIST BETANCUR
JENNY FABIANA SOLANO MARTINEZ **

KEYWORDS: Coating Polimérico, Recycling, Polystyrene.

DESCRIPTION

A coating polymeric allows equip surfaces of traditional materials like iron, wood and glass with the characteristics of surface of continuity, Coloring and chemical resistance of plastics, or repair the damage caused to them by the passage of time. With the development of this project is intended to develop an exploratory study of the post-Polystyrene consumption Styrene copolymer rubber coating as iron sheets. We sought to develop the coating from PS post-consumption as an alternative to the environmental problems experienced in the country and as a way of recycling, which represents an excellent alternative as a final destination for this type of polymers, avoiding complete disposals and landfills at the same time are cutting costs in the production of coating.

This study, based primarily on a part pilot allowed identify both physical and chemical properties of the coating applied on the sheet of metal, from tests such as the thickness, density, volatility, surface uniformity, resistance to chemical attack, thermogravimetric analysis and infrared are characterized the copolymer specifying all properties which describe it as an excellent option when coating iron sheeting, as it has good qualities drying, adherence, protection and uniformity to be applied on surfaces galvanized iron, lead, glass and wood.

*Degree Project

** Faculty of physical chemistry engineering, School of chemical engineering, Project Director José Carlos Gutiérrez, M.Sc.

INTRODUCCIÓN

El éxito de un plástico reciclado depende de que se esté utilizando el material correcto, con las propiedades correctas y con la aplicación correcta.

La formación del Ingeniero Químico se ve complementada con el estudio de los plásticos, ya que el reciclaje es un tema que congrega diferentes disciplinas y asuntos relacionados con el medio ambiente, la industria, la economía, la cultura, la ciencia, la tecnología y la ética. El reciclaje del plástico se fundamenta con el conocimiento de los materiales plásticos, de los procesos y tecnologías de transformación, resaltándose las responsabilidades que el hombre tiene con relación al medio ambiente y la sociedad. El reciclaje de los residuos sólidos plásticos es una alternativa para mejorar la calidad ambiental.

El espectacular aumento en el consumo de los plásticos en la sociedad moderna, que se estima crece un 4% anualmente, se ha producido en paralelo con el desarrollo tecnológico de estos materiales, cuyo uso se ha extendido además del campo ya convencional de los envases, en la fabricación de componentes en las industrias automotriz, vivienda, vestido y todo tipo de bienes de consumo. Así el consumo mundial de materiales plásticos ha pasado de los 10 millones de Tm en 1978 hasta los 60 millones de Tm en el año 2000. ¹

Sin embargo, el éxito en el desarrollo tecnológico no ha llevado emparejada la previsión de reciclado de los productos, se estima que se recupera o recicla menos del 15% de los materiales plásticos residuales. Los plásticos contenidos en los residuos sólidos urbanos (RSU) son mayoritariamente polietileno (PE), polipropileno (PP), y poliestireno (PS) (alrededor del 60%) y en menor proporción están el cloruro de polivinilo (PVC), polietilentereftalato (PET), poli(metacrilato de metilo) (PMMA), etc.

Hoy en día muchos plásticos son reciclados físicamente, para ello, generalmente son recolectados, lavados y molidos. Una vez molidos se les calienta (funde) y da la forma que se desea para su nueva aplicación. Este proceso es relativamente sencillo, pero no puede aplicarse a todos los plásticos ni realizarse numerosas veces, los plásticos reciclados son de menor calidad que el material nuevo (material virgen). Cada vez que el material es reciclado sufre un proceso de degradación que disminuye sus propiedades. Además, el reciclaje físico requiere que el material se encuentre libre de impurezas y contaminación, no sólo de sustancias tóxicas o peligrosas, sino también de otros plásticos o materiales. Este es uno de los inconvenientes más grandes para lograr un buen reciclaje físico, la separación de los materiales.

Como una alternativa al reciclaje físico se puede realizar el reciclaje químico, el cual, a diferencia del primero, implica cambios en la estructura química del material. El reciclaje químico, al basarse en una reacción química específica, no necesita los complicados pasos de purificación que son indispensables para el reciclaje físico. Además, permite utilizar al desecho plástico como fuente de materia prima, no sólo para producir nuevamente el material original (como material virgen), sino producir otros materiales con diferentes características.

Con el desarrollo de éste proyecto se pretende elaborar un estudio exploratorio del copolímero Estireno-Poliestireno post-consumo-Caucho como recubrimiento en laminas de metal de hierro, es importante la pureza al seleccionar los plásticos post-consumo, en este caso poliestireno, identificando correctamente los materiales ya elaborados con este tipo de polímero, ya que permite mejores conocimientos de las propiedades del producto resultante, un correcto control de calidad, y una segura satisfacción de las necesidades del mercado final. Reconociéndose a partir del Código de Identificación de Resinas SPI de La Asociación de la Industria del Plástico, que para el poliestireno asigna la sigla PS y el número 6 dentro de un triángulo.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Conceptos Básicos

1.1.1 Recubrimiento Polimérico: Permite dotar a las superficies de los materiales tradicionales como hierro, madera y vidrio con las características de continuidad de superficie, coloración y resistencia química de los plásticos, o reparar los daños causados en los mismos por el paso del tiempo.

1.1.2 Copolímero: Polímero formado por dos tipos diferentes de monómeros unidos a la misma cadena polimérica, la mezcla estireno-caucho-poliestireno post-consumo genera un copolímero de injerto en el que el polímero formado por el monómero de estireno se encuentra injertado en su cadena polimérica con el monómero del caucho natural.

1.2 Materias Primas

1.2.1 Estireno: También conocido como *vinilbenceno*, *etenilbenceno*, *cinameno* o *feniletileno*. Es un líquido incoloro de aroma dulce que se evapora fácilmente. A menudo contiene otros productos químicos que le dan un aroma penetrante desagradable. Una polimerización vinílica por radicales libres a partir del monómero estireno genera el poliestireno. (Ver anexo A, figura 1 Estructura Molecular del Estireno).

1.2.2 Poliestireno PS: Es un polímero vinílico. Estructuralmente, es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono. Este material ha tenido gran desarrollo en los últimos años y ha formado un grupo de plásticos denominados: familia de Polímeros de Estireno. (Ver anexo A, figura 2 Estructura molecular del PS).

Medio y Alto Impacto PS-I: presentan propiedades similares a las del Poliestireno de uso general. Su color natural va de translúcido a opaco. Se ven afectados con la exposición continua a las radiaciones de luz UV, ofrecen limitada resistencia a solventes aromáticos y clorados. Poseen alta rigidez y dureza, presentan bajas propiedades de barrera, poca resistencia a la grasa y a temperaturas elevadas. Con un adecuado balance de propiedades tienen excelente procesabilidad para inyección, extrusión y termoformado. Son estables térmicamente, tienen niveles muy bajos de materia volátil y poseen una resistencia al impacto entre dos y cuatro veces superior al PS Cristal, según el contenido y tipo de elastómero. El PS-I tiene las siguientes aplicaciones: Piezas rígidas con brillo e impacto, Industria del envase y empaque (platos y vasos desechables), Artículos Escolares, Juguetes.

1.2.3 Caucho Natural (Poliisopreno): Sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas. El compuesto de caucho más simple es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es C_5H_8 . A la temperatura del aire líquido, alrededor de $-195\text{ }^\circ\text{C}$, el caucho puro es un sólido duro y transparente. De 0 a $10\text{ }^\circ\text{C}$ es frágil y opaco, y por encima de $20\text{ }^\circ\text{C}$ se vuelve blando, flexible y translúcido. Al amasarlo mecánicamente, o al calentarlo por encima de $50\text{ }^\circ\text{C}$, el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas de $200\text{ }^\circ\text{C}$ o superiores se descompone. El caucho puro es insoluble en agua, álcali o ácidos débiles, y soluble en benceno, petróleo, hidrocarburos clorados y disulfuro de carbono. Estructura molecular (ver anexo 1, figura 3)

1.3. Aportes Al Recubrimiento

Cada componente utilizado posee características y cualidades individualmente que proporcionan altas condiciones y buenos resultados al momento de ser

utilizados como recubrimientos sobre diferentes láminas de metal, y más aun al generar una mezcla ideal que permita aprovechar sus más relevantes condiciones como protector de la lámina. Entre estas se tiene:

- Caucho natural aporta:
 - Ductibilidad a bajas temperaturas
 - Flexibilidad
 - Resistencia al impacto y a la fusión

- Estireno aporta:
 - Facilidad de procesado
 - Brillo
 - Dureza y rigidez

- Poliestireno aporta:
 - Propiedades ópticas
 - Mínima absorción de agua
 - Aislamiento eléctrico
 - Resistencia a ácidos orgánicos e inorgánicos concentrados y diluidos
 - Resistencia a alcoholes álcalis y sales
 - Estables térmicamente

1.4. Catalizadores Y Acelerantes

Para producir un objeto moldeado o laminado, la resina de poliestireno mejorada tiene que fraguar, que es el proceso de gelificación o coagulación y endurecimiento. Se consigue mediante el uso de un catalizador y calor o a la temperatura normal del cuarto de trabajo empleando un catalizador y un agente acelerante. Los catalizadores para las resinas de poliestireno son generalmente peróxidos orgánicos (Mek peróxido), los más importantes de todos los compuestos

acelerados son los basados en una sal de cobalto, utilizándose el *naftenato de cobalto*. (Anexo B, complemento teórico, catalizadores y acelerantes)

1.4.1. Mek Peróxido (Peróxido De Metil Etil Cetona): Es una mezcla de compuestos peroxy, que consiste básicamente en tres estructuras principales que coexisten, los porcentajes de estas estructuras cambian dependiendo de la estequiometría. El Mek es un compuesto orgánico con características fuertemente oxidantes, que no se disuelve en agua, pero es soluble en algunos compuestos orgánicos que no promueven ninguna reacción química tale como acetona, alcoholes y acetatos. Estructura molecular (ver anexo A, figura 4)

1.4.2. Naftenato De Cobalto: Es un polvo marrón amorfo o sólido rojo azulado su formula molecular es $\text{Co}(\text{C}_{11}\text{H}_{10}\text{O}_2)_2$. Se utiliza en barnices, como secador de pintura y para unir el caucho con metales y otros polímeros. (Estructura molecular ver anexo A, figura 5).

1.5. Transición Vítreá Del Polímero

Cuando un polímero es enfriado, hay una cierta temperatura (distinta para cada polímero) llamada temperatura de transición vítrea, T_g , a la que el polímero se vuelve rígido y quebradizo. Esta transición es algo que sólo le ocurre a los polímeros, lo cual es una de las propiedades que los hacen diferentes. Los plásticos duros como el poliestireno son usados por debajo de sus temperaturas de transición vítrea; es decir, en su *estado* vítreo. Su T_g (de aproximadamente $100\text{ }^\circ\text{C}$) esta muy por encima de la temperatura ambiente ($25\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$). Los cauchos en cambio, son usados por encima de su T_g , donde son blandos y flexibles Cuando es calentado el poliestireno “normal” (amorfo, atactico) hasta su T_g , aproximadamente 100°C , sucede algo diferente. Primero se calienta y la temperatura se eleva a una velocidad determinada por la capacidad calorífica del polímero, pero cuando se alcanza la T_g la temperatura se sigue incrementando ya

que no hay calor latente de transición vítrea. Pero por encima de la T_g ya no lo hace a la misma velocidad que por debajo. El polímero experimenta un incremento en su capacidad calorífica luego de alcanzar la transición vítrea, esta transición se denomina transición de segundo orden. En el gráfico se muestra lo que ocurre con un polímero 100% amorfo cuando es calentado, no se obtiene una ruptura. El único cambio en la temperatura de transición vítrea, es un incremento de la pendiente, lo que significa, que se tiene un aumento en la capacidad calorífica. (Ver anexo C, figura 6). Por tanto se ha logrado aumentar la dificultad que presenta el poliestireno normal para experimentar cambios de temperatura, bajo el suministro de calor, interpretándose como una modificación en su inercia térmica

1.5. Proceso de Curado

El curado fue el proceso por el cual las resinas pasaron de su estado líquido inicial al estado sólido. Para este cambio se necesitó la presencia de la resina, el catalizador y el activador (acelerador); la reacción es exotérmica al momento de mezclar los diferentes elementos. La reacción de polimerización por sí sola no se produce, o se produce con mucha dificultad, para facilitarla se utilizaron los catalizadores, los cuales se le añaden a la resina en el momento de la utilización. (Anexo D, complemento teórico, Curado de la Resina).

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. Proceso De Lavado Del Estireno

Con el fin de eliminar los inhibidores presentes en el estireno monómero se procedió a lavarlo con una solución de hidróxido de sodio al 10%, mezclándose iguales proporciones de estireno y NaOH y recuperándose un líquido color amarillo correspondiente al estireno limpio

2.2. Proceso de Hinchamiento Estireno – Caucho

Se realizo una mezcla Estireno-caucho, a temperatura de $(25\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C})$ por un periodo de 48 horas, observándose un hinchamiento del caucho en el estireno. Fueron mezcladas las siguientes proporciones de Estireno-caucho. (Los datos obtenidos se encuentran consignados en la tabla 1, foto 1y 2 del anexo E).

