

PRODUCCIÓN DE RESINAS ALQUÍDICAS A PARTIR DE LOS DESECHOS DEL PROCESO DEL POLIÉSTER

LILIANA CANO

Ingeniera Química, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

YOLANDA PÉREZ

Ingeniera Química, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

JORGE ESPINEL

Escuela de Procesos y Energía, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Recibido para revisar 15 de abril de 2002, aceptado Julio 22 de 2002, versión final 7 de Septiembre de 2002.

RESUMEN: Este artículo presenta los resultados de una investigación bibliográfica en la búsqueda de alternativas para la reutilización de los desechos del proceso de polimerización del poliéster y la evaluación experimental de una de ellas. Se realizó una caracterización del material con el fin de determinar los componentes y las cantidades presentes. La alternativa escogida para evaluar experimentalmente fue la producción de resinas alquídicas. El trabajo a escala de laboratorio también evaluó la posterior aplicación de la resina producida en la fabricación de esmaltes. Finalmente se presenta una confrontación de los costos totales de las materias primas utilizadas en la fabricación de las resinas cuando se usa material recuperado y cuando no se usa este. Se concluye que es posible producir resinas alquídicas de calidad comercial usando los desechos del proceso de polimerización del poliéster como uno de los componentes de la materia prima con una sensible disminución en los costos de materias primas de las resinas.

PALABRAS CLAVES: Esmalte Alquídico, Desechos Industriales, Poliéster, Reciclaje, Resinas Alquídicas.

ABSTRACT: This article presents the results of the bibliographic search of alternatives for the reuse of the waste of the polyester polymerization process and the experimental evaluation at laboratory scale of the process of obtaining alkyd resins. Also a factibility analysis for applying this resin in the production of enamels was done. A characterization of the material with the purpose of determining the compounds and the present quantities was done. It was carried out a comparison of the raw material costs for the obtained resins using recovered material and without this. It was demonstrated that alkyd resins of commercial quality can be made from the waste of the process of polymerization of the polyester with a sensitive decrease in the raw material costs in comparison to the resins obtained without recovered material.

KEYWORDS: Alkyd Enamel, Alkyd Resin, Byproducts, Polyester, Recycle, Waste.

1. INTRODUCCIÓN

El propósito de la investigación cuyos resultados aquí se presentan, fue la reutilización de los desechos sólidos generados en los reactores de polimerización del poliéster en una cantidad aproximada de 40 ton/mes. La planta tiene un

reactor continuo que produce PET A y otro que opera por lotes produciendo PET B y PET C. El trabajo está basado principalmente en los desechos del reactor por lotes por ser el mayor generador de residuos y busca atenuar el impacto ambiental de la disposición final del desecho, y a la vez generar un proceso rentable económicamente.

La búsqueda, recolección y adecuación de la información sirvió para la selección de la alternativa que luego se evaluó en trabajo experimental. Se encontró que el desecho tiene potencial como materia prima, combustible o insumo de proceso. Así, se consideraron entre otras las siguientes aplicaciones: combustible en hornos de cemento, materia prima en la producción de poliéster insaturado, de poliuretano y de resinas alquídicas o material para ser depolimerizado y obtener materia original. Para la experimentación la alternativa escogida fue: *Producción de resinas alquídicas y la aplicación de la resina obtenida en la producción de esmalte*. Con el conocimiento de las especificaciones del comportamiento de los esmaltes cuando se aplican a una superficie, se evaluaron los esmaltes producidos con las resinas recuperadas.

2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Las alternativas consideradas para la disminución del impacto ambiental de los residuos fueron:

- Estudio del proceso de producción de poliéster en la búsqueda de reducir la cantidad de desecho generada.
- Incineración de ellos (Barrales, 1997, Codesarrollo, 1997, Marroquín, 1995)

Utilización para:

- Combustible en hornos de cemento o aditivo de este (Dikeou and Hope, 1988).
- Depolimerización hasta llegar a los compuestos iniciales (Benson, 1989, Galán, 1997).

Materia prima para:

- Producción de poliuretano (Marroquín, 1995).
- Producción de resinas de poliéster insaturado (Fernández, 1995).
- Producción de resinas alquídicas (Campins, 1951).

