

Recuperación de Tereftalato de Polietileno a partir de botellas de envase plástico, como agente modificador de cadena en resinas alquídicas base solvente



Jonathan Quiroga Hernández

Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería
Programa de Química
Bogotá, Colombia

2020

**Recuperación de Tereftalato de Polietileno a partir de botellas de envase plástico,
como agente modificador de cadena en resinas alquídicas base solvente**

Jonathan Quiroga Hernández

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Químico

Director (a):

Mg. Marcela Andrea Zambrano Bothía

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Programa de Química

Bogotá, Colombia

2020

DEDICATORIA

Hay tantas personas a las que quiero dedicar este esfuerzo convertido hoy en mi proyecto de vida...

Inicialmente a mis padres José Libardo Quiroga y Gloria Patricia Hernández; con quienes adopte el amor por el estudio y las ganas de salir adelante.

A mis hermanos, a los que les debo muchas risas, lágrimas, pero, sobre todo, mucho aprendizaje.

Dedicarle todo esto a mi tía Doris Hernández. Ella, quien hasta me ayudo a aprender a sumar, hace parte de todo este largo camino.

Entregarle, ofrecerle y agradecerle todo este trabajo a mi amada esposa Susana E. Plata, quién me acompañó en todo momento y no dejó que la flaqueza de mi fuerza le ganara a mis ganas de progresar, de ser una mejor persona y de volverme profesional en lo que amo inmensamente, la Química.

A mis hijos, Simón Quiroga Plata y Samantha Quiroga Plata, fuente de toda energía sobrehumana que me permitía empujar y empujar para lograr cada objetivo y cada meta propuesta en este proyecto

Finalmente, quiero entregar todo este proceso in memoriam de mi abuela Judith Rodríguez de Hernández, porque sé que, desde el cielo, ha acompañado cada esfuerzo y sonrío con cada logro obtenido...

AGRADECIMIENTOS

Principalmente quiero dar gracia a Dios, creador de todo lo que conozco y lo que no conozco, Él me permitió culminar satisfactoriamente con este trabajo de grado y con mi proceso académico; nunca me dejó desfallecer en este largo camino, que, aunque a veces se tornó difícil, siempre ha sido y será muy satisfactorio.

Profesores y cuerpo docente que me brindaron, a parte de su conocimiento, la paciencia y dedicación para fortalecerme como profesional. A todos mil y mil gracias

RESUMEN

De acuerdo con la necesidad que tiene el mercado de pinturas de innovar en propuestas y procesos que disminuyan los costos de fabricación de los productos terminados y a su vez, contribuyan con la disminución del impacto ambiental, las compañías fabricantes de pinturas, recubrimientos y solventes han implementado el uso de materiales de post-consumo como materia prima para sus productos. Un ejemplo de ello es la recuperación de Tereftalato de Polietileno (P.E.T), material con el cual se fabrican las botellas plásticas con el fin de modificar la cadena carbonada de una resina, generando un aprovechamiento de este residuo.

La incorporación de P.E.T., en el proceso de fabricación de una resina corta en soya permite modificar la cadena carbonada presente en el aceite, generando un compuesto de alto peso molecular que en condiciones normales o estándar de temperatura, humedad y ventilación tendrá un mejor secado que una resina corta en soya sin un agente modificante, es decir temperaturas alrededor de los 20° C y humedad entre el 30% y el 80%; adicional a esto, en barnices transparentes tendrá una buena resistencia química y mecánica, sin disminuir el anclaje sobre el sustrato en el cual se aplique, debido a que el P.E.T. por su estructura molecular, morfología de material y reactividad, modifica la disposición de la cadena de carbono del aceite, cambiándola de lineal a ramificada, ejerciendo un cambio en el producto final.

Para asegurar que el producto final ha tenido cambios en estas características, se realizó un ensayo, variando la formulación del barniz transparente brillante, empleando una resina alquídica

modificada con P.E.T. contra un barniz transparente brillante con resina alquídica sin modificar y así se pudo comparar en igualdad de condiciones ambientales (temperatura y humedad) y de espesor de película, tanto húmedo como seco, el secado oxidativo, donde se evidenció que el barniz fabricado con la resina que contiene el P.E.T. disminuyó el tiempo de secado, pasando de 52 minutos a 47 minutos al igual que la formación del film en cuanto al brillo siempre se mantuvo sobre el 97% y anclaje sobre la superficie de aplicación siempre fue del 100%, propiedades que se referenciaron cuantitativa como cualitativamente y fueron medidas en aplicación en lenta y sustrato metálico, demostrando que el brillo se mantiene en la aplicación y no disminuye con el paso del tiempo y el anclaje es completo y no se separa el film de la superficie.

ABSTRACT

In accordance with the need of the paint market to innovate in proposals and processes that reduce the manufacturing costs of finished products and, in turn, contribute to the decrease in environmental impact, paint, coating and solvent manufacturing companies have implemented the use of post-consumer materials as raw material for their products. An example of this is the recovery of Polyethylene Terephthalate (P.E.T), a material from which plastic bottles are manufactured in order to modify the carbon chain of a resin, generating use of this residue.

The incorporation of PET in the manufacturing process of a short resin in soy allows the carbon chain present in the oil to be modified, generating a high molecular weight compound that under normal or standard conditions of temperature, humidity and ventilation will have a better drying than a short resin in soybeans without a modifying agent, that is, temperatures around 20 ° C and humidity between 30% and 80%; In addition to this, in transparent varnishes it will have a good chemical and mechanical resistance, without reducing the anchorage on the substrate in which it is applied, because the P.E.T. Due to its molecular structure, material morphology and reactivity, it modifies the arrangement of the carbon chain of the oil, changing it from linear to branched, exerting a change in the final product.

To ensure that the final product has had changes in these characteristics, a test was carried out, varying the formulation of the clear gloss varnish, using a modified alkyd resin with P.E.T. against a glossy transparent varnish with unmodified alkyd resin and thus it was possible to compare oxidative drying in equal environmental conditions (temperature and humidity) and film thickness, both wet and dry, where it was evidenced that the varnish made with the resin containing PET drying time decreased, going from 52 minutes to 47 minutes, as well as the formation of the film in terms of gloss, it always remained above 97% and anchoring on the application surface was always 100%, properties that were quantitatively referenced as Qualitatively, they were measured in slow application and metallic substrate, demonstrating that the shine remains in the application and does not decrease over time and the anchoring is complete and the film does not separate from the surface.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	22
4. OBJETIVOS.....	24
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	24
4.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	24
5. MARCO TEÓRICO.....	25
5.1 TEREFALATO DE POLIETILENO (PET).....	26
5.2 COMPOSICIÓN.....	26
5.3 PROCESO INDUSTRIAL PARA SU OBTENCIÓN.....	27
5.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS FRENTE AL MERCADO.....	28
6. RESINAS ALQUIDICAS.....	30
6.1 RESINAS ALQUIDICAS EN COLOMBIA.....	30
6.2 MATERIAS PRIMAS.....	31
6.2.1 ACIDOS GRASOS Y ACEITES.....	31
ACEITE DE SOYA.....	31
ACEITE DE LINAZA.....	31
ACEITE DE CARTAMO.....	32
ACEITE DE COCO.....	32
ACEITE DE RICINO.....	33
6.2.2 GLICOLES.....	33
6.2.3 POLIALCOHOLES.....	34
6.2.4 ANHIDRIDO FTÁLICO.....	34
6.2.5 HIDROXIDO DE SODIO.....	35
6.2.6 ÁCIDO FOSFORICO.....	35
6.2.7 DISOLVENTES.....	36
6.3 AGENTE MODIFICADOR.....	37
6.3.1 COLOFONIA.....	37
6.3.2 RESINA FENÓLICA.....	38
6.3.3 ANHIDRIDO MALÉICO.....	38
6.3.4 VINIL TOLUENO.....	35
6.3.5 ESTIRENO.....	39
6.4 PROCESO FÍSICO Y QUÍMICO DE LA ELABORACIÓN DE UNA RESINA.....	40
6.4.1 FORMACIÓN DE UN POLIMERO.....	42
6.4.2 POLIMERIZACIÓN POR CONDENSACIÓN.....	44
6.4.3 REACCIÓN DE ALCOHOLISIS.....	45
6.4.4 REACCIÓN DE ACIDOLISIS.....	45
6.4.5 REACCIÓN DE ESTERIFICACIÓN.....	46

6.5 PROPIEDADES DE LA RESINA ALQUIDICA.....	47
6.6 BARNICES.....	49
6.7 GENERALIDADES DEL BARNIZ TRANSPARENTE BRILLANTE DE SECADO AL AIRE.....	50
6.8 COMPOSICIÓN.....	50
6.8.1 RESINA ALQUIDICA.....	50
6.8.2 SECANTES.....	51
6.8.3 ADITIVO NIVELANTE.....	52
6.8.4 SOLVENTE.....	52
6.9 IMPACTO DEL BARNIZ EN EL MERCADO COLOMBIANO.....	53
6.10 RECUPERACIÓN DE PET EN COLOMBIA Y EL MUNDO.....	54
7. METODOLOGÍA.....	57
8. RESULTADO Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	69
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
9.1 CONCLUSIONES.....	77
9.2 RECOMENDACIONES.....	80
10. BIBLIOGRAFIA.....	82

Lista de Reacciones

Reacción 1 Reacción de Tras-Esterificación (fuente Flores I., 2019).....28

Reacción 2 Esterificación Directa (repositorio Martínez, A. 2102).....28

Reacción 3 Estructura Lineal de un Polímero (fuete repositorio Martínez, A. 2102).....40

Reacción 4 Reacción de Acidólisis (Fuente Trujillo, M. 2011).....41

Reacción 5 Reacción de Naftaleno y sodio (Carrasquero, F. 2004)42

Reacción 6 Formación del ión radical (Carrasquero, F. 2004).....42

Reacción 7 Formación en cadena de un polimero (fuente Carrasquero, F 2004).....43

Reacción 8 Molécula lineal (fuente Martínez, A. 2102).....43

Reacción 9 Esterificación (fuente Arango A., 2012).....44

Reacción 10 Reacción mediante alcoholólisis o desesterificación (fuente Correa J., 2007)45

Reacción 11 Reacción de acidólisis (fuente Correa J., 2007)46

Reacción 12 Esterificación total (Bobadilla, 2014).....47

Listado de Tablas

<i>Tabla 1 Formulaciones para Ensayos</i>	59
<i>Tabla 2 Formulación de Barniz Transparente Brillante</i>	67
<i>Tabla 3 Resina Alquílica en base solvente con recuperación</i>	69
<i>Tabla 4 Resumen de análisis estadístico</i>	70
<i>Tabla 5 Análisis de varianza</i>	70
<i>Tabla 6 Barniz trasparente brillante</i>	71

Lista de Figuras

<i>Figura 1 Estructura Química del PET (Susanavas. D, 2017).....</i>	<i>27</i>
--	-----------

Lista de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 A. Recuperación de PET B. Pesaje de PET (fuente autor)</i>	58
<i>Ilustración 2 Tubos Gardner</i>	58
<i>Ilustración 3 C. Inicio de la Reacción D. Reacción con Agitación (fuente autor)</i>	63
<i>Ilustración 4 E. Reacción con PET (fuente autor)</i>	64
<i>Ilustración 5 F. Segunda Etapa (fuente autor)</i>	65
<i>Ilustración 6 G. Montaje de Titulación H. Acidez (fuente autor)</i>	66
<i>Ilustración 7 I. Peso por galón (fuente autor)</i>	66
<i>Ilustración 8 Comparación de viscosidades (fuente autor)</i>	66
<i>Ilustración 9 L. Adición de solvente inicial M. Adición de solvente final (fuente autor)</i>	67
<i>Ilustración 10 N. Brillómetro (fuente autor)</i>	68

1. INTRODUCCIÓN

Las resinas alquídicas han sido, son y serán una de las materias primas más importantes dentro de la fabricación de pinturas y recubrimientos, bien sean en base solvente o de características emulsificadas. Este tipo de resinas son de un costo de manufactura muy bajo ya que normalmente son elaboradas con ácidos grasos o aceites de origen natural. Adicional a ello, se caracterizan por tener numerosas insaturaciones que permiten con gran facilidad los procesos de polimerización, aumentando su velocidad de secado al aire en el tiempo. Dentro de las resinas alquídicas más comunes se encuentran las elaboradas con aceite de soya, ácidos grasos y aceite de coco, y las resinas modificadas (Isaam & Cheun, 2009).

En todos los procesos industriales es necesario incluir un componente ambiental que permita disminuir un impacto negativo en el medio ambiente, como es el caso de la industria manufacturera de pinturas, resinas y barnices; es por ello que, se ve la necesidad de formular un nuevo producto que incorpore como materia prima compuestos recuperados que vayan en pro de mantener o mejorar las propiedades físicas y/o químicas del producto, en este caso, un barniz transparente brillante de secado rápido elaborado con resinas alquídicas modificadas con Tereftalato de Polietileno (PET) obtenido a través de botellas para envasar agua potable.

En Colombia, la resina alquídica en base solvente se debe formular de tal modo que se adicione un porcentaje de aceites de mayor saturación, como el aceite de soya o también el aceite rinoléico, ya que su costo como materia prima es más bajo que otros aceites y sus propiedades

proveen a la resina brillo y secado de película, que van en pro de calidad del producto (Isaam & Cheun, 2009). En la fabricación de resinas alquídicas a nivel nacional, es necesario la evaluación de ácidos grasos producidos por árboles genotípicamente autóctonos, que contengan gran cantidad de ácido rinoléico, y que, sumado a ello, se llegue a generar reconsumo de algunos aceites ya manipulados, disminuyendo el costo final del producto (Wallace, 1978). Actualmente, la gran mayoría de aceites usados o procesados en el tratamiento de alimentos como las frituras se vierten en alcantarillados, se usa para jabones, para la elaboración de biocombustibles o para hacer velas de aceite o se disponen de tal forma que generan un gasto adicional para el consumidor del producto. Esta metodología impacta de forma negativa el medio ambiente y la economía industrial (Lapuerta, Rodríguez-Fernández & Agudelo, 2008).

