

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO TREN DE LAMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LÁMINAS DE LÁTEX

Jorge Luis Enciso<sup>1\*</sup>, Jorge Freddy Llano<sup>2</sup>, Néstor Graciano<sup>3</sup>, Camilo Olaya<sup>4</sup>

1: MSc. Esp. Ingeniero metalúrgico, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia

2: Ingeniero Mecánico, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia

3,4: Ingeniería Mecánica, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia

\*Contacto: jorge.enciso@unibague.edu.co

### RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo diseñar y fabricar un prototipo de laminación que mejore las condiciones finales del caucho (suavidad, espesor), así como su presentación. Se identifican y analizan factores preliminares como; características del caucho natural, diseño del prototipo y sistema de control en la medición de espesores. Para la definición de los parámetros controlables y no controlables del proceso se estimó factores que afectan las variables de respuesta (Composición química y propiedades mecánicas), y se diseñó el proceso de construcción y polimerización del látex. El prototipo fue fabricado utilizando los procesos de mecanizado, soldadura y fundición, garantizando en cada uno de los procesos el cumplimiento de las especificaciones de diseño y propiedades esperadas en el caucho laminado. La calibración del prototipo se hizo teniendo en cuenta la textura final del caucho y resistencia a la tensión. Se caracterizó el látex para conocer la composición química y propiedades mecánicas (Resistencia y elongación), y así desarrollar un procedimiento para la obtención de láminas de látex tipo RSS-1. Con lo anterior se concluye que el ácido fórmico genera adecuadas condiciones de acidificación con pH entre 4.5 y 5 y la altura en los rodillos comprendida entre 8 a 10 mm garantiza un espesor de lámina de 2 a 5 mm, adecuada para su comercialización.

**Palabras Clave:** *Látex, Laminación, Coagulación, Caucho natural, Procesamiento de Látex*

### ABSTRACT

The aim of this project is to design and fabricate a prototype that improves rolling rubber final conditions (smoothness, thickness), as well as its presentation. Factors like, characteristics of natural rubber, prototype design and control system for thickness measurements are identified and analyzed. For the definition of controllable and uncontrollable parameters of the process, there were estimated factors affecting the response variables (chemical composition and mechanical properties). The construction and polymerization process of latex were done. The prototype was manufactured through the process of machining, welding and casting, in each one of the processes meeting the design specifications and properties expected in the laminated rubber. The prototype was calibrated taking into account the latex polymerization, rubber final texture and mechanical properties. Latex was characterized for chemical composition and mechanical properties (strength and elongation), and thus develop a process for obtaining latex sheeting RSS-1 type.

In conclusion, formic acid generates adequate acidification conditions with pH between 4.5 and 5. A height from 8 to 10 mm between the rollers ensures a sheet thickness from 2 to 5 mm, suitable for commercialization.

**Keywords:** *Latex, lamination, Rubber coagulation, Rubber, Rubber processes*

## **1 INTRODUCCIÓN**

Los avances tecnológicos y el proceso que se desarrolla en la fabricación de maquinaria de laminación son condiciones importantes para obtener una laminación del látex de calidad. Sin embargo el equipo utilizado actualmente por los artesanos en Colombia en el proceso de laminación, consta de dos cilindros, donde el coágulo de látex se hace pasar varias veces entre los rodillos que giran a una misma velocidad obteniendo una hoja irregular delgada entre 5 y 8 mm [1]. Este trabajo se realizó con el objetivo de identificar los parámetros que inciden en la laminación del látex y las variables importantes en la operación, donde se busca obtener un espesor de la lámina entre 3 y 5 mm como lo definen las normas comerciales del caucho [2]. La metodología utilizada para el diseño y construcción se determina con la identificación de las variables a controlar y una revisión de patentes con el fin de buscar diferentes soluciones que puedan existir a problemas similares, además de los desarrollos tecnológicos probados en la industria y aceptados por diferentes fabricantes.

