

# PROPUESTA DE UNA ESTRUCTURA DE SIMULACIÓN Y DISTRIBUCIÓN EN PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE CAUCHO.

## Proposed simulation structure and plant layout for the production of rubber

### RESUMEN

La investigación se desarrolla a partir del análisis de las variables del sistema de producción de caucho natural, presente para los productores de las regiones de Villarrica y Cunday en el departamento del Tolima. Se analizó la información sobre el proceso de obtención de Látex y producción de láminas del mismo, estudios realizados por entidades a nivel nacional y de los grupos de investigación de la Universidad de Ibagué, GIMAP(D+TEC) y GINNOVA. La información se organizó y analizó para determinar las variables que inciden en la distribución en planta y la simulación del proceso de producción de Látex..

**PALABRAS CLAVES:** Caucho natural, diseño de planta, látex, simulación.

### ABSTRACT

*The research builds on the analysis of variables system's natural rubber production, present for producing regions Cunday and Villarrica at Tolima's region. Data were analyzed on the process of obtaining Latex and film production of the same, studies by national institutions and research groups University of Ibague, GIMAP(D + TEC) and GINNOVA. The information is organized and analyzed to determine the variables that affect the plant layout and process simulation of latex production.*

**KEYWORDS:** Latex, Natural rubber, plant layout, simulation

## 1. INTRODUCCIÓN

El departamento del Tolima, en los municipios de Villarrica y Cunday existen aproximadamente plantaciones de 1555 y 5431 árboles Hebea respectivamente, productores de caucho natural. Estas plantaciones están en actividad de producción de látex, lo que permite proyectar estos municipios como potenciales fuentes de trabajo. Pero la producción desarrollada en estas zonas se caracteriza en su gran medida por un sistema artesanal que no permite dinamismo en la cadena productiva de caucho en la región, a partir del escaso control y estandarización de los procesos de fabricación del caucho natural. Por esto es necesario implementar un proceso de producción semi-industrial de Látex, el cual proporcione mejores condiciones de calidad, para obtener un producto apto para su posterior venta y comercialización; generando una fuente de mayor ingresos para la gente de la región, con la colaboración de dos asociaciones de productores de caucho ASOHEVILLA Y ASOHECUN.

## 2. DISTRIBUCION EN PLANTA Y SIMULACION

### 2.1 DISTRIBUCION EN PLANTA

El diseño de la planta de producción se realizó aplicando el método del DELTAHEDRO. La heurística del

### FLAMINIO VERA MÉNDEZ

Ingeniero Industrial, MSc.  
Prof. del Depto de Ing. Industrial  
Universidad de Ibagué (Colombia)  
Flaminio.vera@unibague.edu.co

Deltahedro se usa para determinar el orden en el cual los departamentos son seleccionados. Para asegurar la Planaridad se restringe el número de arcos que inciden en un vértice. El método comienza con una gráfica de relaciones dada. Las calificaciones en la gráfica de relaciones son convertidas en puntajes numéricos. La escogencia de pesos es arbitraria pero se debe mantener el orden de las calificaciones.

$W_{ij}$  = peso asociado entre los departamentos  $i$  y  $j$ . Estos pesos son usados para determinar un puntaje para cada departamento:

$$M(i) = \sum_j W_{ij}$$

Se elige los 4 departamentos con mayor puntaje en su orden  $M(i)$ .

Se crea una gráfica plana con estos 4 departamentos en forma de deltahedro, como se observa en la Figura 1

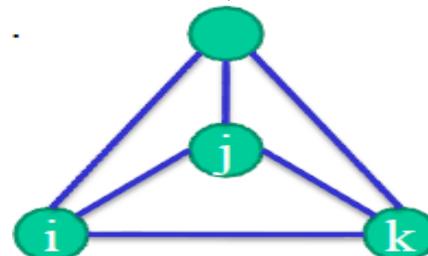


Figura 1. Ubicación de los cuatro departamentos iniciales

Cada cara del diagrama de relaciones parciales esta limitada por tres arcos y tres vértices(triángulos equiláteros). Se selecciona el siguiente departamento no emplazado (por ejemplo h), se ubica en la cara donde los vértices i, j, k asociados tengan el mayor peso. Adicione el departamento a la cara plana, entre los vértices de la cara escogida y comuníquelos entre sí. Como se muestra en la Figura 2.