2.3. Dispersión De Poliestireno Post-Consumo En Estireno

Se realizaron diferentes mezclas en distintas proporciones para determinar las cantidades óptimas de dispersión del poliestireno post-consumo en el estireno, dejándose las muestras a temperatura de $(25\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C})$ por un periodo de 48 horas.

Tabla 2. Dispersión De Poliestireno Post-Consumo En Estireno

Muestra	Poliestireno Post-consumo	Estireno	% PS Post-consumo	% Estireno
1	0.20	2.980	6.28	93.71
2	0.315	3.943	7.39	92.60
3	0.426	3.066	12.19	87.80
4	0.526	2.530	17.21	82.78
5	0.625	1.983	23.96	76.03

Con el fin de llevar a cabo la polimerización de las muestras se procedió a incorporar las mezclas en diferentes proporciones y temperaturas a un horno eléctrico ubicado en el laboratorio de Físico-Química de la UIS. (Anexo F, foto 3).

2.4. Polimerización De Estireno Limpio

La polimerización del estireno puro, es un sólido rígido y frágil llamado poliestireno cristal o poliestireno de uso general.

Tabla 3. Polimerización De Estireno lavado

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO EN EL HORNO	CONSISTENCIA
70	20 minutos	N.P
70	70 minutos	N.P
90	20 minutos	N.P
90	70 minutos	N.P
90	5 horas	N.P
97	10 horas	S.P
100	7 horas	S.P
115	4 horas	S.P

N.P No polimerizó

S.P Sí polimerizó

Obteniéndose por tanto una temperatura de polimerización de estireno cristal de 115 °C en un tiempo de 5 horas, teniendo en cuenta que se necesita un tiempo de curado de 15 horas a temperatura de (25+/- 2 °C).

2.5 Polimerización Poliestireno Post-Consumo-Estireno

Se realizaron diferentes muestras en distintas proporciones, temperaturas y condiciones observándose:

Tabla 4. Polimerización Poliestireno Post-Consumo-Estireno

	PS	Estireno	Proporción % PS : Estireno	Temp (°C)	Catalizador y acelerante	T. estufa	Resultado
M1	0.126	2.485	4.8 : 95.2	115	0	7 horas	S.P
M2	0.1	2.5	3.8 : 96.2	115	0	7 horas	S.P
M3	0.1	2.5	3.8 : 96.2	115	10 gotas	7 horas	N.P
M4	0.1	2.5	3.8 : 96.2	115	10 gotas	3 horas	N.P
M5	0.08	1.6	4.7 : 95.3	115	0	7 horas	N.P

M6	0.08	1.6	4.7 : 95.3	115	5 gotas	7 horas	S.P
M7	0.1	2.3	4.2: 95.8	115	0	7 horas	S.P---
M8	0.1	2.3	4.2: 95.8	115	5 gotas	4 horas	S.P
M9	0.1	2.3	4.2: 95.8	25+/-2	5 gotas	24 horas	N.P
M10	0.1	2.3	4.2: 95.8	115	5 gotas	3 horas	S.P---
M11	0.1	2.3	4.2: 95.8	115	5 gotas	5 horas	S.P
M12	0.15	1.35	10 : 90	115	5 gotas	5 horas	S.P

N.P no polimeriza

S.P si polimeriza

1 gota de Mek Peróxido: 0.021 gramos

1 gota de Naftenato de Cobalto: 0.027 gramos

Para las muestras anteriores se tomo un tiempo de curado de 15 horas, dejándose las muestras a temperatura de (25+/-2 °C) después de haber salido del horno eléctrico. La polimerización de la muestra se obtuvo una vez terminado el período de curado.

2.6. Polimerización Estireno-Caucho

Tabla 5. Polimerización Estireno-Caucho

	Caucho	Estireno	Proporción % Caucho: Estireno	Temp (°C)	Catalizador Y acelerante	Tiempo Estufa	Result.
M1	1.0	3.0	25 : 75	115	0	7 horas	N.P
M2	0.5	3.0	14,28 : 85,72	115	0	7 horas	N.P
M3	0.26	2.5	9,42 : 90,58	115	0	5 horas	N.P
M4	0.26	2.5	9,42 : 90,58	115	0	7 horas	N.P
M5	0.26	2.5	9,42 : 90,58	115	5 gotas	5 horas	S.P
M6	0.2	2.3	8 : 92	115	5 gotas	5 horas	S.P

N.P no polimeriza

S.P si polimeriza

1 gota de Mek Peróxido: 0.021 gramos

1 gota de Naftenato de Cobalto: 0.027 gramos

2.7. Polimerización Caucho-Estireno-Poliestireno Post Consumo

Tabla 6. Polimerización Caucho-Estireno-Poliestireno Post Consumo

	Caucho	PS	Estireno	Temp (°C)	Catalizador Y acelerante	Tiempo estufa	Resul
M1	0.22	0.4	1.88	115	5 gotas	5 horas	S.P---
M2	0.22	0.4	1.88	115	10 gotas	5 horas	S.P---
M3	0.4	0.22	1.88	115	5 gotas	5 horas	S.P---
M4	0.4	0.22	1.88	115	10 gotas	5 horas	S.P---
M5	0.22	0.4	1.88	100	5 gotas	5 horas	N.P
M6	0.4	0.22	1.88	100	5 gotas	5 horas	N.P
M7	0.22	0.22	2.04	115	3 gotas	5 horas	S.P
M8	0.22	0.22	2.04	115	5 gotas	5 horas	S.P
M9	0.22	0.33	1.96	115	3 gotas	5 horas	S.P
M10	0.22	0.33	1.96	115	5 gotas	5 horas	S.P

N.P No polimerizo

S.P Si polimerizo

S.P---- Si polimerizo, especificación de la muestra

1 gota de Mek Peróxido: 0.021 gramos

1 gota de Naftenato de Cobalto: 0.027 gramos

Tabla 7. Observaciones polimerización

Muestra	Observación
M1	S.P Muestra con mayor proporción de poliestireno, se obtuvo un recubrimiento duro, pero quebradizo
M2	S.P Muestras con mayor proporción de catalizadores, pero iguales cantidades que M1, no se mejoraron los resultados, se observa exceso de catalizador
M3	S.P Muestra con mayor proporción de caucho, se obtuvo un recubrimiento más flexible. Después del tiempo de curado pero posee textura blanda
M4	S.P Muestra con mayor proporción de catalizadores, pero iguales cantidades que M3, el exceso de catalizador no generó mejores resultados, M4 más blanda que M3
M5, M6	N.P Muestras llevadas al horno a una menor temperatura (100°C), no se obtuvo buena polimerización, después del tiempo de curado poseen textura blanda.
M7	S.P Muestra con iguales proporciones de caucho y poliestireno. Se obtuvo una buena polimerización
M10	S.P muestra con mayor proporción de poliestireno, buena polimerización, y consistencia dura. Proporciones escogidas como óptimas

- Las muestras fueron dejadas en un periodo de hinchamiento de 24 horas
- El tiempo de curado correspondió a 15 horas a temperatura ambiente (25+/- 2°C), después de someterlas al tiempo correspondiente en el horno eléctrico.

2.8. Aplicación y horneado de la lámina

Fueron utilizadas láminas de 10x5 cm, se variaron temperaturas y tiempo en el horno eléctrico, con el fin de encontrar las mejores condiciones para la polimerización del recubrimiento sobre la lámina, sometiéndose a un posterior tiempo de curado a temperatura de (25+/- 2 °C).

Tabla 8. Aplicación y Horneado de la Lámina

Lámina	Temp. °C	T. Horno Horas	Contextura
1	110	1	Pegajosa, tiempo de curado de 1 hora, recubrimiento no uniforme sobre la lámina
2	110	1 y media	Pegajosa, tiempo de curado de 1 hora, recubrimiento no uniforme sobre la lamina
3	110	2	Pegajosa, tiempo de curado de 1 hora, recubrimiento no uniforme sobre la lamina
4	110	2 y media	Pegajosa, tiempo de curado de 1 hora, recubrimiento no uniforme sobre la lamina
5	110	3	Duro, polimerizado al salir del horno, tiempo de curado de 1 hora
6	110	3 y media	Duro, polimerizado al salir del horno, tiempo de curado de 1 hora
7	110	4	Duro, polimerizado al salir del horno, tiempo de curado de 30 minutos
8	115	Media	Pegajosa, tiempo de curado de 1 hora
9	115	1	Duro, buena adherencia, tiempo de curado 1 hora
10	115	1 y media	Buena adherencia, tiempo de curado 1 hora

11	115	2	Duro, buena adherencia, polimerizado, tiempo de curado 30 minutos
12	115	2 y media	Duro, buena adherencia, polimerizado, tiempo de curado 30 minutos
13	115	3 y media	Duro, buena adherencia, polimerizado, tiempo de curado 30 minutos

Lamina 11. Escogida como condiciones óptimas para la aplicación del recubrimiento, por poseer buena adherencia, dureza y brillo después del tiempo correspondiente de curado, además bajo estas condiciones de temperatura se obtuvo menor tiempo en el horno, menor tiempo de curado y excelentes resultados del recubrimiento.

3. ANÁLISIS Y ENSAYOS

3.1. Caracterización Físico-Mecánica

3.1.1 Espesor. Esta prueba se realizó en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la UIS, de acuerdo a la norma ASTM D-2691 para la medición del espesor de recubrimientos utilizándose un calibrador de espesor

3.1.2 Determinación de la Densidad: Prueba realizada en el laboratorio de Físico-Química de la UIS, utilizándose un picnómetro de 2ml a temperatura y presión estándar.

3.1.3 Determinación de la Viscosidad: Se utiliza el viscosímetro Brookfield modelo DV-III, con la aguja numero 18. Prueba realizada en la Escuela de Ingeniería Química de la UIS.

3.1.4 Determinación del Espesor de la Película Húmeda: Durante la aplicación, se debe controlar el espesor húmedo para recubrir la lámina con la cantidad suficiente de pintura, teniendo en cuenta un cuidado en el cálculo del espesor húmedo para obtener una película seca dentro del rango especificado. Así, el espesor seco de película equivale al espesor húmedo tantas veces como el porcentaje de solvente (estireno) que se volatiliza. El espesor del recubrimiento es una variable importante en la calidad del producto, la técnica de medición utilizada en este caso es la gravimétrica, que consiste en medir la masa y el área del recubrimiento, usando la siguiente formula:

$$E = \frac{m \cdot 10000}{A \cdot \rho} \quad (1)$$

Donde E es el espesor en micrómetros, m es la masa del recubrimiento en gramos, A es el área de prueba en centímetros cuadrados, y ρ es la densidad de la mezcla. Es posible dar una estimación del rendimiento del recubrimiento teniendo en cuenta el área de la superficie pintada y el volumen de recubrimiento usado en esa superficie así:

$$R = \frac{A \cdot 0.1}{V} \quad (2)$$

Donde, R es el rendimiento en metros cuadrados por litro, A es el área en centímetros cuadrados y V es el volumen en centímetros cúbicos. Prueba realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, Escuela de Ingeniería Química de la UIS.

3.1.5. Cálculo de la volatilidad del solvente: Con el fin de determinar el porcentaje de solvente (estireno) que se volatiliza en el momento de horneado y curado del recubrimiento fueron preparadas diferentes muestras, las cuales se pesaron antes de llevarse al horno y después del proceso de curado. Prueba realizada en el Laboratorio de Físico-Química de la UIS.

3.2. Caracterización Físico-Química

3.2.1 Resistencia al Ataque Químico: Prueba Realizada en el Laboratorio de Físico-Química de la UIS, Según norma ASTM D543-87, a temperatura de (25+/- 2°C). Los agentes escogidos para la prueba fueron: Acido clorhídrico, ácido nítrico, etanol, amoniaco. Además se utilizaron las siguientes sustancias domesticas: agua, detergentes, aceite y jabón

3.3. Análisis Térmico

3.3.1 Análisis Termogravimétrico (TGA): Prueba realizada en la Escuela de Ingeniería Química de la UIS. Esta técnica mide la pérdida de masa de una muestra sólida o líquida en función de la temperatura, consta de una balanza de alta precisión conectada a un equipo calefactor a temperatura controlada. Los cambios que se observan en los termogramas son procesos degradativos que liberan moléculas de pequeño tamaño que se vaporizan.

3.4. Espectroscopia de Infrarrojo: Prueba realizada en La Escuela de Ingeniería Química de la UIS, Esta técnica de absorción analiza la interacción de la energía de los niveles vibracionales de los enlaces covalentes con la radiación infrarroja. Por tanto es una técnica que pone de manifiesto los grupos funcionales existentes en un compuesto.

3.5. Homogeneidad Superficial: Prueba realizada en la Escuela de Ingeniería Química de la UIS. El análisis morfológico se hizo mediante la utilización de un microscopio, para observar la distribución de las fases a nivel micro. Con esta técnica se puede observar la homogeneidad de la mezcla, sus posibles aglomeraciones o separación de fases si se presentan. Se utilizó un microscopio LABOPHOT-2 marca NIKON modelo M088E de la Escuela de Ingeniería Química. Se utiliza una pequeña cantidad de recubrimiento ya polimerizado sobre los porta

muestras de vidrio, y se hace pasar a través del microscopio para ver su estructura interfacial.

