

**MODIFICACIÓN DE LA RESINA FENÓLICA UTILIZADA EN LA  
FABRICACIÓN DE LAMINADOS DECORATIVOS DE ALTA PRESIÓN,  
MEDIANTE LA ADICIÓN DE RESINA DE TRIAZONA**

**HERNANDO REYES CASTELLAR      Código: 1993332**  
**JOSÉ CARLOS PEREIRA CARO      Código: 1983325**

Trabajo de grado presentado para optar al título de  
**Ingeniero Químico**

**Director**  
**Jorge Enrique Pulido Flórez**  
**Ingeniero Químico M. Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**BUCARAMANGA**  
**2005**

A Dios,  
a mis padres Hernando y Nibia  
y a mi hermana La Nena por su  
apoyo constante e incondicional

Hernando.

En memoria de mis hermanitos  
José Camilo, Ana Kattery, Marlon Mac  
y de mi padrino Jorge Luis Ortega García,  
porque podrán cortar todas las flores,  
pero no detendrán la primavera.

José Carlos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Química.

Al profesor Jorge Enrique Pulido Flórez, por su confianza y valiosos aportes en el desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero Ludwing Hernán Prada Serrano, Gerente de Procesos de la Empresa LAMITECH S.A. de Cartagena, por brindarnos la oportunidad de realizar esta investigación.

A todo el personal de la Empresa LAMITECH S.A., en especial a los operarios de Planta Química y Laboratorio Técnico.

## RESUMEN

### 1. TITULO\*

MODIFICACIÓN DE LA RESINA FENÓLICA UTILIZADA EN LA FABRICACIÓN DE LAMINADOS DECORATIVOS DE ALTA PRESIÓN, MEDIANTE LA ADICIÓN DE RESINA DE TRIAZONA.

### 2. AUTORES\*\*

PEREIRA CARO JOSÉ CARLOS

REYES CASTELLAR HERNANDO

### 3. PALABRAS CLAVES

Laminados decorativos de alta presión, modificación, postformabilidad, resina fenólica, resina de triazona.

### 4. DESCRIPCIÓN

El presente trabajo muestra una forma de mejorar la postformabilidad de los laminados decorativos de alta presión (**LDAP**), con el fin de aumentar su competitividad en el mercado, conservando su aceptación como productos de alta calidad. Para tal fin se propone una amino resina llamada resina de triazona como modificante de la resina fenólica utilizada para la fabricación de los laminados, esperando determinar las mejores condiciones de reacción para elaborarla y encontrar la proporción en que las dos resinas deben ser mezcladas.

Como punto de partida para el desarrollo del proyecto se recurrió a información bibliográfica que advierte sobre modificaciones hechas a la resina fenólica usada en otras aplicaciones, describe un procedimiento general para la elaboración de la resina de triazona y muestra una breve explicación de los fenómenos de modificación y plastificación. El estudio empieza con el reconocimiento de las propiedades de la resina fenólica y de los laminados. Luego de definir el problema, se procedió al desarrollo de los experimentos que conducirían a la obtención de la resina de triazona implementándola como modificante de la resina fenólica, tanto a nivel de laboratorio como a nivel industrial; finalmente se fabricaron laminados con la nueva resina y se evaluaron sus propiedades.

Se concluyó que al hacer reaccionar úrea, formaldehído y amoniaco en una relación molar de **1: 2: 0,7 (Úrea: Formaldehído: Amoniaco)**, durante **80 minutos** a una temperatura de **95°C** se genera una resina de triazona que mezclada con resina fenólica en una proporción del **9%**, se obtienen a partir de esta mezcla laminados más postformables (flexibles) para los cuales, las etapas de elaboración de resinas resulta mas económica, en lo que respecta al costo de materias primas.

\* = Proyecto de Grado.

\*\* = Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química.

Director: Ingeniero Químico M. Sc. Jorge Enrique Pulido Flórez.

## ABSTRACT

### 1. TITLE\*

MODIFICATION OF THE PHENOLIC RESIN USED IN THE MANUFACTURE OF HIGH PRESSURE DECORATIVE LAMINATES, THROUGH THE ADDITION OF TRIAZONE RESIN.

### 2. AUTHORS\*\*

PEREIRA CARO JOSÉ CARLOS  
REYES CASTELLAR HERNANDO

### 3. KEY WORDS

High pressure decorative laminates, modification, phenolic resin, postforming, triazone resin.

### 4. DESCRIPTION

This work shows a way for improving the postforming high pressure decorative laminates (**LDAP**), to increase its competitiveness in the market, and keeping its acceptations as high quality products. For this, an amino resin, called triazone resin, is proposed as a modifier of the phenolic resin used to the manufacture of laminates, trying to determine the better conditions of reactions to elaborate and find the proportion for mix the two resins.

As starting point for the development of the project, we used bibliographic information that warns about modifications done to the phenolic resin used in other applications, the project describes a general procedure for the elaboration of triazona resin and shows a brief explanation of the modification and plasticization phenomena. The study starts with the recognition of the phenolic resin properties and the laminates. After define the problem, we proceed with the development of the experiment that will lead to obtaining of the resin implementing as a modifier of the phenolic resin, as laboratory level as industrial level. Finally laminates with the new resin were made and its properties were evaluated.

We concluded that making a reaction between urea, formaldehyde and ammonia in a ratio of **1: 2: 0,7 (Urea: Formaldehyde: Ammonia)** during **80 minutes** and a temperature of **95°C**, we obtain triazone resin that when we mix with phenolic resin, in a proportion of **9%**, generates a new resin appropriated to elaborate more flexibles laminates, in which the elaboration of the resin is cheaper related to the price of raw material.

\* = *Proyect of Degree.*

\*\* = *Physical – Chemical Engineering Faculty Chemical Engineering School.*

. *Director: Eng. Chemical M. Sc. Jorge Enrique Pulido Flórez.*

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1. CONCEPTOS TEÓRICOS</b>	<b>20</b>
1.1 RESINA FENÓLICA	20
1.2 LAS AMINO RESINAS	21
1.3 PLASTIFICACIÓN	21
1.3.1 Vías de plastificación	22
1.3.2 Plastificantes externos	22
1.3.3 Los mecanismos del efecto plastificante	23
1.4 AMINO RESINAS COMO MODIFICANTES	23
1.4.1 Resina de triazona	24
1.4.2 Elaboración de la resina de triazona	26
1.4.3 Modificaciones de la resina fenólica con resina de triazona	26
1.4.4 Reactivos utilizados para la elaboración de la resina de triazona	27

<b>1.5</b>	<b>MEJORAMIENTO DE LA POSTFORMABILIDAD DEL LAMINADO DECORATIVO</b>	<b>31</b>
<b>2.</b>	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>32</b>
<b>2.1</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>PROPIEDADES DE LA RESINA FENÓLICA Y DE LOS LAMINADOS, PREVIAS AL PROYECTO</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>PLAN DE EXPERIMENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA RESINA DE TRIAZONA</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LA RESINA DE TRIAZONA</b>	<b>21</b>
<b>2.6</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA LA MODIFICACIÓN DE LA RESINA FENÓLICA</b>	<b>23</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>CONDICIONES DE REACCIÓN DE LA RESINA DE TRIAZONA</b>	<b>24</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Amoniaco como reactivo en la formulación de la resina de triazona</b>	<b>25</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Monoetanolamina como reactivo en la formulación de la resina de triazona</b>	<b>30</b>

<b>3.2</b>	<b>PROPORCIÓN DE MEZCLA PARA LA MODIFICACIÓN DE LA RESINA FENÓLICA</b>	<b>32</b>
3.2.1	Proporción de mezcla utilizando como materia prima la monoetanolamina	54
<b>3.4</b>	<b>ENSAYOS A NIVEL INDUSTRIAL</b>	<b>56</b>
3.4.1	Elaboración de resina triazona a nivel industrial	56
<b>3.3</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	<b>59</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>62</b>
<b>5.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>63</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>64</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>66</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Propiedades de la resina fenólica.	<b>34</b>
<b>Tabla 2.</b> Resultados de las pruebas de calidad efectuadas a los laminados decorativos de alta presión.	<b>35</b>
<b>Tabla 3.</b> Propiedades de los papeles decorativos ensayados.	<b>36</b>
<b>Tabla 4.</b> Niveles de experimentación de las variables independientes.	<b>38</b>
<b>Tabla 5.</b> Diseño de cuadrado latino para la elaboración de la triazona a diferentes niveles de experimentación.	<b>39</b>
<b>Tabla 6.</b> Cantidades de reactivos utilizadas para los diferentes experimentos.	<b>41</b>
<b>Tabla 7.</b> Valores representativos para el tiempo de vida útil.	<b>43</b>
<b>Tabla 8.</b> Valores representativos para las relaciones molares.	<b>44</b>
<b>Tabla 9.</b> Caracterización de la resina de triazona obtenida bajo condiciones óptimas de reacción elaborada con amoniaco.	<b>48</b>
<b>Tabla 10.</b> Caracterización de la resina de triazona obtenida bajo condiciones óptimas de reacción elaborada con monoetanolamina.	<b>51</b>
<b>Tabla 11.</b> Niveles que relacionan la postformabilidad del laminado.	<b>52</b>
<b>Tabla 12.</b> Descripción de las etapas de elaboración de la resina de triazona.	<b>57</b>
<b>Tabla 13.</b> Resultados industriales para el amoníaco.	<b>58</b>
<b>Tabla 14.</b> Resultados industriales para la monoetanolamina.	<b>58</b>
<b>Tabla 15.</b> Costos de materia prima por kg de resina de triazona elaborada a partir de amoníaco.	<b>59</b>
<b>Tabla 16.</b> Costos de materia prima por kg de resina de triazona elaborada a partir de monoetanolamina.	<b>59</b>

<b>Tabla 17.</b> Costos de materia prima por kg de resina fenólica sin modificar.	<b>60</b>
<b>Tabla 18.</b> Costos de materia prima por kg de resina fenólica, modificada al 9% con resina de triazona, elaborada a partir de amoniaco.	<b>60</b>
<b>Tabla 19.</b> Costos de materias primas por kg resina fenólica, modificada al 9% con resina de triazona, elaborada a partir de monoetanolamina.	<b>61</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Tetrahidro-5-alkuil-s-triazona.	25
<b>Figura 2.</b> Metodología utilizada.	33
<b>Figura 3.</b> Variación del porcentaje de sólidos y el tiempo de vida útil con respecto a la temperatura de reacción para diferentes relaciones molares y un tiempo de reacción de 45 minutos.	45
<b>Figura 4.</b> Variación del porcentaje de sólidos y el tiempo de vida útil con respecto a la temperatura de reacción para diferentes relaciones molares y un tiempo de reacción de 60 minutos.	46
<b>Figura 5.</b> Variación del porcentaje de sólidos y el tiempo de vida útil con respecto a la temperatura de reacción para diferentes relaciones molares y tiempo de reacción de 80 minutos.	47
<b>Figura 6.</b> Variación de los porcentajes de sólidos y el tiempo de vida útil con respecto a la temperatura de reacción para diferentes relaciones molares y tiempo de reacción de 60 minutos.	49
<b>Figura 7.</b> Variación de los porcentajes de sólidos y el tiempo de vida útil con respecto a la temperatura de reacción para diferentes relaciones molares y tiempo de reacción de 80 minutos.	50
<b>Figura 8.</b> Variación del <i>postforming</i> y el <i>blister</i> respecto a las proporciones de resina de triazona en la mezcla.	52

<b>Figura 9.</b> Variación de la absorción de agua en peso y en calibre respecto a las proporciones de resina de triazona en la mezcla.	<b>53</b>
<b>Figura 10.</b> Variación del <i>postforming</i> y el <i>blister</i> respecto a las proporciones de resina de triazona en la mezcla.	<b>54</b>
<b>Figura 11.</b> Variación de la absorción de agua en peso y en calibre respecto a las proporciones de resina de triazona en la mezcla.	<b>55</b>

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>ANEXO A</b> Generalidades de los laminados decorativos de alta presión.	<b>66</b>
<b>ANEXO B</b> Aspectos analíticos y control de calidad de los laminados. Definición y procedimiento.	<b>70</b>
<b>ANEXO C</b> Aspectos analíticos y control de calidad de la resina fenólica como producto final.	<b>73</b>
<b>ANEXO D</b> Determinación de la proporción de mezcla.	<b>77</b>
<b>ANEXO E</b> Caracterización de la resina fenólica modificada.	<b>78</b>

## INTRODUCCIÓN

Una de las principales aplicaciones de los laminados decorativos de alta presión, producidos en la empresa **LAMITECH S.A.** de Cartagena, se encuentra en la fabricación de muebles, en donde se emplean para recubrir el material base o sustrato, que por lo general es un módulo de madera aglomerada.

Algunos laminados se producen para recubrir superficies planas donde los extremos tienen bordes curvos o elípticos; si este laminado una vez aplicado sobre estos bordes se agrieta o se rompe, se convierte en un producto inaceptable para los consumidores.

Existen diversos factores que influyen en la postformabilidad de un laminado, tales como: la composición e impregnación del papel decorativo, las condiciones del ciclo de prensado, la aplicación del laminado mediante la correcta manipulación de las máquinas utilizadas para tal fin y las propiedades del núcleo de resina fenólica.

Los esfuerzos por optimizar la postformabilidad en los laminados, han estado dirigidos a modificar las variables que intervienen en las etapas de impregnación y prensado, con resultados poco satisfactorios que siguen arrojando inconformidades sobre la calidad de estos.

El proyecto desarrollado describe un procedimiento para mejorar la postformabilidad en los laminados, al modificar la resina fenólica utilizada para su fabricación, con la adición de una resina de úrea-formaldehído alterada con amoníaco o una amina primaria, la cual es conocida con el nombre de resina de triazona.