Adicionalmente, se cuenta también como alternativa de mejora en costos e impacto medioambiental, el uso de Tereftalato de Polietileno (PET) reciclado para modificarla sin desmejorar las condiciones de calidad del producto final (Karayannidis, Achilias, Sideridou, & Bikiaris, 2015).

Por lo anterior y abriendo todo el panorama de fabricación, todas estas materias primas podrían llegar a ser un elemento de gran ayuda en la industria de los polímeros como las resinas alquídicas base solvente en Colombia. Estudios realizados en la Unión Europea evidencian que se alcanzan a recolectar alrededor de 400.000 toneladas de aceite de frituras por año y el problema crece, ya que se argumenta que los no controlados de esta misma recolección aumentan con el paso del tiempo (Lafont, Páez y Torres 2011).

En Colombia, según información del DANE (2015) y La República (2017), el sector de pinturas generó alrededor de 1.1 billones de pesos en venta bruta y cerca de un 35% corresponde a la manufactura y comercialización de resinas alquídicas, epóxicas, poliésteres, vinílicas y polivinílicas (DANE, 2017).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por ser la resina alquídica corta en soya una de las materias primas más usadas en la fabricación de pinturas, se hace propicio evaluar la posibilidad de encontrar un compuesto o material reciclado que, incluyéndolo dentro su formulación, conserve o mejore sus propiedades físicas y químicas de la misma.

En la actualidad, los diferentes sectores industriales están percibiendo el uso de materiales recuperados como un valor agregado en cada uno de los productos fabricados; por ello, el reciclaje de PET, se está canalizando como una parte fundamental del tema ambiental que se vive en la actualidad y con esto, se está perfilando como una de las mayores oportunidades de negocios para casi toda la industria manufacturera de plásticos y sus derivados, ya que se puede aumentar su funcionalidad después de su vida útil, incorporándolo como insumo en algunos procesos industriales.

Por las condiciones del PET como la flexibilidad, maleabilidad y funcionalidad, los insumos derivados del petróleo han sido el material preferido por la gran mayoría del sector industrial, convirtiendo su fabricación en una oportunidad de abastecimiento de material para otras industrias que ha terminado por saturar de algún modo, el planeta de plástico no funcional (Grafia, 2015).

Todo el plástico que ha cumplido su ciclo de vida útil finaliza como un tema de contaminación ambiental, ya que son compuestos que por sus características y su naturaleza no se degrada con facilidad y terminan convirtiéndose en parte no formal del ecosistema sin aportar ningún beneficio.

Por lo anterior, se puede hablar de un tipo de contaminación terrestre, que hace referencia al plástico que se encuentra en los diferentes ecosistemas y ambientes, como bolsas plásticas, empaques, botellas para envasar bebidas, chicles y otros cientos de usos que son difíciles de disponer, ya que muchos de ellos pueden tardar años en degradarse (Arandes, Bilbao y López, 2004).

También se tiene que tener en cuenta la contaminación del suelo por microplásticos, perjudicando el crecimiento de especies propias de cada geografía, que no permite la misma absorción de nutrientes por parte de las plantas al igual que la retención de agua en el suelo, esto debido a que la compresión de las partículas terrestres que debe existir entre cada una, es mayor, debido a la presencia de elementos extraños al sistema, es este caso el plástico (Geographic, 2019).

Por otro lado, cuando se habla de la contaminación del agua, es evidente que se hace referencia a inconvenientes mucho más grandes, ya que hasta el momento se han detectado islas completas de residuos plásticos con un tamaño considerable que de manera directa e indirecta afectan el ecosistema acuático, puesto que el material de plástico o residuos plásticos son normalmente colonizados por organismos microscópicos con características patógenas que alteran

irreversiblemente los ciclos de nutrientes y todo el equilibrio del ecosistema acuático presente (Gomez y Guillermo, 2016).

Ahora bien, cuando se puntualiza en contaminación en el aire, se puede observar que, al momento de fabricar el plástico, las emisiones de vapores tóxicos que desprenden este tipo de industrias son muy altos y adicional a ello por el desconocimiento de algunas personas, la disposición final de los residuos plásticos termina siendo incinerados causando aún más daño al ambiente ya que llegan a generar efecto invernadero. Según su naturaleza pueden contribuir al efecto de lluvia ácida y otro tipo de factores que degradan cada vez más la calidad del aire (Baulch, 2014).

Según algunos estudios de *Administración de Alimentos y Medicamentos* (FDA, por sus siglas en inglés), el porcentaje que se recicla de Tereftalato de Polietileno en relación a su producción es muy bajo, ya que algunas empresas dedicadas a estas tareas, indican que dentro de su producción sólo se llega a mezclar el RPET (PET Reciclado) tan solo hasta en un 15% con resina virgen y aunque se pudiera reciclar la totalidad de ellos, no se podría reducir significativamente la cantidad de producción debido a la simple razón de oferta y demanda en el sector alimenticio. Otro factor negativo de los envases, en donde el P.E.T. tiene gran participación, es que pequeñas partículas del material (que no son perceptibles a la vista) se pueden desprender y quedar suspendidos en los alimentos.

De igual modo, la estructura química del PET imposibilita la recuperación del material de una forma sencilla, donde sin ser necesario algún proceso químico, el compuesto sea reutilizado,

por lo contrario, la resina con la cual se fabrican los envases de tereftalato debe ser reprocesadas bajo procesos industriales que pueden generar subproductos o gastos energéticos innecesarios. Es un material químicamente estable y de excepcional resistencia química, es posible aplicar sobre él, adhesivos. Para el caso de los productos como envases se procesa por "Inyección por soplado biorientado" con lo que se aumenta la barrera de protección a los gases, resistencia a los impactos y transparencia al procesarse por procesos como inyección, soplado, adquiriendo mejores propiedades mecánicas, su combustión no genera sustancias contaminantes (Patlan, 2007).

Es por lo anterior que con el desarrollo de este trabajo de grado se pretendió recuperar un porcentaje de P.E.T. en la fabricación de una resina alquílica, sin que la misma cambiara sus propiedades físicas finales como viscosidad, acidez, brillo, anclaje y secado.

3. JUSTIFICACION

Dada la importancia que ocupa la resina alquídica en el sector de las pinturas, barnices y afines, es necesario incorporar en el proceso de fabricación de este material un insumo que haya culminado su ciclo de vida útil y poder de algún modo, aprovecharlo como insumo o materia primera en procesos de manufactura.

En la actualidad, las resinas alquídicas elaboradas a base de aceites vegetales o ácidos grasos, no cuentan con la participación de un compuesto reciclado en su formulación, haciendo de ella un producto con costos de fabricación elevados y muy superiores a los que se encuentran en el mercado, por lo anterior, surge la necesidad de reajustar la composición original de una resina, combinando materias primas que inician su ciclo de vida con uno o más compuestos reciclados o reacondicionados como el PET (Fierros, 2017).

Los envases elaborados con PET cuyo mayor uso se da en la industria de alimentos, pero también se usa en productos de higiene doméstica y personal así como en la industria cosmética, donde se pueden catalogar como elementos altamente versátiles, esto dada la capacidad que tienen los mismos para poder contener casi cualquier sustancia, ya que poseen una serie de características que potencializan y mejoran su rendimiento, tales como su costo de producción, bajo peso, impermeabilidad y resistencia a los golpes, maleabilidad y resistencia. Adicionalmente, son elaborados con resinas y sistemas que permiten un manejo y un acopio para reciclar, ya que al momento de peletizar o fraccionar en pequeñas piezas no necesita un proceso de limpieza o desinfección para ser reutilizados (Cardona, 2013).

La fabricación de botellas PET se basa en la combinación de un compuesto orgánico inoloro e incoloro llamado tereftalato de bis-hidroxietilo, el cual tiene un comportamiento muy similar al de una resina por su fluidez y resistencia. Después de obtener esta resina, que es un copolímero con saturación de poliésteres y multiplicidad de aplicaciones por su naturaleza química, se funde para crear una estructura prediseñada con la capacidad de tomar la forma que se quiera a temperaturas ya definidas por el fabricante en su proceso (Cardona, 2013).

El proceso de manufactura del PET inicia con una polimerización a más de 280 °C que ocurre entre el xileno y un etileno incluido en la fórmula. Después se generan algunas oxidaciones de compuestos y la esterificación del material para llegar a obtener un Tereftalato de Dimetilo (DMT). Al hacer reaccionar sucesivamente por una reacción de esterificación el DMT con el glicol etilénico se obtiene la resina base de bis-hidroxietileno, que como ya se denotó, es base para el PET (Juárez, Santiago y Vera, 2011).

El P.E.T. se puede incorporar en procesos industriales como la fabricación de llantas, asfaltos, concretos, telas sintéticas, paneles de aislamiento térmico y acústico; y en la agricultura, en la elaboración de diferentes films o películas que protegen los cultivos (Ripa, 2016).

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un barniz transparente brillante, a partir de una resina alquídica con mejoras en sus propiedades de brillo, anclaje y secado oxidativo, por el uso de Tereftalato de Polietileno (PET) recuperado como agente modificador.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la cantidad de Tereftalato de Polietileno, óptima en la formulación de una resina alquídica.
- Obtener una resina alquídica modificada con Tereftalato de Polietileno recuperado de botellas plásticas.
- Elaborar un barniz transparente brillante a partir de la resina alquídica modificada.
- Evaluar las propiedades de brillo, anclaje y secado oxidativo del barniz transparente brillante elaborado a partir de la resina alquídica corta en soya modificada.

5. MARCO TEÓRICO

La producción y disposición final de todo desecho sólido debe ser un compromiso de la sociedad y de las industrias, al igual que de las políticas de gobierno, organizaciones de cualquier tipo e individuos, con el fin de disminuir en gran porcentaje todo efecto contraproducente en el ambiente. Para el año 2013 el 83% de los residuos sólidos generados a nivel domiciliario en Colombia terminaron en los rellenos sanitarios y tan solo el 17% restante tuvieron disposición ambiental y de reciclaje (Valderrama, Chavarro, Osorio y Peña, 2018).

La prevención del efecto contaminante de la producción y consumo de los polímeros y sus derivados como el PET es fundamental para disminuir de forma acelerada el material presente en los ecosistemas y que irrumpe su natural desarrollo (Padilla, 2014).

El tereftalato de polietileno es uno de los polímeros más hallados en los residuos sólidos domésticos. De igual manera los polímeros como PP y PVC presentan una mayor producción, siendo estos usados como materia prima en productos de larga vida útil, al contrario del tereftalato de polietileno, que es usado en empaques como botellas de bebidas que tienen un tiempo de vida útil no tan largo.

Para darle fin a la problemática, la idea es poder utilizar un reciclaje metódico de los polímeros, eso disminuye los impactos ambientales efecto de los residuos (Da Rosa, Michelin y Campomanes, 2011).

El reúso de materiales post-consumo tiene como características y al mismo tiempo como problema, su contaminación tanto orgánica como inorgánica al igual que la desigualdad en estos materiales producto de la gran variedad de materiales poliméricos desechados. Para que el producto reciclado tenga la menor cantidad de problemas en el reúso, se hace necesario la separación de todo tipo de impurezas, así como la disgregación de los diversos tipos de polímeros (Da Rosa et al., 2011).

5.1. TEREFTALATO DE POLIETILENO (P.E.T.)

El Tereftalato de Polietileno, conocido como P.E.T, es un compuesto plástico polimérico de naturaleza aromática, de la familia de los termoplásticos, que cuenta con un alto grado de cristalinidad que permite transformarlo o modificarlo por procesos de inyección, extrusión, termoformado e inyección-soplado. Gracias a sus propiedades termoplásticas, este es un producto relativamente duro, que tiene una resistencia mecánica alta al desgaste al igual que resistencia química. El PET. Es un compuesto que se pueden reciclar a través de procesos químicos y físicos los cuales permiten que el material sea reutilizable en otro producto o se pueda incorporar en otra cadena de producción (Gallego, López y Gartner, 2006).

5.2. COMPOSICIÓN

El PET, está constituido por ácido tereftálico, etilenglicol, óxido de etileno y etileno, este compuesto tiene dos o más cadenas macromoleculares que no tiene ramificación y están ubicadas

a cada extremo del anillo, como se puede observar en la figura 1, es un polímero de cadena lineal, que se sintetiza por medio de una reacción de policondensación que se ejecuta entre el etilenglicol y el ácido tereftálico a través de una polimerización.

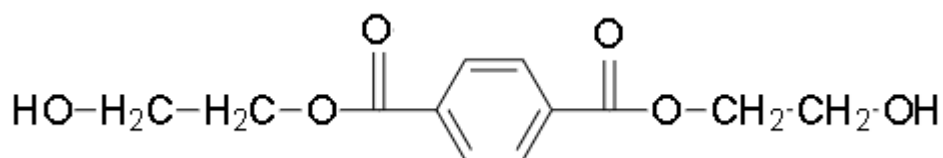


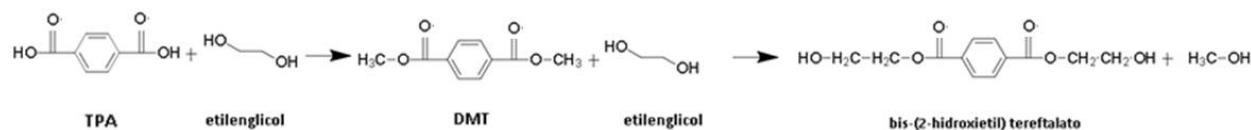
Figura 1 Estructura Química del PET (Susanavas. D, 2017)

5.3. PROCESO INDUSTRIAL PARA SU OBTENCIÓN

El proceso de síntesis del PET se lleva a cabo a través la síntesis de un monómero y su respectiva policondensación:

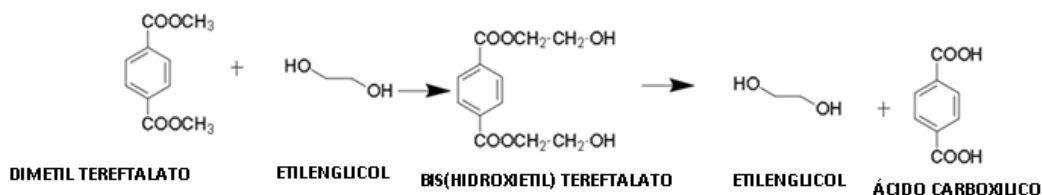
- Etapa 1: Síntesis del monómero de un poliéster –bis hidroxietil Tereftalato como (BHET)

Esta síntesis puede llevarse a cabo a través de dos reacciones; una reacción que ocurre entre el dimetil tereftalato (DMT) y el etilenglicol (EG), la cual es comúnmente conocida como transesterificación, siendo este el proceso menos indicado por sus emisiones de metanol como subproducto (Reacción 1) y otra reacción conocida como esterificación como se muestra en la reacción 2.



