

Obtención Fenalcamina a partir de CNSL y su uso como catalizador de resinas epóxicas

Resumen—

El presente artículo detalla el método de síntesis de la resina fenalcamina partiendo del cardanol que es uno de los compuestos del líquido de la cáscara de la semilla de marañón (CNSL, por su nombre en inglés), que hasta la fecha no posee valor comercial en El Salvador. Además, se presenta métodos de caracterización e identificación para cardanol y fenalcamina obtenidos en laboratorio. Una de las principales aplicaciones industriales de la fenalcamina es su utilización como agente de curado para resinas epóxicas, por ello, este estudio determina la posibilidad de utilizar una fenalcamina sintetizada en laboratorio a partir de CNSL de marañón salvadoreño, como agente curante de una resina epóxica comercial de marca Sherwin Williams de Centroamérica con características de pintura anticorrosiva. Este estudio abarca una primera formulación para obtener la pintura anticorrosiva y estudio de sus características bajo condiciones de intemperismo acelerado, evaluando sus propiedades según las Normas ASTM D para pinturas. Con esta investigación se da como comprobado que se puede obtener fenalcamina en El Salvador a partir del CNSL y esta puede ser utilizada en el área de pinturas anticorrosivas para el recubrimiento de estructuras metálicas, dándoles protección contra la corrosión.

Araujo, K., Ayala, K., Meléndez, A.; Osegueda, O.

Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador
osegueda@uca.edu.sv

Índice de términos— Cardanol, CNSL, Descarboxilación, Fenalcamina, Recubrimiento.

I. INTRODUCCIÓN

El aceite de la cáscara de semilla de marañón o CNSL es una sustancia oleaginosa, fenólica, cáustica y de color oscuro. El CNSL posee una composición química en la cual existen diferentes compuestos fenólicos de largas cadenas insaturadas como los ácidos anacárdicos, cardanoles, cardoles y sus isómeros, ver Fig. 1.

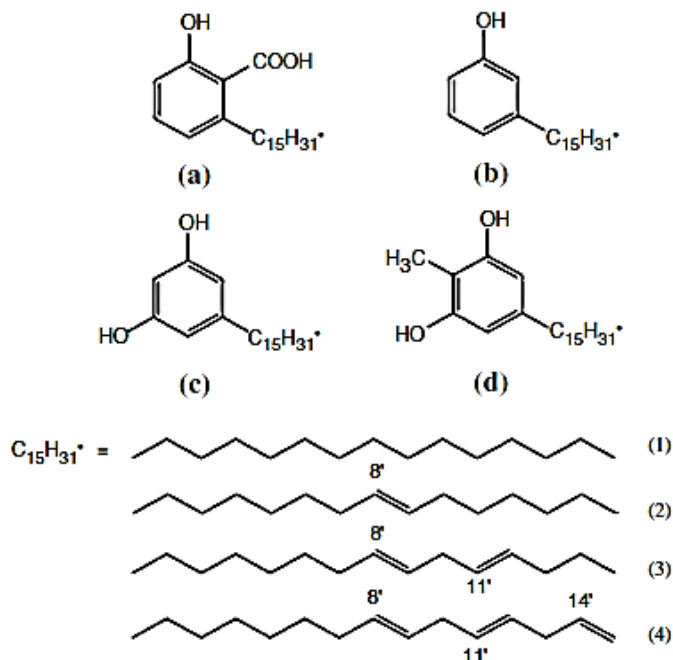


Fig. 1 Composición química del CNSL: (a) ácido anacárdico, (b) cardanol, (c) cardol, (d) 2-metilcardol. Fuente: [1]

La variación en la composición del producto depende del método de extracción utilizado. Las composiciones del CNSL reportadas por diferentes autores se detallan en la TABLA I con los porcentajes de cardanol, cardol y ácido anacárdico contenidos en el aceite de la cáscara de la semilla de marañón.

TABLA I. PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN DEL CNSL

Fuente o autor	Cardanol (%)	Ácido anacárdico (%)	Cardol (%)	Otros (%)
[S.A, 2013].	5	70	18	7
[Cardolite Corporation, 2005]	5	70%	18	7
[Paramashivappa, Kumar, Vithayathil, & Rao, 2001]	10	60-65%	15-20	5-15
[Selma & Diego, 2009]	1.6 - 9.20	71.70 - 82	13.80 - 20.10	1 - 14

Fuente: [Elaboración propia, 2015]

A. Descarboxilación del CNSL

El proceso de tratamiento térmico del CNSL promueve la reacción de descarboxilación del ácido anacárdico y por tanto su transformación en cardanol, por lo que el aceite obtenido del tratamiento se le conoce como CNSL técnico y con un mayor contenido de cardanol. El ácido anacárdico tratado térmicamente a altas temperaturas (180-200°C) pierde el grupo

carboxilo y es eliminado en forma de CO₂ tal como se observa en la Fig. 2, resultando en una estructura de cardanol.

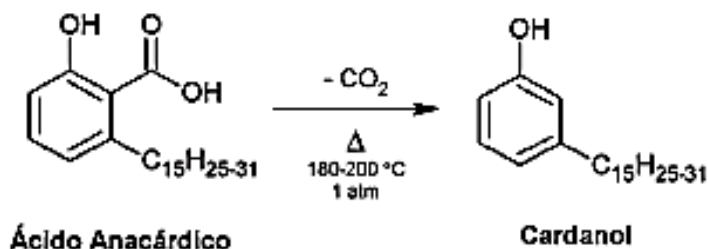


Fig. 2. Proceso de descarboxilación del ácido anacárdico.