Se realizó un Análisis de las alternativas y se diseñó el prototipo laminador de látex. Para la construcción del prototipo se emplearon diferentes procesos como: mecanizado, fundición y soldadura, se fabricó los elementos y piezas necesarias para la construcción del prototipo laminador y por último se hizo la puesta a punto y calibración de las alturas de los rodillos por medio de sensores ubicados en los puntos de entrada y salida de la lámina con el fin de obtener el espesor deseado.

## **2 DISEÑO DE LA MAQUINA LAMINADORA Y COAGULACIÓN DE LÁTEX**

El diseño seleccionado para el tren laminador, consiste en tres pares de rodillos, dispuestos en serie con la finalidad de obtener una lámina delgada de látex en una pasada. Los pares de rodillos se colocan en cascada y graduados a una distancia de separación específica accionado mecánicamente por un tornillo de elevación y una manivela, que permite obtener una lámina delgada de látex de espesor entre 3 a 5 mm [2]. El prototipo es accionado por un sistema de transmisión por cadena, movido por un motor reductor, la distancia de separación de los pares de rodillos se calibra por medio de una manivela adosada a un tornillo de desplazamiento que mueve el rodillo superior uniformemente según el valor requerido de separación, medido visualmente por una flecha indicadora y una regla fija, el prototipo final se puede ver en figura 1.

El prototipo consta de siete etapas fundamentales en su construcción, la primera etapa se remite a la correcta disposición de las estructuras para ser ancladas a una superficie plana y así poder evitar desalineamientos en el tren laminador de látex. Una segunda etapa consiste en la correcta alineación de los rodillos fijos para evitar un desalineamiento en los ejes ya que esto podría causar freno en el rodillo aumentando el desgaste del rodamiento y aumentando la fricción de los componentes y generando así un incremento en la potencia del motor.



**Figura 1.** Prototipo tren laminador

La tercera etapa es la instalación del tornillo de desplazamiento encargado de manipular la distancia de separación entre los rodillos fijos y móviles. Como cuarta etapa se considera el montaje del sistema de transmisión. La quinta etapa se remite al ensamble de los colectores los cuales están diseñados para encaminar el agua residual del proceso de laminación. La sexta etapa tiene como finalidad el montaje de las superficies guías y su correcta ubicación en el tren laminador. Y por último se realiza el proceso de ajuste en los diferentes elementos de sujeción del tren laminador.

## 2.1 Coagulación del látex

Se identifico los parámetros óptimos del látex a utilizar para la laminación donde la acidificación del látex con el ácido fórmico con pH entre 4.4 y 4.8 cumple con las condiciones de norma. Los datos obtenidos fueron tabulados previo diseño experimental [3], con el fin de determinar las composiciones y mejorar la mezcla a ser utilizada. En la tabla 1 se muestra los resultados seleccionados después de una serie experimental de ensayos de acidificación (látex –reactivos) con diferentes reactivos utilizados.

**Tabla 1.** Composiciones de las mezclas usadas.

MEZCLAS	AGUA	LÁTEX	ACIDO FÓRMICO	LIMÓN (Acido ascórbico)
1b	0	40 ml.	3.2 ml. (8%)	
2b	20 ml.	20 ml	4.5 ml. (4.5%)	
3c	20 ml.	20 ml.		3 ml. (8.5%)

El comportamiento del caucho cuando se esta coagulando depende de la composición en volumen de la mezcla, por lo que se realizaron experimentos con diferentes valores y se determino que las mezclas 1b, 2b y 3c cumplen con las condiciones requeridas en la obtención de laminas maleables y libres de grumos en la superficie como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Lamina cuagulada con mezclas seleccionadas

El caucho natural cuando se analiza en la práctica industrial se determinan por los contenidos en humedad, extracto acetónico, proteínas y cenizas y la proporción de hidrocarburo caucho. La composición del caucho, tal y como resulta de los análisis, es relativamente variable según el origen clonal, el modo de coagulación y las condiciones de beneficiado. Los valores presentados en la tabla 2 muestran la composición del caucho bruto a trabajar.

