



# Extracción del CNSL y su Aplicación en la Elaboración de Resinas Fenólicas.

J. L. Méndez, M. A. Ramírez, D. J. Robles y E. H. Ramos

*Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas*  
eramos@uca.edu.sv

**Abstract** - Las excelentes propiedades poliméricas que presentan los compuestos fenólicos del CNSL (Cashew Nut Shell Liquid), lo convierten en una materia prima con gran potencial para la elaboración de resinas denominadas fenólicas, ampliamente utilizadas en la industria. El presente trabajo se ha enfocado en la obtención de resinas fenólicas novolac, formuladas a diferentes condiciones y composiciones químicas, sustituyendo los fenoles petroquímicos por fenoles naturales provenientes del CNSL. A través de toda la metodología y los procedimientos planteados, se logró obtener resinas de distintas consistencias y características. Al realizar los ensayos pertinentes para conocer las propiedades físicas y mecánicas de estas resinas, por ejemplo, una mayor resistencia a esfuerzos de flexión a medida que la relación de fenol y formaldehído varía. Así como también se ha encontrado que las resinas elaboradas a partir del CNSL crudo presentan mejores resultados y mejor consistencia que aquellas elaboradas a partir de CNSL descarboxilado. Finalmente, se evaluó el efecto de la incorporación de fibras de refuerzo (PET y fibra de vidrio) sobre las propiedades mecánicas de las resinas elaboradas. El material que se obtiene al final del trabajo muestra propiedades adecuadas

para su potencial uso como materia prima en la elaboración de placas electrónicas para circuitos.

**Índice de términos**— CNSL, composites, descarboxilación, resina novolac.

## I. INTRODUCCIÓN

El Cashew Nut Shell Liquid, conocido por sus siglas como CNSL, es un líquido proveniente de la cáscara de la semilla de marañón (*Anacardium Occidentale*), tiene un aspecto viscoso y un color entre rojo oscuro y café [1]. Sin embargo, esta sustancia posee una gran cantidad de aplicaciones en diversos ámbitos de la ciencia, debido a la posibilidad de aprovechar los compuestos fenólicos que están presentes en ella.

En El Salvador, el marañón es un fruto abundante en ciertas épocas del año, y la semilla es comercializada como un producto alimenticio artesanal; sin embargo, la cáscara que contiene el CNSL, no tiene ningún uso o aplicación industrial, sino que es considerado un desecho; es decir, se está desaprovechando un recurso natural con potenciales aplicaciones en el contexto salvadoreño, que puede llevar un

desarrollo económico y social a las personas o asociaciones que se dedican a explotar este recurso natural. Un ejemplo de aplicación del CNSL es la elaboración de resinas a partir de un proceso de copolimerización [2]. Por lo que en este trabajo se estudiaría la viabilidad en la fabricación de estas resinas fenólicas, utilizando parcial o totalmente fenoles de origen vegetal para su elaboración.

Dependiendo del método de extracción del CNSL, sus propiedades físicas pueden variar ligeramente. En la

TABLA I se muestran algunos valores típicos para las propiedades físicas obtenidos por Shikha & Awasthi (2011), para una muestra de CNSL utilizado para aplicaciones en resinas fenólicas.

TABLA I  
PROPIEDADES FÍSICAS DEL CNSL

Propiedad física	CNSL para resinas fenólicas
Gravedad específica (25°C)	0.95
Viscosidad (25°C)	57.43 cP
Contenido de humedad	1.88 %
Poder calorífico*	35.4 MJ/kg
Índice de yodo	210Wijs

Fuente: Adaptado de [3], [4], [5] y [6], Elaboración Propia

El CNSL es una mezcla de compuestos fenólicos, constituido por tres componentes mayoritarios: el ácido anacárdico, cardanol, cardol. Los dos primeros son los fenoles monovalentes (un

grupo OH), mientras que el último es un fenol divalente (dos grupos OH). En la cáscara de la semilla de marañón, el CNSL se encuentra principalmente como ácido anacárdico (aproximadamente un 90%) y cardol (ligeramente inferior a 10%). Es importante indicar que el ácido anacárdico puede sufrir una reacción de descarboxilación (transformándose a cardanol) cuando el CNSL se extrae por métodos que utilizan elevadas temperaturas (superior a 90- 120°C) [7]. En la Figura 1 se muestran las estructuras moleculares de los componentes mayoritarios del CNSL. La estructura química del CNSL le permite participar un gran número de reacciones tales como: descarboxilación, hidrogenación, polimerización, sulfonación, etc.

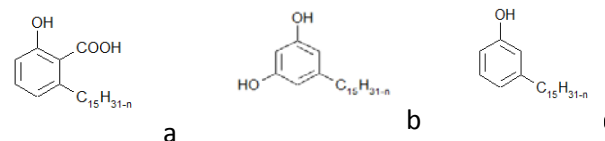


Fig. 1 Componentes mayoritarios del CNSL: a) ácido anacárdico, b) cardol y c) cardanol.