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Formulación del Recubrimiento

Después de realizadas las pruebas experimentales, y de variar condiciones de temperatura, tiempo de horneado, y cantidades de cada uno de los componentes fue obtenida la mezcla considerada como ideal de estireno, poliestireno post-consumo, y caucho, ya que, bajo las condiciones que a continuación se especifican, se obtiene la mejor adherencia, dureza, brillo, menor tiempo de polimerización y de curado, del copolímero generado y utilizado como recubrimiento.

Tabla 9. Formulación del Recubrimiento

COMPONENTE	PROPORCION %
Estireno	71.26%
Poliestireno post- consumo	20.07%
Caucho	8.7%

- Temperatura de Horneado: 115 °C
- Tiempo en el Horno: 2 horas
- Tiempo de Curado: 30 minutos
- Temperatura de Curado: 25+/- 2 °C

4.2. Preparación Del Recubrimiento

1. Mezcla del poliestireno en estireno hasta obtenerse una masa uniforme.
2. Hinchamiento del caucho en la mezcla anterior, un tiempo aproximado de 48 horas.
3. Agitación continúa de toda la mezcla por un periodo de 1 hora, hasta homogeneizar. Se agito manualmente, pues al hacerlo de forma mecánica con una hélice el caucho se adhiere a las aspas.

4. Agregar a la mezcla el acelerante (naftenato de cobalto).
5. Continuar agitación.
6. Agregar a la mezcla el catalizador (Mek Peróxido), teniendo presente que se genera una reacción exotérmica.
7. Agitar hasta obtener una mezcla completamente uniforme, para evitar posibles defectos al momento de aplicar el recubrimiento

4.3. Mecanismo De Aplicación Del Recubrimiento

La aplicación debe ser realizada en la cámara de extracción para evitar los vapores, la superficie a recubrir debe estar libre de grasa e impurezas.

1. Una vez obtenida la mezcla homogénea se opto por una inmersión de las láminas en el recubrimiento.
2. Se llevo al horno por un tiempo de 2 horas a una temperatura de 115°C
3. Una vez fuera de horno, la lámina fue sometida a un tiempo de curado de 30 minutos a temperatura ambiente.

4.3. Caracterización Del Recubrimiento

4.4.1. Caracterización Físico - Mecánica

4.4.1.1. Espesor: Utilizándose un calibrador de espesor Fueron medidas las láminas antes y después de ser recubiertas, con el fin de determinar, por diferencia de espesores, el grosor del recubrimiento, correspondiendo a 0.7 mm.

4.4.1.2. Determinación de la densidad: este dato fue determinado específicamente para la mezcla con las proporciones consideradas como óptimas para el recubrimiento, obteniéndose una densidad de: 1.05 g/ml.

4.4.1.3. Determinación de la Viscosidad: La viscosidad no fue medida debido a la naturaleza de la solución (altamente tóxica), ya que el equipo necesario para la medición no pudo ser desplazado al lugar de experimentación. Por lo tanto, se

escogió la solución que presentaba las mejores condiciones para la formulación del recubrimiento utilizando la mayor cantidad de poliestireno post-consumo con el fin de disminuir los costos del recubrimiento y contribuir con el reciclaje de este material

4.4.1.4. Espesor y Rendimiento de la Película Húmeda: Para el desarrollo de esta prueba se utilizaron láminas alrededor de 1.5 X 8 cm. Todos los valores medidos y calculados en esta prueba se encuentran en el (anexo H, figura 8 y tabla 10). Según la figura 8, se observa un rendimiento entre 2.9 y 4.2 m²/L, encontrándose por tanto, en el rango estándar para recubrimientos poliméricos reportado en la literatura⁴ que corresponde a 2.5 y 8 m²/L, además la gráfica demuestra que a menor espesor de película húmeda se obtiene mayor rendimiento.

4.4.1.5. Cálculo de la volatilidad del solvente. Teniendo en cuenta las condiciones de temperatura y tiempo óptimos ya especificados para la obtención de la lámina recubierta, por diferencia de pesos se determinó el porcentaje de estireno volatilizado, encontrándose un promedio del 9.1 %.

Tabla 11. Cálculo del porcentaje de Volatilidad del solvente en el recubrimiento

Muestra	W1	W2	W3	% volatilidad
1	0.913	0.823	0.09	9.8
2	0.983	0.898	0.085	8.6
3	0.955	0.866	0.089	9.3
4	0.873	0.790	0.083	9.5
5	0.854	0.774	0.080	9.3
6	1.050	0.963	0.087	8.3
Promedio				9.1 %

- W1. Peso muestra antes de hornear
- W2 . Peso muestra después del proceso de curado
- W3. (W2-W1)

Observándose por tanto, que se polimeriza la mayor parte del estireno correspondiente al 90.9% y sólo un 9.1% se volatilizó, aspecto económicamente rentable para el proceso, además, ambientalmente la cantidad de estireno presente en el aire al volatilizarse no genera altos índices de contaminación, lo que no significa, que no se requiera de un tratamiento en el manejo de vapores emitidos.

4.4.2. Caracterización Físico – Química

4.4.2.1. Resistencia al ataque químico: Se realizaron las siguientes observaciones consignadas en la tabla 12.

Tabla12. Observaciones del Ensayo del Ataque Químico

Agente Químico	Concentración	Temperatura	Observaciones
Acido Clorhídrico	2 N	25+/- 2 °C	No presenta cambio de color ni hinchamiento
Ácido Nítrico	5 %	25+/- 2 °C	No presenta cambio de color ni hinchamiento, sin embargo se empieza a soplar el recubrimiento por los bordes de la lámina, se observa corrosión en partes de la lámina sin recubrir
Etanol	96%	25+/- 2 °C	No presento decoloración, el recubrimiento se fragmento.

Amoniaco	Solución al 25%	25+/- 2 °C	Pierde brillo, pero su adherencia a la lámina se mantiene
Acido acético	96 %	25+/- 2 °C	Se genera una mancha blanca, el recubrimiento sufre una decoloración
Ácido acético diluido	5 N	25+/- 2 °C	No hay deterioro ni cambios
Aceite	Vegetal	25+/- 2 °C	No hay deterioro ni cambios
Agua		25+/- 2 °C	No hay deterioro ni cambios
Detergente	En polvo Marca Ariel	25+/- 2 °C	No hay deterioro ni cambios

Con las pruebas anteriores fue posible observar la solubilidad del recubrimiento en ciertas sustancias, pues es de tenerse en cuenta que al ser generado a partir de una mezcla entre polímeros termoplásticos (poliestireno puro, Poliestireno post-consumo) y un elastómero (caucho), conserva algunas propiedades específicas de dichos materiales a la vez que a mejorado sus condiciones y comportamiento.

Se observo cierta solubilidad en solventes polares (etanol), característica de los materiales termoplásticos pues este tipo de solventes pueden generar fuertes enlaces secundarios (dipolo-dipolo, puentes de hidrogeno, y Van der waals) con las cadenas del polímero, reemplazando las fuerzas de atracción entre estas. En este caso particular se notó una etapa en la que el disolvente embebe al recubrimiento de forma que va separando las cadenas, observándose un hinchamiento de la capa de recubrimiento.

Dicho hinchamiento puede definirse como la capacidad de penetración de las moléculas del disolvente en el polímero, dependiendo del grado de entrecruzamiento, teniéndose en cuenta que los polímeros termoplásticos presentan una serie de cadenas poliméricas moderadamente entrelazadas.² Ante los resultados anteriores se concluye que el recubrimiento no solo resiste a sustancias químicas si no también a una gran variedad de sustancias domésticas que aunque no son corrosivas si podrían causar manchas a la lámina sin recubrir.

También es importante tener en cuenta que la lámina recubierta se hace débil a posible ataques químicos en los bordes, zonas en donde el recubrimiento posee una capa más delgada, por tanto se repitió la prueba, utilizando esferas de metal, lo que permite un área más uniforme del recubrimiento, obteniéndose mejores resultados como capa protectora. (Anexo G, foto 4). A pesar que se ha especificado las condiciones de recubrimiento en láminas de metal también fueron probados otros tipos de áreas a recubrir como madera y vidrio, obteniéndose óptimos resultados de adherencia y brillo. Dichos materiales también fueron sometidos a pruebas de resistencia y ataque a sustancias químicas, observándose su comportamiento en la figura 8. (Ver anexo G, contiene figura 7. Resistencia al ataque químico, foto 5, 6,7 y 8)

4.4.3. Análisis Termogravimétrico: Los análisis termogravimétricos se realizaron en una termobalanza TGA INSTRUMENT modelo 2050 controlada por un microprocesador, todas las medidas se realizaron bajo un flujo de nitrógeno de 50 ml/min y una velocidad de calentamiento de 10°C/min, en un intervalo de temperaturas que van desde una temperatura de (25+/- 2 °C) hasta 1000°C las muestras pesaron entre 3 y 22 mg, la temperatura inicial de pérdida (T_i) se determinó a partir de la intersección de las tangentes a la curva antes y después de las pérdidas inicial de peso. Se recogieron también las temperaturas de 15% de pérdida así como las temperaturas de máxima velocidad de descomposición, medidas como los máximos de la curva derivada de la pérdida de peso. (Ver

anexo I, Termogramas Realizados para el Caucho, PS puro, PS post-consumo, recubrimiento).

Fueron realizados cuatro termogramas, (caucho, Poliestireno post-consumo, poliestireno puro y recubrimiento), observando de forma detallada las pérdidas de masa con el aumento de la temperatura, determinando la temperatura de descomposición tanto de los homopolímeros como del copolímero obtenido (recubrimiento), permitiendo evaluar la estabilidad térmica de dichos materiales.

En las siguientes tablas se muestran las temperaturas a las cuales los materiales empiezan a termodegradarse, definiéndose además la temperatura inicial y final de la termodegradación, así como la pérdida de peso en la muestra.

Tabla 13. Análisis Termograma PS PURO

PS PURO muestra: 20.4650 mg			
Rango de Temp. °C	Intersección de las tangentes	Perdida de peso Mg	% perdida de peso
300 – 410.34	392.33	9.303	45.49
410.34 – 440	437.14	5.394	26.36
440 – 475	444.21	5.752	20.11
Residuo		0.009271	0.04530

Tabla 14. Análisis Termograma PS post-consumo

PS post-consumo muestra: 3.7090			
Rango de Temp. °C	Intersección de las tangentes	Perdida de peso Mg	% perdida de peso
250 – 417.25	395.91	1.353	36.47

417.25 – 460	455.61	1.990	53.64
460 – 600	470.18	0.3192	8.6
Residuo		0.04683	1.263

Tabla 15. Análisis Termograma Caucho Natural

Caucho Natural muestra: 18.7370 mg			
Rango de Temp. °C	Intersección de las tangentes	Perdida de peso Mg	% perdida de peso
230 – 370.45	351.01	8.641	46.12
370.45 – 410	405.22	9.207	49.14
410 – 540	436.67	0.824	4.40%
Residuo		0.06458	0.3446

Tabla 16. Análisis Termograma Recubrimiento

Recubrimiento muestra: 6.2940mg			
Rango de Temp. °C	Intersección de las tangentes	Perdida de peso Mg	% perdida de peso
50 – 266.47	160.28	0.6235	9.906
266.47- 406.81	362.47	2.709	43.04
406.81 – 450	442.06	2.423	38.49
450 – 570	457.65	0.1707	2.7
Residuo		0.3678	5.84

Comparación de los 4 termogramas teniendo en cuenta su T_i (Temperatura inicial de degradación) y T_f (temperatura final a la cual la masa acumulada se degrada totalmente).

Tabla17. Comparación de Termogramas

Muestra	Ti (°C)	Tf (°C)
PS puro	392.3	444.21
PS post-consumo	395.91	470.18
Caucho	351.01	436.67
Recubrimiento	160	457.65

Se observa que el recubrimiento inicia su descomposición a una menor temperatura que las otras muestras (160 °C), y su temperatura final de degradación (457.65 °C) se encuentra en un rango de temperaturas de descomposición final del poliestireno post-consumo y del caucho puro.

En contra de lo que se podría esperar, el copolímero obtenido (recubrimiento), inicia su degradación a más baja temperatura que el PS puro, y el PS post-consumo, pues cada molécula de poliestireno aporta un grupo aromático que puede estabilizar el material, pero la existencia del nuevo copolímero genera propiedades distintas, que también caracterizan al caucho.