**Tabla 2.** Composición promedio del caucho crudo

<b>Constituyentes</b>	<b>Composición promedio</b>	<b>Valores extremos</b>
Hidrocarburo caucho	94.0%	
Extracto acetónico	2.5%	de 1.5 a 5%
Proteínas	2.5%	de 1.6 a 3%
Cenizas	0.3%	de 0.2 a 0.5%
Materias volátiles (entre ellas humedad)	0.5%	de 0.3 a 1%

## **2.2 Calibración de rodillos**

Uno de las variables determinadas en el estudio es la distancia y calibración de los rodillos debido a los espesores que se deben distribuir en los tres laminadores y que deben conllevar a obtener laminas delgas y sin defectos superficiales [4]. En la tabla 3 se muestra las distancias de separación de los rodillos en los tres laminadores que conforman el tren laminador para cada uno de los ensayos y el número de pasadas de la lámina por estos mismos. Partiendo de estos ensayos podemos determinar las distancias entre rodillos que permiten reducir la lámina de látex a espesores específicos y así obtener una lámina de 3 a 5 mm en una sola pasada.

**Tabla 3.** Distancia entre rodillos en los laminadores 1, 2 y 3.

<b>DISTANCIA SEPARACIÓN</b>				
	<b>Rodillo 1</b>	<b>Rodillo 2</b>	<b>Rodillo 3</b>	<b>Numero de pasadas</b>
<b>Ensayo 1</b>	0,8 cm	0,4 cm	0,2 cm	2
<b>Ensayo 2</b>	0,7 cm	0,3 cm	0,1 cm	2
<b>Ensayo 3</b>	0,8 cm	0,4 cm	0,1 cm	1

La tabla 4 muestra las separación de los rodillos en los tres laminadores respectivamente que se determinaron después de cumplir con el diseño experimental establecido. Una vez se ha determinado la distancia de los rodillos se fija una regla que permite mecánicamente determinar alturas con velocidades uniformes [7]. Posteriormente se hace la verificación con el medidor de espesores con el fin de controlar la calidad de la lámina. La tabla 4 se muestra las mediciones de espesor en la lámina tras pasar por cada uno de los laminadores en un ciclo de trabajo.

**Tabla 4.** Mediciones de espesor de la lámina a la salida de cada laminador.

<b>ESPEJOR DE LAMINA</b>			
	<b>Rodillo 1</b>	<b>Rodillo 2</b>	<b>Rodillo 3</b>
<b>Ensayo 1*</b>	2.3-2.4 cm	1-0.9 cm	0,35 cm
<b>Ensayo 2</b>	2.4-2.5 cm	1.3-1.5 cm	0.9 cm

### 2.3 Caracterización Mecánica del Caucho Laminado

El método de prueba de tracción NTC 595 fue usado para determinar las propiedades de tensión del caucho, la cual comprende la determinación de las propiedades tensiles de plásticos reforzados o no reformados. Las probetas de ensayo con forma de mancuerna estándar fueron utilizadas en el ensayo [8, 9]. El equipo usado para las pruebas de tracción, fue la máquina de ensayos de tracción de la Universidad Nacional (laboratorio de Ingeniería Química) y las dimensiones de las muestras utilizadas para el ensayo son las normalizadas. Analizando los resultados de la prueba de tracción se logra visualizar un comportamiento elastomérico. En la tabla 4 muestra que el caucho posee una gran capacidad de elongación (rotura de deformación = 550.79 %) lo que denota una buena flexibilidad en el material. Por otro lado el módulo elástico del material es bajo (M. elástico = 0.39769 Mpa), pero esta condición puede deberse a la falta de un proceso de secado correcto [9], que otorga y promueve las propiedades mecánicas finales esperadas para este material.