La resina de triazona actuaría de forma similar a un plastificante, brindándole mejores propiedades mecánicas a la resina fenólica, que resultan de gran utilidad en el producto terminado ya que incrementan su flexibilidad y por consiguiente su capacidad de ser postformado en diferentes radios de curvatura sin que se agriete.

Esta mejora genera más posibilidades de uso a los consumidores que emplean los laminados para fabricar muebles de cocina, oficina u otras aplicaciones comerciales; igualmente, disminuye los costos totales de materia prima utilizada en la elaboración de la resina fenólica que se requiere para la producción de laminados decorativos de alta presión.

## 1. CONCEPTOS TEÓRICOS

Los **Laminados Decorativos de Alta Presión (LDAP)**, son productos cuya fabricación se ha ido perfeccionando a través de los años. El capítulo descrito a continuación detalla los aspectos teóricos esenciales para el desarrollo de esta investigación, como un aporte a la evolución de los laminados. Algunas generalidades de los laminados se especifican en el Anexo A.

### 1.1 RESINA FENÓLICA

Los laminados se fabrican entre otros componentes, a partir de resina fenólica, la cual se produce industrialmente por la reacción entre el fenol y el formaldehído, empleando un catalizador alcalino tal como el hidróxido de sodio. Las relaciones molares típicas varían de 1,0 a 2,5 moles de formaldehído por mol de fenol, la cantidad de catalizador usada varía de 0,5% a 3% de la carga total de reactivos. Estos se hacen reaccionar bajo condiciones específicas, hasta que la reacción se completa. La resina fenólica puede ser utilizada en este estado o un solvente orgánico, como el metanol, se emplea para reducir su viscosidad y ayudar en la penetración al papel kraft. [6]

La resina fenólica presenta buena resistencia al calor, alta estabilidad dimensional debida al entrecruzamiento de sus enlaces, buena resistencia a la mayoría de los disolventes y excelentes propiedades dieléctricas.

La capacidad de la resina de soportar temperaturas muy altas es un factor importante para su utilización en los conos de proa de los cohetes, pues mientras los cerámicos se funden y los metales se vaporizan, los fenólicos se carbonizan manteniendo así una barrera de protección térmica.

Para la impregnación de papel, madera y otros rellenos, la resina fenólica se produce en forma de diluciones alcohólicas, las cuales se emplean para fabricar laminados para superficies de mostradores, revestimientos de paredes y laminadores industriales para piezas eléctricas, incluidos los circuitos impresos. El relleno impregnado se seca en un horno de aire para eliminar los volátiles y a continuación se comprime en caliente entre dos placas pulidas. [1]

## **1.2 LAS AMINO RESINAS**

Las amino resinas son polímeros termoestables, que se obtienen de la combinación de un aldehído con un compuesto que contenga un grupo amino (-NH<sub>2</sub>). Las resinas uréicas, constituyen alrededor del 80% de las amino resinas y las resinas melamínicas representan la mayoría del 20% restante.

Entre las principales atracciones de las amino resinas se encuentran, la solubilidad en agua previa al curado de la resina, lo que facilita su aplicación a muchos otros materiales; su transparencia, la cual le permite combinarse con tintas y pigmentos sin alterar sus apariencias. Posterior al curado se destacan su dureza, resistencia a la abrasión, sus propiedades dieléctricas y una excelente resistencia a los solventes.

Se elaboran a nivel industrial, para proveer una amplia variedad de productos. Los adhesivos representan el mercado más grande, se usan para hacer contrachapado, madera prensada a partir de aserrín y otros elementos ensamblados para carpintería. [6,9]

## **1.3 PLASTIFICACIÓN**

Los Plastificantes son materiales que al ser adicionados a un polímero, incrementan su flexibilidad y maquinabilidad, esto se debe a que el plastificante causa una disminución en la temperatura de transición vítrea (T<sub>g</sub>) del polímero y lo hace más fácil de operar.

La cantidad de plastificante adicionado al polímero en cuestión, puede variar dependiendo de la magnitud del efecto que se requiera. Por ejemplo, se puede hacer una pequeña adición de plastificante a un polímero, simplemente para mejorar su maquinabilidad cuando se encuentra fundido. Esto contrasta con las grandes adiciones de plastificante que se hacen en algunos polímeros, con la intención específica de alterar completamente sus propiedades.

Por ejemplo, el PVC sin plastificante se usa en el moldeo de tuberías y perfiles de ventanas; con un plastificante adicionado se utiliza en la elaboración de películas de PVC, para la conservación de alimentos y aislantes de PVC para cables y revestimientos.

**1.3.1 Vías de plastificación.** Existen dos métodos principales para ablandar un polímero y así lograr los marcados efectos de la plastificación. Un polímero rígido puede ser internamente plastificado, por medio de una modificación química de su estructura, de manera tal que la flexibilidad del polímero es incrementada. Alternativamente, un polímero rígido puede ser externamente plastificado por la adición de un agente plastificante apropiado.

La vía de plastificación externa es la más común, principalmente porque los costos generales son menores y además, el hecho de usar plastificantes externos permite al fabricante del producto final, un cierto grado de libertad en idear formulaciones para una gama de productos.

**1.3.2 Plastificantes externos.** Hay dos grupos distintos de plastificantes externos: los plastificantes primarios, que al adicionarse al polímero, causan un incremento en las propiedades de elongación y dureza del polímero; y los secundarios, que al agregarse al polímero, no provocan cambios tan marcados en estas propiedades y presentan compatibilidad limitada con el polímero. Sin embargo, cuando se adiciona al polímero en combinación con un plastificante primario, aumentan el desempeño de este último.

**1.3.3 Los mecanismos del efecto plastificante.** Diversas teorías, variando en detalle y complejidad, han sido propuestas con el fin de explicar el efecto plastificante. Algunas implican análisis detallados de polaridad, solubilidad, parámetros de interacción y la termodinámica del comportamiento del polímero, mientras que otras tratan la plastificación como una simple lubricación entre las cadenas del polímero, análoga a la lubricación de partes metálicas por aceite.

Se puede entender el proceso de plastificación más fácilmente, combinando ideas de cada teoría en una teoría general de plastificación, que incluya los siguientes aspectos:

1. El plastificante es mezclado con el polímero.
2. El plastificante penetra e hincha las partículas del polímero.
3. Los grupos polares del polímero son libres los unos de los otros.
4. Los grupos polares del plastificante interactúan con los grupos polares del polímero.
5. La estructura del polímero es re-establecida, con la total retención del plastificante.

Los pasos uno y dos pueden ser descritos como plastificación física y los detalles precisos de cómo se llevan a cabo dependen de la tecnología aplicada. La velocidad a la cual el paso dos ocurre depende de las propiedades físicas del plastificante, viscosidad, porosidad del plástico y tamaño de partícula.

Los pasos tres y cuatro se pueden interpretar como una plastificación química, puesto que la velocidad a la cual estos ocurren depende de las propiedades químicas, polaridad molecular, volumen molecular y peso molecular del polímero.

El paso cinco debe ser enfatizado con igual importancia que los anteriores, pues no importa lo rápido y fácil que ocurren los pasos del uno al cuatro; si el plastificante no es retenido en el producto final, el producto será catalogado como inservible. [6]

De acuerdo con la teoría de plastificación, la resina fenólica debe ser combinada con un aditivo que sea fácil de mezclar y compatible sin ser rechazado por la resina a largo y mediano plazo.

#### **1.4 AMINO RESINAS COMO MODIFICANTES**

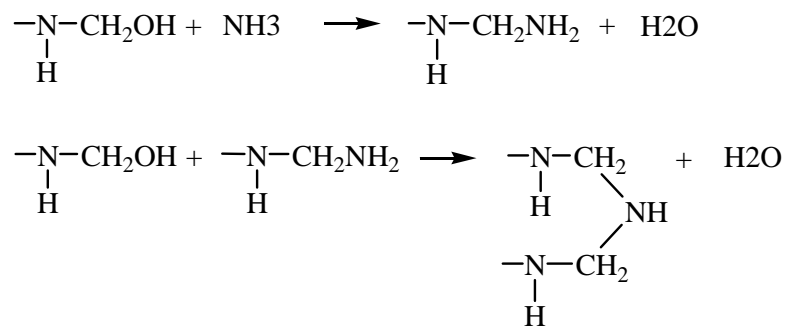
Con el fin de obtener laminados más postformables, se hace necesario modificar la resina fenólica con un plastificante que la ablande, proporcionándole propiedades plásticas.

Una modificación es una reacción química, en la que alguno o todos los radicales sustituyentes de un alto polímero, están reemplazados por otras entidades químicas. Resultando un marcado cambio en una o más propiedades del polímero sin destruir su identidad estructural. Estas reacciones no son generalmente estequiométricas. [2]

Algunas amino resinas se usan como aditivos para modificar las propiedades de otros materiales. Por ejemplo, una pequeña cantidad de amino resina adicionada a textiles imparte las familiares cualidades de lávese y úsese a prendas de vestir; las llantas de automóviles son fortalecidas por medio de amino resinas mejorando la adhesión del caucho a los cables de la llanta; un bote de velas de carreras tiene más posibilidades de ganar debido a que las velas de dacrón poliéster han sido tratadas con amino resina. Los productos moldeados a base de amino resina se usan para partes de diseños eléctricos, tapas de botellas y botones. [9]

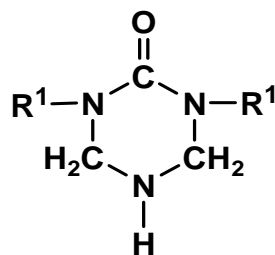
**1.4.1 Resina de triazona.** La resina de triazona hace parte de la familia de las amino resinas, ya que es considerada como una resina uréica alterada con amoníaco o con una amina primaria.

El amoníaco es muy reactivo hacia los compuestos hidróximetilolados obtenidos a partir de úrea y formaldehído, de igual forma reacciona con el grupo hidróximetil para formar un grupo amino o imino, eliminando agua, como se observa a continuación:



La reacción de úrea y aldehídos con aminas primarias da como resultado compuestos cíclicos (triazonas) del tipo mostrado en la Figura 1, donde R<sup>1</sup> puede ser el grupo hidróximetilo. [6,9]

Figura 1. Tetrahidro-5-alkil-s-triazona.



Una propiedad interesante de la resina de triazona, es su capacidad de resistir altas temperaturas por períodos considerables de tiempo antes de tornarse termoestable e infusible.

**1.4.2 Elaboración de la resina de triazona.** La preparación de la resina de triazona consiste básicamente en calentar sus componentes en un reactor con agitación continua. Generalmente, la úrea y el formaldehído son cargados al reactor en primera instancia, la úrea se disuelve sobre el formaldehído provocando una reacción endotérmica que disminuye la temperatura de la masa reaccionante, posteriormente se adiciona la amina primaria o el amoníaco, generando un aumento en la temperatura del sistema.

Este orden de adición se recomienda por razones de seguridad, ya que la adición inmediata de la amina sobre el formaldehído originaría una exotermia más difícil de controlar.

El orden de adición puede ser variado, así como la relación molar de los reactivos para obtener un rango de proporciones de compuestos cíclicos a lineales. La resina de triazona es preparada generalmente con menos de la cantidad estequiométrica de la amina, esto se ve representado no solo en una resina menos costosa, sino que además presenta mejores propiedades. La resina comercial se encuentra como una solución al 50% de sólidos en agua.

Para la elaboración de la triazona puede usarse una amplia variedad de aminas, sin embargo, por razones de costo se recomienda usar amoníaco. Otra alternativa es emplear monoetanolamina, por su ventaja de no tener un olor tan penetrante como el del amoníaco. [6,9]

### **1.4.3 Modificaciones de la resina fenólica con resina de triazona**

- **Triplex.** Generalmente la resina de triazona es adicionada a la resina fenólica utilizada en la fabricación de triplex, para proporcionarle buen rendimiento como adhesivo. Esta resina fenólica se prepara tomando una relación molar de 1,8 a 2,4 moles de formaldehído por mol de fenol y un nivel de catálisis alcalina de 0,5 a 1 mol de catalizador por mol de fenol.

La cantidad de resina de triazona que se adiciona al adhesivo, con base en el contenido de sólidos de las resina fenólica, se encuentra entre 1% y 20% (p/p).

- **Tableros de partículas orientadas.** Se conoce que la dimetilolúrea no es un compuesto estable, puesto que en presencia de otras sustancias, donará sus dos grupos metilos a compuestos más estables como el fenol, amoníaco, melamina, etc. Esto deja úrea libre en la resina, reduciéndose la durabilidad de los tableros de partículas orientadas significativamente.

Fue descubierto que la resina de triazona es mucho más estable y su uso proporciona mayor durabilidad sobre las resinas uréicas.

La resina de triazona se usa a niveles tan altos como 10% sin un impacto significativo sobre el comportamiento del producto, cuando es mezclada con la resina o utilizada como colector de formaldehído para prevenir emisiones.

- **Resinas sintéticas para saturación de papel.** La resina de triazona puede ser adicionada a las resinas de saturación tipo fenol-formaldehído. Las resinas de saturación se aplican en papeles para filtros de aceite, papel *overlay* y aplicaciones con rodillo.

La resina de triazona actúa como un plastificante “suavizando” la cura de la resina fenólica. Los beneficios del uso de la resina de triazona incluyen el incremento en la flexibilidad de los filtros de aceite, permitiendo que el papel sea más fácil de plegar. Además, el papel en el cartucho del filtro puede resistir mayores esfuerzos permitiendo una mayor durabilidad.

En el papel *overlay* y en aplicaciones de rodillo, una cura más suave de la resina permite una maquinabilidad más fácil, es decir, menos resquebrajamiento durante la manipulación y corte. En papeles para filtros de aire, el alto nivel de nitrógeno de la resina de triazona reducirá la inflamabilidad del papel filtro. En todas estas aplicaciones de saturación de papel, se obtienen niveles más bajos de fenol libre.