Reacción 1 Reacción de Tras-Esterificación (fuente Flores I., 2019)

Para la esterificación, que es el proceso por el cual reacciona un ácido tereftálico con etilenglicol (ácido carboxílico más un alcohol), dando como resultado la síntesis de un éster como lo indica (Hlaning y Oo, 2008). y como subproducto de la misma agua, como se muestra en la Reacción 2.



Reacción 2 Esterificación Directa (repositorio Martínez, A. 2102)

5.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS FRENTE AL MERCADO

El PET, se caracteriza por su alto grado de pureza, transparencia y costo de fabricación. En relación con su orientación y orden estructural, se presentan propiedades de translucidez y resistencias. Existen varios grados de PET, desde el de más alta calidad hasta el de más baja calidad, estos difieren en su peso molecular y grado de cristalinidad; los que tienen un menor peso

molecular se dividen en grado fibra, estos son compuestos de alta maleabilidad y punto de fusión relativamente bajos, son usados en la industria textil. Los de peso molecular medio, grado película, son los de maleabilidad intermedia, alto punto de fusión y alta cristalinidad; y los de un mayor peso molecular, son de grado ingeniería, este tipo de polímero no se puede estirar y no se ve afectado por los ácidos ni por los gases atmosféricos, también presentan resistencia al calor y absorben muy poca cantidad de agua. Su punto de fusión es bastante alto (265 °C), lo que permite un fácil planchado, es resistente a cualquier ataque de polillas, hongos y bacterias (Juarez et al., 2011).

El PET tiene una compatibilidad química con algunos solventes derivados del petróleo que permite que se use a nivel industrial, es así que, ante compuestos como el metanol, el etanol, el formaldehído, el tetracloruro de carbono, el éter, el ácido acético, tiene una resistencia alta y a compuestos como el ácido sulfúrico y el hidróxido de sodio no tiene resistencia (Gallego et al., 2006).

Una de las desventajas del PET es que los poliésteres cristalinos no sostienen algunas de sus propiedades cuando se someten a incrementos en la temperatura superiores a los 70°C, adicional a ello, el PET no es aconsejable para usos permanentes bajo la intemperie, ya que pierden con facilidad resistencia mecánica, el brillo es afectado por los rayos UV y se vuelve más propenso al rayado y posterior ruptura del material debido a la deficiencia en su cadena molecular cuando se irrumpe por alta temperatura ya que al recuperar su forma original lo hace bajo nuevas condiciones (Gallego et al., 2006).

6. RESINAS ALQUÍDICAS

6.1.1. RESINAS ALQUÍDICAS EN COLOMBIA

Las resinas alquídicas son los compuestos más importantes dentro de las resinas sintéticas ya que el volumen utilizado en pinturas y recubrimientos de superficies supera en cantidad ampliamente las demás. Su uso está en todas las tipologías de recubrimientos líquidos como esmaltes, lacas, pinturas y barnices. La principal materia prima empleada para su síntesis son los aceites refinados y/o ácidos grasos que contienen alta insaturación como el aceite de soya o el aceite de linaza.

A nivel nacional, los aceites que se extraen son de baja saturación, como el aceite de palma, que, por su naturaleza, no cumple con los parámetros y criterios necesarios para la fabricación y síntesis de resinas alquídicas ya que no promueven el secado oxidativo, su brillo no es óptimo en el proceso y el costo por kilogramo de este aceite supera en proporción a otros aceites como el de soya.

Para crear una resina alquídica es necesario contar con materiales que permitan dentro de un proceso químico establecido, generar un compuesto que cumpla con las condiciones del mercado como buen brillo, secado, anclaje, resistencia química y mecánica. Para lograr todo lo anterior es necesario el uso de materias primas de excelente calidad y de un costo asequible para la manufactura de resinas (Báez, Beltrán, Calvache y Quiñones, 2010).

6.2. MATERIAS PRIMAS

6.2.1. ÁCIDOS GRASOS Y ACEITES

Aceite de soya

Es una de las materias renovables de mejor característica para los recubrimientos alquídicos, debido a que contiene una gran cantidad de ácido linoleico, donde se encuentra un doble enlace conjugado y en mucho menor proporción ácido linolénico que posee tres enlaces dobles, los cuales, en esta conjugación de no saturados, proveen rutas de modificación en la resina únicas para un buen desarrollo de la reacción (Merril, 2006).

Adicional a lo anterior, el aceite de soya es una materia prima de fácil adquisición en Colombia y de un costo bastante bajo (Merril, 2006). Lo importante en el uso de este tipo de aceites es el manejo de proceso ya que, si las temperaturas de la reacción en el reactor superan los 245 °C por largo tiempo, el tono del producto final (resina) se torna rojizo.

Aceite de Linaza

Este aceite también es un buen compuesto que se puede usar como materia prima para la fabricación de resinas alquídicas. La Linaza como aceite contiene un porcentaje de insaturación de alrededor del 90%, muy cercano al porcentaje del aceite de soya, sin embargo, es un aceite que contiene una mayor cantidad de enlaces dobles, debido a su porcentaje de ácido linolénico, lo que dificulta de alguna manera el buen desarrollo de la reacción debido a la necesidad de incrementar

la temperatura de la misma con el fin de romper los dobles enlaces (Balart, Fombuena, Garcia-Sanoguera, Sánchez-Nacher, y Boronat, 2018).

Aceite de Cártamo

El aceite de Cártamo o Alazor es un aceite que permite una reacción limpia con los polioles sin que se vea afectado el color final de la resina ni de la pintura fabricada con la misma. Por lo anterior, este aceite se usa en resinas destinadas a color blanco, debido a la necesidad de evitar al máximo que el color se vea afectado por una variación a tonalidades amarillas en la resina. El gran inconveniente de este aceite es el aprovisionamiento, ya que Colombia no es productor de este aceite, convirtiéndolo en un producto con alto valor de oferta en el mercado (Fernandez, 2016).

Aceite de Coco

El aceite de coco contiene el menor porcentaje de no saturación (8%) en comparación con los otros aceites vegetales mencionados. Este bajo porcentaje de no saturación lo limita para ser funcional como un compuesto de reticulación en una resina alquídica. El aceite de coco puede ser usado en productos alquídicos e híbridos, es decir, en resinas que pueden ser alquídicas y epóxicas al mismo tiempo o alquídicas-vinílicas, para suministrar una película que sea resistente al agua y para mejorar propiedades como flujo y nivelación (Rodríguez, Valencia, Montalvo, Linares, Espriella y Portura, 2017).

Aceite de Ricino

Es el único aceite que posee ácido ricinoleico, que tiene una combinación incomparable de grupos hidroxilos, además de un alto porcentaje de insaturación. Los grupos hidroxilo son usados para hacer resinas alquídicas híbridas a base de urea o formaldehído, estos grupos también otorgan una excelente ruta para convertir de forma directa el aceite de ricino en un monómero con características reactivas a través de una esterificación, de igual manera, de los aceites vegetales nombrados anteriormente, la fabricación de resinas requiere otra serie de materias primas que de acuerdo a la funcionalidad de la resina y a sus características físico-químicas tiene un porcentaje y peso dentro de la formulación.

Las materias primas como coadyuvantes, disolventes y aditivos usados en la reacción son nombrados a continuación (Rodríguez, Claudio, Ramírez, Tamayo, Castillo y Corona, 2019).

6.2.2. GLICOLES

Los glicoles son una sustancia química que contiene 2 grupos hidroxilos (-OH) que están allí por la reacción del agua con el óxido de etileno. Su nombre proviene de la palabra griega “Glicos” que significa dulce, ya que su sabor característico tiende a ser dulce. Como características físicas, todos los glicoles están en forma de líquido viscoso, transparente y de baja volatilidad, así como tener un bajo peso molecular y son completamente miscibles en agua y en casi todos los

disolventes orgánicos, pero insoluble en la mayoría de los solventes inorgánicos (Guerrero, Lozano, González y Arroyo, 2003).

6.2.3. POLIALCOHOLES

Los polialcoholes o polioles son alcoholes polihídricos con uno o más grupos hidroxilo. En esta familia de compuestos químicos se puede caracterizar algunos de mayor importancia como los glicitoles, los glúcidos y hasta la misma glicerina (Rios y Marín 2011).

6.2.4. ANHIDRIDO FTÁLICO

Como su nombre lo indica es el anhídrido subsecuente del ácido ftálico. En condiciones de reactividad, es un producto estable a temperaturas elevadas, las cuales son indicadas en reacciones de esterificación y de alcoholisis. Como materia prima en la formulación de resinas alquídicas en base solvente proporciona al producto final un buen acabado, con mejoras en el brillo y resistencia a los rayos UV, lo cual brinda mejor desempeño y solidez en barnices y pinturas expuestas a la intemperie. La principal función del anhídrido es espaciar cada doble enlace disminuyendo la intensidad de los entrecruzamientos, es el más usado debido a que da lugar a una unión poco flexible y mantiene la rigidez de la resina (Materona y Perez, 2015).

6.2.5. HIDRÓXIDO DE SODIO

Al seleccionar un catalizador para la reacción de esterificación debe hacerse bajo ciertos parámetros, ya que, por las condiciones de temperatura en el reactor, el tipo de aceite y velocidad de reacción debe ser la escogencia de este material (catalizador). Teniendo en cuenta que la temperatura de reacción más elevada en el reactor es de 245°C y que el aceite de soya es de origen vegetal, el catalizador debe ser el hidróxido de sodio, que es un compuesto funcional, altamente usado en la industria química, termorresistente y de alta solubilidad (Nuñez, 2008).

6.2.6. ÁCIDO FOSFÓRICO

El ácido fosfórico, también conocido como ácido ortofosfórico, es uno de los ácidos más conocidos y utilizados. Es un ácido mineral que contiene tres átomos de hidrógeno, un átomo de fósforo y cuatro átomos de oxígeno. Por lo tanto, su fórmula química es H_3PO_4 . Este es un ácido importante que tiene una amplia gama de usos. En las siguientes secciones, descubriremos para qué se utiliza todo el ácido fosfórico. En su forma pura, este ácido es un sólido cristalino de color blanco, higroscópico y delicuescente (Burgess, 2010). El ácido fosfórico (H_3PO_4) es un ácido mineral / inorgánico y un derivado de fosfato.

6.2.7. DISOLVENTES

Para el caso puntual de las resinas, un solvente es un compuesto inerte que modifica la viscosidad final del producto, haciendo de este un material más manejable y de fácil incorporación.

Normalmente, para las resinas alquídicas los disolventes son hidrocarburos alifáticos o aromáticos con pesos moleculares variados, traslúcidos y con facilidad para incorporarse en aceites y ácidos grasos previamente tratados.

Los disolventes más usados en esta industria son el xilol, tolueno y la bezolina, también llamada Varsol, el cual puede contener una mezcla de hidrocarburos y parafinas tanto rectas como ramificadas en cadenas de carbono de C9 a C12 en un 48%, cicloparafinas en un 38% y aromáticos en un 14% (Montenegro y Perneth, 2019).

Existen otros solventes como el alisol y el butilglicol, que se emplean en menos proporción porque cumplen otras funciones dentro de la fabricación de resinas cortas en soya, formulación como retardantes de secado, nivelantes y coadyuvantes en solubilidad (De Medrano, 2016).

6.3. AGENTE MODIFICADOR

Son compuestos que por sus características químicas y comportamiento dentro de fabricación de una resina alquídica son usados para mejorar características del producto final como la dureza, secado, brillo y anclaje Según las necesidades del producto final, los agentes modificadores más usados en el proceso son:

6.3.1. COLOFONIA

La colofonia es un agente modificador sólido, de color pardo amarillento, que es producto de la destilación de la goma de la resina que se extrae del *Pinnus Elliotti*, de donde también se extrae la trementina, tiene porcentajes constantes de ácidos abiéticos, hidroabiéticos, ácidos neoabiéticos, pimáricos, levopimáricos e isopimáricos, los cuales son responsables de la reactividad de la colofonia.

Por las condiciones de extracción de la colofonia su pureza es alta al igual que su concentración y es de notar que su tolerancia y solubilidad a solventes orgánicos como el etanol y el xilol, la convierten en una materia prima de óptimas características para la elaboración de las resinas (Isaam & Cheun, 2009).

6.3.2. RESINA FENÓLICA

Resina Fenol-Formaldehído o resina fenólica. Es una resina sintética de comportamiento termoestable. Es un compuesto resistente al calor y a los ataques químicos del agua; se sintetiza en un proceso de condensación del fenol y formaldehído. Este tipo de resinas es usada en el proceso de manufactura de las resinas alquídicas ya que como agente modificador de la cadena, puede curar de forma oxidativa el sistema, otorgando propiedades de alta resistencia química y mecánica; adicional a ello, provee características de termorregulado haciendo que este tipo de resinas puedan ser usadas en procesos de pinturas o barnices dieléctricos o de adaptabilidad al calor. Debido a su alto peso molecular y a su estructura química, propone un inconveniente en el proceso de secado al aire ya que se ralentiza y se vuelve muy largo (Cabado, Casado y San Román, 2016).