**Tabla 5.** Resultados del ensayo de tracción para la muestra de látex.

Nombre	Modulo Elástico	Rotura Carga	Rotura deformación	Energía al máximo
Parámetro	0,05, 0,15 MPa			
Unidades	MPa	kN	%	J
01	0,44814	-	-	7,33156
02	0,36490	-	-	8,29295
03	0,40088	-	-	7,39598
04	0,36980	-	-	7,43833
05	0,40473	0,01661	550,719	6,21265
<b>Media</b>	0,39769	0,01661	550,719	7,33429
<b>Desviación estándar</b>	0,03338	0,00000	0,00000	0,74023

### 3 CONCLUSIONES

❖ Los parámetros de separación entre los rodillos, fuerza, rugosidad de los rodillos, velocidad de avance de la lámina de látex, lubricación de las superficies y guías para el paso entre laminadores son los parámetros importantes en la obtención de una lámina de látex de buena calidad.

❖ Las condiciones iniciales del látex antes del proceso de coagulación debido a la adición de conservantes pueden llegar a variar las propiedades mecánicas y superficiales. Por lo que llevar un control del pH inicial del látex antes de cada proceso de coagulación asegurara condiciones de acides correcta.

❖ Los aumentos en volumen de ácido fórmico en la mezcla, lleva a obtener un coagulo rígido, muy difícil de procesar, que no favorece la obtención de una lámina delgada de látex.

❖ El volumen definido para una correcta acidificación, debe ser de 4.5% de la mezcla total con la utilización de ácido fórmico y presenta buenas condiciones de resistencia y deformación.

❖ La adición de un químico preservante al látex, como lo es el amoniaco, elevara su pH considerablemente, causando un aumentando en las fuerzas de repulsión de las moléculas de caucho presentes en el látex. Por lo cual, un látex preservado necesitara una mayor cantidad de ácido fórmico, en comparación con uno no preservado, para el proceso de coagulación.

### 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Compagnon. P, “Ingeniería en Agronomía tropical: El Caucho natural”, México, edición francesa, 2000.
2. William F. Smith, Fundamentos de ciencia de los materiales, cuarta edición, España, McGraw-Hill, 2005.
3. Olaya, C, Graciano, N, Proyecto” Implementación de un proceso de laminación (prototipo) y control para el caucho en los municipios de Cunday y Villarica del departamento del Tolima”, [Grupo de investigación D+TEC de la Universidad de Ibagué], Ibagué, junio 2010.
4. Enciso. J.L, “Modulo de Materiales 3: Materiales de avanzada”,[Modulo], Universidad de Ibagué, 2005.

5. Martínez, H, Covalada, J., “Agroindustria y competitividad: estructura y dinámica en Colombia” Colombia, 1992-2005.
6. Bohan, J, Chevalier, “Tecnología del diseño y fabricación de piezas metálicas”, México, Limusa, 1998.
7. ICA, UNDCP, “Plan Nacional de Desarrollo Alternativo, Opciones productivas para el desarrollo alternativo: contribuciones de la investigación agraria”. Ministerio de Agricultura, Florencia – Colombia, 1999.
8. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. “Aprovechamiento del cultivo y beneficio del látex del caucho natural”, Pronatta, Colombia, 1998.
9. Robert. L, “Diseño de maquinaria”, México, Mc Graw Hill, 2005.

"Los autores desean precisar que los resultados científicos que aquí se presentan hacer parte de los resultados obtenidos en el marco del Convenio de Cooperación no. 002-2.008 entre la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica y el Centro Regional De Productividad y Desarrollo Tecnológico del Tolima, derivado del convenio de Cooperación 00404 suscrito entre el SENA y Corpoica SENA Y CORPOICA, que contó con la participación de la Universidad de Ibagué a través de miembros de los grupos de investigación D+TEC.