La resina de triazona en la resina fenol-formaldehído, utilizada en la elaboración de laminados decorativos de alta presión, actuaría como un plastificante ablandando la cura de la resina. Esto haría a los laminados más postformables y resistentes al astillamiento y la ruptura durante su paso por las etapas de maquinado.

#### **1.4.4 Reactivos utilizados para la elaboración de la resina de triazona**

- **Hidróxido de amonio** (amoníaco en solución, hidrato de amonio)  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Propiedades: líquido incoloro; olor fuerte. Las concentraciones de las soluciones varían en un rango de hasta 30% de amoníaco.

Contenedores: camiones de tanque de acero, carro tanques, barcasas.

Riesgos: altamente tóxico por ingestión; ambos líquido y vapor son extremadamente irritantes, especialmente en los ojos.

Usos: textiles, manufactura de rayón, caucho, fertilizantes; refrigeración; polimerización por condensación; fotografía (desarrollo de imágenes latentes); fármacos; jabones de amoníaco; lubricantes; madera a prueba de fuego; elaboración de tintas; explosivos; cerámicos; compuestos de amoníaco; saponificación de grasas y aceites; síntesis orgánica; detergentes; aditivo de alimentos; limpiador doméstico.

- **Monoetanolamina** (Etanolamina; colamina; 2-aminoetanol; 2-hidroxi-etilamina)  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ .

Propiedades: líquido incoloro, moderadamente viscoso. Olor amoniacal. Base fuerte. Miscible con agua; soluble en tetracloruro de carbono, alcohol, cloroformo. Gravedad específica 1.0179 (20 / 20 °C); punto de ebullición 170.5 °C; punto de congelamiento 10.5 °C; presión de vapor 0.48 mmHg (20°C). Combustible.

Obtención: La reacción de óxido de etileno y amoníaco produce una mezcla de mono-, di-, y trietanolaminas.

Contenedores: latas de 1 y 5 galones; barriles de 55 galones; carro tanques.

Riesgos: Altamente tóxico; irritante fuerte. Tiene una tolerancia de 3 ppm en el aire.

Usos: Lavado de gases ácidos ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ), especialmente en síntesis de amoníaco, de corrientes de gas; detergentes no iónicos usados en lavado en seco, tratamiento de lanas, pinturas de emulsión, intermedios químicos; fármacos; inhibidores de corrosión.

- **Formaldehído** (oximetileno; Aldehído fórmico; metanal)  $\text{HCHO}$ . Un gas fácilmente polimerizable. Es comercialmente ofrecido como una solución acuosa de 37 a 50%, la cual puede contener hasta 15% de metanol para inhibir la polimerización.

Propiedades (gas): Olor muy picante. Gravedad específica 0.82; punto de ebullición -19 °C; punto de fusión -118 °C; punto de auto ignición 430 °C; soluble en agua y alcohol. (Solución acuosa al 37% con 15% de metanol): Punto de ebullición 101 °C; punto de inflamación 50 °C; (libre de metanol): punto de ebullición 101 °C; punto de inflamación 85 °C. Gravedad específica 0.82.

Obtención: Oxidación de metanol sintético o gases de petróleo de baja ebullición tales como propano y butano. Plata, cobre o un óxido de hierro-molibdeno son los catalizadores más comunes.

Grados: Soluciones acuosas: 37%, 44%, 50% inhibidas (con porcentajes variables de metanol) o desestabilizadas (libres de metanol); además disponible en solución en n-metanol, o úrea.

Contenedores: Barriles, botellas, bombonas, carro tanques, camiones.

Usos: Resina uréicas y melamínicas; Resinas fenólicas; etilen glicol; pentaeritritol; hexametilentetramina; fertilizantes; acetales; otros químicos; colorantes, medicina (desinfectantes, germicidas); fluidos para embalsamar; preservativos; agentes endurecedores; agentes reductores, como en la recuperación de oro y plata; inhibidor de la corrosión en pozos de petróleo; posible condensación de azúcares y otros carbohidratos para uso alimenticio (experimental).

Riesgos: Altamente tóxico por inhalación o contacto con la piel, tolerancia en el aire de 5ppm. Riesgo moderado de fuego.

- **Úrea** (carbamida)  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Se presenta en la orina y otros fluidos corporales. Fue el primer compuesto orgánico en ser sintetizado (Wöhler, 1828).

Propiedades: Cristales blancos o polvo, casi inodoro; sabor salino; gravedad específica 1.335; punto de fusión  $132.7\text{ }^\circ\text{C}$ ; se descompone antes de la ebullición. Soluble en agua, alcohol y benceno, ligeramente soluble en éter, casi insoluble en cloroformo. Baja toxicidad. No combustible.

Obtención: Amoníaco líquido y dióxido de carbono líquido a 1750 – 3000 psi y  $160\text{ – }200\text{ }^\circ\text{C}$  reaccionan para formar carbamato de amonio,  $\text{NH}_4\text{CO}_2\text{NH}_2$ , el cual se descompone a una presión menor (acerca de 80 psi) en úrea y agua. Diversas variaciones del proceso incluyen de paso único, reciclo parcial y reciclo total.

Contenedores: bolsas de 80 y 100 lb.; tambores de 100 y 225 lb.

Usos: Fertilizante; alimento para animales; intermedio químico; estabilizador en explosivos; medicina; adhesivos; separación de hidrocarburos; producción de ácido sulfámico; agentes a prueba de fuego; modificador de viscosidad en revestimientos a base de caseína o almidón para papeles. [2]

## **1.5 MEJORAMIENTO DE LA POSTFORMABILIDAD DEL LAMINADO DECORATIVO**

Existen diversos factores que afectan la postformabilidad de un laminado decorativo de alta presión, algunas de las mejoras más importantes realizadas a esta propiedad se mencionan a continuación. Para empezar hay que establecer que no se han realizado estudios sobre la postformabilidad del laminado, donde se cambie la composición de los papeles decorativos existentes a papeles de mayor contenido de celulosa o de mayor gramaje, porque se aumentan los costos de materia prima.

Una de las principales mejoras fue utilizar aditivos, que variasen el pH final de la resina melamínica empleada en la impregnación de los papeles decorativos. Mediante estudios previos se estableció que la adición de tales aditivos puros a la resina melamínica no produce resultados satisfactorios sobre la calidad mecánica del laminado. En contraste, la utilización de mezclas de trietanolamina y cloruro de magnesio mejoran levemente la postformabilidad del laminado dependiendo de la cantidad que se agregue. Igualmente, en otros estudios se manipularon las variables de los procesos de impregnación y de prensado para los diferentes papeles decorativos, con el fin de mejorar la postformabilidad del laminado. [4,5]

La mejora más significativa ha sido la utilización de azúcar como plastificante externo de las resinas melamínica y fenólica, esta mejora fue conveniente ya que se obtuvieron laminados con muy buena postformabilidad, siendo el azúcar un producto de fácil adquisición en el mercado.

## **2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

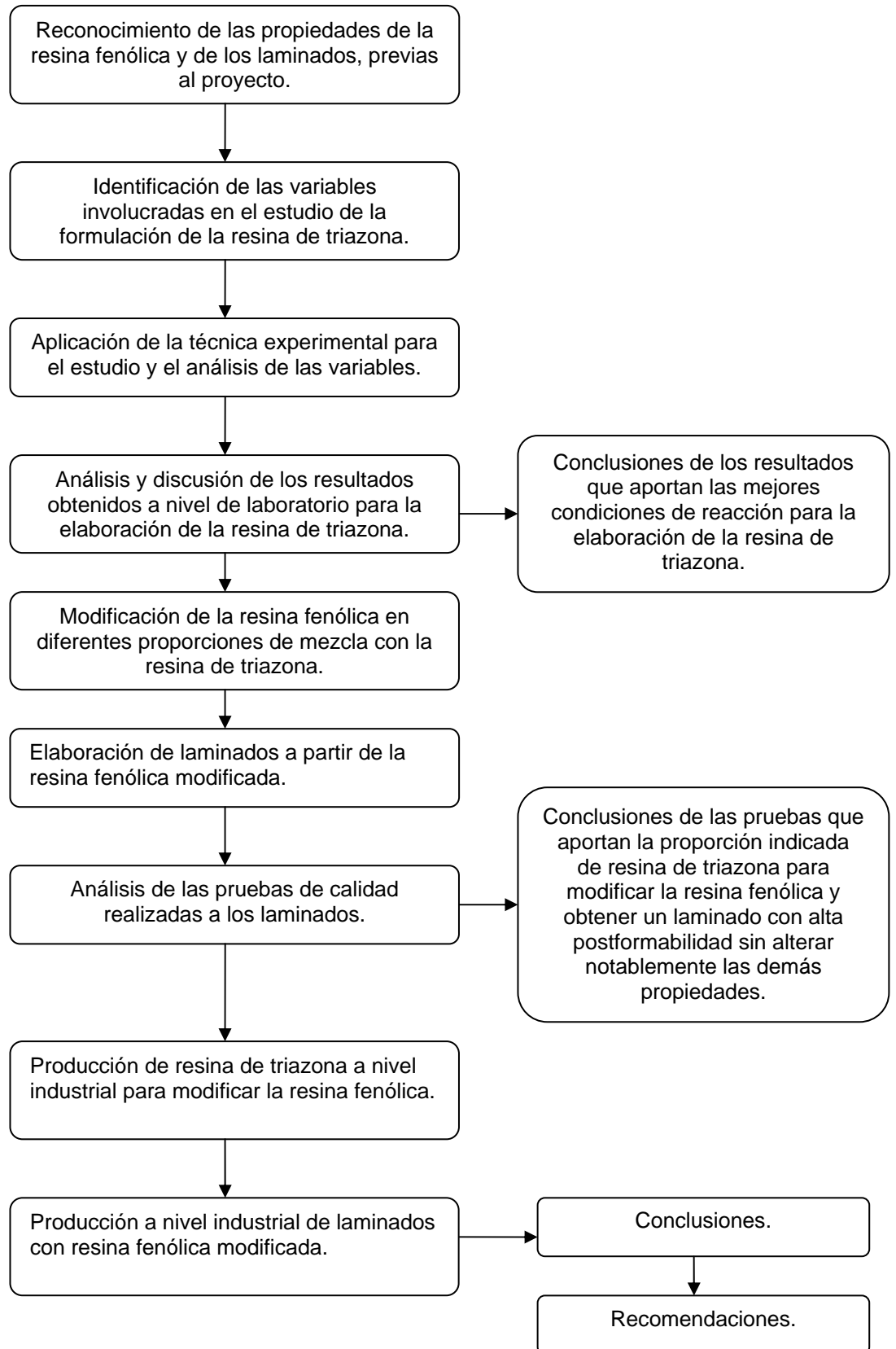
### **2.1 METODOLOGÍA**

En el desarrollo del proyecto, se realizó inicialmente un reconocimiento de las condiciones del proceso de elaboración de la resina fenólica y de los laminados decorativos de alta presión; con el fin de identificar los resultados obtenidos, en los análisis de las propiedades de los laminados existentes en la fábrica, en especial, la postformabilidad, la resistencia al ampollamiento y la absorción de agua hirviente, (Ver Anexo B).

Posteriormente, se hizo un estudio experimental a nivel de laboratorio para determinar la formulación de la resina de triazona. En este estudio, se identificaron las variables más influyentes en su elaboración. Siguiendo los parámetros de un plan experimental, se realizaron las respectivas perturbaciones de estas variables, para así conseguir resultados y tendencias de comportamiento, que permitieran detallar un procedimiento de elaboración a nivel industrial de ésta como modificante de la resina fenólica.

Luego de determinar el procedimiento de elaboración de la resina de triazona, se ejecutaron diferentes ensayos para establecer que proporción de resina de triazona debería ser mezclada con la resina fenólica y mejorar la postformabilidad de los laminados. La escogencia de la proporción de mezclado se efectuó de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis hechos sobre los laminados elaborados con ésta mezcla.

La metodología utilizada se muestra en la Figura 2.



**Figura 2. Metodología utilizada.**

## 2.2 PROPIEDADES DE LA RESINA FENÓLICA Y DE LOS LAMINADOS, PREVIAS AL PROYECTO

Con el fin de asentar un parámetro comparativo que permita identificar los cambios provocados por la modificación de la resina fenólica, se revisaron los resultados previos.

Las propiedades de la resina fenólica, se evalúan de acuerdo con los análisis de calidad ya implementados (Ver Anexo C). Estos valores se indican en la Tabla 1.

**Tabla 1. Propiedades de la resina fenólica.**

<b>Propiedad</b>	<b>Rango de especificación</b>
<b>% sólidos</b>	67 – 71
<b>pH a 25 °C</b>	8, 4 – 8, 6
<b>Viscosidad a 30 °C (cP)</b>	250 – 300
<b>Densidad a 25 °C (g/ml)</b>	1, 20 – 1, 22
<b>Tiempo de gel a 135 °C (min)</b>	12 – 14
<b>% tolerancia al agua a 25 °C</b>	120 – 130
<b>Apariencia</b>	Color ámbar rojizo, libre de sólidos en suspensión

Las pruebas tienen valores comprendidos en intervalos, con la finalidad de otorgar un cierto grado de tolerancia al analista que ejecuta las pruebas, la obtención de estos datos ha sido netamente empírica y especificada por el departamento de control de calidad de la empresa. [5,10]

Las pruebas que se efectúan sobre los laminados para garantizar su calidad, se basan en las situaciones a las cuales el producto será sometido una vez se encuentre supliendo las diversas necesidades de los consumidores.

En la Tabla 2, se presentan los resultados de estas pruebas, según las normas de calidad para los laminados decorativos de alta presión (Ver Anexo B).