6.3.3. ANHÍDRIDO MALEICO

En su estado más puro, el anhídrido maléico es un compuesto sólido cristalino, blanco de olor característico que llega a ser corrosivo y muy irritante. Al momento de disociarse con el agua, se convierte en un ácido fuerte. Es una sustancia estable que reacciona fácilmente con el agua formando el ácido maléico. Al igual que las resinas fenólicas, el anhídrido maléico es un agente modificador que imparte propiedades de brillo y resistencia al compuesto final que no son obtenidas con otro compuesto. Por las propiedades de reactividad otorgadas por cada uno de los dobles enlaces del anillo, el anhídrido maléico es usado en reacciones de policondensación y

poliadición, en la producción de resinas por medio de la reacción de esterificación. La reacción de poliadición asiente la formación de moléculas tridimensionales que están presentes en la generación de resinas de alta resistencia. Comercialmente los productos más relevantes obtenidos a partir del anhídrido maléico son las resinas de poliéster y alquídicas.

Dadas las condiciones de su síntesis y a la complejidad en su fabricación, es un compuesto de elevado costo que dificulta el uso en las formulaciones de las resinas alquídicas (Horie, Sumino, Tanaka, Matsushita, Ichimura & Yoshida, 2010).

6.3.4. VINIL TOLUENO

El vinil tolueno es un monómero que se relaciona estrechamente con el estireno. Siendo un compuesto químico que por su naturaleza se polimeriza fácilmente con algunos aceites y sus ésteres. Las resinas modificadas con vinil tolueno, son alquídicas donde se han formado polímeros lineales unidos entre sí (copolímeros) que proveen al sistema un secado altamente rápido y un acabado final muy brillante (Nascimento, 2018).

6.3.5. ESTIRENO

El estireno es un líquido incoloro de aroma dulce que tiene una rata de evaporación muy alta. Este compuesto es uno de los más usados como modificador de cadena en una resina alquídica, ya que además de proveer propiedades de brillo y translucidez a la resina, aporta en gran parte el mejor de los secados oxidativos, sin disminuir sus propiedades de resistencia a rayos UV

ni a la variación de color del producto final, por el almacenaje (Cárdenas, Rangel, Torres y López-Carrasquero, 2007).

6.4. PROCESO FÍSICO Y QUÍMICO DE LA ELABORACIÓN DE UNA RESINA.

Las resinas alquídicas son consideradas compuestos poliméricos obtenidos a través de una condensación que está estructurada por la modificación de aceites. La síntesis de la resina inicia con la formación de un dímero o estructura química con dos unidades, que reacciona después con un monómero para llegar a formar un trímero y así sucesivamente hasta un polímero de cadena considerable, como se muestra en la Reacción 3. En esta reacción se obtienen polímeros que por su naturaleza química y por su cadena, son nombrados resinas (Espinoza y Ramos 2018).

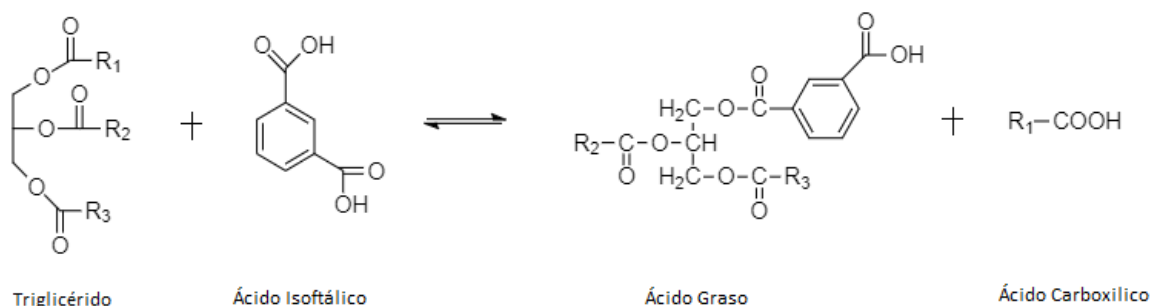


Reacción 3 Estructura Lineal de un Polímero (fuete repositorio Martínez, A. 2102)

De igual manera en la fabricación de la resina alquídica es importante tener en cuenta que si se llega a utilizar un aceite reemplazando al ácido graso en la fabricación de una resina alquídica, sucederá que el ftalato proveniente del glicérido se precipitará a medida que el mismo se vaya formando ya que es insoluble en el aceite. A su vez, si se utiliza un ácido graso esta situación no se presenta ya que el ftalato de glicérido es totalmente soluble en los ácidos grasos, en cambio, puede llegar a usarse un aceite, si primero se convierte en un monoglicérido a través de una reacción de alcoholisis, que también se conoce como reacción de tras - esterificación, en la cual,

el aceite reacciona con el polirol en presencia de un catalizador como el ácido fosfórico y así producir un compuesto intermedio en la elaboración de resinas alquídicas. En la parte de adición del glicerol, estos compuestos se denominan monoglicéridos, aunque se forme una mezcla de monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos junto con glicerol no reaccionado (Karayannidis et al., 2015).

En el proceso de la acidólisis el aceite reacciona inicialmente con el ácido carboxílico dibásico el cual normalmente desplaza una pequeña porción de ácido graso del triglicérido como se muestra en la Reacción 4.



Reacción 4 Reacción de acidólisis (fuente Correa J., 2007)

El proceso de polimerización es una transformación química que se da porque todos los reactivos, en este caso monómeros, se agrupan entre sí, dando lugar a una molécula de mayor tamaño y de más alto peso molecular. La obtención de polímeros sintéticos se puede dar por diferentes reacciones o mecanismos como:

6.4.1. FORMACIÓN DE UN POLÍMERO

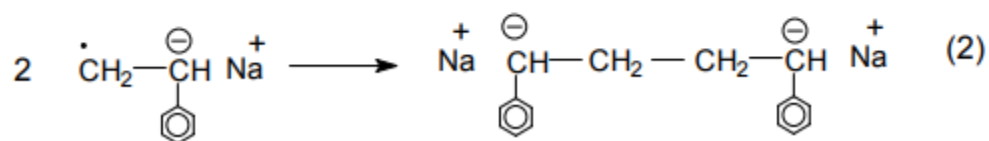
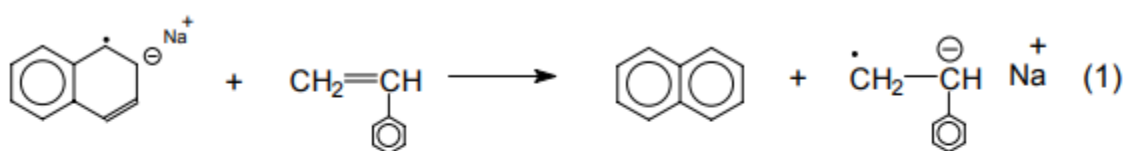
Los polímeros son macromoléculas, generalmente de características orgánicas que se encuentran formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros.

Un ejemplo muy clásico es la polimerización del estireno (agente modificador), que puede ser iniciada mediante aniones aromáticos radicales venidos del sodio como se observa en la reacción 5



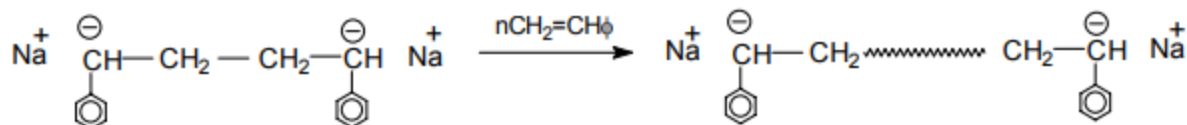
Reacción 5 Naftaleno y sodio (fuente Carrasquero. F. 2004)

En la reacción 6 el átomo de sodio transfiere un electrón al naftaleno formando inicialmente el ion radical que a su vez es transferido al estireno creando así el radical aniónico del estireno el cual dimeriza:



Reacción 6 Formación del ion radical (fuente Carrasquero. F. 2004)

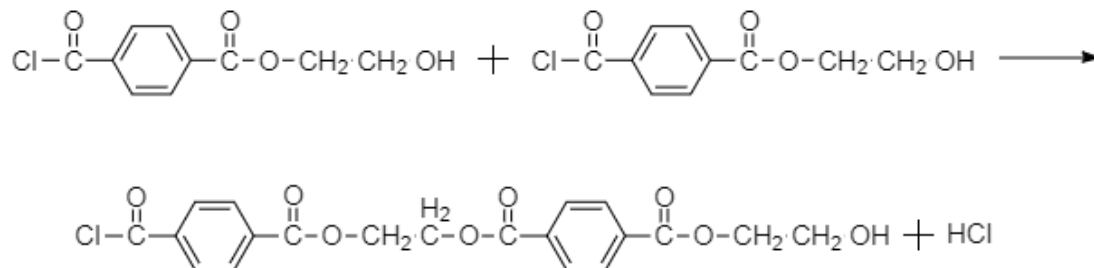
El dianion que resulta en esta reacción crece por ambos extremos de acuerdo a su naturaleza como se evidencia en la reacción 7



Reacción 7 Formación del polímero (fuente Carrasquero, F. 2004)

Este tipo de polímeros se pueden desactivar adicionando una sustancia que pueda reaccionar con los carbaniones, ejemplo un alcohol o el agua (Lopez, 2004).

Es así como, al presentarse de manera continua el mismo proceso y la misma reacción, se produce una molécula lineal de un tamaño indefinido como se muestra la Reacción 8, donde por mecanismo de sustitución nucleofílica se modifica la cadena del monómero y se obtiene una macromolécula lineal denominada polímero.



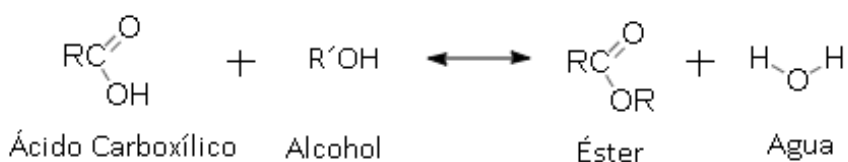
Reacción 8 Molécula lineal (fuente fuente Correa J., 2007)

El grupo hidroxilo (-OH) está contenido en el dímero al igual que el grupo carboxilo (-COOH), es decir es bifuncional. El grupo OH del ácido carboxílico puede reaccionar nuevamente con un grupo carboxilo de otra molécula y así la reacción se multiplica, de acuerdo con el reactivo limitante, que para el caso particular es el anhídrido ftálico.

6.4.2. POLIMERIZACIÓN POR CONDENSACIÓN

Las resinas alquídicas son poliésteres de la reacción entre los ácidos carboxílicos y alcoholes hidroxilo, combinados con ácidos grasos de diferentes tipos, los ácidos presentes en el aceite se unen en la resina por un proceso de esterificación y forman parte fundamental del polímero.

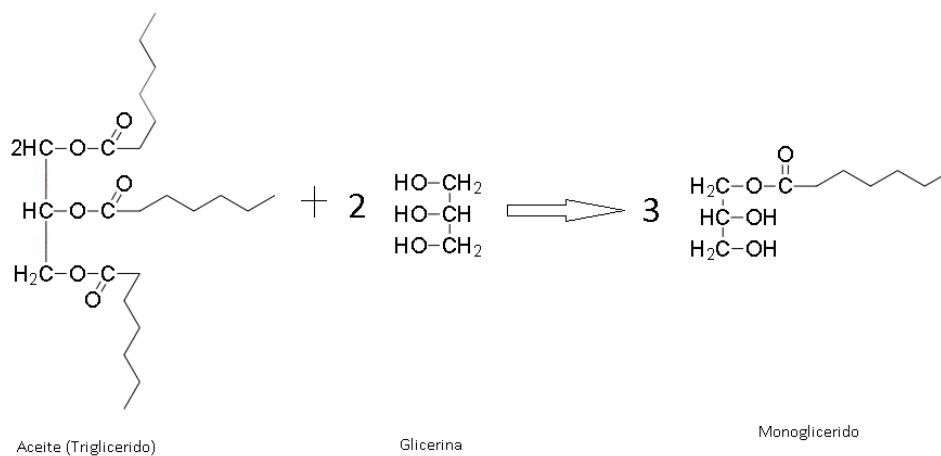
La esterificación de alcoholes con ácidos carboxílicos está representada en la Reacción 9. Por el hecho de ser una reacción irreversible se hace necesario la eliminación del agua en este proceso, así la reacción está completa



Reacción 9 Esterificación (fuente Arango A., 2012)

6.4.3. REACCIÓN DE ALCOHÓLISIS

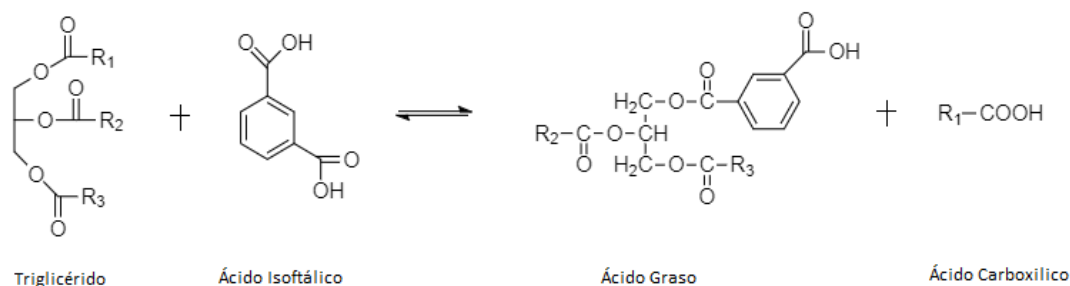
En este método, el aceite es tratado a través de una pre-reacción con un poliol, generando un producto que puede ser capaz de ser parte de la misma reacción de policondensación. Durante el proceso de alcoholólisis, el éster se obtiene a través de la reacción entre el aceite y el poliol, el triglicérido es dividido y transformado en un monoglicérido reactivo como se evidencia en la reacción 10 (Baez et al., 2010).



Reacción 10 Reacción mediante alcoholólisis o desesterificación (fuente Correa J., 2007)

6.4.4. REACCIÓN DE ACIDÓLISIS

En la reacción 11, reacción de acidólisis, el aceite reacciona con un ácido dibásico como el ácido carboxílico quien desplaza una parte del ácido graso del triglicérido (Bobadilla y Arango 2014).