Fuente: [2]

Dependiendo de las condiciones del proceso, tales como la temperatura y la materia prima utilizada, las composiciones del CNSL técnico pueden cambiar, aumentando la cantidad de cardanol, ver [3]. La composición del CNSL técnico reportado por diversos autores se presenta en la TABLA I.

TABLA I. PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN DEL CNSL TÉCNICO

Fuente o autor	Cardanol (%)	Ácido anacárdico (%)	Cardol	Otros (%)
[S.A, 2013]. CNSL técnico sin destilar	52	---	10	38
[S.A, 2013]. CNSL técnico destilado	78	---	8	14
[Paramashivappa, Kumar, Vithayathil, &	60 - 65	---	15 - 20	5 - 25

Fuente o autor	Cardanol (%)	Ácido anacárdico (%)	Cardol	Otros (%)
Rao, 2001]				
[R & H, 2002]	83 - 84	---	8 - 11	5 - 12
[Selma & Diego, 2009]	67.8 - 94.6	1.09 - 1.75	3.8 - 18.8	---

Fuente: [Elaboración propia, 2015]

B. Reacción de separación de ácido anacárdico por formación de anacardato de calcio.

Como se muestra en la Fig. 3, se puede realizar una separación del ácido anacárdico mediante la formación de anacardato de calcio en la cual se utiliza hidróxido de calcio en exceso para favorecer la precipitación de la sal de calcio. La reacción se basa en la desprotonación del ácido anacárdico para formar anacardato de calcio, sal del ácido anacárdico. De esta forma, por cada dos moles de ácido anacárdico y un mol de hidróxido de calcio se forma un mol de anacardato de calcio y dos moles de agua.

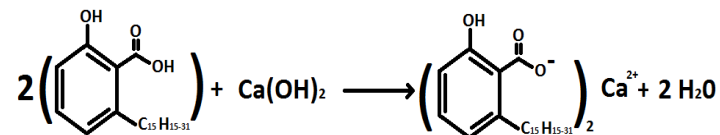


Fig. 3 Reacción del ácido anacárdico con el hidróxido de calcio.

Fuente: [Elaboración propia]

Una vez separado el ácido anacárdico del CNSL, se procede con una extracción líquido-líquido para la subsecuente obtención de cardanol.

C. Fenalcamina y sus propiedades

La Fenalcamina es un agente endurecedor de compuestos epóxicos, que se obtiene mediante la reacción de cardanol, formaldehído y un compuesto diamina, ver Fig. 4.

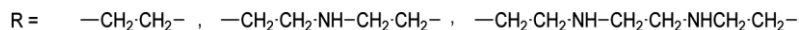
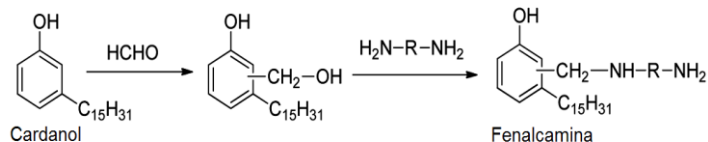


Fig. 4 Reacción de formación de fenalcamina

Fuente: [4]

Su estructura única, explica una inusual combinación de propiedades, que posibilitan el curado de resinas utilizadas en la industria de formulación de pinturas. La columna vertebral aromática es responsable de la alta resistencia química que posee este tipo de compuestos: la cadena lateral es muy hidrofóbica; los grupos OH fenólicos permiten que la fenalcamina sea muy activa a bajas temperaturas. El grupo amino es responsable de la alta densidad de reticulación, ver [5].

D. Fenalcamina como agente curante para resina epóxica

Dentro de los recubrimientos orgánicos más importantes utilizados para mejorar la resistencia a la corrosión de los aceros se encuentran las pinturas epóxicas. Las pinturas epóxicas consisten en dos componentes que reaccionan entre ellos para formar un recubrimiento duro e inerte.

Estas dos partes, llamadas parte A (resina epóxica) y parte B (agente curante), conforman una resina epóxica con pigmentos, extendedores y un agente curante, llamado endurecedor. Estas pinturas son muy utilizadas como recubrimientos primarios en tuberías, barcos y cualquier estructura que se encuentre inmersa en agua de mar, ver [6], debido principalmente a la alta resistencia química y bajo nivel de desgaste, excelente adhesión, buena impermeabilidad y resistencia a los álcalis.

E. Formulación de sistema epoxi-fenalcamina

Para calcular la correcta relación de uso de un agente de curado y una resina epoxi, debe disponerse de la siguiente información, ver [7]:

- Equivalente Hidrógeno Activo del endurecedor o de la mezcla de endurecedor a usar (EHA).
- Equivalente Epoxi de la resina ó mezcla de resinas a usar (E.Epx).

La ecuación donde se determina la cantidad de agente de curado que se necesita para 100g de resina epóxica se presenta en la Ec.1

$$\text{Agente de curado (phr)} = \frac{EHA}{E.Epx} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

EHA: Equivalente Hidrógeno Activo

E.Epx: Equivalente Epóxico.

Phr: Partes por cien partes de resina

En el caso de las resinas epoxi o endurecedores en solventes, es usual referirse al Peso Equivalente Epoxi y al Hidrógeno Equivalente activo del material sólido junto con la referencia al porcentaje de no volátiles del material, lo cual se indica en la Ec.2 y Ec.3, ver [7].

$$E.Epx \text{ de la solución} = \frac{E.Epx}{\%NVM} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

E.Epx: Equivalente Epóxico.

