

OBTENCIÓN DE UNA RESINA ALQUÍDICA A PARTIR DE ACEITE DE PALMA CRUDO A ESCALA LABORATORIO

Grupo de investigación: SIMULACION DE PROCESOS. UNIVERSIDAD DE AMERICA

Oscar Javier Baez Riveros*
John Jairo Beltrán Castro**
Jaime Arturo Calvache***
César Augusto Quiñones Segura****

RESUMEN

El artículo presenta la obtención de una resina alquídica utilizando anhídrido ftálico, glicerina y aceite de palma crudo, procedente de una muestra de Cumaral, Meta- Colombia, se realiza el proceso de formulación de la resina en función de la longitud del aceite, se determinan las condiciones de operación para las reacciones de alcoholisis y esterificación y se decide por una resina específica para obtenerla en un sistema de reacción que consta de un reactor en acero inoxidable con agitación y un sistema y control de calentamiento. Además, se analiza la variación en algunas condiciones de operación del reactor y el efecto de la resina alquídica obtenida en la elaboración de un esmalte.

Palabras claves: Resina alquídica, aceite de palma crudo, alcoholisis, esterificación, esmalte.

Recibido: 04 de febrero de 2010

Aceptado: Mayo 26 de 2.010

* Profesor Investigador de la Universidad de América.

** Profesor Investigador de la Universidad de América.

*** Ing. Químico, Ms., Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Investigador Grupo de Investigación en Dispositivos Fotoactivos.

**** Químico, Dr., Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Director Grupo de Investigación en Dispositivos Fotoactivos. Universidad de América, Bogotá, Colombia

ABSTRACT

The article presents the preparation of an alkyd resin using phthalic anhydride, glycerin and crude palm oil proceeding of a sample from Cumaral, Meta- Colombia. The process of the resin's formulation was performed in function of the oil length. The operational conditions were determined for the reactions of alcoholysis and esterification. The resin was also carried out in a reaction system, which consists of a stirred-stainless reactor with heat system and control, afterwards, some operational conditions were changed and the results evaluated. The resin obtained in the reactor was used in the preparation of enamel.

Key words: Alkyd resin, crude palm oil, alcoholysis, esterification, enamel.

INTRODUCCIÓN

Las resinas alquídicas son unas de las primeras aplicaciones de la síntesis de polímeros en la tecnología de recubrimiento de superficies [19], han sido utilizadas en la industria de las pinturas y de los tintes desde los años 30 hasta hoy. La primera resina alquídica fue preparada en los años 20 por la reacción entre la glicerina y el anhídrido ftálico, este material plástico fue producido por la empresa "*General Electrical Company*" de los Estados Unidos para aplicaciones eléctricas [9], luego se desarrollaron métodos para modificar estas resinas con aceites y aparecieron las resinas alquídicas que conocemos en la actualidad. El término "alquídica" fue usado por primera vez por Kienle en el año 1927 para describir los poliésteres resultantes entre la reacción de alcoholes polihídricos y ácidos polibásicos [18], y se han utilizado desde entonces para preparar compuestos poliméricos como pinturas, barnices y lacas.

La línea de Investigación en Dispositivos Fotoactivos de la Universidad de América ha comenzado un estudio en temas relacionados con la fotocatalisis y con el uso de materiales fotoactivos, se planteó la posibilidad de preparar pinturas con estos materiales con el fin de determinar los posibles usos o aplicaciones. En el presente artículo se muestran los resultados de la primera etapa de la investigación: obtención de la resina alquídica.

Durante los estudios previos se observó la oportunidad de utilizar el aceite de palma crudo como materia prima para elaborar resinas por las siguientes razones:

Las empresas manufactureras colombianas de pinturas y barnices han estado en un constante crecimiento en los últimos años (tasa de crecimiento de 5,9 % en el 2003), pero la mayoría de ellas debe importar las materias primas. [17]

Colombia es el primer productor de aceite de palma en América Latina y ocupa el quinto lugar a escala mundial [20][6]

Los palmicultores colombianos definieron para el año 2020 incrementar siete veces la producción de aceite de palma y exportar un 78% del mismo. [5]

La industria oleoquímica en Colombia, la cual transforma aceites vegetales en productos como lubricantes, pinturas, jabones, detergentes, agroquímicos entre otros, no está en desarrollo y puede ser una importante alternativa para la creciente oferta de aceite de palma [5], una alternativa en auge es la producción de biodiesel con aceite de palma. [14]

Las resinas alquídicas se encuentran en un grupo que sólo demanda el 7% de la producción de oleoquímicos en Colombia [5][13], lo que indica que no son relevantes en el mercado actual y se podría incurrir en la producción de este tipo de productos como una alternativa para ampliar la gama de productos oleoquímicos y reducir el esfuerzo de los palmicultores en exportar el aceite de palma y la importación de MP por los manufactureros de pinturas.