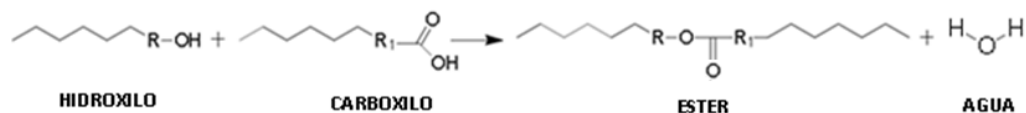


Reacción 11 Reacción de acidólisis (fuente Correa J., 2007)

6.4.5. REACCIÓN DE ESTERIFICACIÓN

El método de esterificación es más común y emplea ácidos grasos normalmente obtenidos a partir de la primera extracción natural. El grupo carboxilo presente en el ácido graso reacciona directamente con el polirol. Es así, como el proceso de manufactura de la resina, tanto el ácido graso, el polirol y el di-ácido pueden llegar a ser cargados simultáneamente en el reactor y la policondensación es generada saltando el paso de la alcoholólisis o acidólisis. Este proceso es altamente viable pues, aunque los ácidos grasos tienen un valor más elevado, el tiempo en el cual se obtiene el producto final y la calidad de este, ofrecen una oportunidad de generar procesos de más alta eficiencia económica.

En la reacción 12 se muestra la reacción de policondensación que evidencia una serie de reacciones en el proceso de esterificación; se observa un grupo funcional hidroxilo del primer reactivo que ejecuta una reacción con un grupo carboxilo, formando un éster en el momento de la eliminación de una de las moléculas del agua presentes en la misma (Bobadilla y Arango, 2014).



Reacción 12 Esterificación total (Bobadilla, 2014)

6.5. PROPIEDADES DE LA RESINA ALQUÍDICA

Las resinas alquídicas, como todos los compuestos, tienen ciertas características propias de cada uno, que profieren cualidades que benefician en gran medida el desempeño de la misma, estas propiedades son viscosidad, acidez o valor ácido, color y peso por galón.

- **Viscosidad:** Es una medida que tiene una sustancia en estado líquido sobre la resistencia que presenta al ser desnaturalizado por una fuerza de cizallamiento. Es comúnmente conocida como una fase de flujo de aguante a la caída y se define como la resistencia interna de un fluido a circular o fluir. En las resinas, esta propiedad se mide con el método conocido como método Gardner, el cual consiste en comparar de manera análoga la fluidez de una sustancia con un juego de patrones de resina que están calibrados bajo una escala denominada alfanumérica, la cual permite a través de la observación evidenciar en qué punto de viscosidad se encuentra una muestra (Cárpena, 2012).

- Valor ácido o Acidez: Establece la cantidad de ácidos grasos libres que contiene la muestra, que según a medida que progresa la reacción de esterificación este valor debe disminuir ya que se van formando más grupos éster que provienen de la reacción de grupos hidroxilo y carboxilo, y es allí que se eliminan los grupos ácidos y disminuye el valor de la acidez. la medición del índice de acidez o valor ácido es determinada bajo la transformación o grado de esterificación present en e durante la reacción. El índice de acidez de la muestra es medido por titulación con una base que normalmente puede ser KOH (Hidroxido de potasio) o NaOH (Hidroxido de sodio) y se usa un indicador para poder observar la variación el color que es fenolftaleína al 1% en etanol, el valor numérico de esta propiedad esta dada bajo la resultante de la ecuación 1.

$$IA = \frac{[NaOH] * mL(NaOH) * PM(NaOH)}{gr\ muestra}$$

Ecuación 1. Valora ácido (Cárpena, 2012)

- Color: de igual forma que la viscosidad, el color es medido mediante la escala de tubos Gardner de forma comparativa, en una escala que va desde el 1 hasta el 18 y permite de forma visual darle un valor numérico al color de la muestra tomando como patrón la escala Garder.

- Densidad: para las resinas, la densidad se puede obtener en dos medidas: 1) se puede realizar en un contenedor aforado, donde se realiza de forma matemática la división de la masa sobre el volumen del contenido, y 2) emplear una copa de densidad metálica, similar a un picnómetro que permite medir la densidad de la sustancia.

6.6. BARNICES

Un barniz transparente base solvente en resina alquídica con secado al aire, es un sistema que, por oxidación, evaporación y polimerización de algunas de sus materias primas, finaliza el proceso con una película fina o film, buen brillo y acabado con características específicas.

Un barniz alquídico se compone esencialmente de resinas modificadas con ácido o agentes modificantes, con secantes químicos como sales metálicas compuestas, aditivos para mejorar el nivelado de la película y uno o más solventes.

El buen secado de un barniz depende esencialmente de la resina alquídica con la cual se elabora, ya que de acuerdo con la resina con la cual se fabrica y las propiedades físicas de la misma, depende la formación y el secado del film (Alonso, 2013).

6.7. GENERALIDADES DEL BARNIZ TRANSPARENTE BRILLANTE DE SECADO AL AIRE

El barniz de secado al aire es una disolución o mezcla homogénea de aceites o compuestos resinosos en uno o más solventes que por efecto de sus sales metálicas y sus aditivos, permite luego de la volatilización de sus solventes, la formación de una película sólida o film que protege de los efectos generados por la luz, el viento y la lluvia (Fumero y Garcia, 2005).

6.8. COMPOSICIÓN

Un barniz alquídico de secado al aire en general se compone de una serie de insumos que al reaccionar convergen en una sola sustancia de características específicas que es usada para la fabricación de pinturas y barnices, esos compuestos son:

6.8.1. RESINA ALQUÍDICA

Es un polímero que se deriva de la reacción entre polioles y poliácidos, resaltando que este término se usa exclusivamente en productos que son modificados con ácidos grasos naturales o sintéticos (Bobadilla y Arango, 2014).

Una resina Alquílica 100% pura no es más que un polímero que se forma a través de la reacción de poliesterificación de un anhídrido ftálico, con un poliol como la glicerina y otro como el pentaeritritol. A este compuesto, se le conoce en el barniz como vehículo, ya que es allí donde se involucran todas las materias primas para formar un film o película que provee las características de recubrimiento (Bobadilla y Arango, 2014).

6.8.2. SECANTES

Los secantes normalmente empleados para una resina alquílica; son sales metálicas en Varsol que por su naturaleza química tiene efectos específicos en el secado del sistema. Estos compuestos tienen la facultad de realizar un cambio de estado en el recubrimiento, cambiándolo de un estado líquido a uno sólido, es decir, proceso de solidificación, debido a un proceso de reticulación oxidativa, la cual es acelerada por el ion metálico presente en el secante. (Cárpena, 2012).

Este proceso de secamiento se basa en un paso que requiere oxígeno (proceso oxidativo), por lo cual muchas veces se opta por emplear iones o sales metálicas que provengan de metales con mayor número de oxidación, los metales que proveen características oxidativas por volatilización son:

Cobalto (Co), Manganese (Mn), Plomo (Pb), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Calcio (Ca), Zirconio (Zr), Aluminio (Al) y Zinc (Zn).

De acuerdo a lo anterior, el Co (Cobalto) tiene la reacción de mayor grado y Zn (Zinc) la de menor grado o más débil. Por ello, se hace necesario una mezcla de secantes en la fabricación del barniz de secado al aire (Cárpena, 2012).

6.8.3. ADITIVO NIVELANTE

Estos compuestos, catalogados como auxiliares en la elaboración de resinas, son sustancias que por su naturaleza química son capaces de afectar o disminuir los fenómenos de superficie en un recubrimiento líquido. Por tal motivo, se puede afirmar que un agente nivelante, es un compuesto que puede llegar a modificar la tensión superficial de un líquido, cambiando su forma de propagación sobre un sustrato o superficie (Casas, 2011).

6.8.4. SOLVENTE

El solvente es un líquido normalmente incoloro, con olor característico que permite bajar o ajustar la viscosidad del producto final, en este caso la pintura. Este insumo es usado en cada una de las fabricaciones de resinas y permite la formación de una película llamada film, que por acción y combinación de los compuestos incorporados al medio con el oxígeno brindan el secado o cambio de estado del producto (Alonso, 2013).

Los solventes que pueden llegar a ser empleados en la formulación de un barniz transparente brillante pueden ser 4:

- Solventes de petróleo: son solventes orgánicos aromáticos o alifáticos de una tasa de evaporación muy alta y que permiten diluir en mayor o menor proporción resinas, pinturas y barnices.
- Solventes fluorocarbonados y clorados: son compuestos con alto poder diluyente, con elevada tasa de evaporación y no inflamables. Estos solventes deben salir del mercado por su alto impacto en la capa de ozono
- Solventes oxigenados: son diluyentes que específicamente se usan para para ajustar la polaridad de un compuesto o recubrimiento.
- Solventes acuosos: son llamados también cosolventes, ya que permiten diluir una pintura en base agua con otro tipo de producto como el agua.

6.9. IMPACTO DEL BARIZ EN EL MERCADO COLOMBIANO

De acuerdo con un estudio que realizó CVN (Centro Virtual de Negocios) en Colombia, el ingreso de pinturas y barnices al país presentaron un incremento del 1% en el año 2018 en relación al año 2016.

Entre el mes de enero y el mes de diciembre del año 2017, ingresaron a Colombia alrededor de 15.000 toneladas de recubrimientos líquidos, mientras que en el año 2016 fue de 14.727 toneladas, es decir un 8% menos que en el año inmediatamente anterior.

Estados Unidos y China se establecieron como los principales y más cumplidos proveedores de este tipo de productos, ya que tan solo de ellos ingresaron más de 2.800.000 toneladas, lo que representa casi un 40% de la totalidad de la importación para nuestro país (Nieto, y Perea, 2018).

Entre los recubrimientos líquidos que entraron a Colombia durante el año 2017, la cantidad de toneladas en un medio no acuoso, es decir en base solvente superaron las 9.500 toneladas, mientras que en sistema acuoso o en base agua, entraron alrededor de 3.500 toneladas (Nieto y Perea, 2018).

6.10. RECUPERACIÓN DE P.E.T. EN COLOMBIA Y EL MUNDO

En condiciones normales, los plásticos están contaminados con algún tipo de comida, piedras, papel, pegamento o polvo que dificulta su recuperación, por esta razón, se vuelve estrictamente necesario que adicione un proceso de limpieza extrema antes de pasar a un nivel de recuperación, reúso o reciclaje; por lo anterior, inicialmente se llevan los materiales de plástico a una línea de lavado intensivo regularmente en cadena, donde luego de ingresar a pasar por baños de agua y un sistema de secado, se peletiza o granula para poder facilitar su recuperación.

Dentro de los procesos de recuperación o reciclaje se encuentra:

1. Peletizado: el polvo o granulado limpio y ya seco puede llegar a ser procesado o vendido en esta presentación, a la cual se le da el nombre de “Pellet”. A esta forma se llega después

de pasar el gránulo por elevadas temperaturas y extruirlo en forma de tira o espaguete, para después cortarlo en pedazos muy pequeños.

2. Reciclaje Secundario: este tipo de reciclaje convierte el plástico en artículos con características inferiores a las de su polímero original, es decir, convierte un plástico de una naturaleza y características de uso muy altas y de excelente calidad, en plásticos o artículos termoestables solo a bajas temperaturas. Este tipo de reciclaje elimina la necesidad de tener que separar y limpiar los plásticos y su mezcla (González, 2011).
3. Reciclaje terciario: es un proceso que lleva en degradación el plástico a su compuesto químico más básico y simple, convirtiendo este en químicos de primer nivel y combustibles. Este tipo de reciclaje difiere de los anteriores ya que está implícito un cambio químico y no solo un cambio físico. En este reciclaje terciario, las cadenas de polímeros se rompen con el fin de formar pequeños. Para este reciclaje existen dos métodos principales:
 - 1) Gasificación y pirólisis, adicional a estos, existe un método alternativo que se desarrolla con metano y glicoles para así obtener el material reciclado.
4. Reciclaje cuaternario: el ideal de este proceso es calentar el reciclaje con el fin de usar la energía térmica que se genera para optimizar y llevar a cabo otras actividades industriales (González, 2011).

No importa cuál sea el método utilizado para recuperar el PET, ni el resultado que se obtenga con estos métodos, lo importante es poder seguir algunos sencillos pasos para garantizar la calidad de este:

El primer paso es tener una muy buena selección de material, es decir, desde el origen de la recopilación del material a reciclar, poder separar el PET por características, usos y color, así pues, su limpieza, secado y proceso de obtención del gránulo será más sencillo y no requerirá un proceso complicado.

Para el reciclado físico, lo ideal es obtener material de similares características visuales, como color y calibre del mismo. Para el reciclado químico las características del interior del material hacen que, si bien sea un poco más difícil su separación, luego al iniciar el proceso de reciclaje, el proceso tendrá unos resultados mucho más satisfactorios (Paz, 2016).

7. METODOLOGÍA

La metodología que se empleó en el desarrollo de este trabajo se basó en un diseño experimental de dos variables independientes o factores, que fueron la cantidad de anhídrido ftálico y la cantidad de PET que se recuperó en la resina, ya que de ellos dependían directamente las variables de respuesta en el producto final (resina alquídica) los cuales fueron secado y acidez. Con este diseño, se obtuvo un número de ensayos específicos que de acuerdo con sus resultados brindaron argumentos para la continuación del proceso de fabricación.

El orden del proyecto para su trabajo experimental se definió por fases y pasos, donde las fases son las etapas generales del proyecto de recuperación de tereftalato y los pasos son las etapas necesarias para fabricar puntualmente la resina alquídica.

7.1 **Fase 1:** Recuperación de PET (Tereftalato de Polietileno)

Inicialmente para la recuperación de PET, se tuvo en cuenta las condiciones físicas del material, como la limpieza del mismo, su translucidez, y su maleabilidad.

Este material se recuperó de la parte superior de una botella plástica Ecopack de 300 mL, empleada para comercializar agua potable para consumo personal como lo evidencia la ilustración

1.

.