Como se menciona anteriormente el ácido anacárdico se descarboxila transformándose a cardanol por medio de calentamiento. En este trabajo se evaluará el efecto de la descarboxilación del ácido en la fabricación de las resinas fenólicas.

La Fig. 2 muestra el cambio químico que toma lugar durante la descarboxilación del ácido[9].

La Fig. 2 muestra el cambio químico que toma lugar durante la descarboxilación del ácido[9].



Fig. 2 Reacción de descarboxilación del ácido anacárdico.

Las propiedades fenólicas del CNSL son utilizadas para la síntesis de polímeros de condensación por reacción con formaldehído, furfural y hexametilentetramina (HMTA) [10]. Estos polímeros obtenidos con CNSL son similares al producto de la reacción de fenoles con formaldehído, pero muestran menos reactividad durante la síntesis. Se pueden sintetizar dos tipos de polímeros o resinas (resoles y novolac) a partir de una mezcla CNSL con fenol [5]. En este trabajo se pretende sustituir los fenoles derivados del petróleo por fenoles de origen vegetal contenidos en el CNSL y probar diferentes porcentajes de sustitución del CNSL para encontrar la composición que proporcione mejores propiedades mecánicas a las resinas para su posible utilización en la construcción de tabletas electrónicas.

Las resinas de tipo novolac (que se analizan en este trabajo) son sintetizadas a partir de fenol, CNSL y formaldehído, en presencia de un catalizador ácido (ácido sulfúrico). Debido a

que la resina resultante no posee un grupo metilol reactivo es incapaz de polimerizar de forma completa aún en caliente. Por lo tanto, para completar el proceso de polimerización es necesario agregar más formaldehído en la etapa final del proceso de fabricación de las resinas, resultando en un entrelazado que le proporciona rigidez al producto [5]. La estructura final del producto de polimerización se muestra en la Fig. 3.

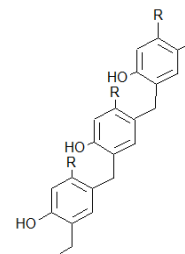


Fig. 3 Estructura de resina novolac, elaborada a partir de CNSL.

La elaboración de una resina resol o novolac puede dar lugar a un resina con propiedades mecánicas débiles, por lo que es necesario introducir un refuerzo a la resina para obtener un material compuesto (composite) con mejores propiedades mecánicas. Se entiende por composites aquellos compuestos formados por dos o más materiales distintos sin que se produzca reacción química entre ellos. En todo material compuesto se distinguen dos componentes: la matriz, componente que se presenta en fase continua, actuando como ligante; y el refuerzo o fibra, en fase discontinua, que es el elemento resistente [11].



El plástico reforzado se logra a través de un proceso de curación, que combina una "matriz", formada generalmente por una resina ester vinílica, resina epoxi o un tipo de poliéster insaturado y el "refuerzo" que se compone de fibras que pueden ser fibra de vidrio, fibra de aramida o de fibra de carbono, que se debe elegir teniendo en cuenta la aplicación final [12].

Las fibras son los componentes resistentes en un material reforzado. Las fibras son las que definen la mayor parte de las características mecánicas de un plástico o resina reforzada, como la resistencia y rigidez. Las fibras de vidrio son las primeras fibras que han hallado una amplia aplicación como fibras de refuerzo. Están constituidas, en su mayor parte, por óxidos de silicio, aunque sus características pueden modificarse mediante la mezcla de otros óxidos, como por ejemplo los de aluminio o magnesio [13]. En este trabajo se evalúa la utilización de hilos de PET (proveniente de botellas recicladas) y fibra de vidrio comercial como fibras de refuerzo sobre una matriz de resina novolac, esto con el objetivo de mejorar las propiedades físicas de las resinas elaboradas y determinar si es viable la fabricación de tabletas electrónicas para circuitos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Extracción del CNSL.

La extracción del CNSL se realiza por Soxhlet y molino. La cáscara de semilla de marañón utilizada para la extracción proviene de la Asociación de Productores Agroindustriales

Orgánicos de El Salvador (APRAINORES), ubicada en bajo Lempa, San Vicente.

Extracción con Soxhlet: Las cáscaras de la semilla de marañón se trituran y secan en una estufa de convección. Para cada extracción se coloca una muestra de aproximadamente 25 gramos en un dedal y posteriormente se introduce dentro de la cámara de extracción del Soxhlet con capacidad de 250 mL. Cada extracción de 2 horas se realiza colocando dentro del balón (500 mL) acoplado al Soxhlet, un volumen de 250 mL de éter de petróleo y calentando con una manta térmica. Los extractos orgánicos obtenidos en las 8 extracciones con el Soxhlet se unieron y rotavaporaron hasta sequedad del solvente. El residuo café oscuro obtenido de esta forma constituye el CNSL.