En el TG del recubrimiento se observa la presencia del iniciador (MEK Peróxido) el cual inicia su proceso de descomposición en un rango de temperaturas entre 80-160 °C, esta pérdida de peso de la muestra no es muy significativa, correspondiente sólo al 1.3 % de porcentaje perdido, lo que permite determinar que la cantidad utilizada de MEK en el proceso de curado del recubrimiento se encuentra en un rango ideal, teniéndose en cuenta que la descomposición térmica del peróxido es el proceso que dirige la polimerización, la autoaceleración llevo a que el recubrimiento polimerizara a mayor velocidad que a la que descompone el peróxido térmicamente, razón por la cual se contaba aun con la presencia de una pequeña cantidad de MEK. Teniendo en cuenta que el recubrimiento posee mayor proporción de estireno que poliestireno post-consumo

y caucho, se observó una pérdida de peso correspondiente a 0.6235 mg a una temperatura de 160.28 °C, relativamente baja, debido a que el exceso de estireno genera mayor cantidad de oligómeros de bajo peso molecular y estireno monómero que quedan ocluidos en el material, volatilizándose a temperaturas inferiores a 300 °C, aspecto que se observa en el curado del recubrimiento cuando se volatiliza parte del estireno.

Tomando como referencia el TG realizado para el caucho natural se observa que el proceso de descomposición inicia a 220°C, notándose una pérdida significativa de peso correspondiente a 8.641 mg a 351.01 °C; aspecto que también se ve representado en el termograma del recubrimiento, donde a la temperatura de 266.47 °C se inicia una pérdida de peso correspondiente al caucho natural presente en el copolímero con un porcentaje total de 43.04% hasta llegar a la temperatura de 406.81 °C, en la cual, se empieza a reflejar la descomposición final del caucho presente en el recubrimiento que ocurre a los 436.67 °C según el TG realizado sólo al caucho natural.

Analizando el TG del poliestireno post-consumo se observa el inicio de pérdida de peso a una temperatura de 395.91°C, hasta una degradación total de la muestra a los 470.18 °C, dato que se refleja en el TG del recubrimiento donde a una temperatura de 406.81 °C se presenta una descomposición continua de la muestra. Es de tenerse en cuenta la presencia de aditivos químicos en el poliestireno post-consumo, que se estarían degradando a éstas temperaturas. El recubrimiento posee una Tf (457.65 °C) mayor que la del caucho y menor que el poliestireno post-consumo, por tanto el copolímero ha adquirido mayor resistencia a la degradación final al ser sometido a elevadas temperaturas.

4.4.4. Espectroscopia De Infrarrojo: Fue utilizado un infrarrojo SHIMADZU FTIR 84005 utilizando el método de transformada de Fourier, SCAN 10, resolución 4, pastilla KBr en un rango de medición de 400-4000 cm^{-1} . En los espectros FTIR

obtenidos (ver anexo J, IR de caucho, PS puro, PS post-consumo, Recubrimiento) se muestran las señales características del poliestireno, el caucho, y la mezcla ya polimerizada del recubrimiento formada por el Copolímero estireno-caucho-poliestireno post-consumo. También se realizó con los 3 principales espectros obtenidos (poliestireno, caucho, recubrimiento) una comparación de bandas características con el fin de determinar los posibles enlaces que aparecen en el copolímero formado, así como la desaparición de dobles enlaces formándose radicales libres que permitieron mayor entrecruzamiento de la molécula.

Como bandas características en el IR del recubrimiento se destaca la banda de absorción a 3025 cm^{-1} , correspondiente a los enlaces C-H aromáticos. Las bandas de absorción a 2919 y 2849 cm^{-1} se deben a la vibración C-H de los CH_2 de la cadena central del poliestireno; se observa la desaparición de la banda de absorción a 2350 cm^{-1} correspondiente al doble enlace C=C presente en la molécula de caucho y que se observa en el IR de éste, notándose nuevos enlaces al romperse la molécula en el momento de formación del copolímero. A 1750 se genera una banda, presente solo en el caucho correspondiente a la vibración C-H de los CH_3 . A 1601 cm^{-1} y 1492 cm^{-1} aparece la banda de absorción del enlace C-C de anillo, las bandas ubicadas en 1451 y 1027 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de los C-H, y las bandas características de vibración de los C-H del anillo aromático fuera del plano aparecen a 906.747 y 694 cm^{-1} , son propias del IR del poliestireno. Estas comparaciones de bandas muestran notables diferencias, observándose por tanto la aparición de un nuevo sistema formado por estos tres componentes, (estireno, caucho, poliestireno post-consumo) es decir el Copolímero.

4.4.5. Homogeneidad Superficial: Se utilizó un microscopio LABOPHOT-2 marca NIKON modelo M088E, con objetivo 4 de 25 micras y objetivo 100 de 5

micras, de la Escuela de Ingeniería Química de la UIS. (Ver anexo K, imágenes obtenidas de la muestra en el microscopio).

Al pasar las muestras por el microscopio se observó la estructura característica de los copolímeros, notándose una distribución de partículas esféricas al azar, a una distancia interparticular mínima, además se notaron ciertas zonas en las que el caucho presenta mayor influencia, proporcionándole las propiedades elastoméricas al recubrimiento. La combinación del poliestireno y el caucho mostró la formación de pequeñas bolitas esféricas de caucho que proporcionan propiedades importantes al material, pues el poliestireno solo es quebradizo, rígido y puede romperse fácilmente, éstas pequeñas esferas del caucho son elásticas y bajo tensión pueden absorber energía, generando mayor resistencia al copolímero. También fue observada la presencia de bastones en lugar de esferas los cuales actúan como fibras de material compuesto reforzado, haciendo el material más fuerte en dirección de los bastones.

Cuanto más pequeñas sean estas esferas, mayor será el área interfacial, y cuanto mayor sea ésta área, la energía puede ser transferida con mayor eficiencia de una fase a la otra, lo cual se traduce en mejores propiedades mecánicas del recubrimiento.³ Otra posible causa que generó la formación de micropartículas esféricas es la volatilización del estireno en el momento del curado y la retención que genera el caucho a dicha volatilidad, quedando atrapado el estireno en las partículas del caucho, las cuales, se observan en el microscopio con apariencia de burbujas.

5. IMPACTO AMBIENTAL

Los plásticos son unos de los materiales más usados en el mundo, especialmente en los sectores industriales y comerciales de fabricación. Pero, mientras el uso del plástico ha crecido dramáticamente durante los últimos 20 años, también se ha incrementado el volumen de desperdicios de plásticos que terminan en rellenos sanitarios y que alcanzan casi el 20%. Como una opción ante la problemática vivida en el país y como una manera de reciclaje, se buscó elaborar el recubrimiento a partir de PS post-consumo, lo cual, representa una excelente alternativa como destino final para este tipo de polímeros, evitando que terminen en basureros y rellenos sanitarios. Al realizarse un sondeo sobre el proceso y transformación de los artículos reciclados (papel, vidrio, metal y plásticos) en el área metropolitana de Bucaramanga, se encontró que en esta región sólo el plástico presenta una vía de reutilización; siendo el polietileno el polímero con mayor de recuperación. Existen sólo tres empresas que procesan dicho material y producen artículos de uso industrial como mangueras industriales o bolsas para el aseo. ¿Y ENTONCES DÓNDE ESTÁ EL POLIESTIRENO POST CONSUMO?... Perdido en los basureros de Bucaramanga, ya que el 14% del peso de una bolsa de basura equivale a plásticos, de los cuales el 4% es poliestireno⁵. El poliestireno es un material demasiado valioso como para desperdiciarlo, sin embargo en caso de ser dispuestos en un relleno sanitario los materiales de PS resultan totalmente inocuos para el medio ambiente, ya que son estables por naturaleza y no sufren degradación. Teniendo en cuenta que por cada dos toneladas de plástico reciclado se ahorra una de petróleo³, y basándonos en una pequeña producción de 30 galones de nuestro recubrimiento se estaría utilizando 0.02384 toneladas de poliestireno lo que equivaldría a ahorrar $7 \cdot 10^{-3}$ toneladas de petróleo, se estaría economizando y contribuyendo con el medio ambiente.

Sin embargo, teniendo en cuenta que nuestro proceso utiliza como materia prima el Estireno, solvente considerado tóxico, es necesario realizar un control adecuado de vapores emitidos en el momento de la volatilización de dicha sustancia, pudiéndose utilizar diferentes métodos tales como ciclones para la retención de partículas, torres lavadoras de gases, filtros, sistemas de aspiración, o desodorización de monómeros residuales, método que será determinado según el espacio, la capacidad de la planta, y la disponibilidad económica con que se cuenta en el momento de llevar a cabo el proceso industrialmente. Teniendo en cuenta que la exposición a grandes cantidades de estireno por cortos periodos de tiempo genera efectos como depresión, problemas de concentración, debilidad muscular, cansancio, náuseas, irritación de los ojos, nariz y garganta, las personas expuestas a esta sustancia química deben tomar precauciones en el momento de manipular el reactivo.

CONCLUSIONES

1. El recubrimiento obtenido, cumple con óptimas características de secado, adherencia, protección y homogeneidad al ser aplicado sobre láminas de metal de hierro galvanizado, plomo, vidrio y madera
2. Dependiendo de las características deseadas del recubrimiento es posible varias las diferentes cantidades de las materias primas destacándose, ya sean las propiedades elastoméricas o termoplásticas en el material
3. Se determinó que las mejores condiciones para la elaboración del recubrimiento polimérico consistió en una mezcla caucho-estireno-poliestireno post-consumo con porcentajes del 71.26% de estireno, 8.7% de caucho, y 20.07% de poliestireno post-consumo, ya que proporcionaron al recubrimiento mayor resistencia a solventes y sustancias químicas, tenacidad, espesor de la lámina, mayor resistencia térmica y dureza.
4. La adición del poliestireno post-consumo al recubrimiento permitió reducir costos de producción tomando como base la política de reciclaje, a la vez que se mejoran las características del recubrimiento aportando dureza y brillo, ya que se redujo la cantidad de estireno a utilizar, reemplazándolo por el PS reciclado.

RECOMENDACIONES

- Automatizar el mecanismo de aplicación, de manera que se distribuya en la lámina la misma cantidad de recubrimiento sobre los diferentes puntos de la superficie a recubrir homogeneizando el espesor de la capa del recubrimiento.
- Continuar el estudio a una mayor escala para determinar con claridad las condiciones óptimas de operación y posibilidades económicas del proceso a nivel comercial.
- Realizar un estudio mas detallado que permita determinar la posibilidad de utilizar el recubrimiento como barrera anticorrosiva para diversos metales.
- Estudiar la posibilidad de utilizar otros polímeros post-consumo, tomando como base este estudio para el reciclaje químico de los plásticos.

BIBLIOGRAFIA

1. REVISTA IBEROAMERICANA DE POLÍMEROS, Reciclado de Residuos Plásticos. Volumen 5, marzo de 2004.
2. STEPHEN Rose, "Fundamental Principles of Polymeric Materials". Wiley & Sons, 1993, EEUU 2^{da} edition.
3. SMITH Williams, "Fundamentos de la Ciencia de Ingeniería de los Materiales". McGraw-Hill, 3^{ra} edición.
4. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic. Annual Book of ASTM Standard, Vol 08,02 page 52-523,1995.
5. CHOPPIN G. R y B. Jaffe. "Química Métodos Sencillos de Identificación de Plásticos", Editorial Púlsar. España, 1969.
6. CAMPINS, Antonio. Tecnología Química de los Barnices y Pinturas. Barcelona: Reverté, 1951.
7. HERNANDEZ M Y ORJUELA M. Estudio de las rutas de síntesis de poliuretanos a través de tratamiento químico de polietilentereftálico, (PET) post-consumo. Bucaramanga, 2004. Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química.
8. RODRIGUEZ FRANCO Vanessa. Copolímeros de injerto, efectos de la adición de PVC post-consumo sobre algunas propiedades físico-mecánicas del sistema caucho-estireno. Bucaramanga, 2004. Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química.

9. MARTINEZ DE LAS MARIAS, "Química y Física de los altos polímeros y materias plásticas", Ed. ALHAMBRA, España 1972, p 80-82, 98-99, 105-108.
10. NOSHAY Allen, Block Copolymers, Overview and Crystal Survey. Academic Press. New York, 1997.
11. LLORENTE Miguel A. HORTA Arturo, "Técnicas de Caracterización de Polímeros, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid 1991.
12. RUBIN Irvin, "Materiales Plásticos, Propiedades y Aplicaciones, Ed. LIMUSA, México 1999.
13. SEYMOUR R Y CARRAHER C, "Introducción a la Química de los Polímeros", Ed. REVERTÉ S.A, Barcelona 1995.
14. GUIAS AMBIENTALES. Sector Plásticos. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, República de Colombia Bogotá, Colombia. Julio de 2004.