%NVM: Porcentaje de sólidos no volátiles.

$$EHA \text{ de la solución} = \frac{EHA}{\%NVM} \times 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

EHA: Equivalente Hidrógeno Activo

%NVM: Porcentaje de sólidos no volátiles

Es por ello que esta investigación estudia la posibilidad de sintetizar fenalcamina a partir de CNSL proveniente de la semilla de marañón salvadoreño, para luego ser utilizada en la formulación de una resina epóxica con propiedades anticorrosivas utilizando como base la resina comercial de la empresa Sherwin Williams de El Salvador, así mismo se comprobará las características obtenidas de la formulación propuesta y su comportamiento ante condiciones de intemperismo acelerado.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Separación de ácido anacárdico por formación de anacardato de calcio y posterior extracción líquido-líquido de cardanol.

Materiales y reactivos

Para la separación del ácido anacárdico y cardanol se utilizó CNSL natural proporcionado por la Asociación de Productores Agroindustriales Orgánicos de El Salvador (APRAINORES) de la región del Bajo Lempa. Así mismo, se utilizó metanol, acetato de etilo, hidróxido de calcio, ácido clorhídrico, sulfato de sodio anhidro, tolueno, alcohol isopropílico, nitrito de sodio, hexano, etilendiamina, nitrógeno, formaldehído, hexametildiamina, ácido clorhídrico, bromofenol, hidróxido de sodio e hidróxido de amonio todos grado reactivo. Además se utilizó materiales proporcionados por Sherwin Williams de Centroamérica como Pintura epóxica (Parte A y Parte B), Esmalte económico SW.

Métodos

1. Aislamiento del ácido anacárdico del CNSL.

0.1563 mol de CNSL natural se disuelve en 300 mL de solución de metanol al 95%. Posteriormente y bajo agitación, se adicionó 0.3374 mol de hidróxido de calcio, la temperatura de la mezcla fue incrementada hasta 50 °C manteniendo agitación, esto tardó aproximadamente 20 minutos. Estas condiciones se mantienen durante 3 horas, después de las cuales, la solución se filtra al vacío. El residuo sólido de la filtración se lava con 100 mL de metanol. La solución acuosa metanólica se reserva para la posterior separación del cardanol.

Para la recuperación de ácido anacárdico, el residuo sólido de la filtración se suspende en 460 mL de solución de agua destilada y ácido clorhídrico concentrado (relación volumétrica 20:3 respectivamente). Dicha suspensión se mantiene en agitación durante 1 hora. Transcurrido el tiempo, la solución resultante es lavada tres veces con acetato de etilo (150 mL), dejándose reposar durante 5 horas. Posteriormente, la capa orgánica se lava dos veces con agua destilada (100 mL cada vez). Una vez lavada, se adiciona sulfato de sodio anhidro para la eliminación de cualquier residuo de humedad. Finalmente, se realiza una separación por decantación, de la cual la capa orgánica se concentra al vacío para la eliminación del acetato de etilo y la consecuente recuperación del ácido anacárdico.

2. Separación del cardanol y cardol.

Del procedimiento anterior, la solución metanólica reservada del procedimiento del aislamiento del ácido anacárdico, se mezcló con 100 mL de solución de hidróxido de amonio al 25% bajo agitación durante 15 minutos. A continuación, la mezcla fue lavada 5 veces con 100 mL de solución hexano y acetato de

etilo (relación volumétrica 98:2). La muestra lavada reposó durante 15 horas para lograr una mejor separación de las fases. La capa orgánica resultante fue lavada con solución de hidróxido de sodio 2.5%, luego con 100 mL de solución de ácido clorhídrico al 5% y finalmente con 100 mL de agua destilada. Posteriormente, se agregó sulfato de sodio anhidro a la fase orgánica para la eliminación de trazas de agua remanente del procedimiento anterior. Una vez seca, la fase orgánica fue concentrada al vacío para la recuperación del cardanol.

B. Recuperación de cardanol por proceso de descarboxilación de CNSL.

Método

0.3125 mol de CNSL natural y 20 mL de tolueno se colocaron dentro de un balón de 500 mL bajo agitación magnética. La temperatura de la mezcla fue incrementada a valores de 160°C hasta 190°C en un tiempo de cinco horas. El resultado de esta reacción es una mezcla de mayor concentración de cardanol y en menor presencia cardol y trazas de ácido anacárdico, ver [10]

C. Prueba cualitativa para la determinación de ácido anacárdico, cardanol y cardol.

Método

Se colocaron 1.5 mL de SAA (Sulfanidamida) en un vial, luego se adicionaron 0.5 mL de nitrito de sodio 2.176×10^{-2} M, seguido de aproximadamente 0.025 g de muestra de CNSL descarboxilado disueltos en 10 mL de alcohol isopropílico. Finalmente, se agrega 1 mL de NaOH 1 M. El tiempo de espera

de este procedimiento colorimétrico es de 10 minutos para la identificación de color del cardanol y ácido anacárdico, y 15 minutos para cardol. El color anaranjado corresponde al cardanol, el anaranjado rojizo al ácido anacárdico y el amarillo al cardol. Las coloraciones obtenidas son estables durante 3 horas, ver [8]

D. Formación de fenalcamina a partir de CNSL descarboxilado

Método

En un balón de fondo plano de 500 mL se coloca 0.3125 moles de CNSL descarboxilado, a los que se le agregó 0.0553 mol de etilendiamina, esta mezcla se agitó hasta alcanzar los 45 °C bajo flujo de nitrógeno. Transcurrida 1 hora se agregó 0.7517 mol de formaldehído, aumentando la temperatura hasta 70 °C, manteniéndose 90 minutos.