- Producción de plastificante DOPT para PVC (U.S PATENT 4.920.749).

Como los factores de mayor peso para la determinación de la alternativa a evaluar experimentalmente se consideraron: las facilidades para utilizar los residuos en su estado original (sin requerir de costosos tratamientos adicionales); que la aplicación no exigiera altas propiedades mecánicas por tratarse de material frágil y que la tecnología adoptada fuera simple y de bajo costo de inversión. Así, se seleccionó la producción de resinas alquídicas para la evaluación experimental.

3. CARACTERIZACIÓN

En el estudio de posibles usos de un material como materia prima, el conocimiento de sus propiedades químicas y físicas es fundamental. Los desechos se caracterizaron sólo químicamente, porque se concluyó de antemano que la resistencia mecánica de ellos era baja, por las cortas cadenas de polímeros contenidas.

La naturaleza del material resultó muy heterogénea, lo cual dificulta su tratamiento, por su contenido de trazas de catalizadores e impurezas incluidas en la recolección. También tiene gran cantidad de oligómeros, polioles (monoetilenglicol, dietilenglicol) y en menor cantidad anhídrido isoftálico. Los principales componentes provenientes del proceso son: materias primas e insumos (DMT, catalizadores y glicoles), productos intermedios (oligómeros de bajo peso molecular y DGT) y productos finales (oligómeros de alto peso molecular y agua).

3.1 Resultados de la caracterización

Las muestras se recolectaron cada tres días durante 60 días, lo cual garantiza que los residuos presentan una composición representativa de la producción. En la planta discontinua, como los porcentajes totales de MEG y DEG no tienen grandes cambios, los residuos de los productos PET A y PET B se pueden usar mezclados en un proceso posterior.

Tabla 1 Resultados de la caracterización química

Análisis	PET A	PET A*	PET B	PET B*	PET C	PET C*
% MEG libre	0.76	-	2.65	-	3.09	-
% MEG comb	18.54	-	31.8	-	28.37	-
% DEG libre	0.28	-	0.36	-	0.83	-
% DEG comb	7.25	-	4.32	-	8.03	-
% PIA	0	-	3.90	-	3.83	-
Grupos Carboxílicos (meq/kg.)	7.67	-	4.96	-	3.75	-
Grupos Metiléster (meq/kg.)	0.0	8.8	0.9	3.0	0.4	2.5
% Cenizas	1.92	1.90	0.38	0.47	0.25	0.59
% Agua	2	2	4.95	4.95	4.95	4.95
% Oligómeros	69.24	-	51.64	50.69	50.64	-
% MgO	-	0.43	-	-	-	0.2

*Muestras compuestas de la producción bimensual.

PET A: Muestra tomada de la planta continua, producto cristalino se usa en la producción de fibras textiles.

PET B: Muestra tomada de la planta discontinua, producto cristalino se usa para la producción de fibras.

PET C: Muestra tomada de la planta discontinua tiene una apariencia opaca y es usado en empaques de bebidas.

Se aprecia en la Tabla 1 que los desechos de la planta discontinua son más ricos en polioles como el MEG y DEG, además, presentan una cantidad de oligómeros, de 55%. Los residuos de la planta continua tienen en comparación con los residuos de la planta discontinua, menor cantidad de glicoles y una cantidad de oligómeros mayor, 69.24%.

El MgO presente tanto en los desechos de las plantas continua y discontinua, es el adicionado para compactar los desechos con el fin de manipularlos con mayor facilidad.

Tabla 2. Análisis de metales

Análisis	Planta discontinua	Planta continua
Mn (ppm)	20	220
Ti (ppm)	16	5300
P (ppm)	131	3630

En la Tabla 2 se aprecia como los metales provenientes de catalizadores se encuentran en proporciones bajas, por lo cual se considera que

es poco probable que intervengan en un proceso posterior.