**Tabla 2. Resultados de las pruebas de calidad efectuadas a los laminados decorativos de alta presión.**

PRUEBAS DE CALIDAD		ESPECIFICACIONES SEGÚN LA REFERENCIA		
		0888	2108	2109
% máximo de absorción de agua hirviendo en peso.		12	12	12
% máximo de absorción de agua hirviendo calibre.		14	14	14
Resistencia mínima al ampollamiento ( <i>Blister</i> ) en segundos.		15	15	15
Postformabilidad para un radio de curvatura de 3 mm.	a 149°C	No	No	No
	a 163°C	No	No	No
Postformabilidad para un radio de curvatura de 4,5 mm.	a 149°C	No	No	No
	a 163°C	No	No	No
Postformabilidad para un radio de curvatura de 6 mm.	a 149°C	No	No	No
	a 163°C	Si	Si	Si

Los resultados expuestos en la Tabla 2, se refieren estrictamente a los laminados tipo **F8** que son los laminados producidos con el fin de ser postformados (Ver anexo A), el ciclo de prensado empleado para moldear por compresión estos laminados fue de 20 minutos a 150°C, este ciclo fue el mismo que se utilizó para moldear los laminados experimentales.

Igualmente en la Tabla 2, se especifican las referencias de los tres papeles decorativos que originan más problemas al momento de ser postformados. Con el objetivo de evaluar los efectos de la modificación en una condición extrema, los experimentos de este proyecto se evaluaron solo en laminados fabricados con estas referencias.

Las propiedades fundamentales de estos papeles se indican en la Tabla 3. También es conveniente mencionar que los laminados elaborados con estos papeles representan una cantidad considerable de los laminados que son ofrecidos en el mercado y la presencia de problemas en la calidad de éstos genera pérdidas significativas a la empresa.

**Tabla 3. Propiedades de los papeles decorativos ensayados.**

<b>Papel decorativo</b>	<b>Número de referencia</b>	<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>pH</b>	<b>% Cenizas</b>
<b>Vainilla</b> (unicolor claro)	2109	125	6,91	40,0
<b>Humo</b> (unicolor intermedio)	2108	80	7,41	33,0
<b>Lapislázuli</b> (unicolor oscuro)	0888	106	8,10	33,8

### 2.3 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

El proceso de elaboración de la triazona es condicionado por diferentes variables, las cuales son dependientes entre sí. Para facilitar la etapa experimental se escogieron variables independientes que fueran fácilmente medibles y que representaran lo mejor posible las condiciones de operación y las etapas del proceso de elaboración de la triazona a nivel industrial.

Los experimentos fueron ejecutados con base en las siguientes variables independientes:

- Relación molar de reactivos.
- Temperatura de reacción.
- Tiempo de reacción.

Definiendo temperatura de reacción como la temperatura máxima en que son puestos a reaccionar los reactivos y el tiempo de reacción como el tiempo contabilizado desde la adición del amoníaco o de la amina primaria hasta la terminación de la reacción.

Las variables de respuesta o dependientes, sobre las cuales se examinaron los efectos producidos por las perturbaciones realizadas en las variables independientes, se dividen en dos tipos:

- Cuantitativas: la más importante es el **porcentaje de sólidos**, que es tomado como una medida indirecta de la conversión, indicando el grado de polimerización de la resina (Ver Anexo C).
- Cualitativas: **tiempo de vida útil** de la resina y apariencia.

Una vez se identificaron las variables más influyentes en el proceso de elaboración de la resina de triazona, se procedió a desarrollar un plan de experimentos para determinar la formulación y las condiciones óptimas de reacción.

## **2.4 PLAN DE EXPERIMENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA RESINA DE TRIAZONA**

El plan de experimentos radicó en combinar los diferentes niveles de las variables independientes de una manera aleatoria, con el fin de apreciar los efectos sobre el porcentaje de sólidos y demás propiedades.

Para cada una de las variables independientes se seleccionaron tres niveles a ensayar, los cuales se presentan en la Tabla 4, donde se designa la relación molar de reactivos con la notación **U : F : A**, (**U** = úrea, **F** = formaldehído y **A** = amoníaco o amina primaria).

**Tabla 4. Niveles de experimentación de las variables independientes.**

<b>Variables independientes</b>	<b>Niveles de las variables</b>		
<b>Relación molar de reactivos (U : F : A)</b>	1 : 2 : 0,5	1 : 2 : 0,7	1 : 3 : 1
<b>Temperatura de reacción (°C)</b>	75	85	95
<b>Tiempo de reacción (minutos)</b>	45	60	80

Estos niveles se escogieron siguiendo las recomendaciones de la literatura [3, 6, 9], teniendo en cuenta las limitaciones de operación a nivel industrial; esto con el objeto de realizar un escalamiento adecuado del proceso, esperando una buena reproducibilidad en los resultados a nivel industrial, que cumplan con las normas de seguridad y que no afecten los tiempos de producción de las resinas.

Algunas de las limitaciones de operación a nivel industrial o efectos operacionales que deben ser tomadas en cuenta son:

- La temperatura máxima alcanzada en la reacción no debe superar los 98°C, valor máximo permisible. Para alcanzar temperaturas más altas, el reactor fenólico debe ser presurizado, situación considerada de alto riesgo.
- El tiempo de obtención de la resina no debe exceder las 2 horas, de lo contrario el proceso sería muy lento y no supliría la demanda de resinas necesarias para la impregnación de papeles. Este tiempo es contabilizado desde la carga de los reactivos hasta el enfriamiento de la resina.
- Otros factores que se deben tener en cuenta son: el orden de adición de los reactivos y la velocidad con que son adicionados al reactor.

La técnica de diseño experimental utilizada fue el diseño de cuadrados latinos [7], que radica en combinar cada tiempo de reacción una sola vez en cada relación molar y también una sola vez con cada temperatura de reacción. Mediante la técnica se generan tres arreglos de experimentos, uno de los cuales se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5. Diseño de cuadrado latino para la elaboración de la triazona a diferentes niveles de experimentación.**

Relación molar de reactivos	Temperatura de reacción (°C)		
	75	85	95
<b>1 : 2 : 0,5</b>	<b>A</b> (% Sólidos 1)	<b>B</b> (% Sólidos 4)	<b>C</b> (% Sólidos 7)
<b>1 : 2 : 0,7</b>	<b>B</b> (% Sólidos 2)	<b>C</b> (% Sólidos 5)	<b>A</b> (% Sólidos 8)
<b>1 : 3 : 1</b>	<b>C</b> (% Sólidos 3)	<b>A</b> (% Sólidos 6)	<b>B</b> (% Sólidos 9)

Obsérvese que el diseño es un arreglo cuadrado y que los tres tiempos de reacción se denotan por las letras latinas **A**, **B**, y **C**, para 45 minutos, 60 minutos y 80 minutos respectivamente, estas letras van acompañadas del valor correspondiente de porcentaje de sólidos alcanzado para el experimento.

El número total de experimentos conseguidos con éste y el resto de arreglos cuadrados es 27, de esta manera se abarcan las posibles combinaciones de los niveles en las variables.

## 2.5 PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LA RESINA DE TRIAZONA

Los ensayos de laboratorio para elaborar la triazona se llevaron a cabo en un reactor *batch* de 2,5 kg de capacidad, provisto de un agitador, sistema de intercambio de calor y un sensor de temperatura que permitía monitorear la temperatura del sistema.

El calentamiento se efectuaba por medio de un aceite térmico, el cual estaba depositado en un tanque que contenía dos resistencias controladas, haciéndose circular a través de la chaqueta del reactor debido a la acción de una bomba neumática.

Como punto de partida para la elaboración de la resina de triazona se escogió un procedimiento experimental general que se reporta en la literatura [5,6, 9] y comprende los siguientes pasos:

1. Carga de la solución de formaldehído al 44% al reactor.
2. Inicio de agitación y carga de una cantidad de úrea, que mantenga la relación molar con el formaldehído, establecida para el experimento.
3. Posterior a la dilución total de la úrea sobre la solución de formaldehído, se carga la amina primaria manteniendo la relación molar de amina a úrea, definida para el experimento.
4. Posteriormente, la solución resultante se calienta hasta alcanzar la temperatura de reacción deseada para el experimento, el sistema de calentamiento del equipo permite controlar la temperatura de masa en diferentes valores, lo que facilita realizar perturbaciones sobre esta variable.

5. La masa reaccionante se mantiene a esta temperatura durante un tiempo previamente establecido, contabilizado a partir de la adición de la amina.
6. Al transcurrir este tiempo, la reacción se finaliza mediante enfriamiento.
7. Se realizan los respectivos ensayos de caracterización a la resina obtenida en el experimento.

A cada una de las resinas elaboradas se les monitoreó el **tiempo de vida útil**, definido como el tiempo en que la apariencia de la resina no sufre ningún cambio, sin que esta requiera de un ajuste final de pH o de condiciones especiales de almacenamiento, este cambio en la apariencia puede ser la presencia de un precipitado o el enturbiamiento súbito de la resina.

Las cantidades en gramos de reactivos a utilizar en la etapa experimental para las distintas relaciones molares, se indican en la Tabla 6, donde la relación molar de reactivos se denota como **U : F : A**.

**U** = úrea, **F** = formaldehído y **A** = amoníaco o monoetanolamina.

**Tabla 6. Cantidades de reactivos utilizadas para los diferentes experimentos.**

Reactivo	Cantidad en gramos, dada la relación molar (U : F : A).		
	1 : 2 : 0,5	1 : 2 : 0,7	1 : 3 : 1
<b>Úrea 98.57%</b>	300	300	300
<b>Formaldehído 44%</b>	672	672	1008
<b>Amoníaco 25%</b>	168	235	335
<b>Monoetanolamina 99.5%</b>	151	212	302

## **2.6 PROCEDIMIENTO PARA LA MODIFICACIÓN DE LA RESINA FENÓLICA**

En esta etapa, la resina fenólica se mezcló en diferentes proporciones con la resina de triazona, tomando como base el porcentaje de sólidos de cada uno de los componentes de la mezcla (Ver Anexo D), fabricando con estas, laminados a los cuales se les realizaron las correspondientes pruebas de calidad.

El procedimiento experimental que se utilizó para la modificación de la resina fenólica y la elaboración de los laminados decorativos de alta presión, comprende los siguientes pasos:

1. La resina fenólica y el modificante son mezclados, a una temperatura de 30°C con agitación continua hasta obtener una mezcla homogénea.
2. Caracterización de la mezcla.
3. Impregnación del papel kraft.
4. Armado de los colchones que constan de tres papeles kraft previamente impregnados y un papel decorativo en la parte superior impregnado con resina melamínica.
5. El conjunto de papeles armados es llevado a la prensa piloto para completar el curado de la resina.
6. Al terminar el ciclo de prensado las láminas son lijadas.
7. Se realizan las diferentes pruebas de calidad del laminado, haciendo énfasis en las propiedades de postformabilidad, resistencia al ampolamiento y absorción de agua hirviente.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se presentan a continuación los resultados obtenidos durante la ejecución de la etapa experimental, así como las conclusiones más relevantes obtenidas a partir de estos.

#### 3.1 CONDICIONES DE REACCIÓN DE LA RESINA DE TRIAZONA

Durante la determinación de las mejores condiciones de reacción para elaborar la resina de triazona, se obtuvieron diversos resultados que se presentan a continuación en gráficas.

Las gráficas se trazaron en tres ejes: la ordenada principal, donde se ubica el tiempo de vida útil de la resina de triazona; la ordenada secundaria, donde se encuentra el porcentaje de sólidos y la abscisa, donde se sitúa la temperatura de reacción. Cada gráfica corresponde a un determinado tiempo de reacción.

La nomenclatura utilizada para referenciar los resultados de tiempo de vida útil y las abreviaturas asignadas a cada relación molar, se muestran en la Tabla 7 y la Tabla 8 respectivamente.

**Tabla 7. Valores representativos para el tiempo de vida útil.**

Parámetro	Tiempo de vida útil
1	Menor de 3 horas
2	Entre 3 y 12 horas
3	Entre 12 y 24 horas
4	Superior a 24 horas

**Tabla 8. Valores representativos para las relaciones molares.**

<b>Parámetro</b>	<b>Relación molar Úrea : Formaldehído : Amina</b>
RM-1	1 : 2 : 0,5
RM-2	1 : 2 : 0,7
RM-3	1 : 3 : 1

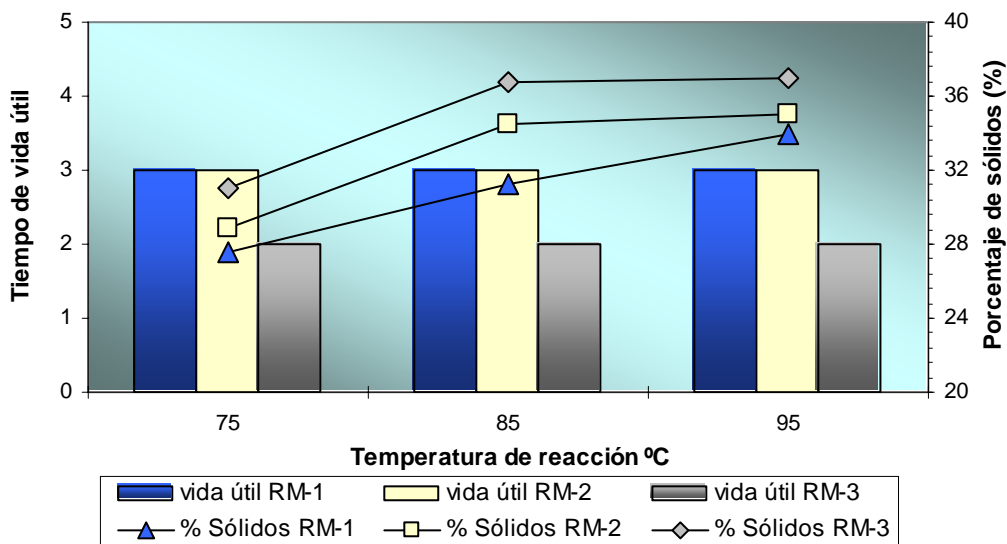
Los resultados de monitoreo para el tiempo de vida útil se consideraron buenos cuando se obtuvieron valores mayores de 12 horas, se asignó este valor como el tiempo límite en el que la resina puede ser utilizada sin que sus propiedades físicas varíen. Este valor se escogió de acuerdo con los requerimientos de operación a nivel industrial.