E. Pruebas de identificación de la fenalcamina: Valor de amina

Método

0.0007 y 0.0014 mol de fenalcamina, CNSL, cardanol y etilendiamina, cada uno de estos compuestos por separado, se mezclaron con 110 mL de una solución de alcohol isopropílico y agua desionizada (80:20) a lo que se le adicionaron 4 - 6 gotas de Bromofenol. Posteriormente se procedió a realizar una titulación con una solución 1.34 N de HCl (1.34N).

F. Catalización de una resina epóxica con fenalcamina y evaluación de sus propiedades de desempeño.

Métodos

1. Catalización de una resina epóxica con fenalcamina.

Para encontrar la mejor relación de catalización de la resina epóxica con la fenalcamina se utilizó la Ec. 1, en la cual se relaciona el Equivalente Hidrógeno Activo (EHA) de la resina Amida-Amina de la fenalcamina, el Equivalente Epóxico (E.Epx) de la resina Epóxica, los sólidos no volátiles y la cantidad de gramos ocupados en la formulación de la pintura epóxica, valores que se muestran en la TABLA II.

TABLA II. VALORES DE EHA Y E.EPX

Sustancia	EHA	E.Epx	%NVM	Gramos utilizados
Resina Epóxica	460	---	75%	400g
Fenalcamina	---	81	63%	A determinar

Fuente: [Elaboración propia, 2015]

Con el valor de razón de catalización (resina epóxica/fenalcamina) se realizaron en beakers plásticos pruebas cercanas al valor de mezcla que se obtuvo por medio de la Ec. 1.

Se utilizaron 4, 2 y 1 parte de Parte A- pintura SW con 2, 1, 0.5 partes de fenalcamina, las partes son unidades volumétricas, dando 1 hora de inducción (tiempo de reposo de la mezcla para lograr su reacción) y en otras pruebas 30 minutos de inducción, luego se aplicaron sobre placas de acero con espesores entre 2.7 a 3.5 mils (milésima parte de una pulgada) con una pistola de aplicación con boquilla 1.9. Para determinar si la razón de

mezcla es la idónea, se procedió a realizar pruebas de dureza y adhesión, según la Norma ASTM D 3363 y ASTM D 3359 respectivamente a los 4 y 7 días de secado.

2. Evaluación de las propiedades de desempeño

Para evaluar el desempeño de la pintura Prueba (Parte A-pintura SW + fenalcamina) se aplicó esta pintura, con una pistola de boquilla estándar de aplicación con abertura 1.9 sobre 10 láminas de acero, la cobertura de la pintura corresponde a un espesor 3.5 – 4.0 mils. De acuerdo al procedimiento realizado, 9 de las placas serán sometidas a ciclos de intemperismo acelerado y 1 corresponde a muestra estándar.

A los 7 días de secado se forran las orillas con cinta adhesivas, para protegerlas de la corrosión, luego se les realizó un corte en "X" con una navaja, haciendo llegar el corte hasta la superficie metálica.

Se repitió este procedimiento con las muestras de:

- pintura SW
- Parte A-pintura SW
- Parte B-pintura SW
- fenalcamina
- Esmalte económico SW

Se introdujeron estas placas a la cámara de intemperismo acelerado, llamado QFOG, bajo la Norma ASTM D 2248, rociando constantemente agua a 38°C, en un ciclo de 500 horas de exposición, ver Fig. 5. A cada placa se le realizaron pruebas de dureza, adhesión, resistencia a la corrosión, Ampollamiento

y grado de oxidación, siguiendo el procedimiento de las ASTM D correspondientes, a 100, 300 y 500h de exposición. Se realizaron pruebas en triplicado para reducir errores.



Fig. 5 Ciclo de 500h dentro de la Cámara de Intemperismo Acelerado (QFOG).

[Fuente: Elaboración Propia]

3. Análisis de Evaluación de Calidad (QVA) del esmalte anticorrosivo

Para realizar el Análisis de Evaluación de Calidad, se procedió a hacer ciertas pruebas que se le realizan a pinturas y esmaltes anticorrosivos para determinar su calidad, según las Normas ASTM D y las MIP (Métodos Institucionales de Pruebas de SW), comparando la pintura Prueba (Parte A-pintura SW con fenalcamina) y la pintura de SW.

En un Análisis QV, se clasifican las pruebas en:

- Propiedades de envase: Apariencia líquida, sedimentación y formación de piel.
- Propiedades de aplicación, Cubrimiento de las muestra en película húmeda y completamente seca, escurrimiento, nivelación, pruebas de tiempo de secado, blancura y amarillamiento.

- Propiedades de desempeño, Dureza, adhesión y resistencia a la corrosión
- Cuantificación física, peso por galón, sólidos no volátiles, brillo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Comparación de los métodos de separación de ácido anacárdico: formación de anacardato de calcio y cardanol por extracción líquido – líquido y proceso de descarboxilación de CNSL y formación de cardanol.

Como resultado del procedimiento de recuperación de ácido anacárdico y cardanol por formación de anacardato de calcio se obtuvieron los valores presentes en la TABLA III.