4. EXPERIMENTACIÓN

4.1 Montaje experimental

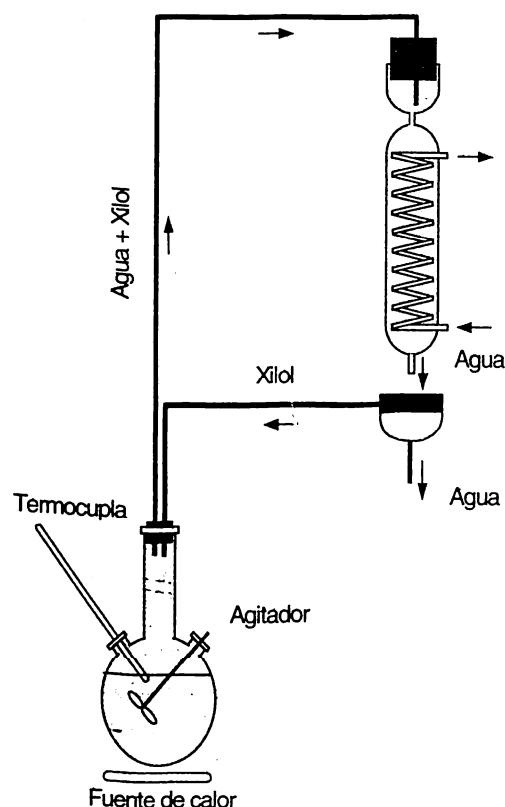


Figura 1. Montaje experimental.

Para la producción de las resinas alquídicas en el laboratorio se utilizó como reactor un balón de vidrio Pirex de 4 bocas y capacidad de dos litros, dotado de un sistema de condensación utilizando agua, un sistema de decantación y reflujo, un medidor de termopar conectado a un indicador-controlador, un agitador con velocidad variable mecánicamente de 0 a 1500 r.p.m. (motor de 1/16 hp) y una manta de calentamiento de control ON-OFF con un diferencial de temperatura de 5 °C, como se ve en la Figura 1.

Inicialmente se cargaron al reactor los reactivos incluyendo el desecho y se calentó la mezcla a 180 °C, 3 °C/min a la vez que se agitaba. Después de obtener la temperatura citada se inició la toma de muestras haciendo el

seguimiento de la acidez como indicativa del grado de conversión de la materia prima (ver las curvas de reacción de las Figuras 2, 3, 4 y 5). La temperatura de la mezcla finalmente alcanzó los 250 °C. El tiempo de experimentación varió entre 5 y 15 horas según la proporción de residuo utilizado en la mezcla.

El sistema de procesamiento por solvente se utilizó por seguridad y efectividad. Para ello se adiciona el xilol y se retira el agua originada en las reacciones aprovechando que en este sistema se forma un azeótropo. El xilol se recupera continuamente en un sistema de decantación ubicado a la salida del condensador y se recircula al reactor (Montgomery, 1991 y Seminario de Resinas Alquídicas, 1998).

4.2 Formulaciones

Según la aplicación que vaya a tener la resina, se requiere que ella tenga ciertas características y propiedades relacionadas con la solubilidad, la viscosidad, el secado, la compatibilidad, la flexibilidad de la película, la acidez y la resistencia al ambiente. Estas características y propiedades deben tenerse en cuenta para la formulación, determinando la longitud de aceite y los tipos y cantidades de reactivos. Así por ejemplo, para disminuir la probabilidad de gelación se debe formular un exceso de polioles. Las formulaciones de las resinas alquídicas con una relación equimolar entre el ácido policarboxílico y los polioles tienden a favorecer la formación de moléculas de alto peso molecular y estructura lineal. Los residuos de la planta discontinua tienen PIA, este reemplaza el PA. La formulación se hace buscando una equivalencia de grupos funcionales ácidos y básicos, con un exceso de polioles del 60%, para evitar la gelación.

En la selección de los componentes de la formulación se tiene en cuenta que las propiedades físicas y mecánicas de las resinas alquídicas se ven afectadas por dos variables fundamentales, la estructura química y la funcionalidad del monómero utilizado.