El principal objetivo de la investigación es la generación de conocimiento acerca de la obtención de resinas alquídicas utilizando aceite de palma crudo, siendo éste el punto de partida para la implementación de materiales fotoactivos en la preparación de pinturas; adicionalmente, se pretende definir las características requeridas de la resina previa a su obtención, determinar las condiciones de operación para la reacción de poliesterificación entre los reactantes, evaluar el efecto de la variación de las condiciones de operación sobre la resina obtenida y analizar el efecto de la resina en la elaboración de esmaltes.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Materiales

Las resinas alquídicas son productos derivados de la policondensación de un ácido polibásico y un alcohol polihídrico modificado con ácidos grasos monobásicos o sus triglicéridos [1]; se escogió un ácido polibásico, anhídrido ftálico grado analítico a 99% de pureza; un alcohol polihídrico, glicerina al 96% de pureza y aceite de palma como aceite vegetal, muestra obtenida de los cultivos de Cumaral, Meta - Colombia, con un índice de yodo de 54,7 y relación palmítico/oleico de 0,91 [8], en la tabla 1 se muestra el perfil de ácidos grasos.

Tabla 1. Perfil de ácidos grasos del aceite de palma

Acido graso	Rango	Promedio
Mirístico	ND-0,55	0,78
Palmítico	32,37-44,59	39,96
Esteárico	3,74-6,54	4,96
Oleico	38,29-48,77	42,50
Linoleico	8,40-15,01	10,30
Linolénico	ND- 1.35	0,11

Fuente. CENIPALMA [6]

En la preexperimentación se utilizó un vaso de precipitados de 250 ml, mechero de alcohol, bureta para la titulación y balanza de 1000 g \pm 1g. En la experimentación se utilizó un sistema de reacción que consta de un reactor en acero inoxidable con motor de agitación y sistema y control

de calentamiento, en el anexo se muestra las especificaciones del sistema. El sistema de reacción pertenece al grupo de investigación de la Universidad de América.

1.2 Formulación de la resina

La formulación consta en determinar la cantidad de las materias primas para obtener un tipo específico de resina teniendo en cuenta la longitud del aceite u *oil length* (porcentaje en masa de aceite o triglicérido en toda la resina sólida, resinas muy largas con un 75%, largas entre 60 y 75%, medias de 45 a 60% y cortas menores a 45% [4][18]).

Se estableció un parámetro R [18] que describe la cantidad en peso de equivalentes hidroxilos totales (iones OH^-) en relación a la cantidad en peso de equivalentes carboxilos totales (iones COOH^-) teniendo en cuenta las propiedades de las especies reaccionantes:

$$R = \frac{\text{EquivalentesOH}^-}{\text{EquivalentesCOOH}^-}$$

$$R = \frac{\frac{m_B}{30,7}}{\frac{m_A}{271,4} + \frac{m_C}{74,05}}$$

$$R = \frac{\frac{m_B}{30,7}}{\frac{m_A}{271,4} + \frac{100 - m_A - m_B}{74,05}}$$

Al despejar m_B

$$m_B = \frac{(41,460 \times R) - (0,302 \times R \times m_A)}{1 + \frac{R}{2,41}}$$

$m_A = \text{masa de aceite de palma (g)}$
 $m_g = \text{masa de glicerina (g)}$
 $m_C = \text{masa de anhídrido ftálico (g)}$

Se calcula el porcentaje de hidroxilo en exceso [18] y el punto de gelificación (P_{gel}) o punto donde la formulación de la resina gelifica o no [12][16], este valor se calcula con la funcionalidad total (F).

$$\% \text{Hidroxilo en exceso} = \frac{\text{EquivalentesOH}^- - \text{EquivalentesCOOH}^-}{\text{EquivalentesCOOH}^-} \times 100$$

$$P_{gel} = \frac{2}{F}, F = \frac{\text{Equivalentes totales} - \text{Equivalenteshidroxiloenexceso}}{\text{Moles totales}}$$