Extracción mecánica: Aproximadamente 25 kg de cáscaras de semilla de marañón se introducen a un molino de tornillo, el cual tritura y presiona las cáscaras. De forma continua, éste expulsa por una canal la cáscara triturada, y por otro canal, el CNSL. Después de 45 minutos se extrae un total de 1.25 galones de líquido. El uso de guantes de látex fue requerido debido a las propiedades vesicantes del CNSL.

### B. Preparación de resinas fenólicas.

En la TABLA II se muestran las cantidades utilizadas de Fenol, CNSL (crudo y descarboxilado) y formaldehído para la síntesis de resinas novolac.



El calentamiento de la mezcla de fenoles para preparar las resinas se realiza en dos etapas, durante la primera etapa se utiliza una cantidad estequiométrica de formaldehído (57% de la cantidad mostrada en la TABLA II) y en la segunda etapa se adiciona un exceso de formaldehído (43% de la cantidad mostrada en la TABLA II) para reducir el tiempo de solidificación o curado. La cantidad total de formaldehído adicionado se muestra el TABLA II.

TABLA II  
CANTIDADES DE REACTIVOS PARA SÍNTESIS DE RESINAS

Resina	CNSL en la resina (%)	Masa de Fenol (g)	Masa de CNSL (g)	Masa de Resina (g)	Volumen de Formaldehído (mL)
<b>CNSL CRUDO</b>					
C1	0	40	0	40	50.00
C2	20	32	8	40	43.00
C3	40	24	16	40	37.00
C4	60	16	24	40	30.00
C5	80	8	32	40	23.00
<b>CNSL DESCARBOXILADO</b>					
D1	0	40	0	40	50.00
D2	20	32	8	40	43.00
D3	40	24	16	40	37.00
D4	60	16	24	40	30.00
D5	80	8	32	40	23.00

Fuente: Elaboración Propia

Para la elaboración de todas las resinas se utiliza un beaker de 250 ml como reactor. En el beaker se colocan 40g de la mezcla fenólica (que puede ser fenol o una mezcla de fenol y CNSL) con la cantidad estequiométrica de formaldehído (38 % m/v). Finalmente, se adiciona 14 gotas de ácido sulfúrico concentrado como catalizador. La mezcla se coloca en agitación y en un baño caliente de agua a una temperatura de 90°C. Cuando la mezcla presenta marcada viscosidad, la agitación de la mezcla se vuelve dificultosa y se vuelve más opaca y turbia que la mezcla original.

Al observar el cambio de viscosidad en la mezcla, el beaker (previamente secado) se coloca en un baño de aceite vegetal y se calienta lentamente hasta llegar a la temperatura entre 120 y 130°C. Se mantiene la temperatura evitando que ésta rebase los 140°C hasta que la resina obtenida sea altamente viscosa, y posteriormente se agrega formaldehído en exceso con el fin de alcanzar un entrelazado entre las cadenas de la resina y mejores propiedades físicas. En este punto al levantar el agitador de vidrio, se forma una película continua de la mezcla que tiene poca tendencia a fluir. Luego la resina viscosa es trasladada a un molde de acero inoxidable (previamente tratado con una capa de antiadherente) con dimensiones de 16 cm de largo, 4 cm de ancho y 1 cm de espesor. El molde con la resina es colocado dentro de una cámara de vacío a -27 inHg (-0.90 bar) con el objetivo de extraer las burbujas de aire dentro de la resina y evitar posibles fallas mecánicas.

Finalmente, el molde con la resina se coloca en una estufa de convección a 45°C durante 24 horas. La resina endurecida en el molde se retira y se procede a su caracterización.

### C. Preparación de composites reforzados con fibras.

En la TABLA III se muestran las cantidades utilizadas para la síntesis de los composites utilizando dos tipos de fibras de refuerzo: hilos delgados de Tereftalato de Polietileno (PET) y Fibra de Vidrio comercial (FV). La composición de CNSL (40%) en los composites se selecciona previamente en base a los resultados obtenidos en la parte experimental desarrollada en el literal B de la metodología.