ANEXOS

ANEXO A

ESTUCTURAS MOLECULARES

FIGURA 1. Estructura Molecular del Estireno

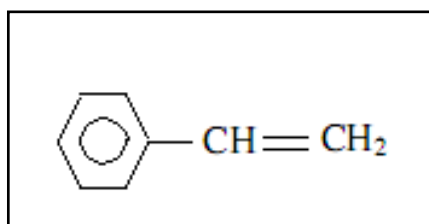


FIGURA 2. Estructura Molecular del Poliestireno

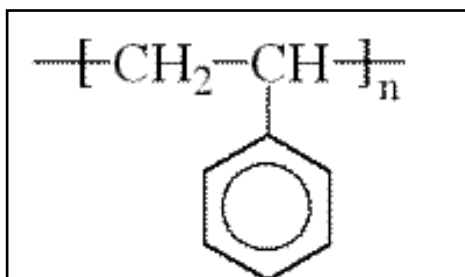


FIGURA 3. Estructura Molecular del Caucho Natural

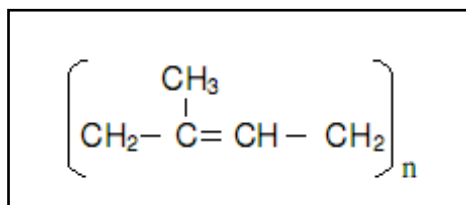


FIGURA 4. Estructura Molecular del Mek Peróxido

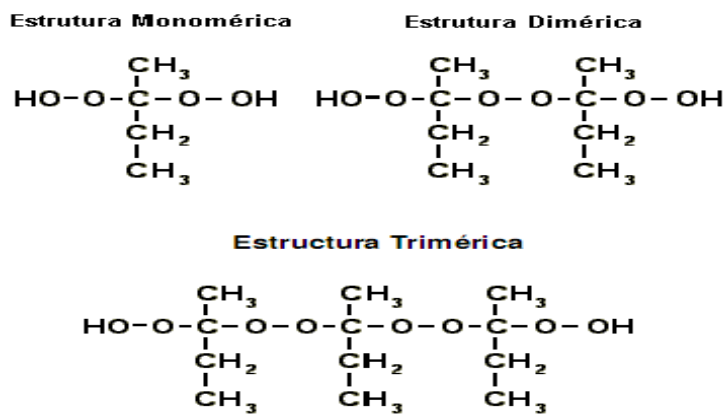


FIGURA 5. Características Físico-Químicas de Naftenato de Cobalto

Fórmula molecular	Co C ₂₂ H ₂₀ O ₄
Peso molecular (g/mol)	407
Densidad Relativa (g/cm ³)	0.9
Punto de inflamación (°C)	49
Punto de fusión (°C)	140
Temperatura de autoignición (°C)	276

ANEXO B

COMPLEMENTO TEÓRICO CATALIZADORES Y ACELERANTES

Para producir un objeto moldeado o laminado, la resina de poliestireno mejorada tiene que fraguar, que es el proceso de gelificación o coagulación y endurecimiento. Se consigue esto o bien mediante el uso de un catalizador y calor o a la temperatura normal del cuarto de trabajo empleando un catalizador y un agente acelerante. Los catalizadores para las resinas de poliestireno son generalmente peróxidos orgánicos, los catalizadores puros son inestables químicamente y susceptibles de descomponerse con violencia explosiva. El catalizador utilizado fue el *Mek Peróxido*, el cual no posee una fórmula químicamente definida, siendo fabricada con diferentes mezclas de hidroperóxidos.

Hay muchos componentes químicos que obran como acelerador, haciendo posible que la resina que contiene un acelerador pueda fraguar sin el calor. Los más importantes de todos los compuestos acelerados son los basados en una sal de cobalto, utilizándose el *naftenato de cobalto*.

Los peróxidos orgánicos en su descomposición, generan radicales libres que inician el proceso de polimerización. Estos peróxidos denominados catalizadores, se consumen durante la polimerización. Existen pruebas de que las porciones residuales de los radicales libres provenientes de los peróxidos aparecen en el retículo del termoplástico formado; por esto sería más correcto llamarles iniciadores.

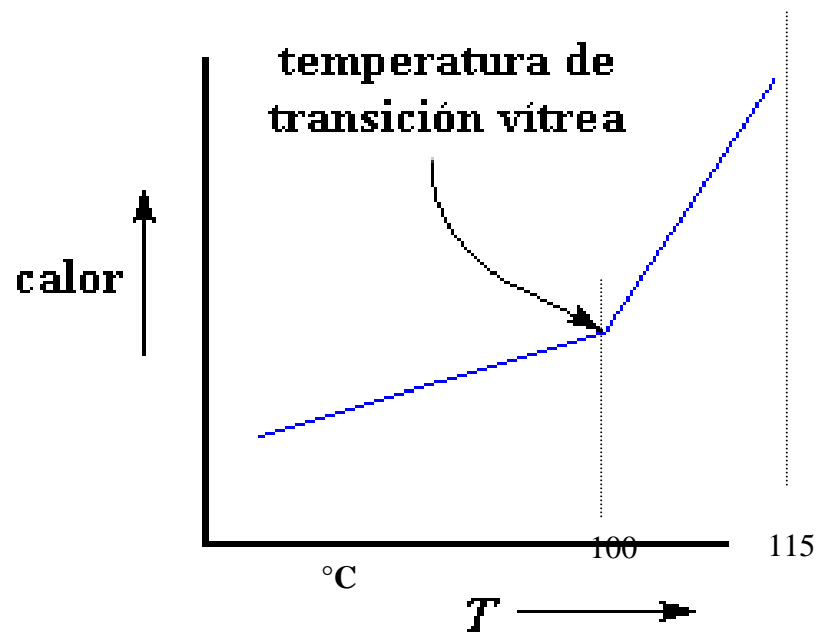
Existen múltiples peróxidos que se pueden utilizar en la iniciación de la polimerización. Si bien el precio puede ser un factor determinante en la elección

del iniciador, son factores más importantes la facilidad de manejo y mezclado, la temperatura y tiempo del proceso y la reactividad. Los activadores o promotores, activan la descomposición de un peróxido dispersado en la resina a temperaturas inferiores a las que tiene lugar su descomposición normal. Así es posible realizar polimerizaciones a temperatura ambiente, muy útil en determinadas aplicaciones. Los promotores, habitualmente, reducen a los peróxidos, formándose así los radicales libres para iniciarse la polimerización. Para los peróxidos de cetonas, normalmente, se utilizan como promotores sales de cobalto (naftenato de cobalto).

ANEXO C.

TRANSICIÓN VÍTREA DEL COPOLÍMERO

FIGURA 6. Cambios en la Transición Vítrea del Copolímero



ANEXO D

FUNDAMENTO TEÓRICO. CURADO DE LA RESINA

El curado fue el proceso por el cual las resinas pasaron de su estado líquido inicial al estado sólido. Para este cambio se necesitó la presencia de la resina, el catalizador y el activador (acelerador); la reacción es exotérmica al momento de mezclar los diferentes elementos. La reacción de polimerización por sí sola no se produce, o se produce con mucha dificultad, para facilitararlo se utilizó los catalizadores, los cuales se le añaden a la resina en el momento de la utilización.

Dentro del proceso de curado se llama polimerización al tiempo de reacción de la resina, desde la gelificación hasta el curado. El curado en sí, consta de tres fases:

- La gelificación en la que se produce el paso de la resina de un estado inicial líquido viscoso pero con facilidad de fluir a un gel blando.
- El endurecimiento, la resina pasa de gel blando a endurecida o sólido.
- La maduración, durante la cual la resina adquiere todas sus características mecánicas y químicas.

Las dos primeras fases son relativamente cortas (20 a 30 minutos). La última de ellas tiene lugar a lo largo de varias horas si se hace con estufas de calor o semanas si se realiza a temperatura ambiente.

Los principales factores que intervienen en el proceso de curado son:

- La temperatura ambiente la mayoría de las resinas no curan a temperaturas inferiores a 10 C.
- La naturaleza y cantidad de catalizador y activador. A mayor cantidad de ambos menos tiempo de gelificación.
- El incremento de temperatura del proceso, reduce el tiempo de gelificación.
- El espesor de laminado, cuyo aumento disminuye el tiempo de gelificación.

Durante el curado de la resina, se produce la formación de polímeros de poliestireno y una cierta proporción se evapora. Por todo esto, se justifica la necesidad de usar un ligero exceso molar de estireno para garantizar el curado satisfactorio de la resina.

Debemos tener precaución a la hora de añadir excesos de estireno. Ya que existen límites óptimos de concentración de monómero en los cuales debe producirse. En caso de que este límite sea sobrepasado, algunas propiedades se ven significativamente perjudicadas.

- Un exceso de estireno provoca que las resinas sean quebradizas y sensibles al calor.
- Resinas con exceso de estireno no presentan buena resistencia a la intemperie. Siempre que se encuentra Una pieza que al cabo de unas semanas o meses de exposición al sol presentan grietas superficiales en la capa.

ANEXO E

HINCHAMIENTO CAUCHO NATURAL

FOTO 1. Caucho Natural



FOTO 2. Hinchamiento del Caucho Natural en Estireno



Tabla 1. Proceso de Hinchamiento Estireno – Caucho

Muestra	Caucho	Estireno	% Caucho	% Estireno
1	0.447	4.5	9.12	90.87
2	0.467	4.705	9.02	90.97
3	0.761	5.347	12.45	87.54
4	0.612	3.4	15.25	84.74
5	0.943	3.054	23.59	76.40

ANEXO F

DISPERSIÓN DEL POLIESTIRENO POST-CONSUMO

FOTO 3. Dispersión del Poliestireno Post-consumo en Estireno



ANEXO G

ENSAYOS DE ATAQUE QUIMICO

Foto 4. Recubrimiento aplicado sobre esferas de metal (plomo)



Foto 5. Recubrimiento aplicado en vidrio



Foto 6. Recubrimiento aplicado en Madera



Figura 7. Resistencia al Ataque Químico

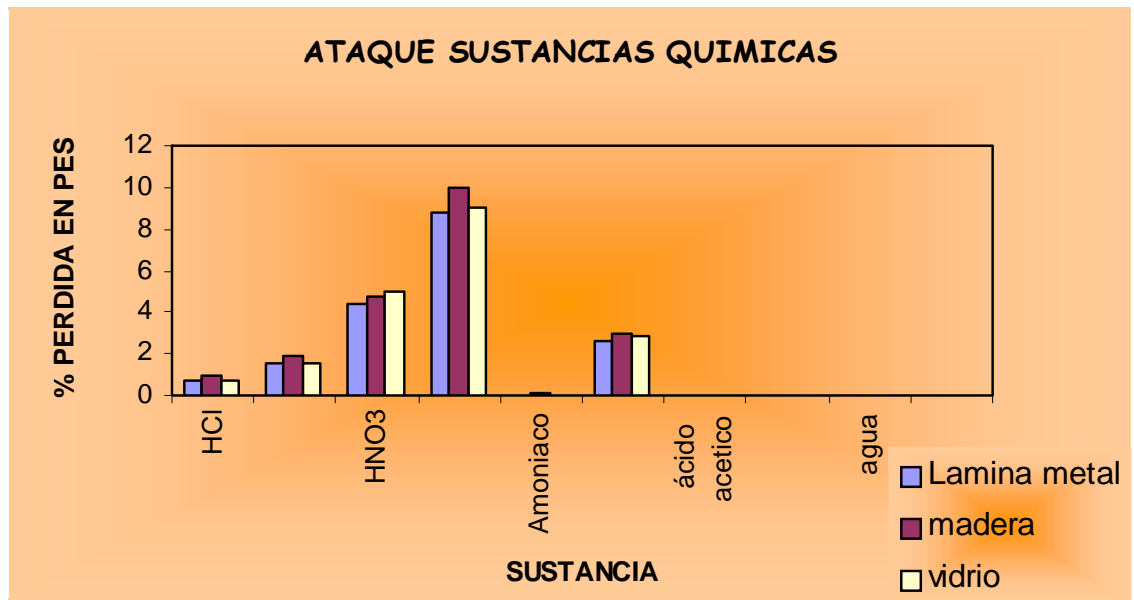


Foto 7. Lámina después de ser sometida al Ataque Químico del Ácido Nítrico



Foto 8. Lámina después de ser sometida al Ataque Químico del Etanol



ANEXO H

DETERMINACION DEL ESPESOR DE LA PELÍCULA HÚMEDA Y CÁLCULOS DEL RENDIMIENTO APROXIMADO

Tabla 10. Medición y cálculos realizados en la determinación de la película húmeda y redimiendo aproximado.