El cálculo de los equivalentes se basa en las reactividades de las especies [4][18], la tabla 2 muestra la matriz de formulación utilizada para unos valores de masa de aceite de palma y relación R

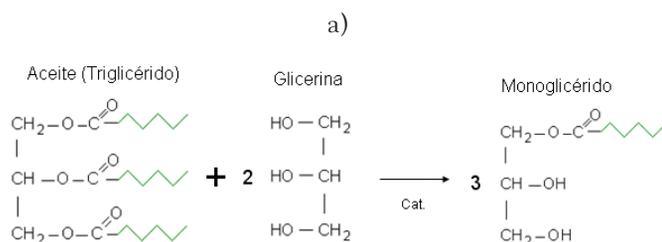
Tabla 2. Matriz de formulación

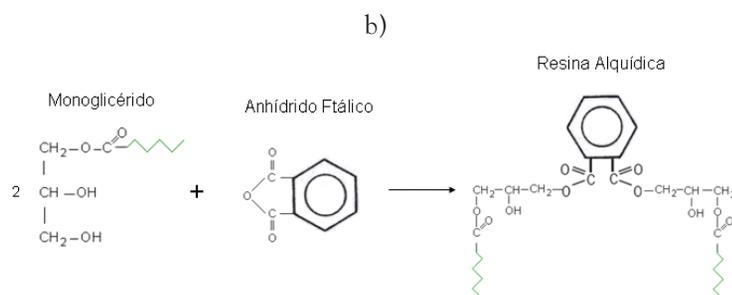
m_A (g)	R					
	1,00	1,30	1,50	1,70	2,00	
10,00	Resina 1	Resina 9	Resina 20	Resina 32	Resina 45	Resinas cortas
15,00	Resina 2	Resina 10	Resina 21	Resina 33	Resina 46	
20,00	Resina 3	Resina 11	Resina 22	Resina 34	Resina 47	
25,00	Resina 4	Resina 12	Resina 23	Resina 35	Resina 48	
30,00	Resina 5	Resina 13	Resina 24	Resina 36	Resina 49	Resinas medias
35,00	Resina 6	Resina 14	Resina 25	Resina 37	Resina 50	
40,00	Resina 7	Resina 15	Resina 26	Resina 38	Resina 51	
45,00	Resina 8	Resina 16	Resina 27	Resina 39	Resina 52	
50,00		Resina 17	Resina 28	Resina 40	Resina 53	Resinas largas
55,00		Resina 18	Resina 29	Resina 41	Resina 54	
60,00		Resina 19	Resina 30	Resina 42	Resina 55	
65,00			Resina 31	Resina 43	Resina 56	Resinas muy largas
70,00			Resina 44	Resina 57		
75,00			Resina 58			

Los datos de la región sombreada se descartan ya que la concentración óptima de glicerina para la preparación de resinas utilizando aceite de palma es 21% [7].

1.3 Preexperimentación

En la figura 1 se muestra las reacciones involucradas, la primera se conoce como alcoholólisis; la segunda como esterificación; la alcoholólisis se lleva en exceso de glicerina por la relación estequiometría y por la estabilidad de la resina final [18] y bajo atmósfera inerte con nitrógeno o dióxido de carbono para evitar oxidación en el aceite [15][12], pero como el aceite de palma es un aceite no secante [7] no se considera necesario.





Fuente. Serdar Aydin, 2004. [3]

Figura 1. Reacciones para la obtención de resinas alquídic. a) Alcohólisis, b) Esterificación

Se realizó el pesaje de las materias primas según la formulación, se precalentó el aceite de palma para fundirlo (punto de fusión de 32,8°C [8]), se agregó la glicerina para la alcohólisis a temperatura de 240 – 250 °C [7], a temperaturas inferiores se puede llevar la reacción pero a menores conversiones [18][26]; se realizó el control de la reacción mediante solubilidad de la mezcla reaccionante en alcohol en proporción de 1 a 3 (etanol al 96%) [18], luego se agregó el anhídrido ftálico para la reacción de esterificación entre 230 y 250 °C (temperaturas aconsejables) [1], se controló la reacción mediante el valor ácido (VA), este valor se define como los miligramos de hidróxido de potasio requerido para neutralizar 1 gramo de resina [12] [22]. En la tabla 3 se muestra las resinas que se obtuvieron.