TABLA III  
CANTIDADES DE REACTIVO Y FIBRAS PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOSITOS

<b>COMPOSITOS REFORZADO CON PET</b>					
<b>Resina</b>	<b>CNSL en La resina (%)</b>	<b>Fenol (g)</b>	<b>CNSL (g)</b>	<b>Formaldehido (ml)</b>	<b>PET (g)</b>
RP1	40	24	16	37.00	6.67
RP2	40	24	16	37.00	13.33
RP3	40	24	16	37.00	20.00
RP4	40	24	16	37.00	26.67
RP5	40	24	16	37.00	33.33
<b>COMPOSITOS REFORZADO CON FV</b>					

<b>Resina</b>	<b>CNSL en La resina (%)</b>	<b>Fenol (g)</b>	<b>CNSL (g)</b>	<b>Formaldehido (ml)</b>	<b>FV (g)</b>
RFV1	40	24	16	37.00	2.67
RFV2	40	24	16	37.00	5.33
RFV3	40	24	16	37.00	8.00
RFV4	40	24	16	37.00	10.67
RFV5	40	24	16	37.00	13.33

Fuente: Elaboración Propia

La fabricación de los composites sigue un procedimiento similar al descrito en el literal B de la metodología expuesta en este trabajo, con la diferencia que al momento de colocar la resina en el molde con antiadherente se intercalan 5 capas de resina y 5 de fibras de refuerzo para obtener un laminado uniforme. Es imprescindible asegurarse de que la superficie quede totalmente exenta de burbujas de aire por lo que también se coloca el molde en la cámara de vacío.

### D. Ensayo de flexión.

Los ensayos de flexión a tres puntos, se realizan en una máquina universal y siguiendo la norma ASTM D-790. El molde las resinas está construido con las dimensiones adecuadas (según la norma) para que las muestras de resina obtenida (probetas) cumplan con una relación largo/espesor (L/D) igual a 16. Para determinar el esfuerzo máximo de flexión se coloca la probeta en la máquina universal sobre dos punto de apoyo y posteriormente se aplica en el punto medio de la probeta una



carga continua (por medio de un mandril de carga estandarizado para resinas) con una velocidad de 0.1mm/min.

#### *E. Ensayo de resistencia eléctrica.*

Con el objetivo de conocer la resistencia eléctrica de los composites reforzados con fibra de vidrio, estos se conectan a una fuente de 5 Amperios y a un multímetro. Únicamente se utiliza para estos ensayos los composites con fibra de vidrio ya que son los que han mostrado mejores propiedades físicas.

#### *F. Ensayos de expansión térmica.*

Se coloca cada una de las probetas de resinas de CNSL y composites (con fibra de vidrio) en un baño de agua caliente con temperaturas de 70°C y 90°C y posteriormente en un baño de aceite caliente a 150°C. Para cada una de las temperaturas se mide el ancho de cada probeta con un pie de rey digital.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### *A. Extracción del CNSL.*

La extracción con Soxhlet muestra que el tiempo necesario para obtener muestras de gran volumen es difícil y costoso en energía y químicos. Se han obtenido aproximadamente 50 g de CNSL en 2 días de extracción a partir de 200 g de cáscara de semilla de marañón la cual es previamente preparada según la metodología descrita anteriormente. En cambio la extracción con molino permite extraer 4.73 kg de CNSL en 45 min de extracción a partir de 26 kg de cáscara de semilla de marañón. Estos resultados muestran que la extracción por Soxhlet proporciona un mayor porcentaje de recuperación (25%) que el método mecánico (18%), pero este último utiliza un menor tiempo de extracción y con menores costos de operación, esto

es congruente con los resultados obtenidos por Arana (2012) [15].

#### *B. Preparación de resinas fenólicas.*

La Fig. 4 muestra el comportamiento y dependencia del tiempo de curado a 30°C con el porcentaje en masa de CNSL crudo y descarboxilado que se ha sido utilizado en la preparación de la resina.

A partir de las tendencias mostradas en la Fig. 4, se observa que el tiempo de curado se incrementa a medida que aumenta el porcentaje de CNSL (tanto crudo como descarboxilado). Sin embargo, los tiempo de curado para las resinas que utilizan CNSL crudo son menores (hasta 8 días) con respecto al tiempo de curado para los casos que utilizan CNSL descarboxilado (hasta 15 días).

Las pruebas realizadas con CNSL descarboxilado, muestran que únicamente solidifican cuando las resinas contienen una concentración en masa del mismo de hasta 40%, mientras que utilizando CNSL crudo, solidificaron con concentraciones de hasta 60%.

Los tiempos de inmersión durante la elaboración de resinas sirven como parámetro para la determinación del tiempo de polimerización de las resinas en dependencia a su composición. La Fig. 5 y Fig. 6 muestran una comparación de los tiempos de inmersión de las resinas elaboradas con CNSL crudo y descarboxilado. En ambos casos se muestra que las resinas elaboradas con CNSL crudo muestra menores tiempos de

inmersión que las resinas elaboradas con CNSL descarboxilado. Además, se observa que el incremento del porcentaje masa de CNSL incrementa el tiempo de inmersión de las resinas y por lo tanto el tiempo de polimerización.