TABLA III. RECUPERACIÓN DE ÁCIDO ANACÁRDICO Y CARDANOL

Sustancia química	Masa (g)	Volumen (mL)
Ácido anacárdico	8.5	8.7
Cardanol	2.1	3

Fuente: [Elaboración propia, 2015]

Como se muestra en la TABLA IV el rendimiento de separación de cardanol fue del 75.43 % y el rendimiento de la separación del ácido anacárdico fue del 26.17%.

TABLA IV PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE SEPARACIÓN DEL ÁCIDO ANACÁRDICO Y CARDANOL DEL CNSL

Sustancia química	Rendimiento de recuperación (%)
Ácido anacárdico	26.17
Cardanol	75.43

Fuente: [Elaboración propia, 2015]

El rendimiento del procedimiento de recuperación de ácido anacárdico por formación de anacardato de calcio es bajo, ya que solamente el 26.17% de la masa teórica de ácido anacárdico se logró recuperar. La composición del ácido anacárdico en el CNSL natural es alto, aproximadamente 70%, es decir, en el CNSL natural predomina la masa de este ácido del cual solamente se obtuvieron 8.5g por lo se dice que el procedimiento de recuperación de ácido anacárdico por formación de anacardato de calcio no resulta accesible debido a su bajo rendimiento.

Como se aprecia en la TABLA IV el rendimiento del método de recuperación para el cardanol es alto, 75.43% de la masa teórica de cardanol presente en el CNSL natural se recuperó. A pesar de presentar un alto rendimiento en la recuperación del cardanol, el porcentaje de este compuesto en el CNSL natural es bajo, por lo que no resulta atractivo como método industrial para su obtención debido a su complejo proceso y baja productividad.

Con respecto al método de descarboxilación de CNSL, a lo largo de los ensayos se obtuvieron resultados similares, con valores que oscilan entre 87 g y 90 g. Los resultados de la conversión en el proceso de descarboxilación se muestran en la tabla V.

TABLA V CONVERSIÓN DEL CNSL SOBRE ENSAYOS DE DESCARBOXILACIÓN Y FORMACIÓN DE CARDANOL

Ensayo	CNSL natural (g)	CNSL técnico concentrado (g)	% Conversión
1	100	88.4	53.59
2	100	87.7	62.17
3	100	90.7	25.6
4	100	87.2	68.26
5	100	87.8	60.95
6	100	89.1	45.1

Fuente: [Elaboración propia, 2015]

Al comparar ambos métodos se tiene que en el caso de la descarboxilación se obtiene una cantidad de producto que oscila entre 87 y 90 g partir de 100 g de CNSL natural. En cambio, en la separación del ácido anacárdico por formación del anacardato de calcio, solo se obtuvo 2.1 g de cardanol a partir de 50 g de CNSL natural. Como puede observarse, la

cantidad obtenida en el segundo proceso es menor y tendría que repetirse muchas más veces para obtener la misma cantidad de cardanol obtenida a través del proceso de descarboxilación.

Al comparar en base el tiempo de duración de cada proceso y la sencillez de su procedimiento, el proceso de descarboxilación se llevó a cabo en 5 horas y solo requirió de calor y agitación constante, en cambio en el caso de la separación del ácido anacárdico por formación del anacardato de calcio todo el procedimiento tuvo una duración de aproximadamente 2 días, requiriendo de múltiples pasos para su elaboración tales como filtrados, lavados, entre otros.

Otro factor de comparación es la cantidad de reactivos utilizados durante cada procedimiento, en los cuales se observa una notable diferencia. En el caso de la descarboxilación solo es necesario el uso de 20 mL de tolueno por cada 100 g de CNSL natural, considerándose una cantidad moderada de reactivo. En cambio en el caso de la separación del ácido anacárdico por formación del anacardato de calcio se utilizan ocho reactivos en cantidades considerables, eso sin tomar en cuenta que mucho de ellos son tóxicos y altamente peligrosos como es el caso del metanol y el ácido clorhídrico.

B. Formación de fenalcamina a partir de CNSL descarboxilado y prueba de amina.

Como se aprecia en la

TABLA VI a partir de 100g de CNSL descarboxilado se obtuvo fenalcamina en un rango de 139.8g a 148.3g, en total se obtuvieron 723.3g de fenalcamina.

TABLA VI. MASA DE FENALCAMINA OBTENIDA A PARTIR DE CNSL DESCARBOXILADO

Ensayo	CNSL descarboxilado (g)	Fenalcamina (g)
1	100	141.7
2	100	148.3
3	100	145.9
4	100	139.8
5	100	147.6

Fuente: [Elaboración propia, 2015]

El valor de amina obtenido, está dentro del rango establecido en la literatura. En la

TABLA VII se muestran los valores de amina obtenidos del CNSL, fenalcamina y etilendiamina.

TABLA VII. VALORES DE AMINA

Muestra	Valor de Amina (mg KOH/g)
CNSL	15.9911
	27.8319
Fenalcamina	449.6053

Muestra	Valor de Amina (mg KOH/g)
	483.8786
Etilendiamina	1505.1840
	1490.2966

Fuente: [Elaboración propia, 2015]

C. Catalización de una resina epóxica con fenalcamina y evaluación de sus propiedades de desempeño.

Los resultados de adhesión y dureza, realizados a las placas aplicadas con las diferentes razones de mezcla dan el siguiente resultado como la mejor relación de catalización:

La relación 4:0.5 de parte A-pintura SW y fenalcamina, respectivamente, con 30 minutos de inducción da como resultado una pintura con buena apariencia física, ver Fig. 6, que forma film, seca en menos de 4 horas y tiene una dureza de 2B, el cual es un valor medio de dureza.