Los materiales complementarios al residuo utilizados para la producción de la resina alquídica fueron: glicerina como poliol, PA y

ácido graso de soya como ácidos. Se escogieron por sus propiedades adecuadas a las necesidades y su bajo costo. En la formulación de la resina los residuos aportan como material reutilizable MEG, DEG y PIA, de estos el MEG total se encuentra en mayor cantidad (34.45%) y como es un poliol puede reemplazar materia prima al igual que el DEG, aunque este se encuentra en menor cantidad (4.68%); el PIA reemplaza al PA en la reacción debido a que son isómeros, este también se encuentra en baja cantidad (3.90%).

La formulación se realizó para una resina que parte de un ácido graso de soya, glicerol, PE, PA, y los componentes aportados por el desecho fueron DEG, MEG, y PIA. Los desechos reemplazaron del 20 al 40% de los polioles con DEG, MEG, dímeros y trímeros. En la Tabla 3 se resumen las formulaciones ensayadas en las diferentes experiencias.

Tabla 3. Formulaciones para resinas evaluadas.
Composiciones en porcentaje por peso.

Ensayo	1, 2	3	4, 5, 6	7	8, 9, 10	11
Componente						
Residuos	16	18.1	17.85	35.79	27.19	15.01
Ácido graso de soya	35.3	40.1	-	-	-	-
Aceite de soya	-	-	39.6	36.82	37.29	32.01
PA	26.5	20	19.22	17.4	18.23	13.14
PE	9.4	-	11.67	1.13	8.27	30.83
Glicerina	3.7	12.8	1.66	-	-	-
Xilol	9.1	9	10	9.04	9.03	9.01

Todos los ensayos fueron realizados con residuos de la planta discontinua excepto el decimoprimer que se realizó con residuos de la planta continua.

4.3 Resultados de la evaluación experimental de formulaciones

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos con las formulaciones durante la experimentación.

Tabla 4. Resultados de la experimentación de producción de resinas a partir de desechos

Ensa- yo	Tiempo de proceso (h)	Color	Viscosidad Gardner	Índice de acidez	% Sólidos
1	8	AO	NC	35	-
2	9	AO	NC	36	-
3	15	AT	NC	11	60
4	8,6	AT	U - V	9.66	60
5	8.9	AT	U V	8.72	60
6	7.5	AT	W	11.5	60
7	15.3	AOO	U - V	13.69	60
8	9	AT	Z6-Z5	7.44	50
9	8.5	AT	Z6	11.91	50
10	7.5	AT	Z6	11.09	50
11*	8	AOO	NC	7.04	50

*Ensayo con residuo de la planta continua.

AO= Ámbar oscuro; AOO= Ámbar opaco y oscuro.

AT= Ámbar traslúcido.

NC= No comparable.

La viscosidad Gardner es una medida comparativa con respecto a patrones establecidos, los cuales tienen asignados letras de tal manera que la viscosidad va de mayor a menor así: :U, V, W, Z₁, Z₂,...,Z₁₀.

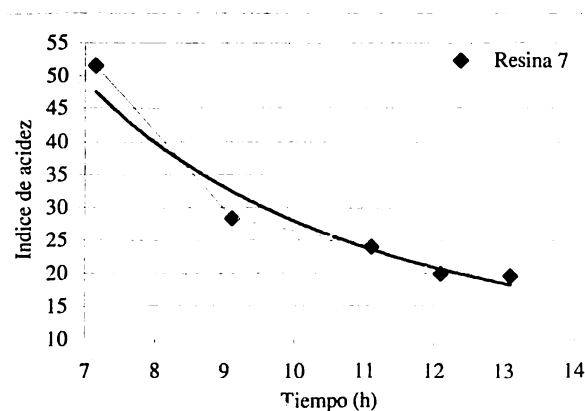


Figura 3. Índice de acidez contra tiempo de proceso, para el ensayo 7.

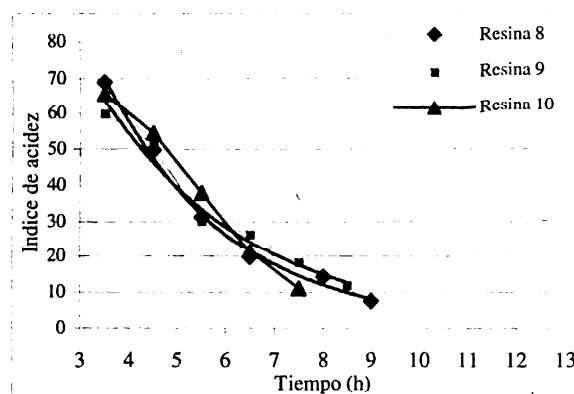


Figura 4. Índice de acidez contra tiempo de proceso, para los ensayos 8, 9 y 10.