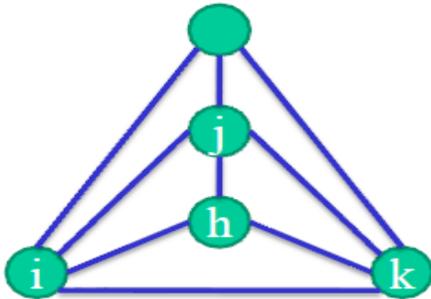


Figura 2. Adición de departamentos con menor relación

Cada cara del diagrama de relaciones parciales esta todavía limitada por tres arcos y tres vértices. Se repite el mismo procedimiento con los departamentos restantes hasta obtener la gráfica plana total.

Se convierte la gráfica plana en una gráfica dual. Para esto se genera un nodo en cada cara de la gráfica plana, dos nodos se conectan entre si, si las caras están separadas. Las caras de la gráfica dual corresponden a los departamentos, así de esta forma cada cara representa el área ocupada por un departamento dentro de una distribución, y este será el diagrama de bloques.

A continuación se presenta el Cuadro 1 con las calificaciones de importancia de aproximación entre departamentos y la Tabla 1 con los valores numéricos de las calificaciones:

A	E	I	O	U	X
1000	100	10	1	0	-1000

Tabla 1. Valores numéricos de las calificaciones

VALOR DE RANGO	APROXIMACIONES
A	Absolutamente necesaria: Constituye una cercanía inmediata.
E	Especialmente importante: Requiere en lo posible una cercanía inmediata.
I	Importante: Se requiere de cierta cercanía.
O	Ordinario: No se requiere de cercanía de las partes
U	Poco importante: La relación establecida en las actividades de las partes es ocasional.
X	No recomendable: La cercanía entre las partes involucradas no es recomendable.

Cuadro 1. Calificación de importancia de proximidad

El cuadro de relaciones entre departamentos se muestra en el Cuadro 2:

DEPARTAMENTOS	1	2	3	4	5
Planta (1)	-	A	E	E	I
Area de Secado (2)		-	O	U	I
Almacenaje (3)			-	O	I
Insumos (4)				-	E
Oficina de Pcc (5)					-

Cuadro 2. Relaciones entre departamentos

Luego se reemplazan los valores numéricos y se obtiene el Cuadro 3:

DEPARTAMENTOS	1	2	3	4	5	TOTAL
Planta (1)	-	1000	100	100	10	1210
Area de Secado (2)		-	1	0	10	1011
Almacenaje (3)			-	1	10	112
Insumos (4)				-	100	201
Oficina de Pcc (5)					-	130

Cuadro 3. Relaciones numéricas

Debido a los totales obtenidos para cada uno de los departamentos, iniciamos con los departamentos 1, 2, 4 y 5. Ahora debemos asignar el departamento 3.

Asignar 3

$$W_{124} = w_{13} + w_{23} + w_{34} = 100 + 1 + 1 = 102$$

$$W_{125} = w_{13} + w_{23} + w_{35} = 100 + 1 + 10 = 111$$

$$W_{145} = w_{13} + w_{34} + w_{35} = 100 + 1 + 10 = 111$$

$$W_{245} = w_{23} + w_{34} + w_{35} = 1 + 1 + 10 = 12$$

A continuación se muestran las graficas planar-dual y el diagrama de bloques de la distribución de la planta obtenidos del método DELTAHEDRO.