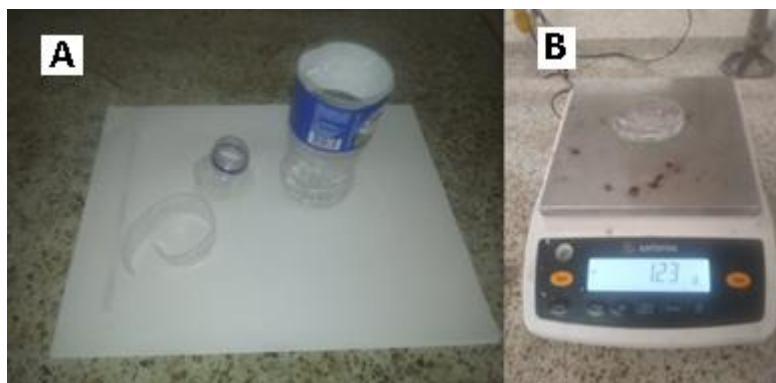


Ilustración 1 A. Recuperación de PET B. Pesaje de PET (fuente autor)

7.2 Fase 2. Formulación (evaluación de variables)

En la fase de formulación se tuvo en cuenta las siguientes variables: acidez, viscosidad, secado, peso por galón y solubilidad al disolvente.

Todas la formulaciones para el diseño experimental se presentan a continuación en la Tabla 1 y se tuvieron en cuenta las condiciones de fabricación de la resina.

La cantidad de ensayos que se realizaron durante el proceso de fabricación de la resina alquídica, están atados directamente al comportamiento de las variables medibles en el producto final, donde al de mayor cantidad de adición de PET, se solidificó en el proceso de fabricación y al de menor cantidad de recuperación de PET, sus características de secado y acidez no presentaron mejora. De allí se toma un rango de 10 ensayos para formular cada uno de los ensayos que están descritos a continuación:

Tabla 1 Formulaciones para Ensayos

Materia prima	Blanco	Ensayo No 1	Ensayo no 2	Ensayo no 3	Ensayo no 4	Ensayo no 5	Ensayo no 6	Ensayo no 6a	Ensayo no 6b	Ensayo no 7	Ensayo no 8	Ensayo no 9	Ensayo no 10
Aceite de Soya	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7
Glicerina USP	49,4	49,4	49,3	49,3	49,3	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4
Soda Caustica	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Ácido Fosfórico	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,036	0,036	0,036	0,036	0,03	0,036	0,036	0,036
Anhidrido Ftálico	71,4	75	79	82	84	85,7	85,7	85,7	85,7	85,7	86,5	87,5	89
Anhidrido maléico	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Pentaeritritol	5	5	5	5,2	5,4	5,66	5,66	5,66	5,66	5,66	5,66	5,66	5,66
Disolvente No 4	220	220	180	228	228	229	229	229	229	228	229	229	229
PET	0	2,6	2,3	2	1,5	1,31	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46

De igual manera las propiedades del producto final, la resina alquídica, están descritas en la tabla 2 y reflejan el comportamiento del compuesto durante su fabricación así:

- a. La acidez varía en función de la cantidad de anhídrido ftálico presente en la resina y principalmente de la capacidad de reaccionar de todos los compuestos incluidos en la fórmula. Los valores de esta acidez para las formulaciones van desde 8,5 hasta 12,3 que son valores que comparativamente manejan las resinas del mercado colombiano. La medición de este valor se tomó en un proceso de titulación, teniendo como reactivo titulante el NaOH (Hidroxido de Sodio) con una concentración conocida (0,1N) una cantidad de resina diluida con 5 veces más de varsol y tres gotas de fenofaleína al 1% en alcohol. Una vez se presentó el viraje de color a rosa pálido, indicando que se neutralizaba la sustancia, se registró el consumo de agente titulete y determinó el número de acidez, empleando la Ecuación 1

$$IA = \frac{[NaOH] * mL(NaOH) * PM(NaOH)}{gr\ muestra}$$

Ecuación 1. Valora ácido (Cárpena, 2012)

- b. La viscosidad está dada por la cantidad de solvente empleado en al fórmula ya que a mayor cantidad de solvente menor es la viscosidad y mayor es el flujo de la resina. Para este caso particular es la benzolina tambien conocido como Varsol. El valor de la viscosidad se realizó a travez de la comparación visual de los tubos Gardner, que permitieron evaluar la velocidad de movimiento de una burbuja dentro de un tubo en forma perpendicular comparados entre si, como se evidencia en la ilustración 2.



Ilustración 2 Tubos Gardner

- c. El secado en la formulación viene dado por la acidez de la sustancia, la cantidad de resina PET adicionada, la variación en la cantidad de anhídrido ftálico y la variación en la cantidad de aceite.

El secado, que mide el tiempo de formación de película o film se ejecuta a través de una aplicación en leneta con un aplicador de película húmeda de 8 mils, el cual permite una capapelícula homogénea de un espesor similar en todo su recorrido. A través del tacto de la yema de los dedos, se puede evidenciar el punto en el cual, la superficie no está pegajosa o húmeda.

Se puede considerar que, a mayor cantidad de aceite, se tendrá una respuesta proporcional al tiempo de secado, mientras que, a menor cantidad de aceite, menor será el tiempo de secado

- d. La solubilidad en la resina, es la capacidad que tiene la resina de aceptar la adición de solventes petroquímicos, está sujeta también a la cantidad de resina PET recuperada en la resina alquídica, se considera que a mayor cantidad de P.E.T. menor es la solubilidad del producto final y se puede observar a través de la adición de disolvente en la resina sin que ella cambie de color.

La medida de la solubilidad se realiza pesando 1 gramo de la resina, adicionando inicialmente 5 gramos de Varsol, luego de ello se coloca el beaker sobre una hoja de papel periódico y se inicia a mezclar con una espátula hasta que la sustancia esté homogénea. El procedimiento se repite hasta que la sustancia quede turbia y no permita ver a través de su contenido la hoja de periódico

Peso por galón: Esta propiedad es una medida de capacidad, indicada en unidades de masa por volumen y atada directamente a los sólidos por peso del producto, ya que a mayor cantidad de sólidos el valor del peso por galón será mayor. La determinación del peso por galón se realiza tomando el peso de la copa para peso por galon vacia con y luego llenarla con la resina a analizar y también pesarla. Después, por diferencia de pesos se determina la cantidad de resina contenida y este valor se multiplica por la constante que pertenece a cada copa, allí encontramos el valor del peso por galón.

Posteriormente para expresar los resultados en en kg/gl, se aplica la ecuación 2

$$P * G = (wCP - wC) * K$$

Ecuación 2. Peso por galón (Cárpena, 2012)

Donde: P*G = Peso por galon expresado en unidades de kg/gl

wCP = Peso de la copa con la resina a anlaizar

wC = Peso de la copa vacía

K = Constante de cada copa individual después de su verificación y calibración con agua.

7.3 Fase 3: elaboración de la resina

La elaboración de la resina alquídica con recuperación de PET se llevó a cabo de la siguiente manera:

Paso 1: cargue de aceite de soya y glicerina:

En esta etapa inicial, se pesó en un vaso de precipitado de WSQ500 mL el 100% del aceite de soya y el 60% en peso de glicerina, adicional a ello se incorporó 0,09 g de soda cáustica con una concentración al 09%. La mezcla anterior se mantuvo a una temperatura entre 210 °C y 220°C, manteniendo constantemente la agitación magnética con el fin de obtener los monoglicéridos en este proceso inicial como se muestra en la Ilustración 3

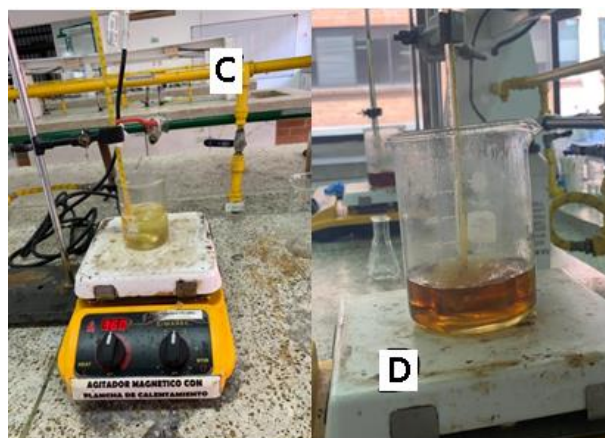


Ilustración 3 C. Inicio de la Reacción D. Reacción con Agitación (fuente autor)

Paso 2: incorporación de PET

Para este paso se tomó la cantidad de PET recuperado, según el ensayo realizado, definido en la tabla No 1, es decir, para el ensayo No 1 se pesaron 2,6 g, para el ensayo No2 se pesaron 2,3g y así de acuerdo a lo indicado en la tabla No 1, este material se había obtenido previamente de una botella plástica de envase de agua comercial y se cortó en trozos pequeños de aproximadamente 5 mm² para luego adicionar en la mezcla que se preparó en el paso anterior.

La adición se realizó de manera lenta y siempre bajo agitación magnética constante, evitando

la aglomeración del producto como se evidencia en la Ilustración 4, la cual finalizó cuando el material recuperado se incorporó en la mezcla de forma homogénea.



Ilustración 4 E. Reacción con PET (fuente autor)

Paso 3: cargue de la segunda etapa:

En este punto se cargó el 40% de la glicerina restante, con el fin de disminuir la temperatura de la sustancia, después se cargó en el contenedor, (vaso de precipitado), el anhídrido ftálico adicional el anhídrido maléico, el ácido fosfórico y el pentaeritritol, que son cantidades iguales y estables en todos los ensayos establecidos en la Tabla 1 y se mantuvo nuevamente bajo agitación magnética a 180 °C durante 60 minutos aproximadamente, que es el tiempo que dura la reacción como se muestra en la Ilustración 5.

Cabe resaltar que todas las adiciones se realizaron de forma lenta con el fin de evitar reacciones espontáneas en la masa

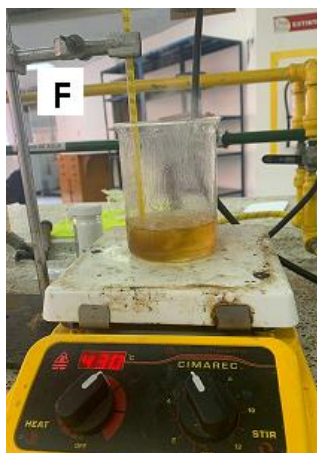


Ilustración 5 F. Segunda Etapa (fuente autor)

7.4 Fase 4: Caracterización del producto:

Luego de obtener un producto homogéneo, con color traslúcido, se procedió a caracterizar sus propiedades físicas, con una titulación empleando como agente titulante hidróxido de Sodio (NaOH) al 1N; y adicionando 3 gotas de fenoftaleina al 1% en etanol, tras una viraje de color a rosa pardo, se determinó el valor de acidez aplicando la ecuación 1, tal y como se describe en la Ilustración 6. La densidad del producto se determinó como se puede observar en la ilustración 7, que es el proceso de medida de peso por galón, donde se pesa la copa de peso por galón vacía y luego se llena con la resina para proceder nuevamente a pesar, la diferencia de estos valores multiplicada por el valor de la constante de la copa es el valor de la densidad, y por medio de una comparación visual con una escala de tubos Gardner se revisó la viscosidad, como se evidencia en la Ilustración 8.



Ilustración 6 G. Montaje de Titulación H. Acidez (fuente autor)



Ilustración 7 I. Peso por galón (fuente autor)



Ilustración 8 Comparación de viscosidades (fuente autor)

7.5 Fase 5: Envase y adición de solvente:

En este paso se adicionó el 100% del solvente a la resina y se agito por diez minutos más como se evidencia en la Ilustración 9 hasta que se torno translucida la sustancia y luego se procedió a envasar en un contenedor plastico de PEAD.

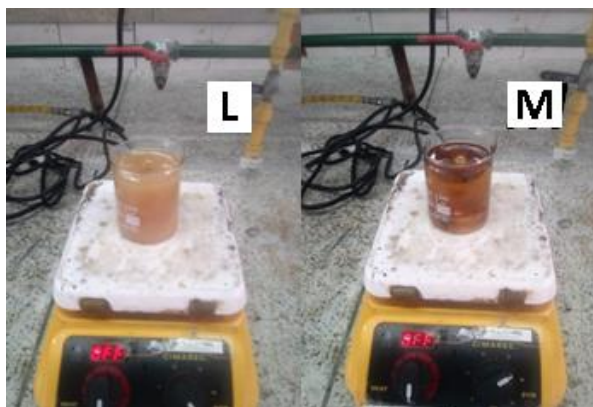


Ilustración 9 L. Adición de solvente inicial M. Adición de solvente final (fuente autor)

7.6 Fase 6: Fabricación de un barniz transparente brillante de secado al aire

Para la fabricación del barniz brillante, se empleó la fórmula de la Tabla 2.

Tabla 2 Formulación de Barniz Transparente Brillante

Material	Cantidad (g)
Resina	50
Secante	1,35
Varsol	50

7.7 Fase 7: Validación del producto final a través de pruebas comparativas.

El proceso de validación del barniz transparente brillante se realizó observando el secado oxidativo del material donde se analizó un barniz brillante de secado al aire con la resina de muestra y otro con igual formulación, pero con una resina media sin recuperación de PET de marca comercial. Adicionalmente, a lo anterior se evaluaron propiedades de brillo con un equipo de determinación de brillo (Brillómetro), ilustración 10, que puede medir porcentualmente la incidencia de la luz, así como la superficie de contacto y anclaje o adhesión del barniz sobre una superficie.



Ilustración 10 N. Brillómetro (fuente autor)

8 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

A través del desarrollo de los ensayos y las aplicaciones realizadas en el laboratorio, se obtuvo los siguientes resultados:

- **Formulación (evaluación de variables):** En la tabla 3 se presentan las 11 formulaciones realizadas y aplicadas en el laboratorio que permitieron establecer que composición brindaba los mejores resultados y entregaba las propiedades requeridas para el producto final, es decir, una resina alquídica base solvente, con buen brillo, secado al aire y acidez.