4.3.1 Comentarios y observaciones

Se puede observar en las Figuras 2, 3, 4 y 5 que el índice de acidez, un indicativo del avance de la reacción, disminuye de manera exponencial a medida que transcurre el tiempo de reacción. El valor adecuado para las resinas alquídicas de este índice está entre 8 y 10 para evitar la gelación (Kirk- Othmer, 1982).

Las resinas 8, 9 y 10 a pesar del alto contenido de desecho, 27%, muestran un comportamiento adecuado en los tiempos de reacción necesarios para alcanzar la acidez menor a 10 indicativa de la finalización del proceso.

Las repeticiones realizadas sirvieron para comprobar la repetibilidad de los resultados.

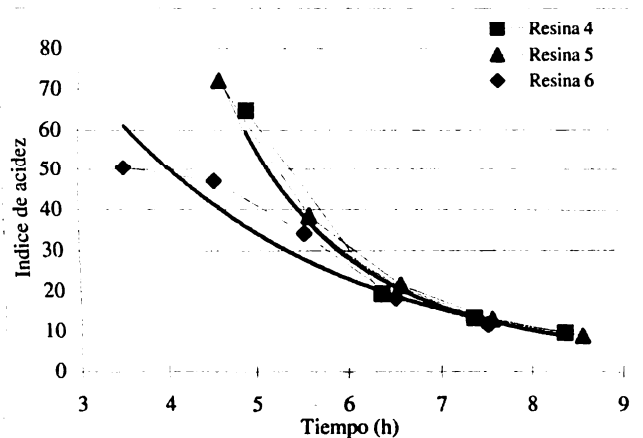


Figura 2. Índice de acidez contra tiempo de proceso, para los ensayos 4, 5 y 6.

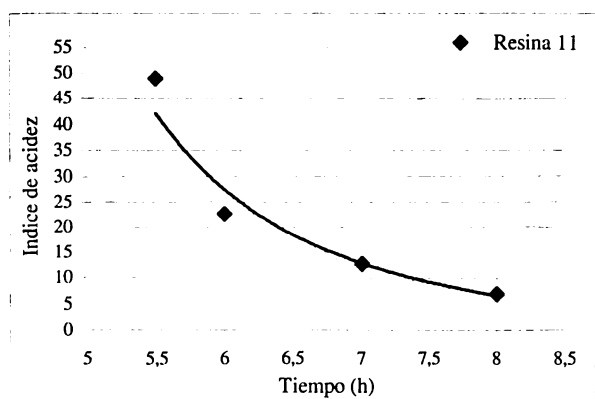


Figura 5. Índice de acidez contra tiempo de proceso, para el ensayo 11.

4.4 Ensayos de tolerancia al solvente.

Se realizaron ensayos de tolerancia al solvente con el fin de compararla con la de la resina sin desechos. Esta característica es importante debido a las diluciones a que deben someterse las resinas en la producción de esmaltes. Se necesita que la resina al adicionarle solvente no presente cambios drásticos en su viscosidad y contenido de sólidos. Los resultados de las pruebas realizadas a los esmaltes se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5. Variación de la viscosidad Gardner de las resinas con la adición de solvente.