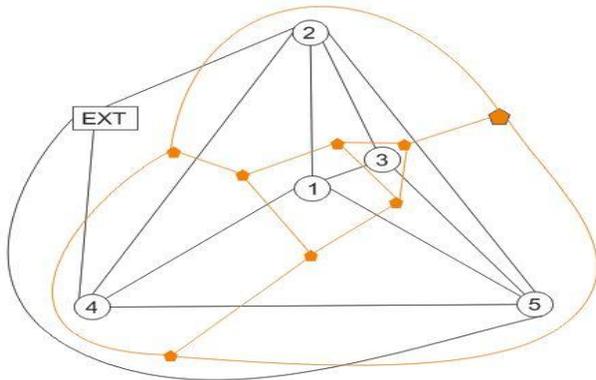


Figura 3. Grafica planar y grafica dual

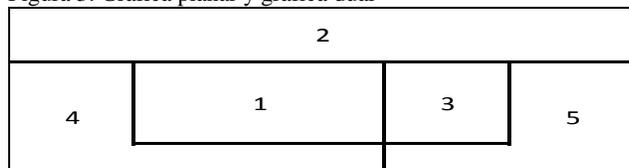


Figura 4. Diagrama de Bloques

Del diagrama de bloques obtenido anteriormente se tiene la distribución en planta en la Figura 5.

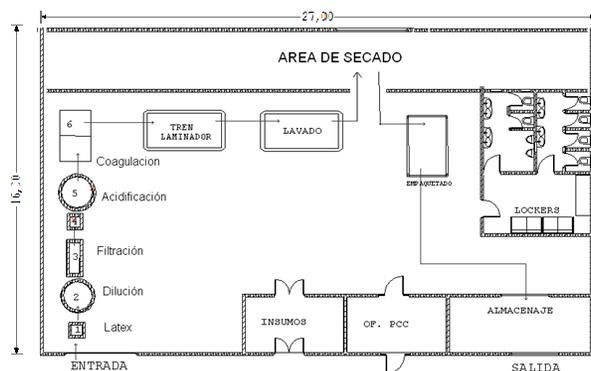


Figura 5. Distribución en planta

## 2..2 SIMULACION

Para realizar la simulación del proceso de producción de Látex laminado se utilizó el software SIMUL8.

Se tuvo en cuenta toda la información recolectada de las diferentes etapas del proceso de producción para determinar los tiempos de procesamiento en cada una de ellas.

Se determinaron las distribuciones a utilizar para realizar la simulación en el software:

Distribución fija: Se definieron valores fijos de tiempos, por ser de comportamientos constantes, en las operaciones: lavado y almacenamientos temporales de Dilución, Acidificación y Coagulación. Por tal razón en el software se utilizó la distribución fixed. [3].

Distribución uniforme: Se caracteriza por el hecho de que todos los resultados posibles entre un cierto mínimo y máximo son igualmente probables. La distribución uniforme se utiliza cuando hay varios valores posibles y probables de la variable aleatoria (Dilución, Filtrado, Acidificación y Coagulación), los parámetros mínimo y máximo se fijan para reflejar la mejor estimación del rango de valores que puede tomar la variable aleatoria[3].

Distribución triangular: Se define por tres parámetros: el mínimo a, el máximo b, y el valor más probable c. Variando la posición del valor más probable con relación a los extremos, la distribución puede ser simétrica o no; por lo tanto al depender de los tres parámetros puede tomar variedad de formas y esta característica permite tomar esta distribución como aproximación de otras distribuciones[3].; por lo tanto brinda flexibilidad para modelizar las operaciones de laminado, secado y empacado.

El proceso de producción inicia con la dilución, una vez recolectado el látex es llevado al tanque homogeneizador donde se le agrega agua, la cantidad de agua depende de la época, para este caso la proporción es uno a uno.

La dilución se hace con el propósito de facilitar el filtrado y proceso de laminación. Se estima que el tiempo de la dilución esta alrededor de 15 min, para lograr una mezcla homogénea y permitir que el caucho tenga una consistencia necesaria para el laminado, En este caso se utilizo 1 litro de Latex y un litro de agua tomando la época normal[1].

Luego se realiza el filtrado, que se hace con el propósito de retirar todos los residuos sólidos como coágulos, insectos, flores, hojas, trozos de corteza entre otros, de esta manera se disminuyen impurezas que no permitan tener buena calidad del producto final. El Látex proveniente de la dilución es pasado por un filtro de paneles que retira estas impurezas.