En la Tabla 3, se presenta la caracterización de cada propiedad de la resina alquídica.

Tabla 3 Resina Alquídica en base solvente con recuperación

Variable	Blanco	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Ensayo No 4	Ensayo No 5	Ensayo No 6	Ensayo No 6A	Ensayo No 6B	Ensayo No 7	Ensayo No 8	Ensayo No 9	Ensayo No 10
Porcentaje de sólidos por peso (%)	52,00%	54,30%	61,32%	52,33%	51,80%	52,40%	52,11%	52,11%	52,11%	52,00%	No Aplica	No Aplica	No Aplica
Viscosidad (Und. Gardner)	Z3+	Y+	Y	Z	Z2	Z3	Z3+	Z3+	Z3+	Z3+	Gel	Gel	Gel
Peso por galón (kg/gl)	3,66	3,66	3,65	3,64	3,64	3,66	3,65	3,66	3,65	3,65	No Aplica	No Aplica	No Aplica
Acidez *	9	12,11	11,04	10,11	12,23	10,01	9,01	9	9,04	10,64	No Aplica	No Aplica	No Aplica
Color escala Gardner	4	8	7	6	4	4	4	4	4	4	5	5	5
Aspecto (TR: traslucido // OP: opaco // TU: turbio)	TR	TU	TU	TU	TR	TR	TR	TR	TR	TR	OP	OP	OP

*La acidez no tiene unidades

De acuerdo con la Tabla 3 se calculó la desviación estándar y % error de los datos obtenidos en los ensayos 6, 6A y 6B que son el conjunto de experimentos que se repitieron con los mismos valores para obtener los mismos resultados y así la repetibilidad de la formulación, esta información queda registrada en la Tabla 4.

A través de Statgraphics se ejecutó un análisis estadístico para los factores de (A) Cantidad de Anhídrido Ftálico y (B) Cantidad de PET; teniendo como variable de respuesta: Secado en minutos, con el propósito de determinar la cantidad óptima de cada insumo o materia prima que permita un tiempo de secado similar al blanco usado en el ensayo.

Tabla 4 Resumen de análisis estadístico

Efectos estimados para el secado (minutos)

Efecto	Estimado	Error Estd.
Promedio	51466,1	28851,3
A:Cantidad de Anhídrido Ftálico	-2137,95	1157,45
B: Cantidad de PET	-11506,1	11542,4
AA	10,9848	5,80909
AB	132,522	112,973
BB	-43,5391	684,406

Errores estandar basados en el error total con 4 g.l

Tabla 5 Análisis de varianza

Análisis de Varianza para Secado					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Cantidad de Anhídrido Ftálico	996,993	1	996,993	3,41	0,1385
B:Cantidad de PET	290,384	1	290,384	0,99	0,3753
AA	1044,89	1	1044,89	3,58	0,1316
AB	402,096	1	402,096	1,38	0,3059
BB	1,18259	1	1,18259	0,00	0,9523
Error total	1168,86	4	292,216		
Total (corr.)	11262,1	9			

R-cuadrada = 89,6213 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 76,6478 por ciento

Error estándar del est. = 17,0943

Error absoluto medio = 8,79993

Estadístico Durbin-Watson = 2,78631 (P=0,3983)

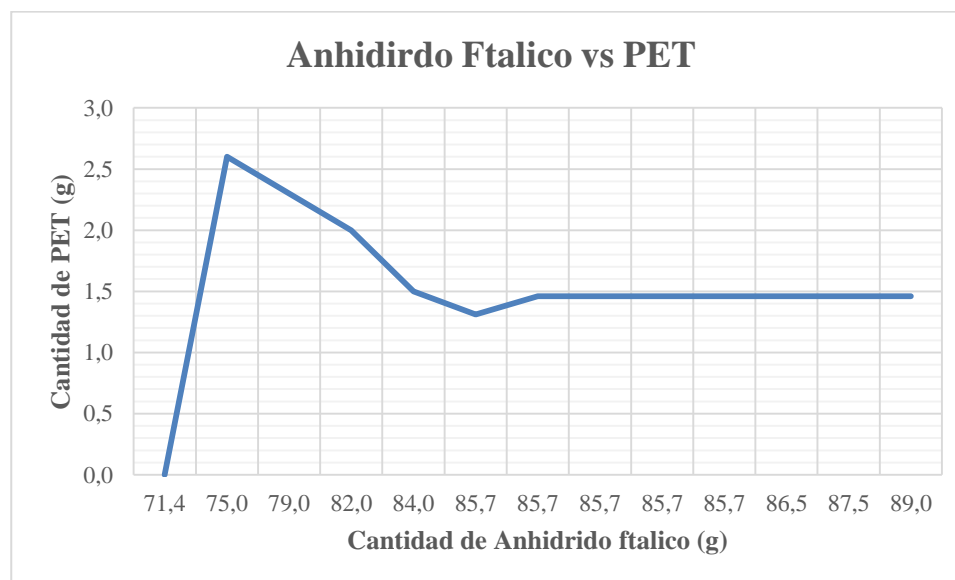
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,40302

En la Tabla 6, se observa la caracterización de propiedades de un barniz brillante de secado al aire.

Tabla 6 Barniz trasparente brillante

Variable	Blanco	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Ensayo No 4	Ensayo No 5	Ensayo No 6	Ensayo No 6A	Ensayo No 6B	Ensayo No 7	Ensayo No 8	Ensayo No 9	Ensayo No 10
Peso por galón (Kg por galón)	3,41	3,41	3,4	3,42	3,4	3,39	3,41	3,41	3,41	3,4	No Aplica	No Aplica	No Aplica
Brillo	96	No Aplica	No Aplica	No Aplica	81	94	98	98	98	97	No Aplica	No Aplica	No Aplica
Anclaje	100%	Aplica	Aplica	Aplica	100%	100%	100%	100%	100%	100%	Aplica	Aplica	Aplica
Secado a 7 mils	52 Minutos	No seca	No seca	No seca	98 Minutos	51 Minutos	47 Minutos	45 Minutos	49 Minutos	57 Minutos	No Aplica	No Aplica	No Aplica

A partir de los resultados obtenidos, se puede analizar que la cantidad de PET en cada uno de los ensayos varió proporcionalmente de acuerdo con la cantidad de Anhídrido Ftálico como se observa en la Gráfica 1, permitiendo también analizar lo siguiente:



Gráfica 1 Cantidad de PET

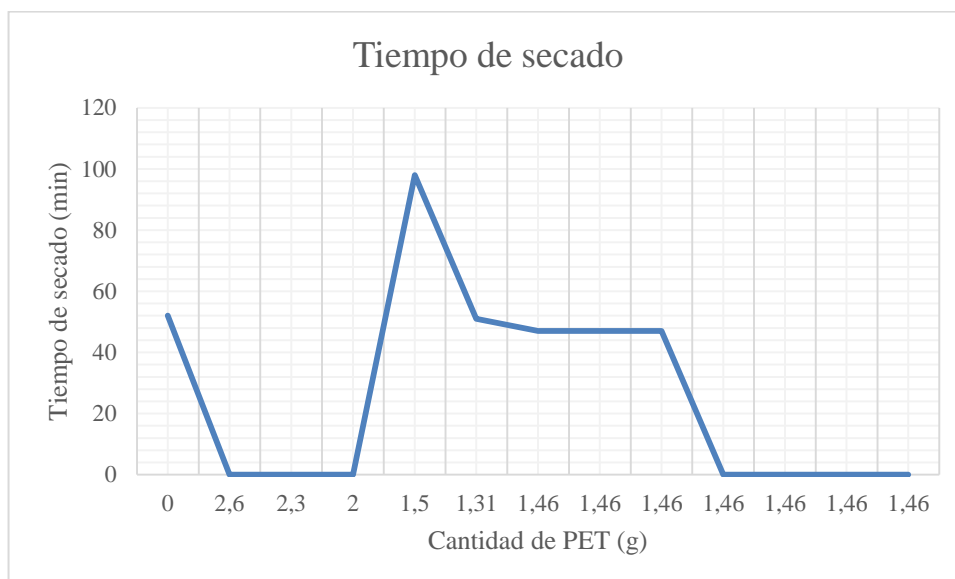
- El cargue de anhídrido ftálico en la formulación de la resina es inversamente proporcional al cargue de recuperación de PET, ya que se puede observar que al aumentar el anhídrido se debe disminuir la adición del reciclaje, esto con el fin de balancear la fórmula y obtener las propiedades requeridas en la resina, tanto de viscosidad como de acidez. Estos resultados se pueden observar más claramente en el ensayo No 1 y No 2, donde el aumento de anhídrido es bajo, pero el aumento del reciclaje de PET en porcentaje es mucho mayor.

Lo anterior es debido a que el anhídrido ftálico debe reaccionar con la cadena de carbonos presente en el polímero formado por el aceite de soya y la glicerina, y el PET ya es una resina de estructura definida que no interfiere en esta reacción, pero si aporta propiedades de brillo y maleabilidad al producto final.

- La cantidad de Tereftalato de Polietileno PET, afecta directamente el secado del producto final, que es la variable de respuesta definida en nuestro diseño experimental, es decir, a mayor cantidad de PET recuperado en la sustancia, mayor es el secado, esto debido a que la cadena carbonada queda muy larga, aumentando así el tiempo de creación de la película. Adicional a ello, a mayor cantidad de producto recuperado, menor es la capacidad que tiene la resina de aceptar solvente, es decir, pierde solubilidad a los compuestos alifáticos debido a la estructura compuesta del mismo.

Como se puede observar en la gráfica 2, el secado en los ensayos realizados se comporta diferente de acuerdo con la cantidad de PET adicionado, y de acuerdo con el blanco de referencia, donde el secado al aire es de 52 minutos y el ensayo que se comportó similar fue el ensayo No. 6 el cual contiene una cantidad de PET del 0,324%

del peso total de la sustancia y un 16,7% más de anhídrido ftálico. En este ensayo, se obtuvo propiedades físicas y químicas de la resina similares al blanco. Es de vital importancia tener en cuenta que el valor de cero (0) en la representación gráfica significa que la propiedad de secado no pudo establecerse debido a las condiciones físicas de la resina, es decir, bien sea por viscosidad, por apariencia o por estado de la sustancia, la medida fue imposible de tomar.



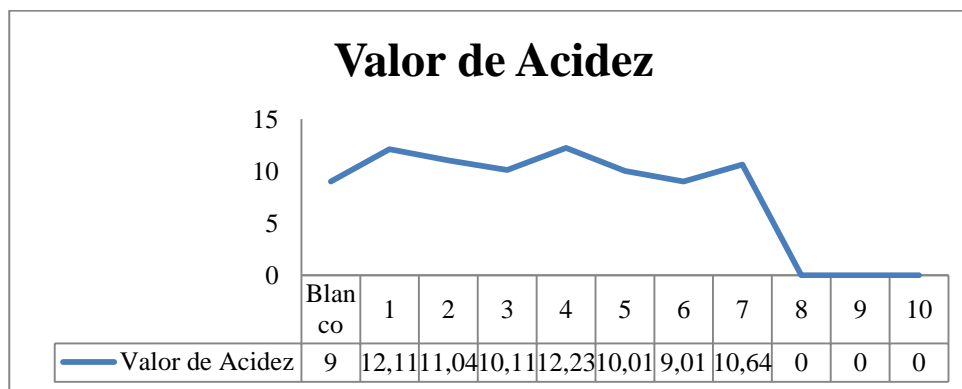
Gráfica 2 Comportamiento del Secado

- La cantidad de ensayos realizados para este trabajo se definieron de acuerdo con el blanco sobre el cual se caracterizaron las primeras propiedades de la resina y fueron los variables definidas en el diseño experimental, como la acidez y la viscosidad de la resina y un máximo teórico de adición de PET en la formulación. Luego de ello se cerró el rango buscando optimizar las características físicas y químicas de la resina. Después de ello se hicieron tres ensayos idénticos buscando repetibilidad de los resultados, los cuales generaron valores similares para las variables medidas, viscosidad, acidez,

secado y color. Por lo anterior, se denota que el ensayo con mejor comportamiento es el número 6.

- Como indica Cardeño F. y Rios L en su documento, la reacción de la resina alquídica sucede entre los 220°C y los 235°C, es en este rango de temperatura donde los monoglicéridos convergen con los anhídridos y el pentaeritritol de la fórmula. Esta temperatura se debe sostener durante un tiempo considerable, y está atada a la eficiencia de la acidez, como lo muestra la Gráfica 3, ya que es un indicador de la finalización de esta, pues entre más cercano este al cero este valor, la reacción indica un porcentaje de finalización más alto, lo anterior es evidencia de los resultados obtenidos en el blanco de análisis

Sin embargo, dejar mucho tiempo la resina a temperaturas elevadas, conlleva a que el producto final obtenga un color rojizo en la escala Gardner, llegando a estar entre 9 o 10, que ya son colores oscuros en extremo rojos para una resina alquídica.



Gráfica 3 Comportamiento de Acidez

- De acuerdo con los resultados obtenidos, la viscosidad Z3 (tubos Gardner), es un valor que permite deducir que el producto fluye de una manera adecuada y que tiene la capacidad de aguantar la adición de solventes de mejor manera, haciendo de ella una resina de características de mercado óptimas, ya que, a mayor tolerancia de solventes, menor es el costo de producción de Pinturas y Barnices tal y como lo confirma dentro de su documento (Hartmann, 2011).

- Al no cambiar considerablemente el peso de ninguna materia prima, el peso por galón final del producto se mantiene casi constante, esto facilita la formulación de Pinturas y Barnices, como lo indica Nieto, VM en su documento, debido a que el balance masa del recubrimiento líquido se hace más precisa falta de esta variación.

- El anclaje de los barnices formulados con resina que contiene recuperación de tereftalato de polietileno es muy bueno, ya que el film producido por el barniz después de haber pasado por el proceso de secado se mantiene siempre sujeto al sustrato sobre el cual fue aplicado en un 100 % en condiciones de temperatura y humedad normales, sin picos extremos en ninguna de ellas.