Fig. 6 Pintura Prueba aplicada en placa de acero.
[Fuente: Elaboración Propia]

La Fig. 7 muestra la apariencia de las placas de acero recubiertas con las muestras analizadas a las 100, 300 y 500 horas de inmersión en la cámara de intemperismo acelerado

(QFOG). Se puede observar como la corrosión fue afectando la incisión en "X" y expandiéndose en toda la superficie, tal como corrió en la parte A- pintura SW y Esmalte económico SW.

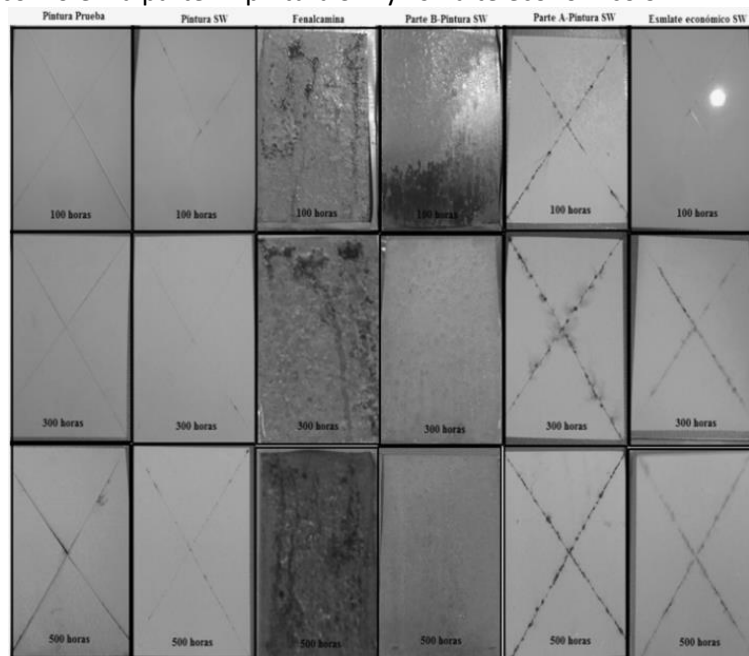


Fig. 7. Apariencia de las placas recubiertas con las muestras durante el ciclo de 500 horas dentro del QFOG.

[Fuente: Elaboración Propia]

Para la evaluación de las placas mostradas en las Fig. 7 se siguieron los métodos de las Normas ASTM D, correspondientes a cada una de las pruebas.

Según lo observado en la Fig. 7 y en las pruebas de adhesión, dureza y resistencia a la corrosión realizadas, la pintura prueba tiene muy buena apariencia física durante las 500 horas de inmersión en la cámara de intemperismo acelerado (QFOG), una vez seca la película comenzó a desprenderse de la superficie, lo que indica que se adhiere a la superficie bajo inmersión solamente. En las primeras 100 horas no hubo presencia de óxido en la película, solamente en la incisión en "X" pero a las 300 y 500 horas tuvo un promedio de 9.5 mm corroídos, sobre todo en las partes que estaban desprendidas del sustrato. La adhesión no mejoró su valor inicial de 8B, siendo la menor calificación. Sin embargo la dureza al estar más tiempo en inmersión fue mejorando de 2B, resultado obtenido a los 7 días de secado a un valor de 3H, a las 500 horas de inmersión, lo cual indica que mejora sus propiedades bajo inmersión.

Comparando la pintura prueba con la pintura SW y el esmalte económico SW se puede determinar que la pintura SW tiene mejores propiedades de resistencia a la corrosión, grado de oxidación, ampollamiento y adhesión, pero la pintura prueba es la que tiene mejores propiedades de dureza que todas. A pesar que la pintura SW y Esmalte económico SW tienen mejores propiedades de desempeño, la pintura prueba tiene muy buena apariencia física y a las 100 horas de exposición si evita la corrosión de la superficie.

La parte A-pintura SW no secó a los 7 días de aplicada, sin embargo, al someterse a intemperismo secó completamente con la presencia del agua. Se adhirió al sustrato, sin embargo, al hacer la prueba de adhesión resulto tener poca adhesión, no

presentó a lo largo del ciclo ampollamiento ni corrosión en la superficie, pero si tenía una mala apariencia física por presentar grado de oxidación.

Al comparar los resultados de las pruebas de desempeño de la fenalcamina con la parte B- SW se comprobó que la fenalcamina por sí sola puede evitar la corrosión, por el hecho de ser un recubrimiento sobre la placa de acero, ya que en las zonas donde se generaron las manchas color café intenso, filtró el agua al ser sometidas a intemperismo, estas zonas fueron las que no formaron una película correctamente sobre la placa, en las zonas donde sí se formó película, no hubo presencia de corrosión y la fenalcamina se adhirió al sustrato. La parte B- pintura SW al adherirse correctamente a la placa y formar una película perfecta sobre la placa de acero, no permitió el paso del agua y no se produjo oxidación.

1. Análisis de Evaluación de Calidad (QVA) del esmalte anticorrosivo.

Estos resultados se obtuvieron según los Diseños Experimentales de QVA de Sherwin Williams para los Análisis de Evaluación de Calidad (QVA) de pinturas y esmaltes anticorrosivos de la línea de mantenimiento.

La pintura prueba presenta mejores resultados de cubrimiento tanto en húmedo como en seco, es decir, que con una mano de pintura de 4 mils cubre de mejor forma la superficie. Además presenta una mejor resistencia al escurrimiento, lo cual evita que al ser aplicada esta no manche otras áreas. Además la pintura prueba presenta mejor dureza.