Posteriormente se hace la acidificación, que consiste en la reagrupación de todas las partículas de caucho dispersas en el látex, esto se consigue agregando ácido fórmico o acético que funciona como un coagulante; a la mezcla de agua –látex se le agrega 1 cm<sup>3</sup> de ácido fórmico al 90%, por cada 2 litros de mezcla[1] [6]. .

El proceso siguiente es la coagulación, la mezcla proveniente del tanque de acidificación es vertida en unos moldes que tienen medidas 150cm x 20cm x 10cm. Para que el producto terminado tenga una buena consistencia es necesario que el Látex permanezca en reposo, ver Figura 6..



Figura 6. Coágulo de latex

La operación de laminado, que se hace por acción del tren laminador, desarrollado por el grupo de investigación D+ TEC [2] [5]., el cual posee sensores que indican el grosor que tiene la lámina, el cual debe establecerse en un espesor entre 3 y 5 mm, exigido por las normas internacionales de comercialización. Esta operación tiene un tiempo de procesamiento entre 1min y 3 min, ver Figura 7



Figura 7. Proceso de laminado en el tren laminador.

Se lava el coágulo con el fin de retirar el ácido remanente en las láminas, para que estas no se manchen y logren una mayor calidad; este proceso demora un tiempo de 2 min

Posteriormente las láminas pasan a la sección de secado, las láminas delgadas y libres de ácido se cuelgan bajo techo con una excelente circulación de aire que permita un secado completo; estas nunca deben estar expuestas al sol ya que este disminuye significativamente su calidad.



Figura 8. Secado al aire libre

Por último las láminas son empacadas en bolsas de polietileno transparente que evita que se ensucien y recojan impurezas o basuras del medio, de esta manera se protege y facilita el transporte del producto terminado. A continuación se muestra el diagrama del proceso y los tiempos de procesamiento mejorado[4]., dado que en la operación de laminado se demoraban 20 min por lámina de caucho, ver Figura 9 y Tabla 3.

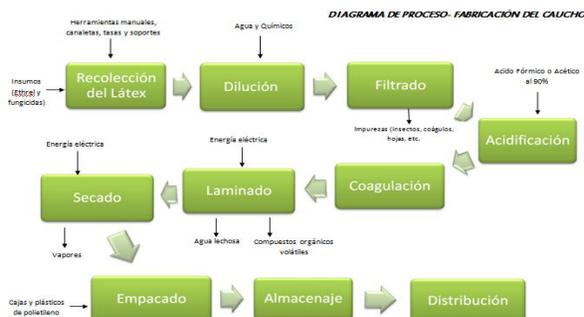


Figura 9. Diagrama del proceso

PROCESO	Tiempo (min/unidad)			Distribución de Probabilidad
	Mínimo	Promedio	Máximo	
Dilución	0,5		0,65	Uniforme
Almac. Temp(Dilución)		15		
Filtrado	0,2		0,3	Uniforme
Acidificación	1		3	Uniforme
Almac. Temp(Acidificación)		40		
Coagulación	1		2	Uniforme
Almac. Temp(Coagulación)		1440		
Laminado	1	2	3	Triangular
Lavado		2		Fixed
Secado	11520	14400	17280	Triangular
Empacado	10	13	15	Triangular

Tabla 3. Tiempos de procesamiento mejorado

Al tener en cuenta la cantidad de árboles de caucho, en los municipios de Villarrica y Cunday (6986 árboles aproximadamente), se calculó la cantidad de látex (medido en litros), que se podría obtener de la explotación de estos árboles. Se tomó un valor promedio de 30 ml de producción de látex por árbol, con lo que se obtendrían 209 litros disponibles del sangrado (simulación realizada con este valor), además se debe

tener en cuenta que un árbol se puede sangrar 3 veces por semana, por lo tanto cada semana se dispondría de 627 litros.