Tabla 3. Resinas obtenidas según la formulación.

RESINA	$m_A(\text{g})$	$m_B(\text{g})$	$m_C(\text{g})$	% OH	P_{gel}	Tiempo de alcohólisis	Calidad de solubilidad	Avance de reacción de esterificación	Viscosidad Final
8	45	20	36	0,16	0,96	-	Prueba negativa	-	-
24	30	30	40	41,5	0,99	36,5 min	Buena	50,3%	Muy viscosa
30	60	22	19	41,2	1,11	-	Prueba negativa	-	-
40	50	28	24	57,9	1,04	25,2 min	Regular	45,3 %	Muy viscosa y compacta
45	10	42	48	83,2	0,96	38,5 min	Excelente	98,1 %	Muy viscosa y compacta
51	40	34	28	82,93	1,05	41,7 min	Regular	71,8 %	No viscosa
55	60	26	15	82,64	1,15	26,4 min	Excelente	93,1 %	No viscosa

% OH = % Hidroxilo en exceso

1.4 Experimentación

Se escaló la formulación de la resina 55 por sus propiedades en el sistema de reacción de acuerdo con las especificaciones del reactor para el volumen mínimo y máximo (ver anexo I); se pesaron las materias primas, se fundió la masa de aceite de palma en un recipiente con agua a 60°C, se precalentó el reactor con 3200 ml de agua a 85°C durante 45 minutos, luego se cargó el reactor con el aceite de palma y la glicerina y se programó el sistema de calentamiento a 300°C para la alcoholísis y se agregó hidróxido de calcio al 0,1 % [24][3]; en el momento de la prueba de solubilidad positiva, se detuvo la reacción, se programó el sistema para descender la temperatura hasta 160°C para agregar el anhídrido ftálico [18] y se reprograma a 300°C y 540 RPM.

En un tiempo de enfriamiento estático de 40 minutos hasta 80°C se descarga la resina separando la fase líquida superior no deseada, la resina se descarga por la válvula en envases de polipropileno. Se denominó a la resina obtenida con estas condiciones Resina I.

Se cambiaron las condiciones de operación en la alcoholísis a una agitación entre 540 y 2300 RPM, en la esterificación se varió las condiciones agregando xilol al 15% volumen sobre peso total de la formulación [1] Se mantuvo agitación de 540-2300 RPM pero a un tiempo aproximado de 10 minutos se comenzaron a evidenciar fugas por en las uniones de los pernos con la tapa del reactor, por lo que se definió trabajar la agitación en 540 RPM. El vapor de agua generado en la reacción es arrastrado por el xilol y condensado en un condensador de serpentín conectado a una de las boquillas de la tapa del reactor [15][9]. Extraer el agua del sistema de reacción permite obtener mayores conversiones. Como fluido de refrigeración para el condensador se usó agua que se almacenaba en un contenedor con hielo y cloruro de amonio. Se denominó Resina II a la obtenida con estas condiciones. En la figura 2 se muestra la adaptación del sistema de extracción de agua en el reactor.

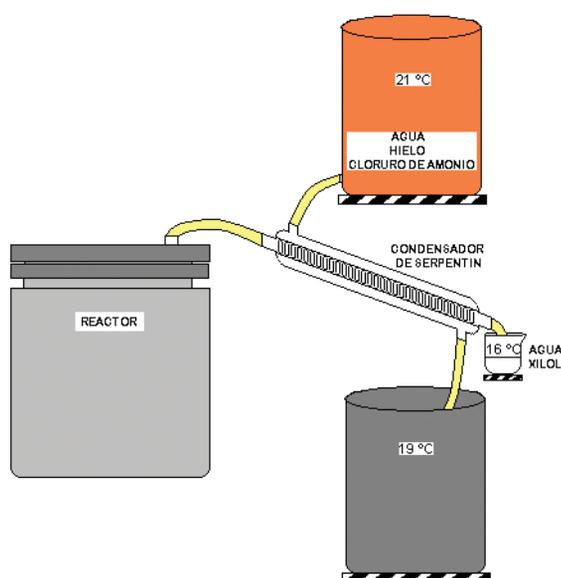


Figura 2. Sistema de extracción de agua.