### **3.1.1 Amoníaco como reactivo en la formulación de la resina de triazona.**

Esta etapa comprende aquellos experimentos que utilizaron úrea, formaldehído y amoníaco como reactivos.

La Figura 3, muestra los resultados del primer grupo de experimentos para un tiempo de reacción de 45 minutos, las temperaturas de reacción convenidas y las relaciones molares RM-1, RM-2 y RM-3.

**Figura 3. Variación del porcentaje de sólidos y el tiempo de vida útil con respecto a la temperatura de reacción para diferentes relaciones molares y un tiempo de reacción de 45 minutos.**

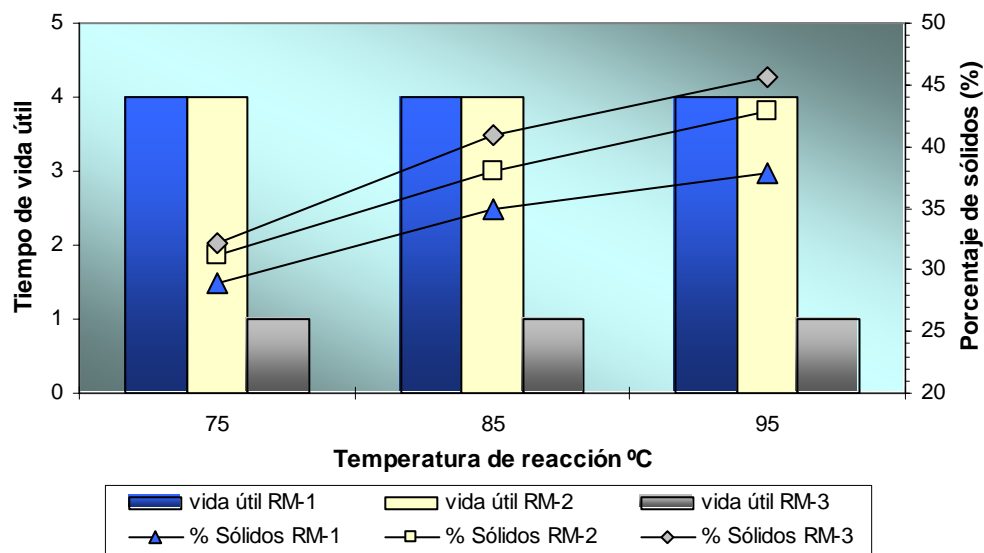


En la Figura 3, se observa que: la relación molar RM-3 genera resinas con mayor porcentaje de sólidos, pero a su vez estas presentan tiempos de vida útil muy bajos, en contraste la relación molar RM-1 genera resinas con menor valor de porcentaje de sólidos.

Por lo tanto, para este grupo de experimentos las mejores condiciones de reacción son: relación molar RM-2 y 95°C, con las que se alcanza un porcentaje de sólidos y un tiempo de vida útil aceptables para la resina elaborada.

Posteriormente, el tiempo de reacción se extendió en quince minutos, buscando incrementar el valor final del porcentaje de sólidos. La Figura 4 muestra los resultados de estos ensayos.

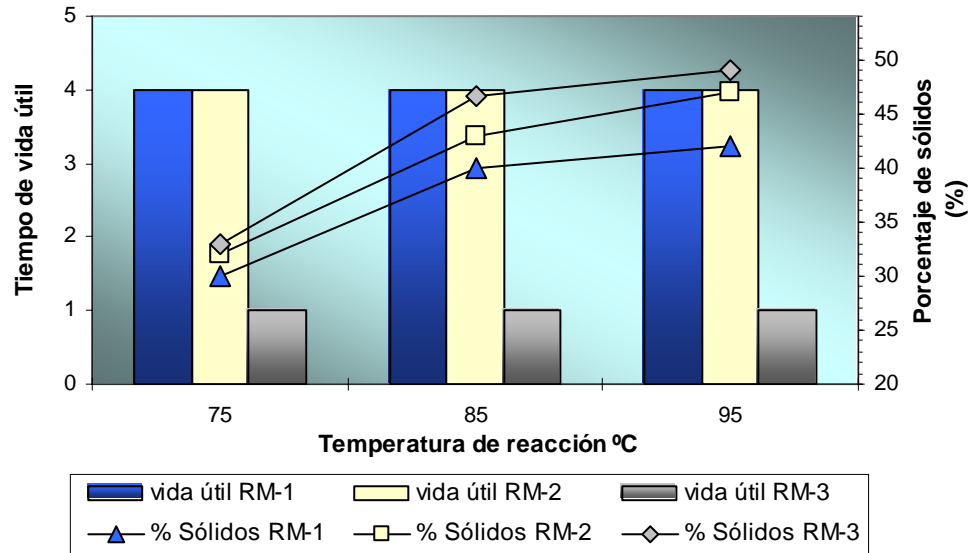
**Figura 4. Variación del porcentaje de sólidos y el tiempo de vida útil con respecto a la temperatura de reacción para diferentes relaciones molares y un tiempo de reacción de 60 minutos.**



El conjunto de resultados mostrados en la Figura 4 presenta la misma tendencia que el primer grupo experimentos desarrollados a 45 minutos de reacción, es decir, la relación molar RM-2 y la temperatura de 95°C continúan arrojando la resina con las propiedades más favorables.

Un aumento en el tiempo de reacción generará resinas con un mayor porcentaje de sólidos, para todas las relaciones molares ensayadas, aunque el tiempo de vida útil de la resina elaborada a partir de la relación RM-3 disminuye drásticamente. Finalmente, se realizó un tercer grupo de experimentos donde se extendió el tiempo de reacción a ochenta minutos, cuyos resultados son exhibidos en la Figura 5.

**Figura 5. Variación del porcentaje de sólidos y el tiempo de vida útil con respecto a la temperatura de reacción para diferentes relaciones molares y tiempo de reacción de 80 minutos.**



Con este último grupo de experimentos se concluye que:

1. No es viable trabajar a una temperatura de reacción de 75°C, debido a que se alcanzan porcentajes de sólidos muy bajos, independiente de la relación molar o del tiempo de reacción que se utilicen.
2. Respecto al porcentaje de sólidos en la resina obtenida, la relación molar que arroja mejores resultados es la RM-3, sin embargo, tendrá un tiempo de vida útil muy bajo.
3. Al comparar las relaciones molares RM-1 y RM-2 se ve claramente que aunque ambas proporcionan resinas con tiempos de vida útil aceptables, la relación molar RM-2 genera resinas con un porcentaje de sólidos mayor.

4. A medida que se aumenta el tiempo de reacción, el contenido de sólidos de la resina se incrementa. Sin embargo, no se realizaron experimentos a mayores tiempos de reacción, porque las condiciones operacionales del proceso tienen como limitante máxima, un tiempo de reacción de 90 minutos.

En general, las mejores condiciones de reacción para la elaboración de la resina de triazona son:

- Los componentes de la resina deben ser puestos a reaccionar en una relación molar de úrea, formaldehído y amoníaco **U : F : A = 1 : 2 : 0,7**.
- La temperatura de reacción máxima debe ser **95°C**.
- El tiempo de reacción debe ser **80 minutos**, contabilizados a partir de la adición del amoníaco.

La caracterización de la resina obtenida bajo estas condiciones se indica en la Tabla 9.

**Tabla 9. Caracterización de la resina de triazona obtenida bajo condiciones óptimas de reacción elaborada con amoníaco.**

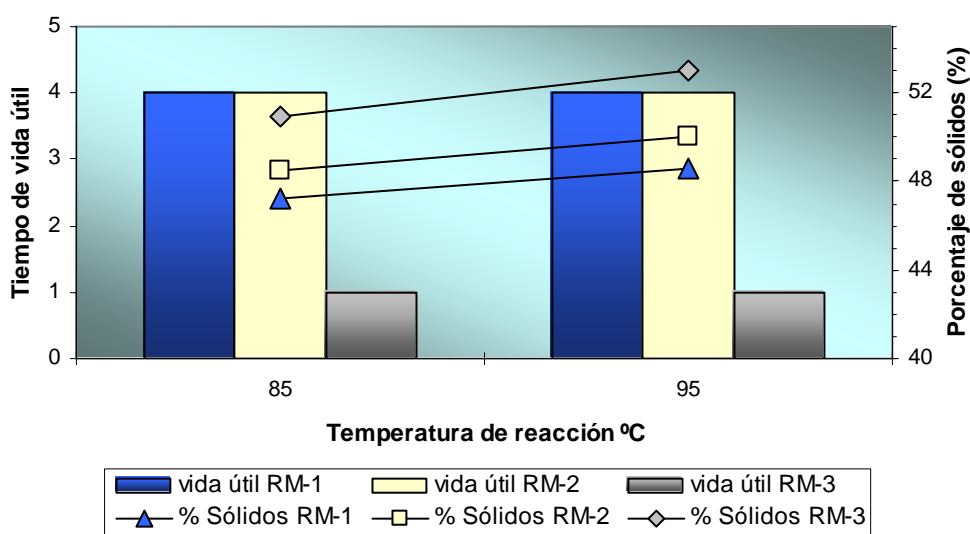
Propiedad	Rango de especificación
% sólidos	45,00 – 47, 40
pH a 25 °C	8, 10
Viscosidad a 30 °C (cP)	25
Densidad a 25 °C (g/ml)	1, 165
Tiempo de gel a 135 °C (min)	no aplica
% tolerancia al agua a 25 °C	no aplica
Apariencia	incolora, sin sólidos en suspensión

**3.1.2 Monoetanolamina como reactivo en la formulación de la resina de triazona.** Esta etapa comprende aquellos experimentos que utilizaron úrea, formaldehído y monoetanolamina como reactivos.

No se realizaron experimentos con 45 minutos y 75°C como condiciones de reacción, debido a que la sección anterior indicó que bajo estas condiciones no se obtienen los resultados deseados.

En la Figura 6. Se señalan los resultados del primer grupo de experimentos, donde se utilizó monoetanolamina como reactivo.

**Figura 6. Variación de los porcentajes de sólidos y el tiempo de vida útil con respecto a la temperatura de reacción para diferentes relaciones molares y tiempo de reacción de 60 minutos.**

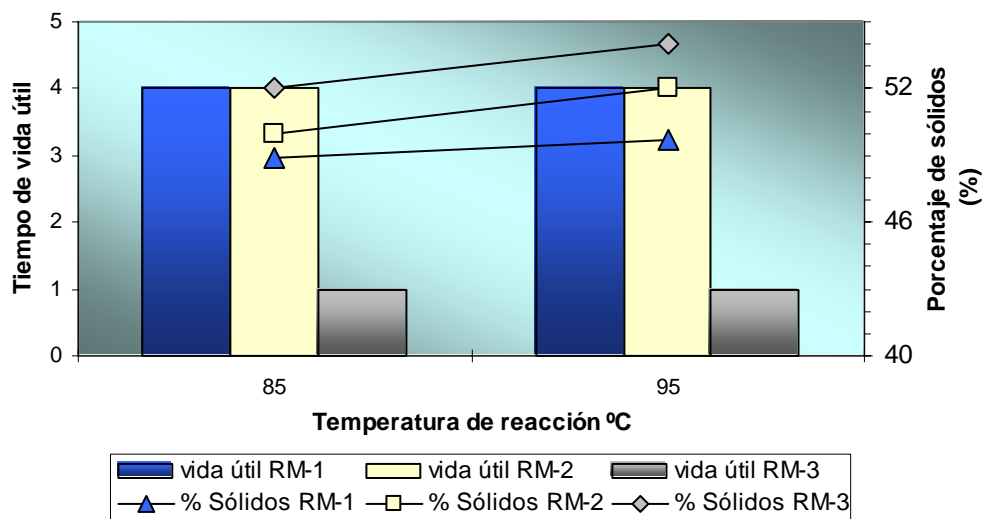


De la Figura 6, se observa una diferencia entre la resina de triazona elaborada con monoetanolamina y aquella elaborada con amoníaco en lo que respecta al porcentaje de sólidos, esto se debe a que la monoetanolamina como reactivo comercial, se encuentra en una concentración notablemente mayor comparada con el amoníaco, lo que aumenta el contenido de sólidos iniciales de la resina.

Sin embargo, es preciso comparar estas resinas desde el punto de vista de los costos de materias primas.

Para corroborar las condiciones óptimas de reacción encontradas en la sección anterior, se efectuó un último conjunto de experimentos a un tiempo de reacción de 80 minutos, utilizando esta vez monoetanolamina como reactivo, los valores alcanzados para las variables se indican en la Figura 7.

**Figura 7. Variación de los porcentajes de sólidos y el tiempo de vida útil con respecto a la temperatura de reacción para diferentes relaciones molares y tiempo de reacción de 80 minutos.**



Al analizar los datos de la Figura 7, se concreta la posibilidad de utilizar monoetanolamina como reactivo para elaborar resina de triazona, con la ventaja frente al amoníaco de generar resinas con mayor porcentaje de sólidos para las mismas condiciones de reacción.

La caracterización de la resina obtenida bajo estas condiciones se indica en la Tabla 10.

**Tabla 10. Caracterización de la resina de triazona obtenida bajo condiciones óptimas de reacción elaborada con monoetanolamina.**

<b>Propiedad</b>	<b>Rango de especificación</b>
<b>% sólidos</b>	52, 00 – 54, 30
<b>pH a 25 °C</b>	8, 00
<b>Viscosidad a 30 °C (cP)</b>	25
<b>Densidad a 25 °C (g/ml)</b>	1, 185
<b>Tiempo de gel a 135 °C (min)</b>	no aplica
<b>% tolerancia al agua a 25 °C</b>	no aplica
<b>Apariencia</b>	incolora, sin sólidos en suspensión

### **3.2 PROPORCIÓN DE MEZCLA PARA LA MODIFICACIÓN DE LA RESINA FENÓLICA**

Se realizaron mezclas de resina fenólica con resina de triazona en proporciones de 9%, 12% y 15% de sólidos de resina de triazona en sólidos totales de la mezcla. El procedimiento de cálculo para determinar las cantidades de cada resina a mezclar según la proporción deseada, es descrito en el Anexo D.