Muestra	W1 g	W2 G	P g/ml	Área (cm ²)	W3 G	E Micra	VIm ml	R (m ² /litro)
1	3.27	3.53	1.05	7.2	0.26	325	0.24	3
2	3.27	3.55	1.05	7.7	0.28	339	0.26	2.96
3	3.32	3.57	1.05	6.7	0.25	346	0.23	2.91
4	3.13	3.35	1.05	6.5	0.22	297.3	0.20	3.25
5	3.35	3.6	1.05	7.05	0.25	317.36	0.23	3.06
6	3.63	3.84	1.05	8.16	0.21	245.09	0.20	4.08
7	3.70	3.92	1.05	7.36	0.22	268.91	0.20	3.68

W1. Peso de la lámina sin recubrimiento

W2. Peso de la lámina con recubrimiento

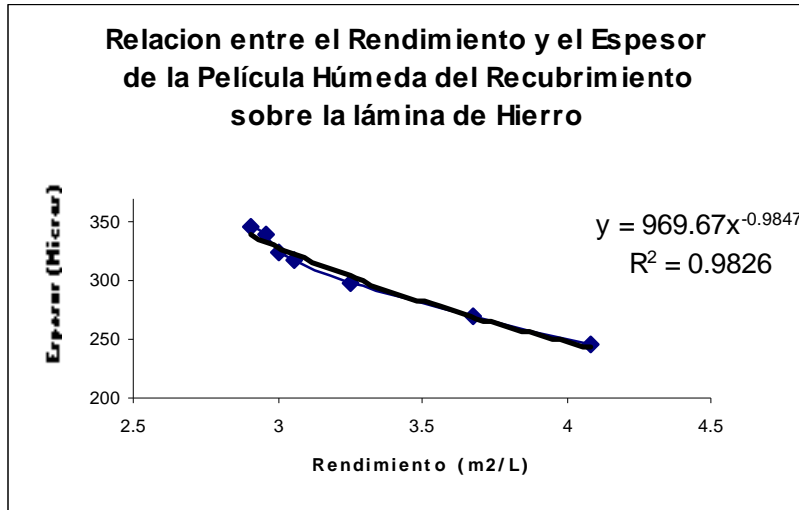
W3. Peso del recubrimiento

E. espesor (micras)

R. Rendimiento (m²/L)

ρ . Densidad

Figura 8. Relación del rendimiento y Espesor del Recubrimiento Húmedo



ANEXO I

ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO

Figura 9. TERMOGRAMA POLIESTIRENO PS

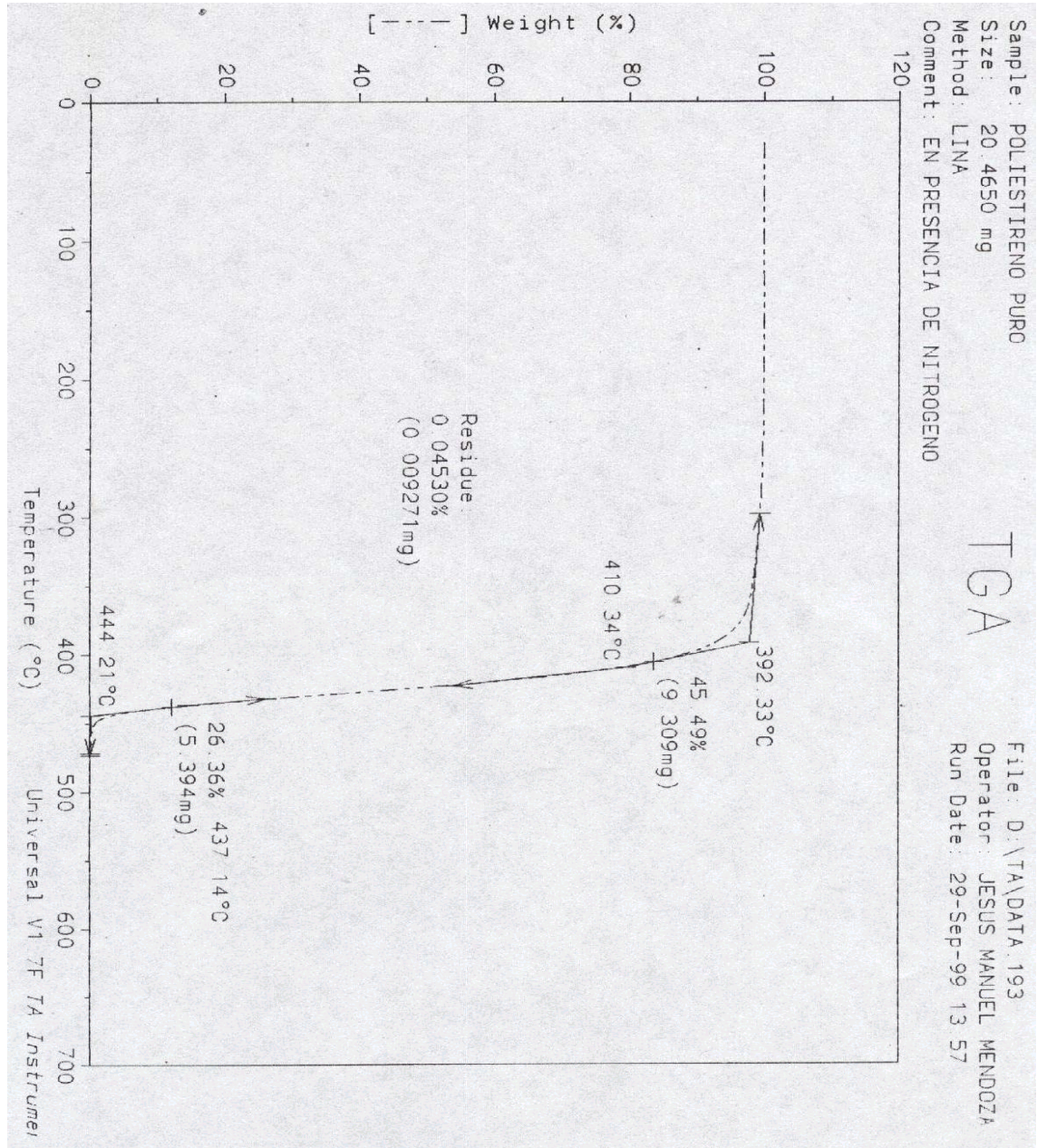


Figura 10. TERMOGRAMA POLIESTIRENO RECICLADO

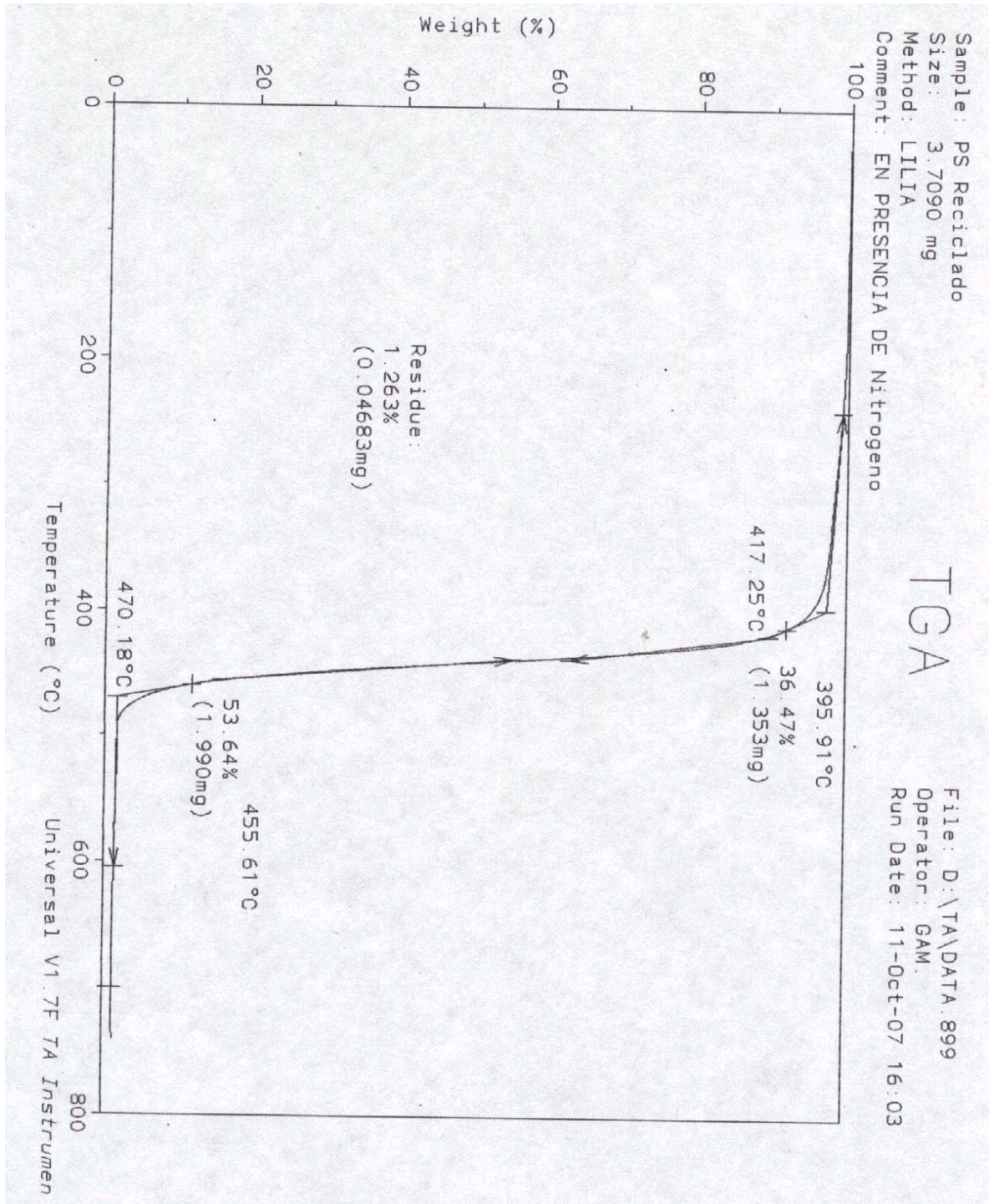


Figura 11. TERMOGRAMA CAUCHO NATURAL

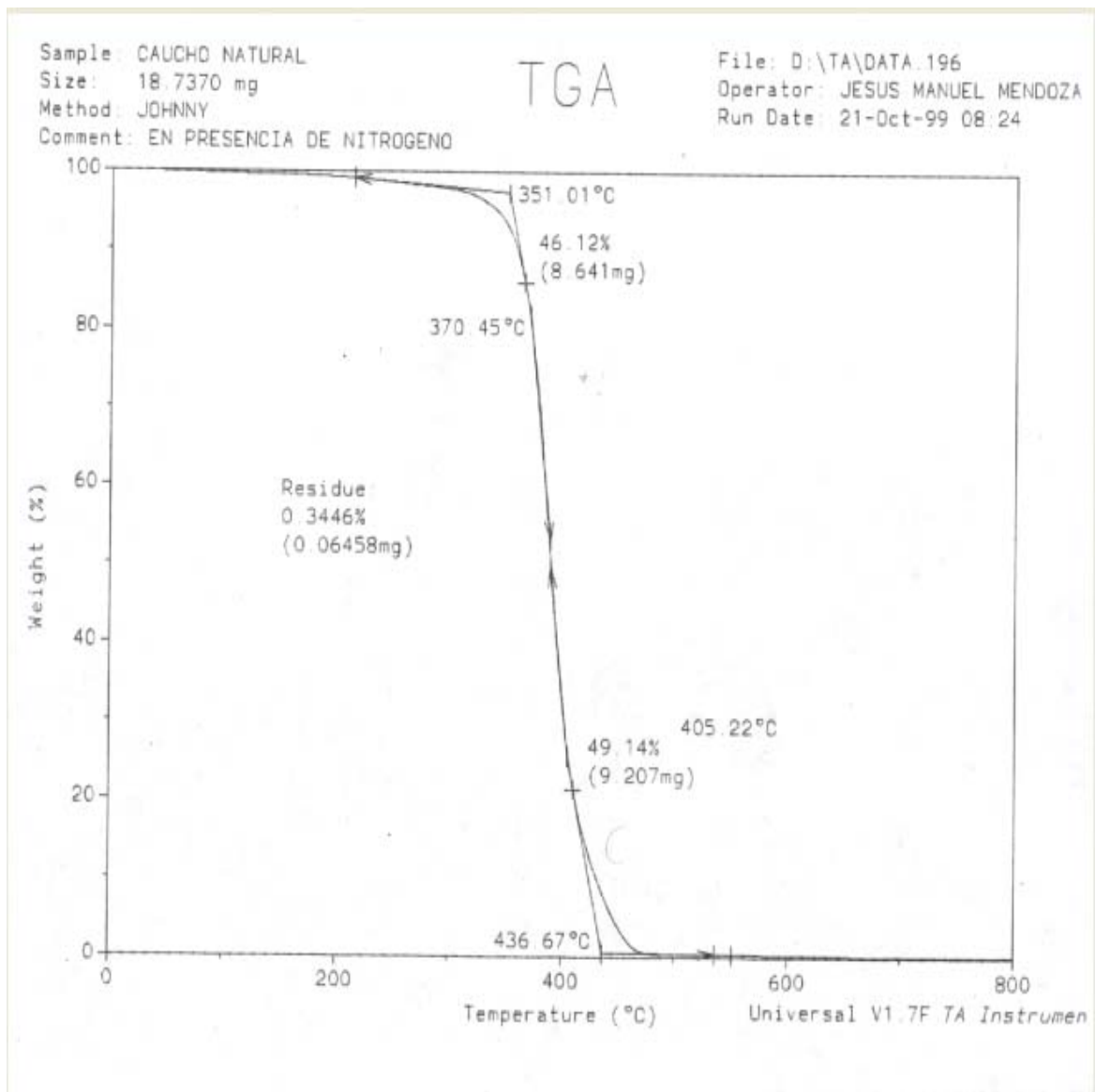
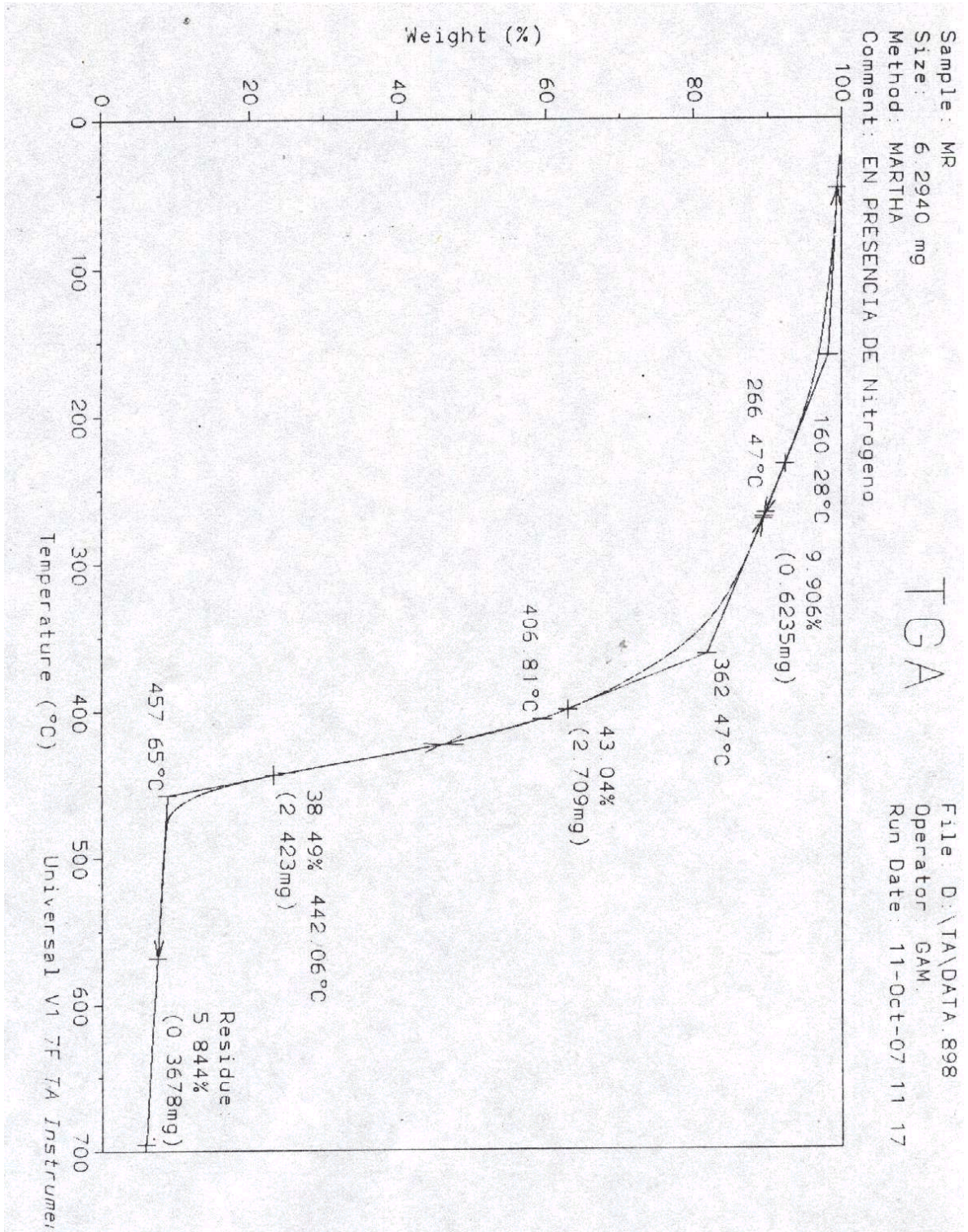