La pintura SW tiene mejores propiedades de blancura, ya que la pintura prueba no es color blanco por que la fenalcamina tiene un color Gardner mayor de 18. El nivelamiento es mejor, lo cual permite que al pintarse una superficie se traslapen las manos o pasadas tanto con pistola como con brocha o rodillo. La pintura SW tiene mejor resistencia a la corrosión, sin embargo no es tan grande en valores de QVA la diferencia con la pintura prueba. El brillo es la principal diferencia entre la pintura SW y la pintura prueba, ya que la fenalcamina, por ser un compuesto de aminas, no da propiedades de brillo, a diferencia de la Parte B- SW que le proporciona brillo a la pintura.

Del 100% del puntaje total (SCORE) que se podía obtener, la pintura prueba obtuvo un 67% y la pintura SW un 70%, es decir que solo hay de diferencia entre ellas 3%, lo cual indica que en general podría catalogarse a la pintura prueba como una pintura que cumple con las condiciones necesarias para ser un esmalte de uso comercial

2. Pruebas de desempeño a sistemas anticorrosivo.

La apariencia física de los sistemas formados se puede observar en la Fig. 8 durante todo el ciclo sometido en la cámara de intemperismo acelerado (QFOG).

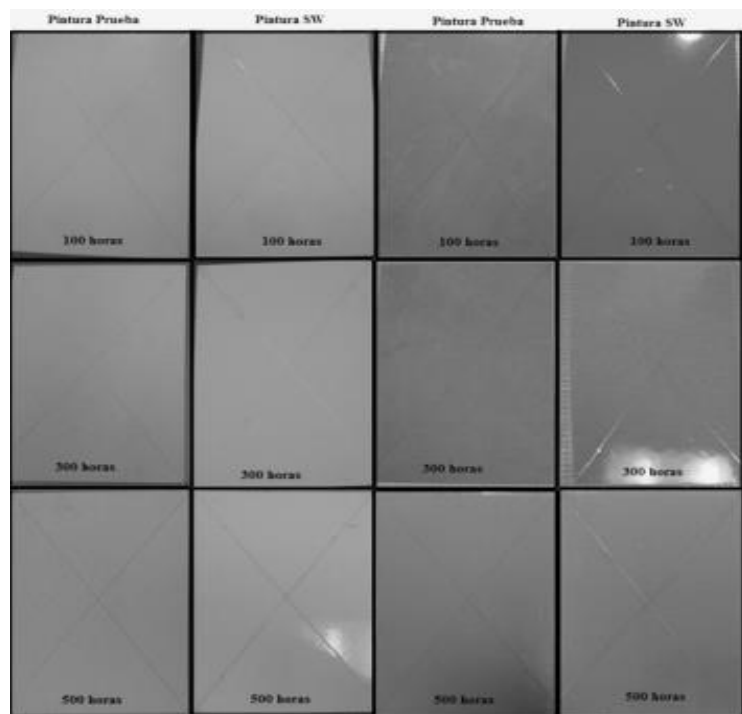


Fig. 8 Apariencia de los sistemas anticorrosivos durante el ciclo de intemperismo.

[Fuente: Elaboración Propia]

En la

TABLA VIII se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño de los sistemas anticorrosivos formados con el Primer Anticorrosivo y las pinturas muestras como acabados epóxicos.

TABLA VIII
RESULTADOS DE PRUEBAS DE DESEMPEÑO PARA SISTEMAS
ANTICORROSIVOS

Producto	CON PRIMER														
	Ampollamiento (ASTM D714)			Grado de Oxidación (ASTM D610)			Resistencia a la Corrosión (ASTM D1654)			Adhesión (ASTM D3359)			Dureza (ASTM D3363)		
	100h	300h	500h	100h	300h	500h	100h	300h	500h	100h	300h	500h	100h	300h	500h
Pintura Prueba	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5B	4B	4B	4H	2H	3H
Pintura SW	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5B	2B	2B	2B	HB	HB
Pintura Prueba	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5B	5B	5B	4H	4H	3H
Pintura SW (azul)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5B	5B	1B	2H	HB	HB

Fuente: [Elaboración propia, 2015]

La pintura prueba como acabado final en un sistema anticorrosivo tiene excelentes resultados, ya que se adhiere perfectamente al primer epóxico, dándole buena apariencia física y resistiendo las 500 horas en la cámara de intemperismo acelerado, donde se presentan los resultados de las pruebas de desempeño.

La pintura prueba no presenta en ningún momento durante las 500 horas presencia de grado de óxido ni ampollamiento, además, posee excelente resistencia a la oxidación. La adhesión es excelente, con los resultados más altos en la pintura prueba en color azul y la dureza igualmente mejoran las características de la resina epóxica SW.

IV. CONCLUSIONES

El proceso de descarboxilación es el más apropiado y eficiente para este diseño experimental en comparación a la extracción líquido – líquido. Bajo este procedimiento se alcanza una mayor relación de masa de cardanol extraído debido a la conversión térmica del ácido anacárdico en cardanol.

Un método eficaz para la obtención de fenalcamina a partir del cardanol es la reacción entre el formaldehído, el cardanol y la etilendiamina; ya que mediante la reacción de los anteriores se logró obtener una fenalcamina que formaba película, con buenas propiedades y que cumplía con valor de amina, viscosidad, densidad y color Gardner reportados en la literatura.