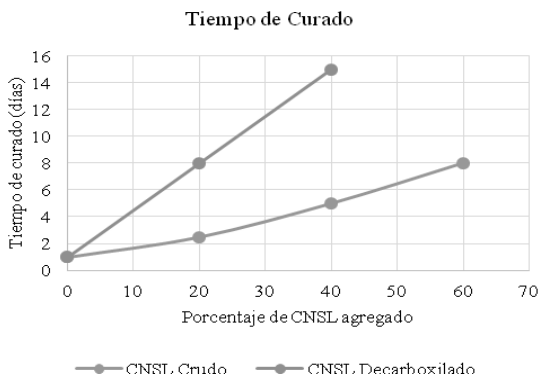


Fig. 4 Tiempos de curado para las resinas con CNSL crudo y descarboxilado.

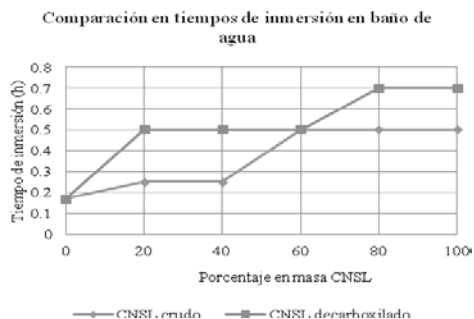


Fig. 5 Tiempos de inmersión de las resinas de CNSL en baño de agua.

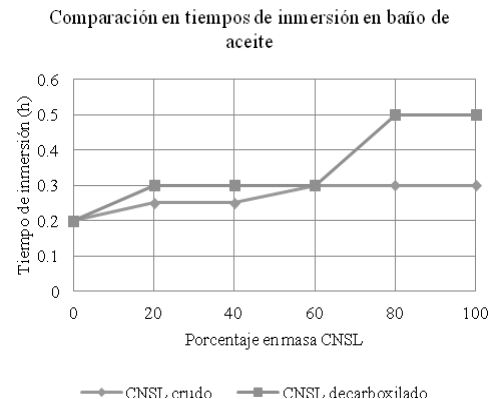


Fig. 6 Tiempos de inmersión de las resinas de CNSL en baño de aceite.

Por lo tanto, el CNSL que ofrece menor tiempo de curado es el CNSL crudo y la composición que ofrece un tiempo de inmersión adecuado es 40% de CNSL crudo. Por lo que los siguientes ensayos utilizaron CSNL crudo y 40% del mismo en la composición de la resina .

*C. Preparación de composites reforzados con fibras y ensayos de flexión.*

La matriz de resina que sirve de soporte para la elaboración de composites se obtiene como se ha descrito anteriormente.

Como un parámetro de comparación para la selección de la cantidad de fibra de refuerzo más conveniente en la



elaboración de los composites, se mide el esfuerzo máximo de flexión para las resinas sin fibras de refuerzo.

La Fig. 7 muestra el comportamiento de la resistencia a la flexión de las resinas en dependencia al porcentaje de fenol petroquímico contenido en las resinas elaboradas.

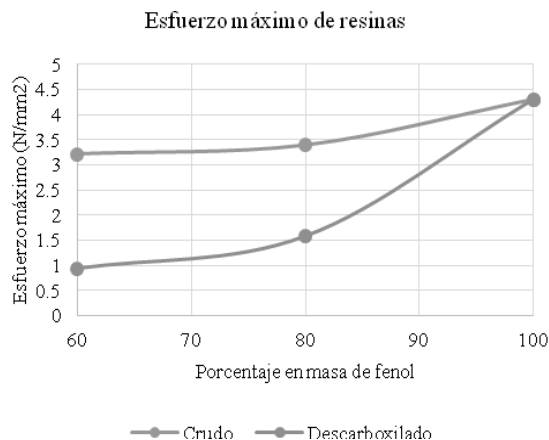


Fig. 7 Esfuerzo máximo de resinas de CNSL sin fibras de refuerzo.

El comportamiento obtenido del esfuerzo máximo de flexión es mayor a medida que la cantidad de fenoles derivados del petróleo es mayor, es decir, la adición de CNSL disminuye el esfuerzo máximo de flexión de las resina, comparando los resultados obtenidos entre los esfuerzos máximos alcanzados con CNSL crudo y descarboxilado, las resinas con CNSL crudo presentan una resistencia mayor a la flexión. Por ejemplo, al utilizar un 40% de CNSL crudo, el esfuerzo máximo se reduce en un 20%, mientras que al utilizar un 40% de CNSL descarboxilado

se reduce en un 75%, ambos con respecto a la resina elaborada con 100% de fenol.

En la Fig. 8 se muestra el comportamiento del esfuerzo máximo de flexión obtenido con respecto al porcentaje de fibra de PET (tereftalato de polietileno) adicionado.