Figura 12. TERMOGRAMA RECUBRIMIENTO



ANEXO J

ANALISIS DE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO

Figura 13. IR POLIESTIRENO PS

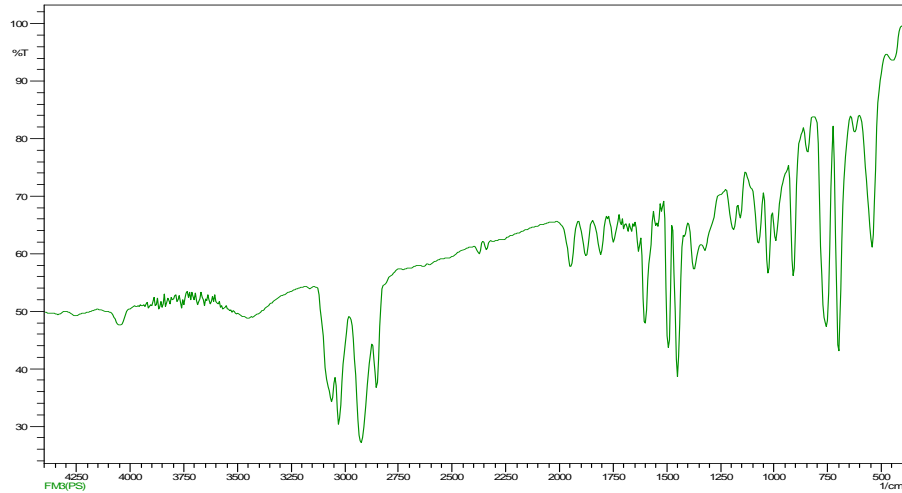
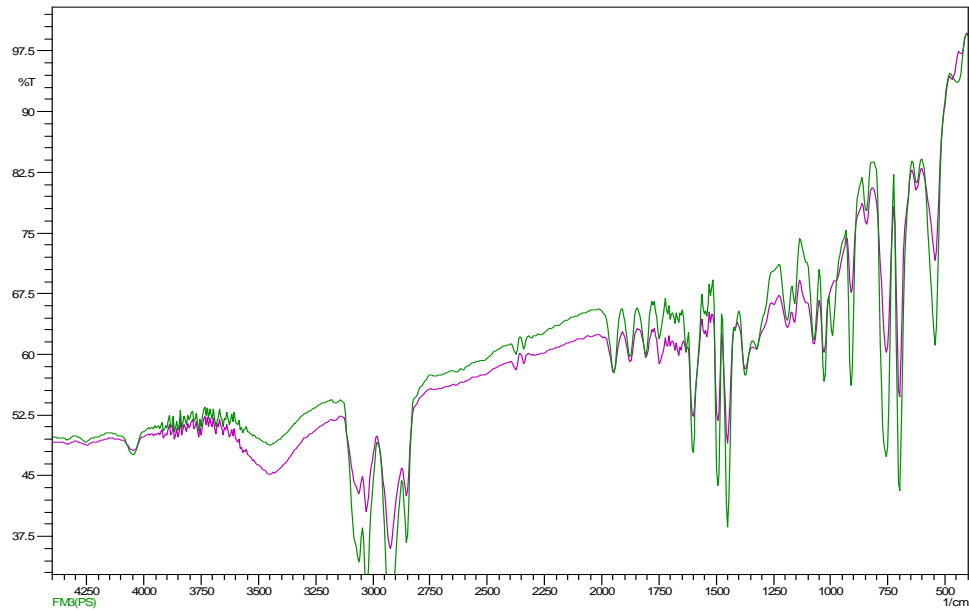


Figura 14. IR Poliestireno Puro- Poliestireno Post-Consumo



Línea verde. poliestireno puro

Línea violeta estireno. Poliestireno post-

consumo.

Figura 15. IR Recubrimiento (copolímero)

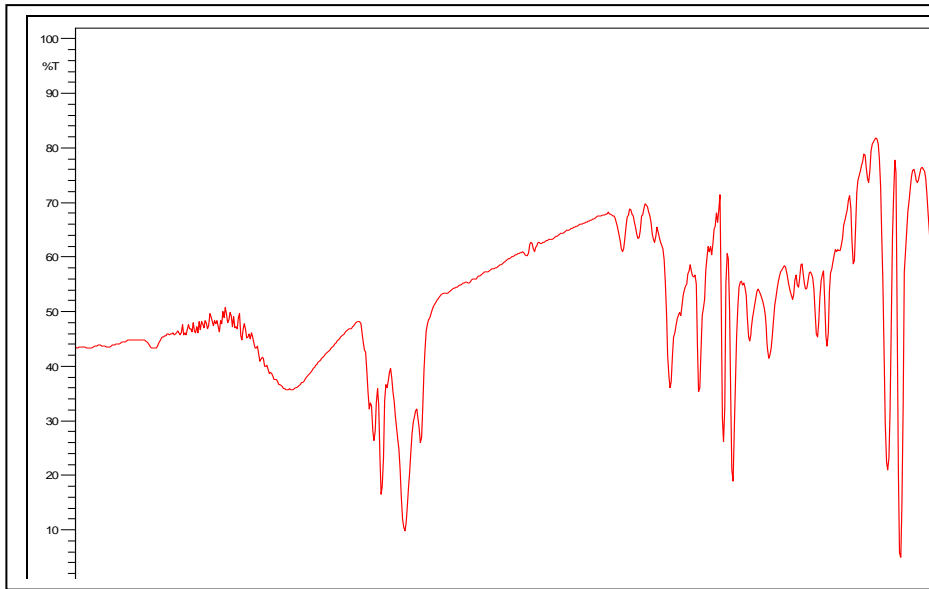
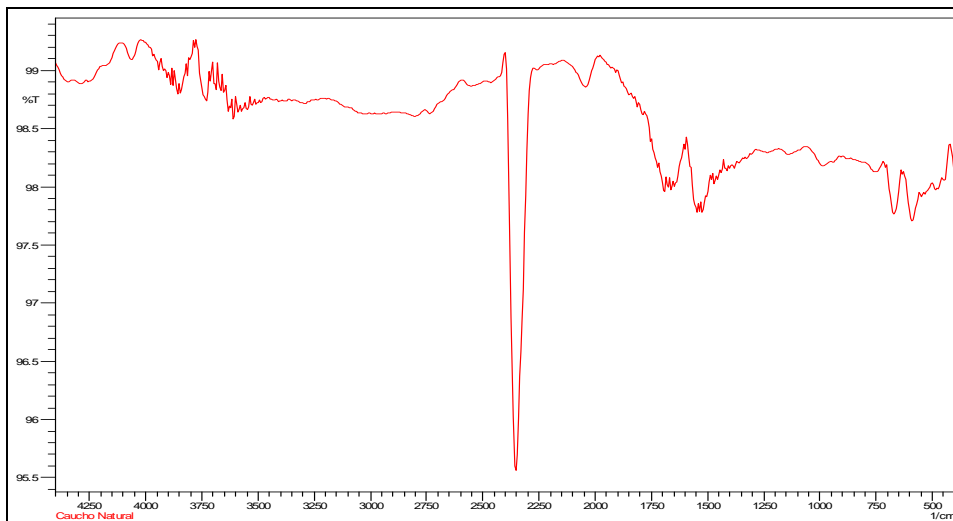


Figura 16. IR Caucho Natural



ANEXO K

ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD SUPERFICIAL

Fotos obtenidas por el microscopio LABOPHOT-2 marca NIKON modelo M088E de la Escuela de Ingeniería Química