1.5 preparación del esmalte

Se realizó la formulación del esmalte en función de la relación volumétrica de pigmentos CVP [23]

$$CVP(\%) = \frac{\Sigma \text{Volúmenes de carga y pigmentos}}{\text{Volumen de la resina} + \Sigma \text{Volúmenes de carga y pigmentos}} \times 100\%$$

Las cantidades empleadas para la elaboración de un esmalte con CVP de 4% se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Componentes del esmalte

COMPONENTE	MATERIA PRIMA	FUNCION [23]	CANTIDAD (g)	PORCENTAJE P/P (%)
SOLIDOS	Dióxido de Titanio 92.5 %	Proveer color y poder de cubrimiento	5	5
	Óxido de manganeso – grado analítico	Secante primario	3	3
	Óxido de Zinc – grado analítico	Secante secundario	3	3
	Resina Alquídica	Agente activo	52	57
LIQUIDOS	Thinner	Solvente	26	29
TOTAL			91	100

En la preparación se pesaron las materias primas, se agregó lentamente la resina en el solvente hasta obtener una mezcla homogénea, se incorporó el talco con agitación hasta la eliminación de los coágulos generados, se tamizó la mezcla en una malla de 1mm, se agregó el dióxido de titanio y los secantes y agitación constante durante 30 minutos y reposo de 24 horas [25]

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la tabla 5 se muestra el comportamiento de la reacción de alcoholisis de la resina I y en la tabla 6 de la resina II.

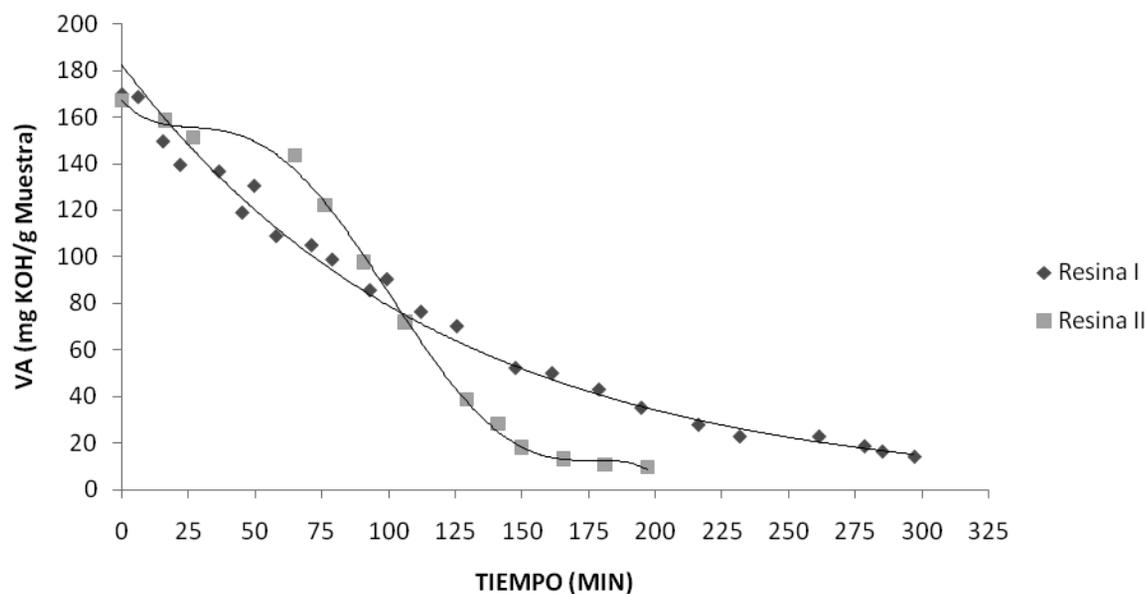
Tabla 5. Reacción de alcoholísis de la resina I.

PRUEBA DE SOLUBILIDAD	TIEMPO (minutos)	TEMPERATURA (°C)	RESULTADO
1	58.7	165	Insoluble
2	67.5	204	Insoluble
3	75.5	220	Parcialmente soluble
4	85.4	227	Soluble

Tabla 6. Reacción de alcoholísis de la resina II.