La relación volumétrica de catalización 4:0.5 de fenalcamina con una resina epóxica (Parte A-pintura SW), no es la mejor relación de catalización, ya que no cumple con las características de adhesión a la superficie, sin embargo se puede concluir que es un buen agente curante, debido a que cataliza la resina epóxica, formando una película de pintura que posee un tiempo de secado completo menor de 4 horas, con resistencia a la corrosión, buena apariencia física y buena dureza bajo inmersión. Además para catalizar la resina epóxica se necesita menor cantidad que lo necesario con la Parte B-pintura SW, lo cual indica que se puede utilizar en la industria como una alternativa económica.

Al realizar las pruebas de desempeño a las placas cubiertas con fenalcamina, durante el ciclo dentro del QFOG, se concluye que la fenalcamina por ser una resina en base de una sustancia

hidrofóbica, no permite el paso del agua, por lo que si se mejora su propiedades de formación de film, puede ocuparse como un recubrimiento sobre placas metálicas bajo inmersión constante, según lo observado en los resultados obtenidos.

Según los Análisis de Evaluación de Calidad (QVA) de la pintura Prueba y la pintura SW, la pintura Prueba obtuvo el 67% de la nota total, comparándola con la pintura SW que obtuvo 70% se puede concluir que la pintura Prueba puede ser una alternativa económica con similares resultados que la pintura SW, siempre y cuando se hagan más estudios sobre la mejor relación de catalización de la fenalcamina con la resina epóxica, para mejorar sus propiedades de desempeño como esmalte anticorrosivo.

Según los resultados obtenidos de la pintura Prueba sobre un Primer anticorrosivo de SW, se determina que la pintura Prueba puede ser utilizada como un esmalte de acabado final en sistemas anticorrosivos, ya que este presenta los mejores resultados con respecto a apariencia, resistencia a la corrosión, adhesión y dureza, en un ciclo de 500 horas en inmersión.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece de manera especial a APRAINORES por brindarnos el CNSL, a Sherwin Williams de Centroamérica, por abrirnos las puertas de la empresa y apoyarnos con los equipos y recursos de esta investigación. Finalmente se agradece a la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas por ser la impulsadora de este estudio.

VI. REFERENCIAS

- [1] Balgude, D. (2014). CNSL: an environment friendly alternative for the modern coating industry. 169-183.
- [2] Mazzetto, S., & Lomonaco, D. (2009). Oleo de castnha de caju. *Química Nova*, 732-741.
- [3] R, I., & H, T. (2002). *Polymer*.
- [4] Voirin, C., Caillol, S., Sadavarte, N., Tawade, B., Boutevin, B., & Wadgaonkar, P. (2014). Functionalization of cardanol: towards biobased polymers and additives. *Polymer Chemistry*.
- [5] Zhisheng, D., Anton, C., Adarsh, D., & Chris, F. (1994). PHENALKAMINE: Multipurpose Epoxy Resin Curing Agents. New Jersey: CARDOLITE CORPORATION.
- [6] Forsgren, A. (2006). Corrosion control through organic coatings. Boca Rton: Taylor and Francis Group
- [7] INDUR. (2005). Formulación de sistemas Epoxi. Argentina: Los Ceibos
- [8] Moghimi, M. (2011). Novel coupling reactions of phytochemicals with sulfadrgs and their applications in the determination of nitrite at trace level in environmental samples. *Arabian Journal of Chemistry*.
- [9] Mele, G., & Vasapollo, G. (2008). Fine Chemicals and New Hybrid Materials from Cardanol. *Mini. Rev. Chem. Org.*, 243-253.
- [10] Paramashivappa, R., Kumar, P., Vithayathil, P., & Rao, A. (2001). Novel Method for Isolation of Major Phenolic Constituents from Cashew (*Anacardium occidentale* L. Nut Shell Liquid. *J. Agric. Food Chem*, 2548-2551.
- [11] Cardolite Corporation, I. (2005). CARDOLITE. Recuperado el 20 de 07de 2015, de <http://www.cardolite.com/>
- [12] S.A. (2013). Que la duda no te corroa: Obtencion de Bio-Anticorrosivo a partir del CNSL. XXI concurso universitarui feria de las ciencias, la tecnologia y la innovacion.
- [13] Selma, M., & Diego, L. (2009). *Quim. Nova*. . Recuperado el 15 de 07 de 2015, de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010040422009000300017&script=sci_arttext
- [14] Setsuo, S. (2012). Phenalkamine and salted amine blends as curing agents for epoxy resins. Sao Paulo: European Patents Specification.
- [15] Sherwin Williams. (2011). sherwin MSDS. Recuperado el 03 de 05 de 2015, de http://www.sherwin.cl/industrial/images/stories/Productos/Protective_Coatings/Epoxicos/Duraplate-236-Multi-Purpose-Epoxy/MSDS_E10236N.pdf
- [16] Sherwin Williams, C. (2005). Sherwin Williams, Duraplate 236. Recuperado el 03 de 08 de 2015, de http://www.sherwin.cl/industrial/images/stories/Productos/Protective_Coatings/Epoxicos/Duraplate-236-Multi-Purpose-Epoxy/ft_e10236_duraplate236.pdf
- [17] Voirin, C., Caillol, S., Sadavarte, N., Tawade, B., Boutevin, B., & Wadgaonkar, P. (2014). Functionalization of cardanol: towards biobased polymers and additives. *Polymer Chemistry*.
- [18] Groote, M., & Pettingill, O. (s.f). Oxyalkylated Drastically-Oxidized
- [19] Cashew Nut Shell Liquid and Method of Making Same. US Patent 2,531,502,1950