Los laminados experimentales se compararon con laminados de referencia fabricados con resina fenólica sin modificar, presentados en los grupos de datos pertenecientes a la proporción 0%.

Las variaciones en las propiedades de la resina fenólica, debidas a las modificaciones con resina de triazona se reportan en el Anexo E.

Los niveles que describen la postformabilidad de los laminados en términos de números enteros, se exponen en la Tabla 11, facilitando su presentación al momento de graficar los resultados.

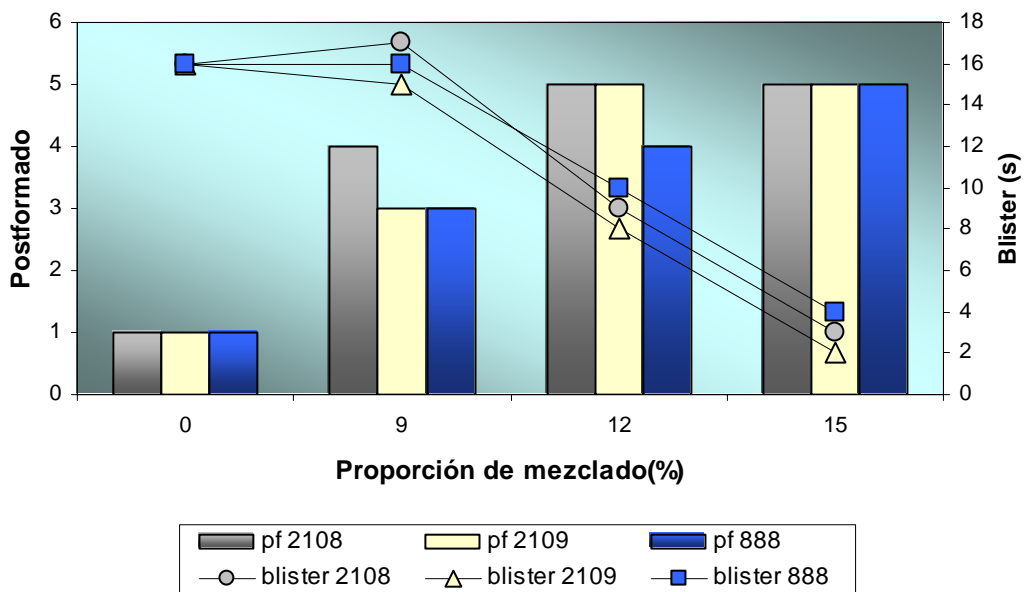
**Tabla 11. Niveles que relacionan la postformabilidad del laminado.**

Radio de curvatura (mm)	Temperatura de prueba (°C)	Nivel
6	163	1
6	149	2
4, 5	163	3
4,5	149	4
3	163	5
3	149	6

Seguidamente, se presentan los efectos producidos sobre las propiedades de los laminados, debidos a las modificaciones hechas en la resina fenólica utilizada para su fabricación.

Para una mejor interpretación, la relación entre las pruebas de calidad y las proporciones de mezcla se grafica en las Figuras 8 y 9, utilizando amoníaco como materia prima para la elaboración de la resina de triazona.

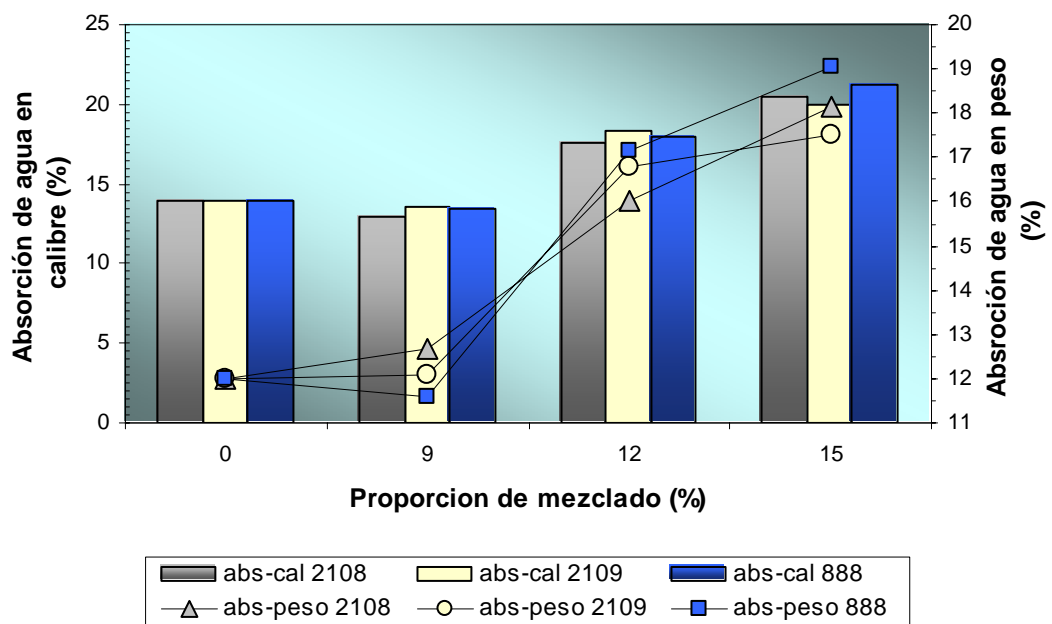
**Figura 8. Variación del *postforming* y el *blister* respecto a las proporciones de resina de triazona en la mezcla.**



De la Figura 8, se observa que la proporción de mezclado en que la resina de triazona debe ser mezclada con la resina fenólica, para obtener los resultados deseados es del 9%. AL utilizar esta proporción se genera una mejora significativa en la postformabilidad de los laminados manteniendo los valores de *blister* y porcentaje de absorción de agua dentro de los rangos de calidad. Al mezclar las resinas en proporciones de 12% y 15% se observa una acentuada mejora en la postformabilidad de los laminados. Sin embargo, estas son descartadas porque ubican a los laminados fuera de los rangos aceptables de calidad, teniendo en cuenta las demás propiedades.

En la Figura 9, se muestran las variaciones de la absorción de agua hirviente de los laminados para las diferentes proporciones de mezclado.

**Figura 9. Variación de la absorción de agua en peso y en calibre respecto a las proporciones de resina de triazona en la mezcla.**

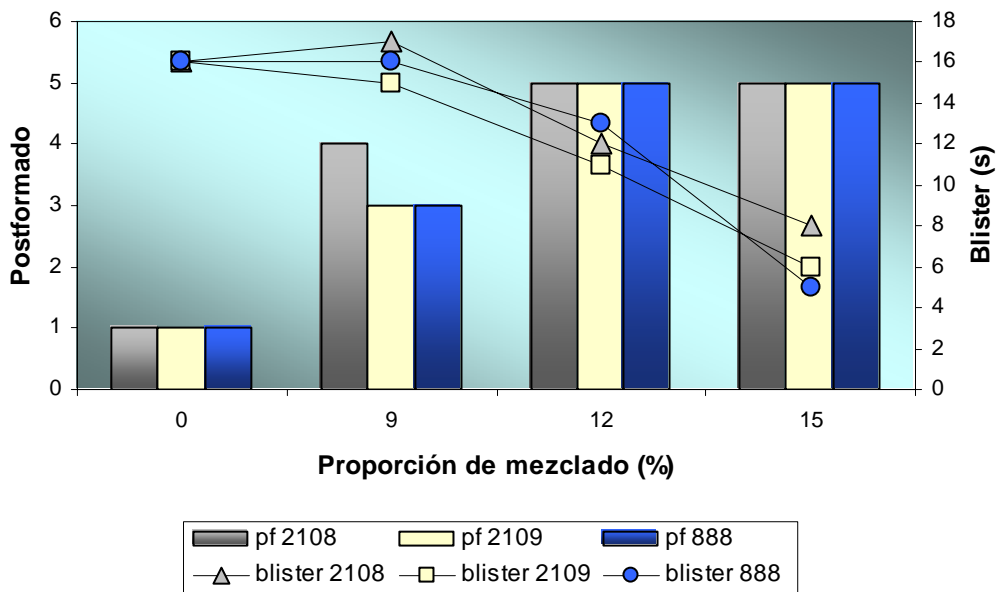


De la Figura 9 se observa, que la única proporción que mantiene los valores de absorción de agua hirviendo de los laminados dentro de los rangos de calidad, es aquella de 9%.

Se puede concluir que el mezclado de la resina de triazona, con resina fenólica debe hacerse en una proporción del 9% con base en el contenido de sólidos de las resinas. Con esta proporción se obtienen laminados más postformables manteniendo su calidad.

**3.2.1 Proporción de mezcla utilizando como materia prima la monoetanolamina.** Se evaluó además, la modificación hecha con resina de triazona elaborada a partir de monoetanolamina.

**Figura 10. Variación del *postforming* y el *blister* respecto a las proporciones de resina de triazona en la mezcla.**

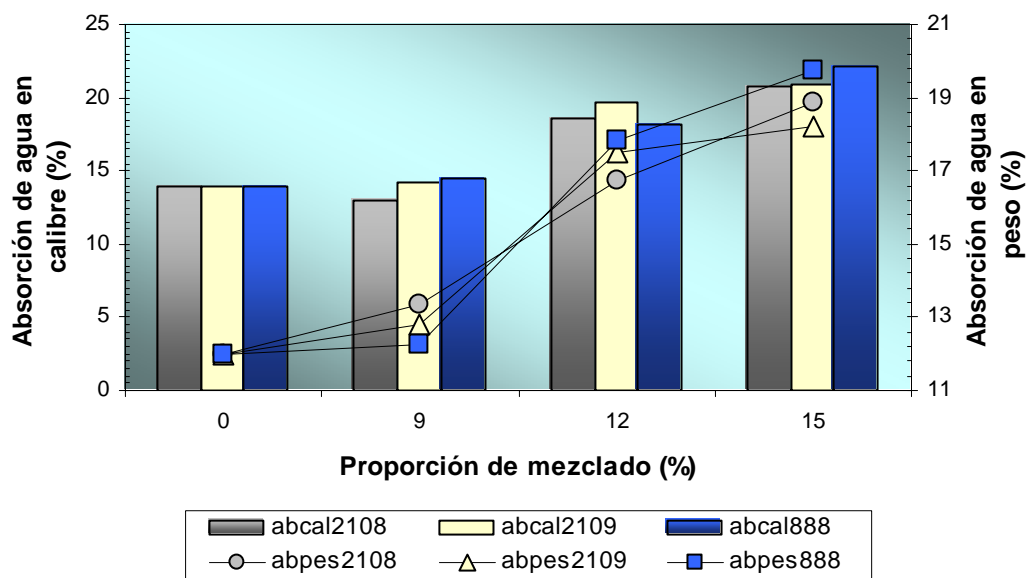


Los resultados obtenidos de la modificación de la resina fenólica, con resina de triazona elaborada a partir de monoetanolamina, muestran la misma tendencia observada en la modificación con resina de triazona a base de amoníaco, y aunque los valores de *blister* son un poco mayores, sigue siendo la proporción

del 9% aquella que mantendrá las propiedades de los laminados dentro de rangos aceptables.

Se presentan a continuación las variaciones en la absorción en agua hirviente de los laminados para las diferentes proporciones de mezclado, obtenidas en los experimentos anteriores.

**Figura 11. Variación de la absorción de agua en peso y en calibre respecto a las proporciones de resina de triazona en la mezcla.**



Los resultados mostrados en la figura anterior comprueban que la mezcla hecha en una proporción del 9%, generará laminados de calidad con un grado de postformabilidad superior a aquellos elaborados con resina fenólica sin modificar. Confirmando que esta es la mejor proporción de mezcla entre la resina fenólica y la resina de triazona, independiente del uso de amoníaco o monoetanolamina para la elaboración de la resina de triazona. La diferencia más significativa entre la utilización de un reactivo u otro radica en los costos de materia prima de la resina, los cuales serán presentados y analizados más adelante.

Luego de haber realizado los ensayos a escala piloto para determinar la proporción en que debe ser mezclada la resina fenólica con la resina de triazona, se practicaron los ensayos finales a escala industrial, mezclando resina de triazona elaborada tanto a partir de amoníaco como de monoetanolamina en una proporción del 9%.

### **3.4 ENSAYOS A NIVEL INDUSTRIAL**

Para la elaboración de la resina de triazona y de los laminados a nivel industrial se siguieron los procedimientos y la proporción de mezcla establecidos en las etapas experimentales, a fin de comprobar la reproducibilidad de los ensayos de laboratorio en los reactores de planta y en las demás etapas de elaboración de los laminados, esperando obtener resultados similares.

**3.4.1 Elaboración de resina triazona a nivel industrial.** La elaboración de la resina de triazona en los reactores de la empresa, se realizó bajo el mismo orden de adición de reactivos y las mismas condiciones de reacción establecidas en el laboratorio. La única diferencia se presentó en los tiempos de adición de los reactivos, debido a que en los reactores de planta se hizo en períodos de 15 a 20 minutos, mientras que la carga de reactivos al reactor piloto se realizaba en períodos de 2 a 4 minutos. Esta variación no afectó ninguna de las propiedades de la resina elaborada.

Las etapas del proceso de elaboración de la resina de triazona a nivel industrial y algunas de las observaciones más importantes del comportamiento de su reacción se mencionan en la Tabla 12.