PRUEBA DE SOLUBILIDAD	TIEMPO (minutos)	TEMPERATURA (°C)	RESULTADO
1	89.2	172	Insoluble
2	98.1	178	Insoluble
3	108.3	184	Insoluble
4	125.0	196	Parcialmente soluble
5	150.1	208	Soluble

En la figura 3 se compara la variación del valor ácido de la resinas I y II

**Figura 3.** Valor ácido de la resinas I y II

En la figura 3 se muestra que el valor ácido desciende con mayor rapidez hasta aproximadamente 125 minutos, a partir de este punto el valor ácido desciende con más lentitud, esto es

debido a que primero reaccionan en la esterificación los hidróxilos primarios de la glicerina (que son más reactivos) y luego los hidróxilos secundarios que son menos reactivos y, por ende, la reacción avanza con mayor lentitud. [11] [2].

El avance de reacción de esterificación (P) se define como la fracción de los grupos funcionales que han sido esterificados en el tiempo en que fue removida la muestra del medio [10], se calcula mediante el valor ácido así: [1]

$$P = \frac{C_o - C_t}{C_o}$$

C_o = valor ácido en tiempo cero de la reacción

C_t = valor ácido después del tiempo t

El grado de polimerización (DP) o número promedio de unidades por molécula [10] se calcula con el avance de reacción así:

$$DP = (1 - p)^{-1}$$

Las resinas alquídicas son formadas como un resultado de muchas reacciones independientes de adición (esterificación) entre el anhídrido ftálico y los iones hidroxilo de la glicerina, reacciones de dimerización y polimerización en los dobles enlaces de los ácidos grasos, entre otras, [11]. Las reacciones de esterificación monofuncionales y polifuncionales se consideran equivalentes porque son reacciones entre grupos funcionales reactivos con una constante de equilibrio equivalentes [10] [2].

La velocidad de reacción (r) en la esterificación sigue una cinética de tercer orden bajo ausencia de catalizador ácido, porque los grupos carboxilos actúan como catalizadores [12], la expresión de la velocidad de reacción es:

$$r = -kC_{gps}^3$$

$$\frac{dC_{gps}}{dt} = -kC_{gps}^3$$

Sea C_{0gps} , la concentración inicial de grupos funcionales al inicio de la reacción de esterificación, es decir a tiempo cero (t_0), al integral y reemplazar $C_{gps} = C_{0gps}(1-P)$ [10]:

$$\frac{1}{(1-P)^2} = 2kC_{0gps}^2 t + 1$$

La variación del término $\frac{1}{(1-P)^2}$ varía linealmente respecto al tiempo t de reacción [10], lo que permite mediante una regresión lineal determinar el valor de la constante de velocidad k , en el caso que la relación no sea lineal, indica que la constante de velocidad k no se considera constante durante toda la reacción. [10]

Los valores de la constante de velocidad k de tercer orden depende de la proporción de los reactivos, de la velocidad de agitación de la mezcla reaccionante, cambios de temperatura y agua removida de la reacción de esterificación. [2], en la reacción de la resina II se alcanza una constante de velocidad k mayor que la resina I, pues se realizó bajo mejores condiciones, con remoción de agua con xilol y se alcanzó mayores temperaturas de reacción y un valor ácido final en menor tiempo respecto a la resina I, ver tabla 7.

Tabla 7. Comparación de parámetros entre la resina I y II

PARÁMETRO	RESINA I	RESINA II
Reacción de alcoholisis	A una velocidad de agitación de 540 RPM se obtuvo una prueba positiva de solubilidad a los 85,4 minutos y 227°C	A una velocidad de agitación entre 540 – 2300 RPM se obtuvo una prueba positiva de solubilidad a los 150 minutos y 208°C
Reacción de Esterificación	Se obtuvo una resina con: $VA = 14.03 \frac{mgKOH}{g \text{ muestra}}$ $P = 91,7\%$ $DP = 12,10$ A una temperatura de 218°C, 540 RPM y un tiempo total de reacción de 297 minutos, sin uso de xilol	Se obtuvo una resina con: $VA = 9.54 \frac{mgKOH}{g \text{ muestra}}$ $P = 94.3\%$ $DP = 17,53$ A una temperatura de 230°C, 540 RPM y un tiempo total de reacción de 197 minutos, usando xilol
Constante de velocidad de la reacción de esterificación (k)	$4,13 \times 10^{-3} \frac{g^2 (mgKOH)^{-2}}{min}$	$4,82 \times 10^{-3} \frac{g^2 (mgKOH)^{-2}}{min}$

Fuente: los autores

El esmalte preparado con la Resina II presentó un color gris claro, pH 5 y viscosidad de 7500 cP mediante viscosímetro Brookfield LVD-E con aguja No. 4 y a 12 RPM. El esmalte se aplicó en cinco superficies diferentes de madera: marfil, cedro, flor morado, roble y pino. Para cada tipo de madera se midieron dos tiempos de secado: tiempo libre de secado y secado duro [25].