- Se puede analizar que la desviación estándar y el % error existente en el total de los ensayos es bastante alta, esto permite denotar la variación de datos obtenidos, pero al analizar la repetibilidad del ensayo de la fórmula que mejor dio resultados y mejores condiciones tanto de resina como de barniz, se puede observar que la desviación y el error disminuyen casi a cero, consolidando así el hecho de que el experimento que

mejor condiciones brinda a la fabricación de una resina alquídica es el número 6 y afianzando la información a través de la repetibilidad de resultados del mismo.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

Después de haber terminado la metodología planteada para este proyecto investigativo se puede concluir lo siguiente:

1. La cantidad de PET que se debe usar para obtener los mejores resultados en las formulaciones es del 0,32% del peso total de la resina, debido a que, con esta cantidad, las propiedades finales de la resina como secado, acidez y viscosidad, que son los factores críticos a evaluar, no cambian de acuerdo al blanco.
2. La resina se debe envasar a una temperatura alrededor de los 110 °C para poder adicionar el 100% del disolvente, y evitar expulsión del solvente por altas temperaturas de la resina, como se evidencia en la ilustración 8, ya que la resina tiene un gran poder calorífico y el disolvente se evapora y convierte en gas después de los 130°C, haciendo que el cambio de presión en los dos estados del solvente (líquido y gas) generen burbujas que explotan de forma inmediata, la homogenización de la masa se obtiene después de pasados 45 minutos de agitación.
3. De acuerdo con el uso del PET como agente modificador de cadena en las resinas alquídicas, las industrias de manufactura de este tipo de sustancias o compuestos deben volverse parte de la solución en cuanto a desperdicios y a posconsumo se refiere,

incorporando dentro de sus formulaciones productos que hayan terminado su vida útil, como en este caso puntual el tereftalato de polietileno.

4. El reciclaje enmarcado dentro de todo proceso productivo debe ser un camino a la disminución de costos de un producto terminado y a su vez debe conllevar a la responsabilidad social y ambiental que toda compañía debe tener, es por ello que a través del presente trabajo se generan evidencias de como cada una de las industrias, desde la rama que le corresponda, tiene la obligación de procurar y velar por el bien común y no por el propio.
5. El uso de Tereftalato de Polietileno PET como agente modificador de la resina alquídica es una alternativa viable dentro del proceso productivo de la misma, ya que al aumentar la cantidad de anhídrido ftálico y adicionando el Tereftalato disminuye los costos de fabricación sin variar las características finales del producto y su desempeño.
6. Se debe aumentar la cantidad de anhídrido ftálico en las formulaciones de resinas alquídicas que usen como parte de su agente modificador el PET, debido a la reactividad de la sustancia y a que el anhídrido ftálico mejora el comportamiento de la acidez del producto y la viscosidad del mismo.

7. La industria fabricante de resinas alquídicas, pinturas y barnices tiene una posibilidad enorme de disminuir sus precios de producto terminado, volviendo mucho más competitivos en un mercado tan establecido, teniendo como plus de venta el diferencial del compromiso ambiental con el uso de material reciclable.

8. El uso de resinas alquídicas en base solvente que contienen recuperación de tereftalato de polietileno no afecta las características y propiedades finales de un barniz transparente de secado al aire, por el contrario, mantiene las mismas, proporcionando al recubrimiento líquido, buen brillo, óptimo secado y un buen acabado final.

9. Los productos fabricados con resinas alquídicas en base solvente con recuperación de tereftalato de polietileno tienen la misma capacidad de aceptación de disolventes, sin evidenciar disminución en la tolerancia a los mismos.

La recuperación de PET en una resina alquídica no va en contravía de las propiedades fisicoquímicas que esta debe tener, por el contrario, profieren al producto final ventajas en cuanto a características de uso y aplicación, como el brillo y el anclaje.

9.2 RECOMENDACIONES

Después de obtener algunas conclusiones por los resultados obtenidos se puede recomendar:

1. El uso del PET como agente modificador en resinas alquídicas en base solvente que tengan como aceite a modificar soya. Las cantidades que se deben usar en estas formulaciones están también dadas por la cantidad de anhídrido ftálico con la cual se va a trabajar.
2. Para formulaciones de resinas alquídicas en base solvente se puede recomendar aumentar la cantidad de anhídrido ftálico hasta en un 20%, teniendo en cuenta que el agente modificador del sistema también es el PET y que este porcentaje se debe compensar en producto recuperado y en solvente.
3. Si se realiza la recuperación de PET, es necesario ajustar el proceso de fabricación, para la adición del solvente, aumentando los tiempos de cargue, esto con el fin de evitar opacidades en la masa.
4. Las temperaturas en el proceso son un punto de control, ya que a partir de ellas ocurren las reacciones, sin embargo, es clave que no sobrepasen ciertos límites permitidos, ya que cuando esto sucede, otras propiedades de la resina se ven afectadas, como color, viscosidad y apariencia final.

5. Después de haber validado el PET en la formulación de una resina alquídica en base solvente, se recomienda el uso de ésta en formulaciones de Barnices y Pinturas de color, no se recomienda para Blancos debido al color del aceite usado como materia prima (Aceite de Soya).

10. BIBLIOGRAFIA

- Alonso, J. V. (2013). PINTURAS, BARNICES y AFINES: Composición, formulación y Caracterización, Madrid, Editorial Gaya.
- Arandes, J. M., Bilbao, J., & López, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28-45.
- Báez Riveros, O. J., Beltrán Castro, J. J., Arturo Calvache, J. E., & Quiñones Segura, C. A. (2010). Obtención de una resina alquídica a partir de aceite de palma crudo a escala laboratorio (tesis de pregrado), Universidad de America, Bogotá, Colombia
- Balart, J. F., Fombuena, V., Garcia-Sanoguera, D., Sánchez-Nacher, L., & Boronat, T. (2018). Modelos de viscoelasticidad en green composites de PLA y refuerzo de cáscara de avellana con plastificante natural de aceite de linaza. *Materiales Compuestos*, 2(4), 135-138.
- Bobadilla, A. F., & Arango García, A. (2014). *Producción de una resina alquídica hiper ramificada a partir de dipentaeritritol y ácido dimetilolpropiónico* (Tesis de pregrado). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia
- Burgess JO, G. T. (2010). *Self adhesive resin cements*, Berlin, Editorial PubMed
- Cabado, M. C., Casado, A. L., & San Román, J. (2016). Sistemas termoestables a partir de fuentes renovables: Avances respecto a las resinas fenólicas. *Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros*, 111(712), 1.
- Cárdenas, M. C., Rangel, E., Torres, C., & López-Carrasquero, F. (2008). Copolimerización del diitaconato de n-hexadecilo con estireno. *Rev. Iberoam. Polí*, 9, 222-227.
- Cardona, A. P. (04 de 2013). PET un plastico amigable pero no inofensivo. *Sostenibilidad Semana*. Recuperado de <http://www.sostenibilidadsemana.com/>

-
- Cárpena, I. (2012). *Fabricación de resinas alquídicas ara la elaboración de pinturas*. Lima, Peru. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Casas, P. (2011). *Aditivos y fenomenos de superficie*. Alicante: BYK.
- Da Rosa, A., Michelin, C., & Campomanes, R. (2011). Reciclaje de PET: evaluación de la eficiencia de separación del contaminante PVC. *ECIPERU*, 8(1), 12.
- DANE. (2017). Encuesta anual de comercio - EAC .
- De Medrano Palomeras, B. (2016). *Estudio del proceso de pinturas de serie en SEAT sobre tres nuevos sustratos* (Tesis de pregrado).Universidad Politècnica de Catalunya. España
- Espinoza Rosales, R. D. P., & Ramos Cisneros, L. (2018). Comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación para la producción de Resinas Alquídicas (tesis de pregrado), Universidad del Callao, Callao, Perú.
- Fernandez, P. A. (2016). Determinantes de la calidad industrial de frutos de distintas variedades de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) (Tesis de pregrado), Universidad Nacional del Sur, Bahia Blanca, Argentina.
- Fierros. (2017). Colombia Importo 14.938 Toneladas de Pinturas, Bogotá, Editorial Fierros.
- Fumero, A., & García, T. (2005). Evaluación de los factores que inciden en el secado de un barniz de base alquídica. *Revista Ingeniería UC*, 12(1), 17-28.
- Gallego, K., López, B. L., & Gartner, C. (2006). Estudio de mezclas de polímeros reciclados para el mejoramiento de sus propiedades. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (37), 59-70.
- Geographic, N. (Febrero de 2019). Innovación y Reciclaje. *Nationalgeographic*. Recuperado de <https://www.nationalgeographic.com.es/>
- Grafia, A. L. (2015). Desarrollo de películas con propiedades predeterminadas por modificación superficial de poliolefinas (Tesis de pregrado), Universidad Nacional del Sur, Bahia Blanca, Argentina.

- Guerrero, C., Lozano, T., González, V., & Arroyo, E. (2003). Morfología y propiedades de politereftalato de etilen-glicol y polietileno de alta densidad. *Ciencia UANL*, 6(2).
- González, C. M. D. C. C. (2014). Reciclado de Polietilen Tereftalato (PET), Diversas Opciones. *Kuxulkab*, 17(32).
- Hlaing, N. N., & Oo, M. M. (2008). Manufacture of alkyd resin from castor oil. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 48, 155-61.
- Horie, T., Sumino, M., Tanaka, T., Matsushita, Y., Ichimura, T., & Yoshida, J. I. (2010). Photodimerization of maleic anhydride in a microreactor without clogging. *Organic Process Research & Development*, 14(2), 405-410.
- Isaam, A., & Cheun, C. (2009). A study of the effect of Palm Oil on the properties of a new Alkyd Resin. *Malaysian Polymer Journal*, 4(1), 42-49. Recuperado el Febrero de 2019
- Juárez, M., Santiago, M. E., & Vera, J. (2011). Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de PET reciclado. *e-Gnosis*, 9, 1-12.
- Karayannidis, G. P., Achilias, D. S., Sideridou, I. D., & Bikiaris, D. N. (2005). Alkyd resins derived from glycolized waste poly (ethylene terephthalate). *European Polymer Journal*, 41(2), 201-210.
- Lafont, J. J., Páez, M. S., & Torres, Y. C. (2011). Análisis químico de mezclas biodiesel de aceite de cocina usado y diesel por espectroscopia infrarroja. *Información tecnológica*, 22(4), 35-42.
- Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J., & Agudelo, J. R. (2008). Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiesel. *Bioresource Technology*, 99(4), 731- 740.
- López Carrasquero, F. (2004). Fundamentos de polímeros. *Escuela Venezolana para la enseñanza de la Química. Mérida*, 49-51.
- Materona, L. J., & Pérezb, J. A. Obtención de anhídrido ftálico a través de la reacción de intercambio de anhídrido,
- Merril. (2006). *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*. Villavicencio, Meta. Bogotá, Agrosavia.

- Montenegro Torres, J. P., & Perneth Espitia, G. C. (2019). *Diseño del proceso de obtención de una resina alquídica elaborada a base de aceites vegetales a nivel laboratorio en Sigra SA* (Tesis de pregrado). Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia
- Nascimento, M. O. D. (2018). *Processos de produção e avaliação do desempenho de tintas á base d'água para decoração e sua questão ambiental* (Tesis de pregrado), Brasil.
- Nieto, V. M., & Perea, S. A. (2018). *Cadena Productiva de Pinturas, Masillas, Pigmentos, Tintas y Removedores Estructura, Comercio Internacional y Protección* (No. 016498). Departamento Nacional de Planeación.
- Nunez, C.E. (2008). Notas sobre el hidróxido de sodio. Cordoba, Ar.: Recuperado de www.cenunez.com.ar.
- Padilla Alomoto, A. E. (2014). *Diseño del proceso para la obtención de resina poliéster insaturada mediante el reciclaje químico de desechos de polietilentereftalato (PET)* (Tesis de Pregrado), Quito, Ecuador.
- Patlan, A. G. M. (2007). Técnicas de caracterización fisicoquímicas en el reciclado del polietilentereftalato (Tesis de posgrado), Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, México.
- Paz, M. (2016). *Reciclado de PET a partir de botellas post consumo* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Escuela de Ingeniería Industrial.
- Rios, L., & MARÍN, J. (2011). Equilibrio de fases para sistemas etanol-agua en presencia de polialcoholes y sales. *Dyna*, 78(165), 150-159.
- Rodríguez, C. P. D., Valencia, F. I. R., Montalvo, I. A. P., Linares, M. M. V., Espriella, M. L. P., & Portura, Y. A. (2017). Extracción de aceite de Coco (Cocos nuciferas) como estrategias de aprovechamiento de los productos locales de Mitú. *Revista Vaupés Innova*, 1, 82-89.
- Rodríguez, E. Q., Claudio, J. J. E., Ramírez, F. I. B., Tamayo, D. O., Castillo, M. M. E., Torres, J. M., & Corona, I. C. (2019). Aprovechamiento de pastas de prensado provenientes de

- la obtención de aceite de ricino, mediante la extracción de compuestos fenólicos. *Biotecnología y Sustentabilidad*, 3(2), 13-13.
- S. Baulch, C. P. (2014). The Effects of Plastic Pollution on Aquatic Wildlife: Current Situations and Future Solutions. *Marine Pollution*, Bulletin 80.
- Serreto, G., y Guillermo, J. (2016). Diagnóstico del impacto del plástico-botellas sobre el medio ambiente: un estado del arte (Tesis de pregrado), Universidad Santo Tomas, Facatativa, Colombia.
- Ripa, A. (Febrero de 2016). ¿Qué se puede hacer con el plástico que tiramos?. *El Pais*, Recuperado <https://elpais.com/>
- Valderrama Ocoró, M. F., Chavarro Guzmán, L. E., Osorio Gómez, J. C., & Peña Montoya, C. C. (2018). Estudio dinámico del reciclaje de envases pet en el Valle del Cauca. *Revista Lasallista de Investigación*, 15(1).
- Wallace, J. (1978). *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rded., John Wiley & Sons. New York: John Wiley & Sons.