**Tabla 12. Descripción de las etapas de elaboración de la resina de triazona.**

<b>Etapas</b>	<b>Observación</b>	<b>Tiempo acumulado</b>
Carga de la solución de formaldehído y de la úrea.	Agitación continua y preparación de sistema de vacío, para la carga del amoníaco.	15 minutos
Dilución total de la úrea sobre el formaldehído.	Disminución de la temperatura de la masa reaccionante a 10°C aproximadamente, debido a la dilución de la úrea.	25 minutos
Adición del amoníaco	Se realiza rápidamente, por succión, mediante la aplicación de vacío.	35 minutos
Inicio de calentamiento	Con la adición del amoníaco, la temperatura de la masa aumenta instantáneamente hasta 68°C, entonces se suministra vapor al sistema de intercambio de calor, para llevar los reactivos hasta la temperatura de reacción requerida.	40 minutos
Estabilización de la temperatura máxima	Al alcanzar este punto, debe manipularse la entrada de vapor al sistema de intercambio de calor, para mantener estable la temperatura de la masa.	55 minutos
Enfriamiento y descarga	Al transcurrir 80 minutos de reacción, se inicia el enfriamiento del sistema, para descargar la resina una vez se encuentre a 30°C.	105 minutos
Caracterización de la resina	Se extraen 500 g de resina para evaluar sus propiedades.	115 minutos

- **Modificación industrial de la resina fenólica y fabricación de laminados.** La modificación se efectuó de acuerdo con los resultados de laboratorio. Con la resina fenólica modificada y los papeles decorativos utilizados en el estudio, se fabricaron laminados que cumplieron con las especificaciones exigidas por las normas NEMA de calidad, confirmando los buenos resultados obtenidos a nivel experimental para el postformado, en radios de curvatura menores a los que la empresa ofrece. En las Tablas 13 y 14, se reportan los resultados de los ensayos industriales.

**Tabla 13. Resultados industriales para el amoníaco.**

Prueba de calidad		Tipo de papel decorativo			Laminado de comparación
		0888	2108	2109	
postformado	radio (mm)	4, 5	4, 5	4, 5	6
	T (°C)	163	149	149	163
<i>blister</i> (s)		15	16	15	17
% abs. de agua en calibre.		14, 65	14, 29	13, 83	14
% abs. de agua en peso.		11, 51	12, 25	12, 48	12

**Tabla 14. Resultados industriales para la monoetanolamina.**

Prueba de calidad		Tipo de papel decorativo			Laminado de comparación
		0888	2108	2109	
postformado	radio (mm)	4, 5	4, 5	4, 5	6
	T (°C)	163	149	149	163
<i>blister</i> (s)		15	15	16	17
% abs. de agua en calibre.		14, 07	14, 52	14, 36	14
% abs. de agua en peso.		11, 89	11, 27	12, 09	12

### 3.3 ANÁLISIS DE COSTOS

En la determinación de los costos de producción de los laminados decorativos de alta presión, se deben tener en cuenta todas las variables que impliquen inversión de capital. Sin embargo, en esta sección se realiza un análisis de costos de manufactura de la resina fenólica modificada, tomando como base los costos de materia prima a Enero de 2005, siendo esta la variable más influyente en el desarrollo del proyecto en lo que respecta a inversión de capital. Los cambios en las demás variables no fueron considerados.

Los precios de las materias primas fueron suministrados por el departamento de compras e importaciones de la empresa.

**Tabla 15. Costos de materia prima por kg de resina de triazona elaborada a partir de amoníaco.**

Materia prima	US\$ / kg	Kilogramos empleados	Costo total US\$
Úrea	0, 26	250	65
Formol 44%	0, 25	560	140
Amoníaco 25%	0, 32	196	62, 6
<b>Total</b>	<b>0,266</b>	<b>1006</b>	<b>267, 6</b>

**Tabla 16. Costos de materia prima por kg de resina de triazona elaborada a partir de monoetanolamina.**

Materia prima	US\$ / kg	Kilogramos usados	Costo total US\$
Úrea	0, 26	250	65
Formol 44% (p/p)	0, 25	560	140
Monoetanolamina	1, 6	176	282
<b>Total</b>	<b>0, 494</b>	<b>986</b>	<b>487</b>

Al comparar las Tablas 15 y 16, se observa que un kilogramo de resina de triazona elaborada a partir de amoníaco, es **US\$ 0,228** más económico que un kilogramo de resina de triazona elaborada a partir de monoetanolamina; el verdadero significado de esta diferencia en costos, se aprecia mejor cuando se consideran los costos de manufactura durante un mes de producción.

**Tabla 17. Costos de materia prima por kg de resina fenólica sin modificar.**

Materia prima	US\$ / kg	Kilogramos usados	Costo total US\$
Fenol 90%	0, 88	1605	1412, 4
Formol 44%	0, 25	454	113, 5
Paraformol 91%	0, 57	500	285
Azúcar	0, 34	100	34
NaOH 50%	0, 16	23	3, 68
Úrea	0, 26	50	13
<b>Total</b>	<b>0, 681</b>	<b>2732</b>	<b>1861, 58</b>

**Tabla 18. Costos de materia prima por kg de resina fenólica, modificada al 9% con resina de triazona, elaborada a partir de amoníaco.**

Componente de la mezcla	US\$ / kg	Kilogramos usados	Costo total US\$
Resina fenólica	0,681	1000	681
Resina de triazona	0,266	149	39, 6
<b>Total</b>	<b>0,626</b>	<b>1149</b>	<b>719, 6</b>

En la Tabla 18, se aprecia que el costo de producción de un kilogramo de resina fenólica modificada con resina de triazona elaborada a partir de amoníaco, es menor que el costo de producción de un kilogramo de resina fenólica sin modificar, en **US\$ 0,055**. Teniendo en cuenta que durante la producción mensual de los laminados, se consumen aproximadamente 404.000 kg de resina fenólica, esta diferencia representa una disminución en los costos de producción de los laminados, de aproximadamente **US\$ 22.220** mensuales.

**Tabla 19. Costos de materias primas por kg resina fenólica, modificada al 9% con resina de triazona, elaborada a partir de monoetanolamina.**

<b>Componente de la mezcla</b>	<b>US\$ / kg</b>	<b>Kilogramos empleados</b>	<b>Costo total US\$</b>
Resina fenólica	0,681	1000	681
Resina de triazona	0, 494	124	61.34
<b>Total</b>	<b>0,660</b>	<b>1124</b>	<b>742.34</b>

Usando como referencia el análisis hecho a la tabla 18, de la Tabla 19 se puede concluir que la modificación de la resina fenólica hecha con resina de triazona elaborada a partir de monoetanolamina, se ve representada en una disminución sobre los costos de producción de los laminados, de aproximadamente **US\$ 8.305** mensuales.

En este punto se puede apreciar la verdadera ventaja de usar amoníaco en lugar de monoetanolamina, para la elaboración de resina de triazona. El uso de amoníaco como materia prima resulta US\$ 13.915 más económico que el uso de monoetanolamina, aunque técnicamente ambos reactivos generen resultados muy similares sobre las propiedades de los laminados.

El ahorro en los costos de manufactura, logrado a partir del desarrollo del proyecto, será utilizado para atenuar las pérdidas generadas por inconformidades en los laminados, problemas técnicos en la empresa que originen paradas en las diferentes etapas de producción y demás factores que podrían en su momento mitigar la producción de **LAMITECH S.A.**

#### 4. CONCLUSIONES

1. El estudio experimental realizado, permitió encontrar las mejores condiciones de reacción, para la elaboración de resina de triazona con un porcentaje de sólidos cercano al que industrialmente se utiliza en la modificación de resinas sintéticas para diversos fines.

Las condiciones de reacción determinadas, fueron:

- Relación molar de reactivos **U : F : A = 1 : 2 : 0,7**. (**U** = úrea, **F** = formaldehído y **A** = monoetanolamina o amoníaco).
  - Temperatura de reacción máxima de **95°C**.
  - Tiempo de reacción de **80 minutos** contabilizados a partir de la adición del amoníaco.
2. La mezcla de resina fenólica con resina de triazona, se debe realizar en una proporción del 9% de triazona en la mezcla total, esta modificación proporciona una alta postformabilidad en los laminados sin necesidad de manipular ninguna otra variable que afecte la postformabilidad.
  3. La utilización de monoetanolamina produjo resultados satisfactorios. La desventaja de usar este reactivo como materia prima, es su elevado costo en comparación con el del amoníaco, pero aun así se le considera una buena alternativa.

## 5. RECOMENDACIONES

1. La modificación realizada en este estudio consiguió cambios favorables en la postformabilidad del laminado, superiores a los obtenidos en estudios previos, eliminando considerablemente las inconformidades que de manera constante se presentaban debido a fallas en el *postforming*. En general, se recomienda utilizar los procedimientos propuestos en este proyecto, para modificar el núcleo fenólico de los laminados y así obtener un laminado con mejores propiedades mecánicas que puede ser ofrecido a consumidores con requerimientos más estrictos de postformabilidad.
2. Como el estudio realizado en el proyecto, solo considera la modificación de la resina fenólica, se propone un proyecto futuro para estudiar la modificación de la resina melamínica. Así mismo, se sugiere estudiar las condiciones de mezcla y el punto de adición de la resina de triazona con el fin de obtener una mezcla más íntima entre el modificante y la resina fenólica.
3. Se propone la elaboración de resina fenólica sin azúcar, para ser modificada con la resina de triazona a fin de reevaluar la proporción de mezcla óptima y contemplar la posibilidad de eliminar el azúcar como plastificante de la fenólica.

## BIBLIOGRAFÍA

1. CYANAMIO. *Decoratives laminates, American Cyanamio Company, Plastics and Resins Division*. 1956. p. 2-5.
2. GESSNER G., Hawley. *The Condensed Chemical Dictionary*. Eighth Edition. New York : Van Nostrand Reinhold, 1971. p. 49-52-354-399-915.
3. GRANADOS, Alexander y MARTÍNEZ, David. Mejoramiento del proceso de producción de la resina fenólica polyfen-650 en la empresa LAMITECH S.A. de Cartagena. Bucaramanga, 2002. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
4. GUERRA, Milena y SEPULVEDA, Lila. Mejoramiento de las Variables en el Proceso de Impregnación que afectan la Postformabilidad del Laminado Decorativo de Alta Presión. Bucaramanga, 2001. Ingeniero químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
5. INFORMACIÓN TÉCNICA de LAMITECH S.A. Cartagena, Departamento Técnico, 2003.
6. Kirk-Othmer Encyclopedia Of Chemical Technology [online]. New York: John Wiley, 2001. Available from DIALOG Information Services, Palo Alto (California).
7. MORENO T., Wilfredo. *Aplicaciones al Diseño y Análisis de Experimentos*. Bucaramanga: Ediciones UIS, 1993.

8. NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURES ASSOCIATION. *High Pressure Decorative Laminates Nema*. Decorative laminates section of the national electrical manufactures association, Washington, Standards Publication, LD-3- 1995
9. WILEY. ULLMANN`S Encyclopedia Of Industrial Chemistry. Interscience Publisher. 2002.
10. <<http://www.lamitech.com.co/zona-1/producto/manual/default.asp>>.

## ANEXO A

### A-1 Generalidades de los laminados decorativos de alta presión.

Los laminados decorativos de alta presión se obtienen a partir de varias capas de papel que han sido impregnadas con resinas termoestables, secadas y finalmente curadas bajo presión y temperatura en prensas. La superficie del laminado está hecha de un papel decorativo que es impregnado con resina melamínica. Por debajo de esta superficie hay varias capas de papel kraft, previamente impregnadas con resina fenólica, que funcionan como un núcleo para el laminado.

Los papeles impregnados con las resinas termoestables son pasados a través de hornos con el objetivo de incrementar el peso molecular de los componentes de las resinas y reducir los niveles de compuestos orgánicos volátiles en las hojas. Posteriormente, una hoja de papel decorativo es armada con el núcleo de papel kraft e introducida a una prensa.

En la prensa el conjunto de hojas es sometido a presiones alrededor de 1000 psi, y entonces calentadas a temperaturas de entre 120 °C y 160 °C por períodos de tiempo de entre 20 minutos y 60 minutos. Esto es hecho con el fin de consolidar las múltiples capas de papel y curar los componentes de la resina, al final de este período de tiempo, la prensa es enfriada y finalmente la presión es retirada, las laminas son llevadas a una sección de acabados donde las orillas son cortadas y el respaldo del laminado es lijado para mejorar la adhesión a los diferentes sustratos. [5,8]

- **Papel decorativo:** Es un tipo de papel con cierto contenido de arcilla, ceniza y dióxido de titanio, que incluye papeles impresos, papeles veteados y papeles unicolores. Los papeles veteados o mármolizados, son elaborados al hacer flotar tinta a base de aceites sobre agua. Las tintas son esparcidas y el papel es colocado sobre

ellas. Las tintas son recogidas y transferidas a la superficie del papel, obteniendo así un diseño marmolizado. Esto es hecho con tal precisión que dos hojas, cada una hecha por separado, pueden verse iguales.

Los papeles decorativos utilizados en la elaboración de laminados postformables son generalmente, de tonos monocromáticos (unicolores) o mármolizados y se encuentran referenciados industrialmente según sus matices.

- **Papel kraft:** Es un papel fuerte y relativamente barato hecho principalmente de pino, mediante digestión con una mezcla de soda cáustica, sulfato de sodio, carbonato de sodio y sulfuro de sodio. Su color natural es marrón pero por el uso de pulpas de sulfato semi-blanqueadas o totalmente blanqueadas puede ser producido en formas mas claras de marrón, crema y blanco.

Los laminados se pueden clasificar según su acabado, aplicación, tamaño, espesor final y diseño.

## **A-2 Clasificación del (LDAP) según su acabado.**

Los laminados decorativos dependiendo del tipo de placas que sean utilizadas para su prensado se pueden clasificar en:

- Acabado brillante.
- Acabado texturizado de bajo brillo o mate.
- Acabado texturizado.