Tabla 8. Tiempos de secado del barniz

TIPO DE MADERA	TIEMPO LIBRE DE IMPRESIÓN (horas)	TIEMPO DE SECADO DURO (horas)
Marfil	2.50	15.43
Cedro	1.83	16.63
Flor Morado	0.72	8.23
Roble	10.33	51.18
Pino	2.33	31.13

Fuente: los autores

Las superficies de madera no presentaron brillo alguno; por el contrario, se tornaron color mate, a las superficies se realizó la prueba de dureza al lápiz [18], como resultado la dureza fue el rango de lápices F -H, correspondiente a una dureza de 5.

El esmalte alquídico preparado con la resina obtenida en el reactor no secó sobre una superficie de vidrio; esto obedece a que la conversión de la resina en el reactor no alcanzó un valor cercano al punto de gelificación, puesto que el valor de la funcionalidad está por debajo de 2 y el punto de gelificación por encima de 1. En la fabricación de resinas es importante alcanzar conversiones cercanas al punto de gelificación para que el esmalte seque.

Los tiempos de secado de libre de impresión y secado duro obtenidos en la aplicación del esmalte sobre las superficies de madera, corresponden a la absorción del mismo a través de los poros de madera, mas no a la oxidación del proceso de secado normal.

El esmalte preparado con la resina alquídica obtenida no cumple con los parámetros de elasticidad de los esmaltes comerciales, puesto que resultó no elástico. Se recomienda evaluar si la falta de elasticidad corresponde a las propiedades de la resina empleada o a la formulación del esmalte.

3. CONCLUSIONES

Las características requeridas para la obtención de la resina alquídica a partir de aceite de palma crudo estuvieron en función del tipo de resina y de la formulación de las materias primas.

Los parámetros de evaluación para definir la formulación de la resina que se va a obtener en el reactor son el tiempo de reacción de la alcoholisis y la esterificación, conversión de la reacción de alcoholisis medida con una prueba de solubilidad en alcohol, avance de la reacción de esterificación mediante el cálculo del valor ácido y la viscosidad final medida en forma cualitativa, de acuerdo con la valoración de estos parámetros la resina 55 se obtuvo en el reactor.

El efecto en la variación de las condiciones de operación del reactor es la obtención de los monoglicéridos a menor temperatura al aumentar la agitación del sistema durante la reacción de alcoholisis y alcanzar mayores conversiones en menor tiempo durante la reacción de esterificación al implementar el sistema de extracción de agua con xilol.

El esmalte preparado con la resina alquídica no secó sino que se absorbió a través de los poros de las maderas en las que fue aplicado, y no presentó característica de elasticidad, el cual es un criterio importante en los esmaltes comerciales.