Foto 9. Foto Microscópica del Caucho Natural en estado sólido

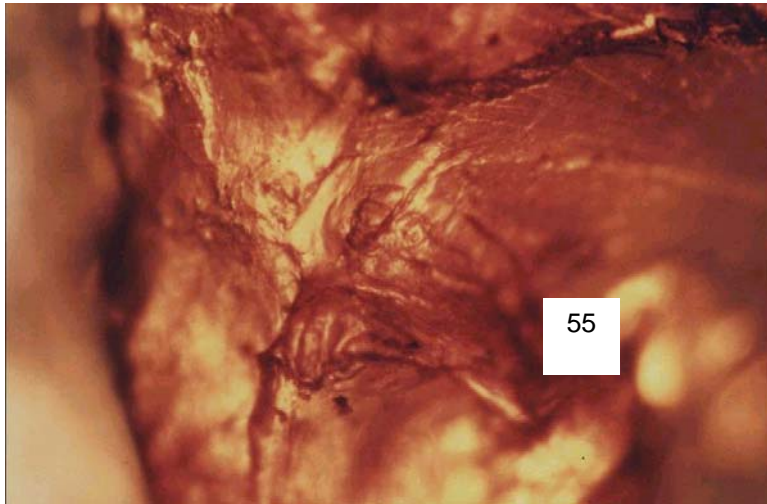


Foto 10. Foto Microscópica del recubrimiento aplicado sobre una lámina de vidrio

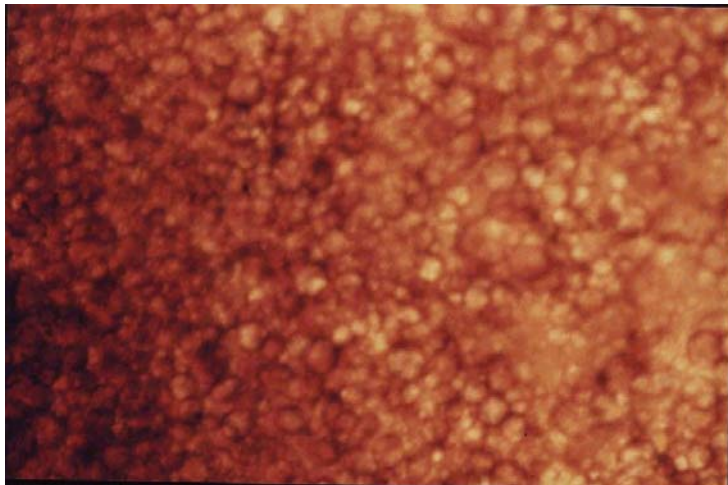


Foto 11. Capa extraída del recubrimiento aplicado sobre la lámina de metal

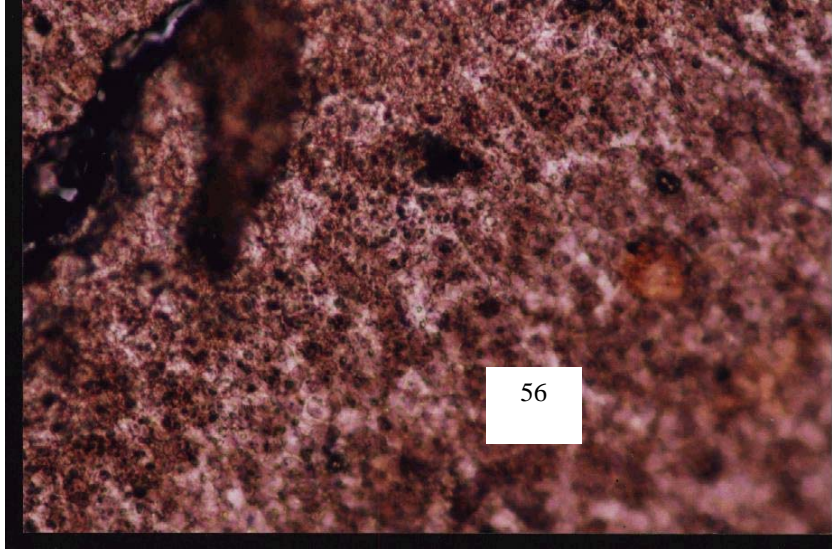
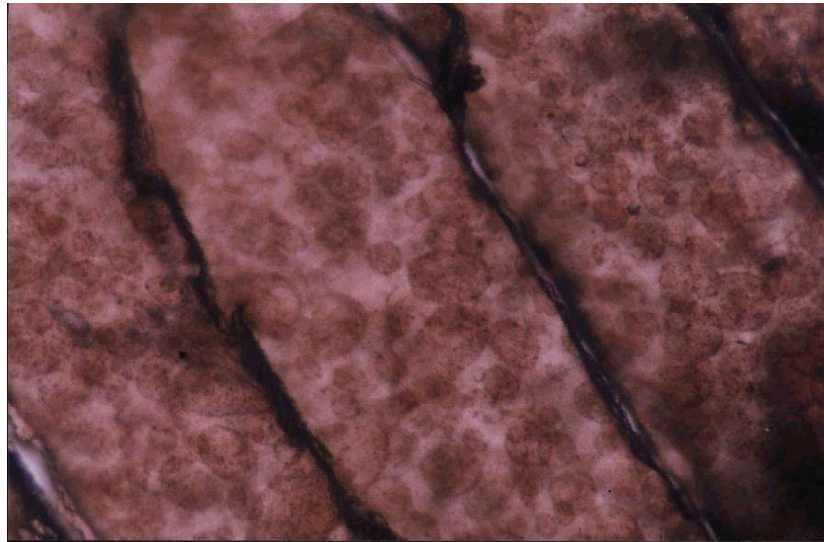


Foto 12. Capa extraída del recubrimiento aplicado sobre lámina de metal



ANEXO L

CAUSAS Y SOLUCIONES ANTE POSIBLES DEFECTOS GENERADOS AL MOMENTO DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO SOBRE LA LÁMINA

1. Burbujas, picos de aguja: pequeñas burbujas o agujeros en el recubrimiento

Causas probables:

- Excesiva agitación,
- Caudal excesivo

Soluciones sugeridas

- Reducir agitación
- Disminuir la cantidad aplicada como recubrimiento para la lámina.

2. Ampollas, hervidos: pequeños bultos sobre la superficie

Causas probables:

- Recubrimiento demasiado viscoso
- Calentamiento de pieza excesivamente rápido

Soluciones Sugeridas

- aplicar una capa más delgada de recubrimiento

3. Hervidos en piezas fundidas: ampollas sobre la superficie

Causas Probables:

- Aire ocluido en microporosidades de la pieza durante el curado, se expande formando una ampolla o cráter

Soluciones sugeridas

- Calentar las piezas previamente a temperatura superior al curado

4. Ojos de pez: Agujeros redondos parecidos a cráteres

Causas Probables:

- Contaminantes que impiden que el recubrimiento moje la superficie

Soluciones sugeridas

- Revisar métodos de manipulación, limpieza y preparación de muestra

5. Bajo Brillo: Aspecto apagado, velado con poco brillo

Causas Posibles

- Migración de componentes a la superficie, por efecto de condiciones de curado (tiempo, temperatura) inadecuadas
- Presencia de humedad durante la aplicación
- Poco espesor de la película

Soluciones Sugeridas

- Enfriamiento rápido: mejora de brillo.
- Verificar espesor de recubrimiento

6. Agrietamiento: Grietas de superficie de recubrimiento

Causas Probables

- Exceso de capa de recubrimiento
- Secado muy rápido, o temperatura de secado excesiva

Soluciones sugeridas

- Aplicar menor espesor
- Verificar condiciones de secado

7. Contaminación con partículas: partículas sólidas sobre la superficie

Causas probables:

- Recubrimiento seco en el interior del recipiente
- Partículas en suspensión en el área de la lamina

Soluciones sugeridas

- Filtrar el recubrimiento
- Mantener limpio y libre de polvo las zonas de aplicación y de horno

8. Exfoliación, descascarillado: partes del recubrimiento separadas del sustrato

Causas probables:

- Contaminación incorrecta preparación de la superficie
- Producto no homogéneo
- Curado inadecuado

Soluciones sugeridas

- Mejorar la limpieza del sustrato para eliminar aceites u otros restos
- Mezclar el producto adecuadamente
- Verificar procedimiento de curado

9. Descuelgues: recubrimiento que deja goterones antes de secar

Causas Probables

- Baja viscosidad del producto
- Disolvente de dilución incorrecto
- Capa de aplicación excesiva

Soluciones sugeridas

- Menor dilución del recubrimiento
- Aplicación de menor capa del producto
- Calentar las piezas antes de aplicar el recubrimiento

ANEXO M

GLOSARIO

- **TERMOPLÁSTICO:** Material plástico que requiere calor para poder darle forma y que después de enfriarlo mantiene su forma. Los termoplásticos están compuestos de cadenas de polímeros con enlaces entre cadenas del tipo de enlaces secundarios entre dipolos. Los termoplásticos pueden reblandecerse repetidamente cuando se calientan y endurecen cuando se enfrían. Termoplásticos típicos son polietilenos, vinilos, acrílicos, celulósicos y nylons.
- **PLÁSTICO TERMOESTABLE:** Material plástico que experimenta una reacción química por la acción del calor, catalizadores, etc., generando una estructura macromolecular reticular entrecruzada. Los plásticos termoestables no pueden volverse a fundir y procesar puesto que cuando se calientan se degradan y se descomponen. Los plásticos termoestables típicos son fenólicos, poliésteres insaturados y epoxis.
- **MONÓMERO:** Compuesto molecular simple que puede unirse de forma covalente con otros para formar cadenas moleculares largas (polímeros). Ej. El etileno.
- **CADENA POLIMÉRICA:** Un compuesto de gran masa molecular cuya estructura consiste en un gran número de pequeñas unidades que se repiten, denominadas meros. Los átomos de carbono son los átomos mayoritarios en las cadenas principales en la mayoría de los polímeros.
- **MERO:** Unidad que se repite en la cadena polimérica de la molécula.

- **POLIMERIZACIÓN:** Reacción química por la cual se forman moléculas de gran masa molecular a partir de monómeros.
- **COPOLIMERIZACIÓN:** Reacción química en la cual se forman moléculas de gran masa molecular a partir de dos o más tipos de monómeros.
- **POLIMERIZACIÓN EN CADENA:** El mecanismo de polimerización por el cual cada molécula polimérica aumenta su tamaño rápidamente una vez que el crecimiento ha comenzado. Este tipo de reacción ocurre en tres pasos. Iniciación de la cadena, propagación de la cadena y terminación de la cadena. El nombre implica una reacción en cadena y se inicia usualmente por medio de alguna fuente externa. Ej. La cadena de polimerización del etileno en polietileno.
- **GRADO DE POLIMERIZACIÓN:** Masa molecular de una cadena polimérica dividido por la masa molecular de su mero.
- **HOMOPOLÍMERO:** Un polímero consistente en un solo tipo de unidades de monómeros.
- **COPOLÍMEROS:** Cadena polimérica consistente en dos o más tipos de unidades de monómeros.
- **ENTRECRUZAMIENTO:** Formación de enlaces primarios de valencia entre moléculas de cadenas poliméricas. Cuando ocurre un entrecruzamiento extensivo como en el caso de las resinas termoestables, el entrecruzamiento genera una supermolécula con todos los átomos.
- **RELLENO:** Sustancia inerte de bajo costo añadida a los plásticos para hacerlos menos costosos. Pueden utilizarse también los rellenos para mejorar

algunas propiedades físicas como la resistencia a la tensión, resistencia al impacto, dureza, resistencia al desgaste, etc.

- **ELASTÓMERO:** Material que a temperatura ambiente se alarga bajo una pequeña tensión al menos dos veces su longitud y vuelve rápidamente a casi su longitud original al eliminar la tensión.
- **VULCANIZACIÓN:** Reacción química que causa el cruzamiento de las cadenas poliméricas. La vulcanización generalmente se refiere al entrecruzamiento de las cadenas moleculares de caucho con el azufre, pero la palabra puede también utilizarse para otras reacciones de entrecruzamiento de polímero como las que ocurren en los cauchos de silicona.

ANEXO N

FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA DEL ESTIRENO

Fichas Internacionales de Seguridad Química	
ESTIRENO	ICSC: 0073
D A T O S I M P O R T A N T E	<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido entre incoloro y amarillo, aceitoso.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia puede formar peróxidos explosivos. La sustancia puede polimerizar debido al calentamiento suave, bajo la influencia de la luz y en contacto con muchos compuestos tales como oxígeno, agentes oxidantes, peróxidos y ácidos fuertes, con peligro de incendio o explosión. La sustancia se descompone al arder produciendo humos tóxicos y óxido de estireno. Ataca al cobre y sus aleaciones.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV (como TWA): 50 ppm; 213 mg/m³ (piel) (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 100 ppm; 426 mg/m³ (piel) (ACGIH 1993-1994).</p> <p>VIAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación y a través de la piel.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS	<p>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: 0.03 Presión de vapor, kPa a 20°C: 0.7 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.6</p> <p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.02 Punto de inflamación: 31°C (c.c.) Temperatura de autoignición: 490°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 0.9-6.8 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 3.2</p>
DATOS AMBIENTALES	
NOTAS	

FICHA TECNICA NAFTENATO DE COBALTO

NAFTENATO DE COBALTO

ICSC: 1093

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Polvo marrón amorfo o sólido rojo azulado.</p> <p>PELIGROS FISICOS Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas. Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.</p> <p>PELIGROS QUIMICOS Por calentamiento intenso se producen humos tóxicos.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 0.02 mg/m³ (como Co) A3 (ACGIH 1995-1996). MAK: no establecido.</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION El aerosol irrita los ojos y el tracto respiratorio.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel (véanse Notas).</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de fusión: 140°C Densidad relativa (agua = 1): 0.9 Solubilidad en agua: Ninguna</p>	<p>Punto de inflamación: 49°C Temperatura de autoignición: 276°C</p>
DATOS AMBIENTALES		

FICHA TECNICA MEK PERÓXIDO

Metil Etil Cetona	
DESCRIPCION	
Sinónimos	: Metiletilcetona - Etil Metil Cetona - Butanona - 2-Butanona - Metil Acetona - Metil-2-Propanona - MEK.
Formula Química	: C_4H_8O
Concentración	: 99.0%
Peso molecular	: 72.11
Grupo Químico	: Compuesto Orgánico - Cetona Alifática Saturada.
Número CAS	: 78-93-3
Número NU	: 1193
Código Winkler	: ME-1055

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	
Estado Físico	: Líquido.
Apariencia	: Incoloro.
Olor	: Ligero olor a Acetona - Umbral del olor: 2 - 85 ppm.
pH	: Probable neutro.
Temperatura de Ebullición	: 79.6°C
Temperatura de Fusión	: -86.7°C
Densidad (Agua=1)	: 0.805 kg/L a 20°C
Presión de Vapor	: 77.5 mmHg a 20°C
Densidad de Vapor (Aire=1)	: 2.41
Solubilidad	: Apreciable solubilidad en Agua (27 - 29 g por 100 ml de Agua a 20°C). Soluble en Alcohol Etilico, Acetona, Eter Dietilico y Benceno.