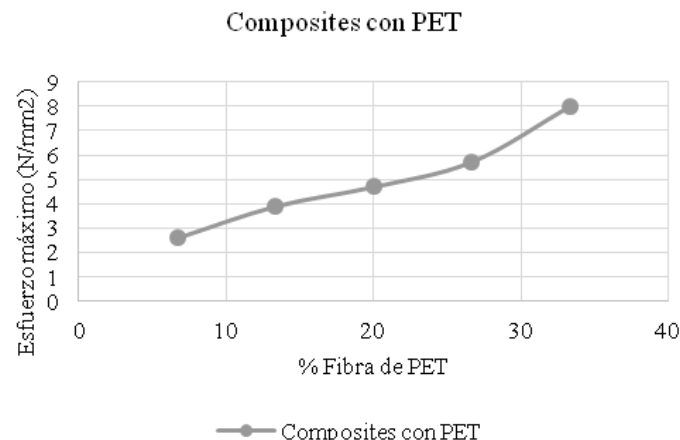


Fig. 8. Resistencia a la flexión de composites de CNSL crudo y PET.

Los esfuerzos máximos alcanzados en los composites con PET muestran una tendencia ascendente con respecto a la cantidad de PET adicionado.

El comportamiento del esfuerzo máximo de flexión obtenido contra el porcentaje de fibra de vidrio incorporada al composite se muestra gráficamente en la Fig. 9.

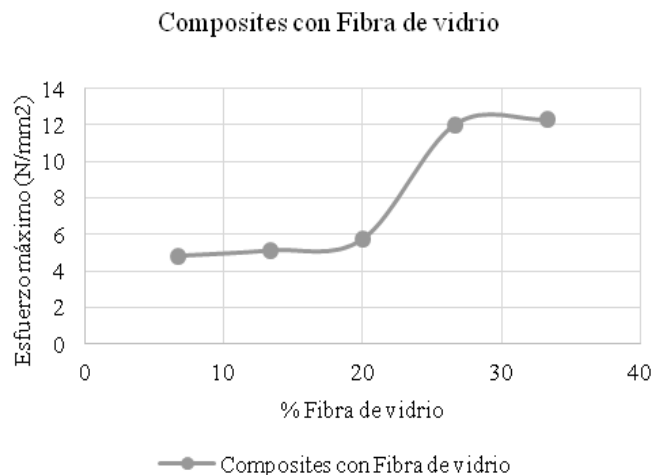


Fig. 9 Resistencia a la flexión de composites de CNSL crudo y fibra de vidrio.

La adición de fibra de vidrio como reforzante aumenta significativamente el esfuerzo máximo a la flexión (en 50% con respecto al máximo obtenido con PET), mejorando las capacidades mecánicas de las resinas. El comportamiento de los composites es directamente proporcional a la cantidad de fibra de vidrio adicionada, obteniéndose un máximo en la resistencia cuando se utiliza entre un 27% y 33% de fibra de vidrio. Estos resultados permiten seleccionar a la fibra de vidrio como la mejor opción (de las estudiadas en este trabajo) para mejorar las propiedades mecánicas de los composites a un porcentaje de composición de 30% de fibra de vidrio.

Aun cuando la fibra de vidrio da mejores resultados en la resistencia a la flexión, la ventaja de usar fibras de PET, es que

pueden ser elaboradas a partir de botellas recicladas, así como fueron obtenidas estas fibras para el desarrollo del presente trabajo.

*D. Ensayo de resistencia eléctrica.*

La Fig. 10 muestra que la resistencia eléctrica para una resina elaborada con 40% de CNSL crudo y diferentes porcentajes de fibra de vidrio. La Fig. 10 indica que la resistencia eléctrica es independiente del contenido de fibra de vidrio.

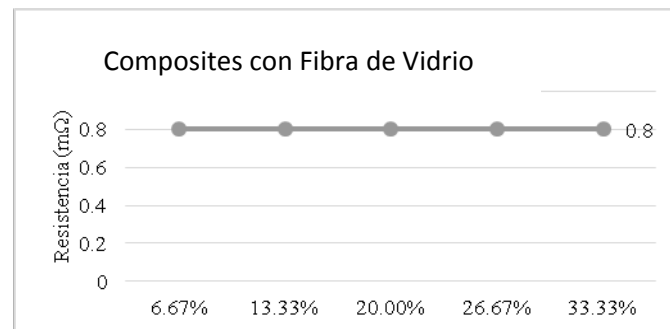


Fig. 10 Valores de resistencias vrs % de fibra de vidrio para las resinas con CNSL crudo.

En la Fig. 11 se muestra que el valor de la potencia disipada es constante e independiente de la cantidad de fibra de vidrio en las resinas fenólicas.