La resina alquídica obtenida en el reactor no puede ser utilizada en la preparación de esmaltes debido a que su formulación tiene un valor de punto de gelificación superior a 1 y un valor de funcionalidad inferior a 2, y esto afecta al secado del esmalte, se recomienda evaluar la formulación de las resinas y del esmalte para obtener mejores resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aigbodion, A.I. (2001). *An investigation of the utilisation of African locustbean seed oil in the preparation of alkyd resins*. Rubber Research Institute of Nigeria: Elsevier.
- [2] Aigbodion, A.I and F.E. (1995). Okieimen, Kinetics of the preparation or rubber seed oil alkyds. Department of Chemistry: University of Benin, Nigeria.
- [3] Aydin, Sedar. (2004). *The effects of anhydride type and amount on viscosity and film properties of alkyd resin*, Istanbul Technical University: Elsevier.
- [4] Bravo, Rey A. (1995). *Tecnología de las resinas alquídicas*. Editorial Reverté.
- [5] Cendales, J. (2004). Mercado de los productos oleoquímicos en Colombia, PALMAS (Fedepalma). I, 25, 323-331.
- [6] CENIPALMA, Centro de Investigación en aceite de palma, www.cenipalma.com.co
- [7] Darnoko & Naibaho. (1997). *Alkyd Resin Preparation from Palm Oil and Palm Kernel Oil*.
- [8] Delgado, W. (2004). *Caracterización fisicoquímica del aceite de palma crudo proveniente de diferentes materiales genéticos y de dos zonas geográficas de Colombia*. PALMAS (Fedepalma). II, 25, 79.
- [9] Fisher, L.A. (1998). *The Basic of Resin Technology*. Oil & Colour Chemists' Association.
- [10] Flory, P.J. *Fundamental principles of condensation polymerization*. Chem. Rev. 39, 156-157.
- [11] Goldsmith, Henry A. (1948). *Alpha- and Beta- Hydroxyl of Glycerol in Preparation of Alkyds Resins*. Ind. Eng. Chem. 40, 1205-1210.
- [12] Holmberg, K. *Alkyd Resins*, Stenungund, Sweden.
- [13] Jaimes, D. I. (2004). *Principales tecnologías para la elaboración de oleoquímicos a partir de los aceites de palma y palmiste*. PALMAS (Fedepalma) 25, 1,47-66.
- [14] Murillo, J. E. (2004). *Producción de biodiesel a partir de aceite de palma*. PALMAS (Fedepalma). 25, 4, 31-42.
- [15] NICKS, Peter F. (1990). Utilización de aceites vegetales en la fabricación de pinturas. PALMAS (Fedepalma) v.11, n.3.
- [16] Odian, G. *Principles of polymerization*, 4 edición.
- [17] Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Bogotá. (2004). El mercado de químicos industriales en Colombia. ICEX (instituto Español de Comercio Exterior).
- [18] Oil and Colour Chemists' Association, *Surface Coatings*. (1983). New York: Chapman and Hall, 1983, pp. 53-77
- [19] Lambourne, R. (1987). *Paint and surface coatings: theory and practice*. Ellis Horwood, New York: Halsted Press, pp. 52-61.

- [20] Reusch, B. (2004). *Oleoquímicos en el ámbito mundial y en Latinoamérica*, PALMAS (Fedepalma). I, 25,332-339.
- [21] Sánchez García, P. & Serrano Chávez, A. (2007). *Desarrollo de un sistema para reacciones químicas en la Universidad de América a escala laboratorio*. Tesis. Ingeniero Químico. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química.
- [22] Schäfer, A. Fettkennzahlen. Ein seminar von.
- [23] Schweigger, E. (2005). *Manual de pinturas y recubrimientos plásticos*. Madrid: Díaz de Santos.
- [24] Stanislaw, G. (1999). *Alkaline-earth metal compounds as alcoholysis catalysts for ester oil sintesis*. Institute of Chemistry and Technology of Petroleum and Coal. Gdanska, Poland: ELSEVIER.
- [25] UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. *Polímeros Sintéticos: Guía de trabajos prácticos*. Departamento de Química Orgánica: Facultad de Ciencias Exactas y naturales.
- [26] Urresta, A, J. (2004). *Alcoholisis del aceite de palma para la obtención de esteres*. PALMAS (Fedepalma), I, 25.

ANEXO

Tabla 10. Hoja de especificación del sistema de reacción.

REACTOR QUÍMICO	
FUNCIÓN: Varias	
OPERACIÓN: Lotes	
TIPO: CSTR	
DATOS DE DISEÑO.	
Presión de operación: 100 Psi (690 kPa)	
Temperatura de operación: 150 0C	
Volumen mínimo: 3.2 L	
Volumen máximo: 3.6 L	
Material de construcción: Acero inoxidable 304	
Sistemas auxiliares.	
Agitador: turbina de seis palas con ángulo de inclinación de 45 0	
Motor del agitador:	Resistencia eléctrica
Tipo: eléctrico c.c.	Potencia: 350 W
Potencia: 0.5 hp (373 W)	Voltaje: 110 V
Velocidad: 14000 rpm	Corriente: 3.2 A
Voltaje: 110 V	
Corriente: # A	
Regulación: 0-14000 rpm	
Controlador de temperatura:	
Tipo: on-off	Voltaje: 110 V
Rango: 0-399 0C	Corriente: 3 A
Termocupla: Tipo J	

Fuente: Desarrollo de un sistema para reacciones químicas en la Universidad de América a escala laboratorio [21].