### **A-3 Clasificación del (LADP) según su aplicación.**

- **Laminado normal.** Es aquel laminado de uso general. Se elabora para aplicaciones en superficies horizontales y verticales donde se requiera gran durabilidad, alta resistencia al manchado, al impacto, al desgaste y a altas temperaturas, entre otros.
- **Laminado postformable.** Es un tipo de laminado empleado en superficies horizontales y verticales que requieren de aristas redondeadas y cuyo proceso de postformado (doblado) se debe realizar de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

### **A-4 Clasificación del (LDAP) según su tamaño.**

Los laminados según su tamaño se pueden clasificar en:

- **Tamaño tres (T3).** Son láminas cuya dimensión nominal es de 1, 27 metros de ancho y 2, 49 metros de largo.
- **Tamaño seis (T6).** Son láminas cuya dimensión nominal es de 1, 27 metros de ancho y 3, 13 metros de largo.
- **Tamaño nueve (T9).** Son láminas cuya dimensión nominal es de 1,57 metros de ancho y 3,73 metros de largo.

### **A-5 Clasificación del (LDAP) según su espesor final.**

Dependiendo del espesor requerido se pueden clasificar en:

- **Tipo F10.** Son láminas cuyo espesor final está entre 0,87mm y 0,93mm. Para obtener este espesor se deben armar los laminados decorativos con cuatro hojas de papel Kraft impregnadas con resina fenólica.

- **Tipo F8.** Estas láminas tienen un espesor final entre 0,67mm y 0,71mm, y son armados con tres hojas de papel Kraft impregnadas con resina fenólica.
- **Tipo F6.** Son láminas que tienen un espesor final entre 0,47 mm y 0,53 mm, se arman con dos hojas de papel kraft.

Los laminados también se pueden clasificar según su diseño en estampado y unicolor. La diferencia radica en que los laminados estampados utilizan un papel decorativo estampado recubierto con una hoja de papel overlay, previamente impregnada con resina melamínica.

## ANEXO B

### **B-1 Aspectos analíticos y control de calidad de los laminados. Definición y procedimiento.**

Por control de calidad se entiende esencialmente la vigilancia de la reproducibilidad de parámetros medibles predeterminados. Las pruebas que se le realizan a los laminados para garantizar su calidad, se basan en las situaciones a las cuales el producto será sometido una vez se encuentre recubriendo los diferentes tipos de superficies.

Los laminados son evaluados bajo las normas de calidad para los laminados decorativos de alta presión:

- ANSI / NEMA LD.3 / 2000 (USA)

A continuación se mencionan las pruebas de calidad bajo las cuales se evaluaron los resultados del presente proyecto.

#### **B-1.1 Postformabilidad (*Postforming*, NEMA/ANSI LD3-1995 método de análisis LB 10019.)**

Se dice que el laminado es postformable cuando una muestra de laminado es sometida a un calentamiento predeterminado y esta es capaz de postformar una moldura de madera cuyo borde tiene un radio determinado sin agrietarse

Aparatos utilizados para la prueba:

- Resistencia de calentamiento
- Moldura de madera: Moldura de madera aglomerada, MDF u otro material, perfilada en diferentes radios de curvatura 3 mm, 4.5 mm, 6 mm, 7.5 mm, 9.5 mm, etc.

- Indicadores de temperatura tipo crayón de 163 °C ,149 °C.
- Cronómetro
- Micrómetro
- Cortadora o Guillotina

Preparación de la muestra: Se debe cortar una muestra de 38 Cm de largo en el sentido de la máquina de lijado y 20 Cm de ancho en el sentido contrario del lijado.

Una vez preparada la muestra el procedimiento a seguir es el siguiente:

Medir el espesor del laminado a evaluar, de acuerdo al espesor use la moldura de madera adecuada a postformar y encienda la resistencia por lo menos 20 minutos antes de la prueba.

Para post-formar el laminado, ensamble la muestra entre la moldura y la tabla de presión, raye con el crayón la muestra por el lado del papel kraft, ubique este sistema con la cara del decorativo hacia la resistencia, mantenga el sistema así hasta que el indicador de temperatura se funda en su totalidad. Una vez esto, de inmediato realice con movimientos rápidos y homogéneos el post-formado, mantenga presionado por quince segundos a fin de conseguir su enfriamiento, una vez esto desensamble el sistema y observe el radio de curvatura ejecutado, el cual debe estar libre de fisuras, grietas o defectos como cambios en el color y en brillo del laminado.

La postformabilidad se reporta con el radio de curvatura de la moldura de madera en que es postformado el laminado y la temperatura con que se realiza la prueba: 9 mm / 149 °C, 9 mm / 163 °C, 12 mm / 149 °C, 12 mm / 163 °C. La capacidad de postformado (postformabilidad) de la lámina caliente, es buena por debajo de un radio de 12 mm y aceptable entre 15 mm y 20 mm. Un laminado postformado a 149 °C es mejor que uno postformado a 163 °C, debido a que es más exigente doblar una lámina que se encuentre menos caliente.

### **B-1.2 Resistencia al ampollamiento (Blister, NEMA/ANSI LD3-1995 método de análisis LB 10020.)**

Esta técnica mide la capacidad que tienen los laminados tipo postformables de resistir el ampollamiento durante un período de tiempo, cuando son sometidos a un calentamiento bajo determinada temperatura.

Para la prueba se debe tomar una muestra de aproximadamente 30 cm x 20 cm de laminado. La muestra es rayada por la parte lijada con un indicador de temperatura tipo crayón de 163°C con una línea continua que atraviese la muestra y colocada sobre una resistencia de tal forma que la cara rayada sea visible al analista y la cara con el decorativo esté hacia la resistencia. Se registra el tiempo en que demoran en aparecer las ampollas en la superficie, contabilizando el tiempo a partir del instante en que se funde el indicador de temperatura.

### **B-1.3 Absorción en agua hirviente (NEMA/ANSI LD3-1995 método de análisis LB 10011.)**

Esta técnica mide el efecto que sufre un laminado cuando es inmerso en agua hirviente por una hora, a fin de verificar si ocurre ampollamiento o deslaminación. Se calcula el agua absorbida en peso y el incremento en calibre o espesor de la lámina.

## ANEXO C

### **C-1 Aspectos analíticos y control de calidad de la resina fenólica como producto final.**

La caracterización de la resina fenólica a nivel industrial se realiza con pruebas macroestructurales, estas pruebas son métodos analíticos convencionales que especifican las propiedades y garantizan la calidad del lote de resina producido. Estas pruebas se rigen por las normas ASTM y por las normas NEMA.

#### **C-1.1 Porcentaje de tolerancia al agua.**

Es una medida indirecta del grado de polimerización de la resina fenólica, esto implica que a mayor tolerancia al agua, menor grado de polimerización y viceversa. La prueba consiste en tomar 10 ml de resina en un Beaker al cual por medio de una pipeta se le va agregando agua y manteniendo el sistema en agitación constante. Le será agregada hasta que la solución tome una coloración turbia, el porcentaje de tolerancia será el valor de la cantidad de agua utilizada en la titulación multiplicado por diez para el caso específico en que se utilicen 10 ml de resina para el análisis.

#### **C-1.2 Tiempo de gel.**

Es la medida del tiempo en el cual una resina fenólica, sometida a una temperatura constante de 135 °C, se convierte en un polímero termoestable e infusible. La prueba consiste en tomar 10 ml de resina y depositarlos en un tubo de ensayo el cual es introducido en un baño de aceite que se encuentra a una temperatura de 135 °C, con el tubo de ensayo sumergido en el aceite y una varilla de vidrio dentro de él. Se fija la varilla de vidrio por medio de un imán al gel time meter para que gire dentro de la muestra de resina hasta que esta se convierta en un polímero termoestable e infusible y la varilla se detenga, momento en el cual la alarma del *gel time meter* sonará y

contabilizará la cantidad de segundos que demoró la prueba en llevarse a cabo.

### **C-1.3 Porcentaje de sólidos.**

Se define como el porcentaje de polímero formado, en una muestra de resina cruda. La prueba consiste en tomar 5 ml de resina, construir una probeta de aluminio y pesarla, luego se vierten los 5 ml en la probeta y se pesa de nuevo. Este sistema se introduce en un horno de circulación de aire a una temperatura de 130 °C durante una hora. El sistema es retirado del horno y se introduce en un desecador para evitar que la muestra adquiera humedad del medio ambiente y posteriormente se pesa de nuevo. El porcentaje de sólidos se calcula con la siguiente relación:

$$\% \text{Sólidos} = \left( \frac{W_f - W_p}{W_i - W_p} \right) * 100$$

Donde:

$W_f$ : Peso de la probeta más la resina al final de la prueba

$W_i$ : Peso de la probeta más la resina al inicio de la prueba

$W_p$ : Peso de la probeta vacía

### **C-1.4 pH.**

Se define como el porcentaje de hidrogenóides de una resina en estado líquido. Esta prueba requiere que la resina se encuentre a una temperatura de 25 °C, con el fin de no alterar la medición del pHmetro que consta de un electrodo muy sensible a los cambios de temperatura.

El procedimiento consiste en tomar en un Beaker 50 ml de resina, enfriarla o calentarla hasta los 25 °C y sumergir el electrodo del pHmetro en la resina y hacer la respectiva lectura.

### **C-1.5 Viscosidad.**

La prueba de viscosimetría tiene como objetivo asegurar que la resina fenólica este cumpliendo con el límite de especificación establecido para ser usada en la etapa de impregnación del papel kraft. Para hallar la viscosidad se utiliza el viscosímetro de Copa Four, teniendo en cuenta que la viscosidad se debe chequear a una temperatura de 30 °C. Se debe tomar aproximadamente 200 ml de resina enfriándola hasta los 30 °C, posteriormente se cierra el orificio inferior de la Copa Four con el dedo y se adiciona la resina por la parte superior de la Copa Four hasta el nivel del menisco. Luego se coloca el Beaker debajo de la Copa Four y se procede a abrir el orificio inferior activando simultáneamente el cronómetro para registrar el tiempo que tarda en desocuparse la Copa Four. Luego por medio de una correlación establecida entre tiempo y viscosidad se puede determinar cual es la viscosidad de la resina.

### **C-1.6 Apariencia.**

La prueba de apariencia consiste en el análisis organoléptico de una muestra de resina para garantizar que se cumplen las especificaciones. La resina fenólica debe poseer la siguiente presentación:

- Color ámbar rojizo
- Libre de sólidos
- Aspecto delicuescente

### **C-1.7 Formol libre.**

Existen diferentes métodos para la determinación de formol libre en la resina, el más recomendado es el método de clorhidrato de hidroxilamina, La reacción de éste con el formol resulta en la liberación de ácido clorhídrico que es titulado con una solución patrón de hidróxido de sodio.

### **C-1.8 Densidad.**

Es la relación existente entre la masa de la resina y el volumen que ocupa. La prueba consiste en tomar 250 ml de resina, enfriarla hasta los 25°C y depositarla lentamente para evitar la aparición de burbujas en una probeta de 250 ml, posteriormente se introduce un densímetro cuidando que esté no toque las paredes de la probeta ni el fondo de ésta. Se espera un tiempo de aproximadamente 30 segundos hasta que el densímetro se estabilice y se realiza la lectura.

## ANEXO D

### D-1 Determinación de la proporción de mezcla.

La resina fenólica se modifica con la resina de triazona mediante mezclas. La proporción de cada resina en la mezcla es calculada con base a los porcentajes de sólidos de ambas resinas, donde el 100% será la sumatoria de los sólidos totales de cada resina, con el fin de establecer un procedimiento más estricto y detallado de la modificación.

Para calcular la cantidad de triazona que se tiene que adicionar a la resina fenólica para alcanzar determinada proporción de modificante en la mezcla, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$W_{RT} = \frac{W_{RF} * \%S_{RF} * \%_{RTM}}{(100 - \%_{RTM}) * \%S_{RT}}$$

$$V_{RT} = \frac{W_{RT}}{\rho_{RT}}$$

Donde:

$W_{RT}$ : Cantidad de resina de triazona (kg).

$W_{RF}$ : Cantidad de resina fenólica (kg).

$\%_{RTM}$ : Proporción de la triazona en la mezcla.

$\%S_{RT}$ : Porcentaje de sólidos de la resina de triazona.

$\%S_{RF}$ : Porcentaje de sólidos de la resina fenólica.

$V_{RT}$ : Cantidad en volumen de triazona (l).

$\rho_{RT}$ : Densidad de la triazona (kg/l).

## ANEXO E

**E-1 Caracterización de la resina fenólica modificada con un 9% de resina de triazona.**

Propiedad	Rango de especificación
% sólidos	66, 70– 66, 80
pH a 25 °C	8, 39
Viscosidad a 30 °C (cP)	225
Densidad a 25 °C (g/ml)	1, 204
Tiempo de gel a 135 °C (min)	14, 5
% tolerancia al agua a 25 °C	145
Apariencia	ámbar rojizo, sin sólidos en suspensión

**E-2 Caracterización de la resina fenólica modificada con un 12% de resina de triazona.**

Propiedad	Rango de especificación
% sólidos	65, 80– 65, 90
pH a 25 °C	8, 20
Viscosidad a 30 °C (cP)	200
Densidad a 25 °C (g/ml)	1, 203
Tiempo de gel a 135 °C (min)	15.1
% tolerancia al agua a 25 °C	150
Apariencia	ámbar rojizo, sin sólidos en suspensión

**E-3 Caracterización de la resina fenólica modificada con un 15% de resina de triazona.**

<b>Propiedad</b>	<b>Rango de especificación</b>
<b>% sólidos</b>	64, 20 – 64, 30
<b>pH a 25 °C</b>	8, 18
<b>Viscosidad a 30 °C (cP)</b>	150
<b>Densidad a 25 °C (g/ml)</b>	1, 201
<b>Tiempo de gel a 135 °C (min)</b>	16
<b>% tolerancia al agua a 25 °C</b>	160
<b>Apariencia</b>	ámbar rojizo, sin sólidos en suspensión