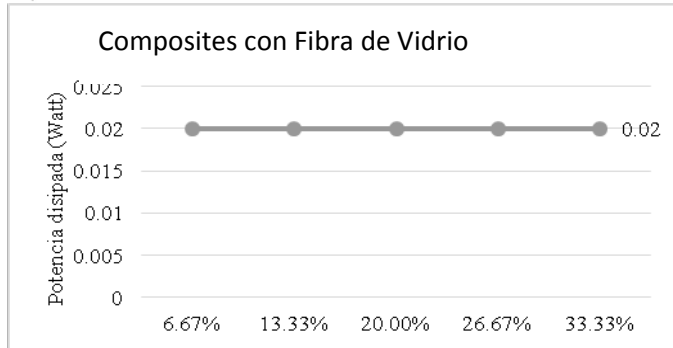


Fig. 11 Potencias disipadas vrs % de fibra de vidrio para las resinas con CNSL crudo.

Por tanto, es posible decir que las propiedades eléctricas de las resinas fenólicas no se ven afectadas por la adición o no adición de fibras de refuerzo de tipo PET o fibras de vidrio, ya que estos materiales son no-conductores. Estos resultados permiten establecer que el porcentaje de fibra de vidrio puede ser del 30% sin afectar la resistencia eléctrica y disipación de la energía.

#### E. Ensayo de coeficiente de expansión térmica.

Es de notar que el gráfico de la Fig. 12 indica que la máxima expansión térmica de los composites se presenta cuando estos se elaboran con 3 capas de fibra de vidrio, es decir un 20% en volumen del total de la resina fenólica. A partir de este número de capas, comienza una disminución en el coeficiente de expansión térmica. Para el caso de fabricación de las tablas electrónicas para circuitos es deseable tener un bajo coeficiente de expansión térmica, por lo que en base a la Fig. 12 se

concluye que 5 capas de fibra de vidrio en el composites favorecen las propiedades mecánicas y disminuye el coeficiente de expansión térmica.

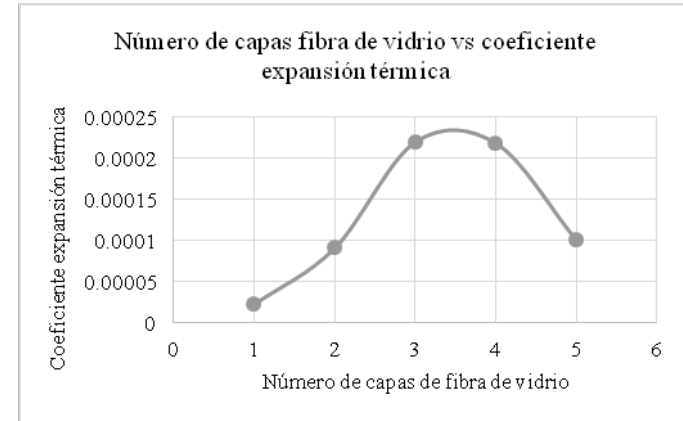


Fig. 12. Variación del coeficiente de dilatación con el número de capas de fibra de vidrio aplicadas.

#### IV. CONCLUSIONES

1. Al comparar los métodos de extracción del CNSL se observa que la extracción a través del molino es mucho más eficiente en cuanto a la cantidad extraída de CNSL, ya que se obtiene aproximadamente 4.73 kg de CNSL de 26 kg de cáscara, pero con una recuperación de 18% y un tiempo de extracción de 45 min. En cambio con la extracción por Soxhlet se obtienen 25 g de CNSL a partir de 200 g de cáscara, con una recuperación del 25% en 2 días de extracción. Sin embargo, el CNSL obtenido por molino presenta más impurezas de tipo vegetal, pero que en las



pruebas realizadas en este trabajo no presentaron inconvenientes.

2. La disminución del tiempo de inmersión en los baños térmicos durante el proceso de fabricación de las resinas, se ve favorecida con la utilización de un CNSL crudo y bajas concentraciones de este en la composición de las resinas preparadas (40%). Los tiempos de solidificación en la etapa de curado, se ven reducidos a medida que el porcentaje de CNSL en la composición de las resinas es menor (alrededor del 40%) y con el incremento de la temperatura.

3. En los ensayos de esfuerzos de flexión aplicados a los composites elaborados, los ensayos muestran que cuando se utiliza la fibra de vidrio como agente reforzante se obtienen los mejores resultados (esfuerzo máximo de  $12.2829 \text{ N/mm}^2$  con 5 capas de fibra) que con los filamentos de PET (esfuerzo máximo de  $8.01 \text{ N/mm}^2$  con 5 capas de PET) esto indica que la fibra de vidrio es el material más adecuado para formar composites en los que sea importante contar con buenas propiedades mecánicas y resistencia a la flexión. En términos económicos podría resultar atractivo investigar el ahorro en la utilización de fibras de PET reciclado, sacrificando ligeramente las propiedades obtenidas en el composite. El fuerza de flexión de los composites reforzados con fibra de vidrio se incrementa en un factor de 3.6 con respecto al esfuerzo de flexión máximo obtenido de las resinas elaboradas con 40% de CNSL crudo.