Resina 8		Resina 9		Resina sin residuos	
Canti- dad de Solvente (g)	Viscosi- dad (Gardner)	Canti- dad de Solvente (g)	Viscosi- dad (Gardner)	Canti- dad de Solvente (g)	Viscosi- dad (Gardner)
13.54	Z7	13.54	Z7	13.83	Z3-Z4
16.23	Z6	14.53	Z6	14.35	Z4
17.12	Z5	15.56	Z6	15.79	Z3
17.27	Z5	16.1	Z6	16.67	Z3
18.04	Z5	17.1	Z6	17.65	Z3
19.1	Z5	17.6	Z6	18.75	Z2
20.36	Z5	18.7	Z6	19.88	Z2
21.77	Z5	20.1	Z6	21.22	Z2

En las Figuras 6 y 7 se puede observar que la tolerancia al solvente de la resina producida a partir de residuos cumple con las especificaciones por no presentar cambios drásticos cuando se adicionan cantidades importantes. Además la viscosidad de la resina evaluada es superior a la producida sin residuos, siendo esto una ventaja porque la tolerancia de mayor cantidad de solvente la hace más económica en el uso.

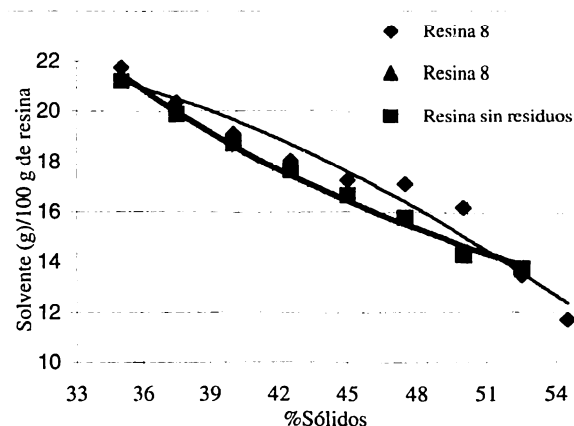


Figura 6. Porcentaje de sólidos de la resina 8 (repetida) y de la resina sin residuos contra gramos de solvente/ 100 gramos de resina

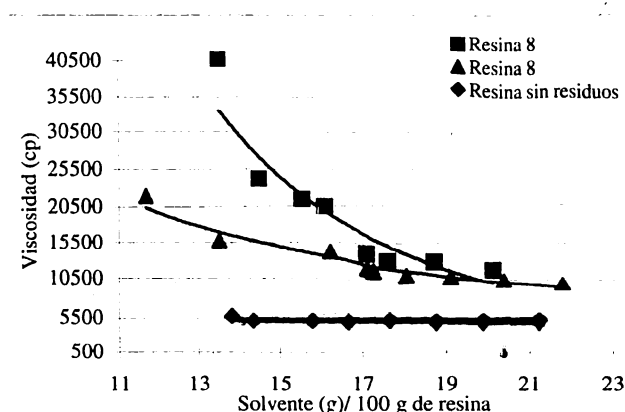


Figura 7. Viscosidad contra gramos de solvente/ 100 gramos de resina.

4.5 Costos

Los costos unitarios de las materias primas e insumos utilizados en el proceso de obtención de resinas alquídicas fueron los siguientes:

<i>Materia prima</i>	<i>\$/kg.</i>
Residuo	60
Aceite de soya	1362.00
Ácido graso	3064.34
PE	2638.51
PA	2075.40
Glicerina	3010.00
Xilol	1062.66

En la Tabla 6 se presenta una comparación de los costos de materia prima de las resinas que utilizan residuo y de las que no lo utilizan.

Tabla 6. Comparación de costos de materias primas.

<i>Resina</i>	<i>Costo resina \$/kg</i>	<i>RP</i>
1-2	2098.86	1.4
3	1776.18	1.13
4-5-6	1314.73	0.83
7	1053.83	0.67
8-9-10	1170.25	0.68
11*	1248.65	0.79

Costo por kg de resina sin residuo \$1567.18.
RP es la relación de costos de la resina experimental a la resina sin residuos.

5. EVALUACIÓN DE LA RESINA EN LA PRODUCCIÓN DE ESMALTES

Como evaluación clave de la calidad de la resina alquídica obtenida a partir de los residuos, se fabricaron esmaltes basados en ella y se les realizaron las pruebas exigidas (Parker, 1978). A continuación se presentan las formulaciones para el esmalte y los resultados de las pruebas.