4. Los ensayos de resistividad eléctrica muestran que las resinas fenólicas elaboradas a partir del CNSL tienen valores cercanos a los de un material aislante (entre 0.8 y 0.6  $\text{m}\Omega$ ), es decir, no permiten el flujo de una corriente eléctrica a través de ellos. En cuanto a la potencia disipada, los valores obtenidos son bajos (en promedio 0.02 Watt), lo cual indica que la cantidad de energía absorbida como consecuencia del paso de electricidad a través del material es mínima; debido a esto, la resina fenólica está exenta de sufrir un calentamiento debido a esta energía. Adicional a lo anterior, los resultados obtenidos en la expansión térmica de las resinas fenólicas muestran valores bajos ( $28.7 \times 10^{-6} - 122.2 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) y comparables a los reportados en el trabajo de J Mesa (2008) para resinas fenólicas:  $68 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  [14].

5. El esfuerzo de flexión, la resistividad eléctrica y la expansión térmica que muestran las resinas preparadas en este trabajo constituyen un material potencial para la elaboración de tabletas de circuitos electrónicos y muestra la posibilidad de producción de resinas fenólicas elaboradas con fenoles provenientes de fuentes renovables vegetales. Además, los resultados muestra la viabilidad de disminuir la dependencia de los fenoles de origen petroquímico en la elaboración de estos materiales.



## V. REFERENCIAS

- [1] R. Yadav and D. Srivastava, "Studies on the extraction, modification and applications of CNSL/Cardanol based epoxy resins," Paintindia, Kanpur, 2009.
- [2] M. Lubic and E. T. Thachil, "Copolymerization of Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) and Phenol by condensation with Hexamine," Kochi, 2003.
- [3] A. Chaudhari, N. J. Thakor, D. M. Mahale, P. M. Haldankar and S. P. Sonawane, "Physical Properties of Cashew Nut Shell Liquid," *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, p. 172, 2012.
- [4] ANUP Industries, "ANUP Industries," 10 Noviembre 2013. [Online]. Available: <http://www.anupindustries.net/cashew-nut-shell-liquid.htm>. [Accessed 22 Abril 2014].
- [5] M. Lubi, Novel Applications of Cashew Nut Shell Liquid in the Polymer Field, India: Cochin University of Science and Technology, 2007.
- [6] D. Shikha and R. Awasthi, "Utilization of agro waste (CNSL) in coatings," *Paintindia*, p. 65, 2011.
- [7] Sanoor Cashew, "Sanoor Cashew (Importers & Exporters)," 27 Julio 2013. [Online]. Available: <http://www.adarshsanoor.com/cnsl.html>. [Accessed 23 Abril 2014].
- [8] Risfaheri, T. T. Irawadi, M. A. Nur and I. Sailah, "Isolation of cardanol from Cashew Nut Shell Liquid using the vacuum distillation method.," *Indonesian Journal of Agriculture*, pp. 11-20, 2009.
- [9] L. C. Anand, "Petroleum Chemistry Journal," pp. 12, 3, 1981.
- [10] N. K. Krishnaswamy and K. P. Govindan, *Journal Of Chemical Industry*, 1958.
- [11] S. Poveda, "LECTURAS COMPLEMENTARIAS: Materiales Compuestos," 2 Diciembre 2012. [Online]. Available: [http://ocw.upm.es/expresion-grafica-en-la-ingenieria/ingenieria-grafica-metodologias-de-diseno-para-proyectos/Teoria/LECTURA\\_COMPLEMENTARIA/MATERIALES/materialescompuestos.pdf](http://ocw.upm.es/expresion-grafica-en-la-ingenieria/ingenieria-grafica-metodologias-de-diseno-para-proyectos/Teoria/LECTURA_COMPLEMENTARIA/MATERIALES/materialescompuestos.pdf). [Accessed 3 Junio 2014].
- [12] FIBERTEX, "Plásticos Reforzados," 11 Abril 2013. [Online]. Available: <http://www.fibertex.com.br/PI%C3%A1sticos%20Reforzados.html>. [Accessed 3 Junio 2014].
- [13] T. Reinhard, Composite Engineered Material Handbook Vol.1, ASM International, 1987.
- [14] Mesa, J. L. (n.d.). Propiedades térmicas de metales, cerámicas y polímeros, España, 2008



- [15] Arana, F., Guillén, M., & Hernández, J. (2012). EVALUACIÓN DEL CNSL (CASHEW NUT SHELL LIQUID) COMO PROTECCIÓN ANTICORROSIVA DEL ACERO AL CARBONO EXPUESTO A LA ATMÓSFERA DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS). Antigua Cuscatlán, El Salvador, C.A.: Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas".

Nota: Externamos nuestro agradecimiento al Departamento de Mecánica Estructural por su colaboración en la realización de las pruebas de flexión y por sus valiosas sugerencias.