Especificaciones para la formulación del esmalte

Las especificaciones para la formulación del esmalte, son :

Porcentaje de sólidos	56%
Viscosidad	70 a 75 KU
Tiempo de secado	4 a 7 horas

Porcentaje de pigmentos	28%
Concentración de la pasta	65%
Plomo	0.8%
Cobalto	0.05%
Manganeso	0.05%
Calcio	0.12%
Antioxidante	0.2%
Nivelante	0.5%
Dispersante	0.1%
Agente tixotrópico	0.2%

El esmalte se preparó con una pasta previamente preparada; esta se elaboró con resina corta, pigmento y solventes alifáticos. Luego se le adicionaron los componentes básicos: octoato de plomo, octoato de cobalto, octoato de manganeso, octoato de calcio, adimón que es un agente secante y solvente (una mezcla de xilol y varsol).

En la Tabla 7 se muestra en detalle la formulación utilizada, el color que se eligió para el esmalte fue el negro, por tratarse del color más crítico en cuanto a exigencia de propiedades.

Tabla 7. Formulación del esmalte elaborado a partir de resina producida con desechos.

Componente	W (g)	% peso
Varsol	112.5	12.27
Resina	537.5	58.62
Pasta negra	225.0	24.54
Octoato plomo	22.5	2.45
Octoato cobalto	4.2	0.46
Octoato manganeso	3.2	0.35
Octoato calcio	3.2	0.35
Adimón	2.5	0.27
Xilol	6.2	0.68
Total	916.8	100

5.1 Pruebas y resultados realizados a los esmaltes alquídicos

Se realizaron pruebas de poder cubriente y brillo, en ellas el esmalte ensayado y el estándar se aplicaron en lenetas (papel especial con fondo de rayas blancas y negras). La prueba de secado

se realizó aplicando el esmalte sobre una lámina sin previo tratamiento. Para las pruebas de impacto, adhesión y flexibilidad, se aplicó el esmalte en láminas previamente tratadas con desengrasantes y antioxidantes. Finalmente se realizaron las siguientes pruebas: viscosidad, impacto, adhesión y flexibilidad.

En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a los esmaltes hechos con resina fabricada con desecho y se comparan con el esmalte producido a partir de resina obtenida sin desecho.

Tabla 8. Evaluación de los esmaltes fabricados con resina recuperada de la planta discontinua.

Pruebas	Resina							Est
	4	5	6	7	8	9	10	
Viscosidad (KU)	78	78	78	78	78	78	78	72
Poder cubriente (%)	100	99.6	99.1	99.7	99.0	98.7	97.9	100
Brillo (%) a 60°	91.8	92.5	93.4	58.6	93.9	86.6	92.8	92.5
Secado (4-5 h)	M	MM	MM	M	B	B	B	B
Impacto (60 cm, 1 kg)	-	-	-	-	B	B	B	B
Adhesión	-	-	-	-	100	100	100	100
Flexibilidad	-	-	-	-	B	B	B	B

M: Malo, MM: Muy Malo, B: Bueno, Est.: Estándar

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La resina alquídica que presentó la mejor calidad (Ensayos 8, 9 y 10) fue la obtenida utilizando el desecho en un 27% de su composición.

La resina obtenida aprovechando el material de desecho comparada con la resina producida sin desecho presenta propiedades similares en cuanto a color e índice de acidez; por el contrario en la viscosidad presenta un valor más alto la recuperada lo cual es conveniente ya que tolera más solvente en el proceso.

Los esmaltes fabricados con las resinas que usan en sus formulaciones 20% de desecho, las propiedades de viscosidad, poder cubriente y brillo, comparadas con el estándar son similares e inclusive en algunos casos superiores a él. En el caso del Esmalte 4, el secado no cumple, ya que el tiempo de secado estándar es de 5 horas, y en este tiempo todavía la superficie estaba tactosa, esto se puede corregir adicionando agentes secantes, como el anhídrido maleico, en el proceso de la resina u octoato de cobalto en la preparación del esmalte.

El esmalte realizado en el Ensayo 8, tiene características aproximadamente iguales a las del esmalte estándar, y en algunos casos el ensayo de prueba tiene mejores propiedades que el tradicional. A este se le realizaron pruebas adicionales de adhesión, impacto y flexibilidad, las cuales presentaron excelentes resultados, lo que confirma la factibilidad técnica de uso de las resinas recuperadas en la producción de esmaltes.

En el Ensayo 7, la propiedad de brillo no es comparativa con el estándar debido a que tiene mucha cantidad de materia de baja calidad, lo cual hizo que la superficie de la aplicación se mostrara rugosa y opaca. Las demás propiedades evaluadas fueron comparables.

7. CONCLUSIONES

Experimentalmente se comprobó la factibilidad para la producción de resinas alquídicas comerciales a partir de desechos de la polimerización del poliéster. Las pruebas de calidad realizadas a las resinas obtenidas, cumplieron con las especificaciones técnicas exigidas como materias primas en la fabricación de esmaltes.

El costo de la materia prima requerida para producir resina alquídica con residuo es 32% menor de la sin residuo, esto se muestra en la Tabla 6.

Este trabajo se constituye en un incentivo de otras investigaciones para la reutilización de desechos industriales.

La evaluación experimental a escala de laboratorio para la producción de resina alquídica se debe llevar hasta escala industrial.

Vale la pena continuar la investigación de aplicación de los residuos de la planta continua, de manera similar como se procedió con la planta discontinua, y en caso que no se obtengan buenos resultados se pueden realizar ensayos para la obtención de plastificantes.

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

DEG	Dietilenglicol
DGT	Diglicol tereftalato
DMT	Dimetil tereftalato
KU	Unidades Krebs de viscosidad
MEG	Monoetilenglicol
PA	Anhídrido ftálico
PE	Pentaeritritol
PIA	Anhídrido isoftálico
W	Peso (g)
v	Viscosidad

REFERENCIAS

- Asociación de ingenieros de la universidad nacional de Bogotá. Seminario de polímeros memorias, Santa Fe de Bogotá 72-127, 1982.
- Barrales J. M. Incineración. Pirolisis. Recuperación química. Recuperación energética. Incendios. Toxicidad del PVC, *Revista de plásticos modernos*, 74, (493), 29-42, 1997.
- Benson J.M. Lei G.D. Melt transesterification of dimethyl terephthalate with ethylene glycol. *AIChE Journal*, 35, (9), 1989.
- Bustamante, B. La degradación de los plásticos. *Revista Universidad de Eafit*, 94.
- Campins A. *Tecnología química de los barnices y pinturas*, Editorial Reverté S.A., Barcelona 1951.
- Centro nacional de producción más limpia. *Asistencia técnica para la identificación de oportunidades relacionadas con el aprovechamiento de residuos y subproductos industriales, como combustibles alternativos en la industria cementera*, 2000.
- Codesarrollo. *Estudio sobre desperdicios industriales*. Valle de Aburrá. Medellín, 1979.
- Dikeou, J. and Hope B. Manual of concrete practice. *Polymers in concrete*. ACI 548 R77, 1988.
- Fernández, H. Resinas de poliéster insaturada. *Informador técnico del SENA*, 55, 1995.
- Galán, N. and Suarez, D. Transesterificación degradativa del poli (etilen - tereftalato). *Prácticas planta piloto*, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia 1997.
- Groggins P. H. *Procesos industriales de síntesis orgánica*. Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1983.
- Instituto mexicano del plástico industrial. *Enciclopedia del plástico S. C. México*, 1997.
- Kirk - Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology*. 4ta. edición. Editorial John Wiley and Sons. Vol. II, 1982.
- Mark, F. and Gaylord, N.. *Encyclopedia of polymers science and technology*. Editorial John Wiley and Sons. Vol. IX y XI, 1978.
- Marroquín, M., ¿Reciclaje o incineración?, *Revista de la Universidad de la Salle*, 16, (21), 1995.
- Montgomery, D. *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo editorial Ibero América, 1991.
- Parker, D. *Tecnología de los recubrimientos de superficies*. Ediciones Urmo, 1978
- U.S. PATENTE # 4.920.749. Degradative transesterification of terephthalate polyesters to obtain DOTP plasticizer for PVC. United State Patent.
- Seminario Resinas alquídicas y recubrimientos. Carboquímica S.A., Santa Fe de Bogotá, 1998.