Existen dos consideraciones más a tener en cuenta para realizar la simulación; la primera es que en la operación de filtración se retira un 5% de material en impurezas y la segunda es que luego de realizar la operación de laminado se desecha un 15% del peso del coágulo en agua. El siguiente es el diseño de la simulación realizada en el software SIMUL8:

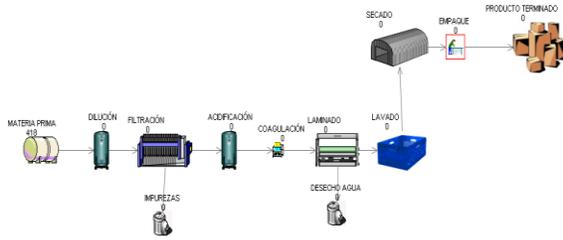


Fig 10. Simulación del proceso de producción de latex laminado.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos de la simulación del proceso de producción de láminas delgadas de caucho natural, muestran una mejora en un 9% sobre el tiempo ocupado respecto a la situación inicial, permitiendo una disminución en tiempo de 15 horas aproximadamente en la actividad de laminado, con la implementación del prototipo de laminador construido. Aunque esta mejora en tiempo sea relativamente importante, se hace necesario mejorar el tiempo de secado que ocupa el mayor porcentaje de tiempo en el proceso total de producción.

DILUCIÓN	Waiting %	98.74
DILUCIÓN	Working %	1.26
FILTRACIÓN	Waiting %	99.46
FILTRACIÓN	Working %	0.54
ACIDIFICACIÓN	Waiting %	95.92
ACIDIFICACIÓN	Working %	4.08
COAGULACIÓN	Waiting %	99.23
COAGULACIÓN	Working %	0.77
LAMINADO	Waiting %	89.56
LAMINADO	Working %	10.44
LAVADO	Waiting %	99.12
LAVADO	Working %	0.88
SECADO	Average use	62.72
SECADO	Maximum use	84.00
SECADO	Number Completed Jobs	80.00
EMPAQUE	Waiting %	98.93
EMPAQUE	Working %	1.07
CAUCHO SECO (CAJAS DE 5 K	Minimum Time in System	14328.18
CAUCHO SECO (CAJAS DE 5 K	Average Time in System	16893.94
CAUCHO SECO (CAJAS DE 5 K	Maximum Time in System	19155.74
CAUCHO SECO (CAJAS DE 5 K	Std Dev of	1298.50
CAUCHO SECO (CAJAS DE 5 K	Number Completed	16.00

Tabla 4. Simulación del proceso actual

DILUCIÓN	Waiting %	98.68
DILUCIÓN	Working %	1.32
FILTRACIÓN	Waiting %	99.43
FILTRACIÓN	Working %	0.57
ACIDIFICACIÓN	Waiting %	95.71
ACIDIFICACIÓN	Working %	4.29
COAGULACIÓN	Waiting %	99.19
COAGULACIÓN	Working %	0.81
LAMINADO	Waiting %	98.91
LAMINADO	Working %	1.09
LAVADO	Waiting %	99.08
LAVADO	Working %	0.92
SECADO	Average use	65.92
SECADO	Maximum use	84.00
SECADO	Number Completed Jobs	80.00
EMPAQUE	Waiting %	98.88
EMPAQUE	Working %	1.12
CAUCHO SECO (CAJAS DE 5 K	Minimum Time in System	14094.20
CAUCHO SECO (CAJAS DE 5 K	Average Time in System	16260.84
CAUCHO SECO (CAJAS DE 5 K	Maximum Time in System	18239.73
CAUCHO SECO (CAJAS DE 5 K	Std Dev of	1186.69
CAUCHO SECO (CAJAS DE 5 K	Number Completed	16.00

Tabla 5. Simulación del proceso mejorado

El diseño de la planta realizado con el método de DELTAHEDRO permite una distribución muy flexible de comunicación y cercanía entre los departamentos, teniendo en cuenta que se trata de un proceso en línea y que además no requiere de maquinaria o instalaciones muy grandes. Además, el flujo de material a través de las instalaciones se hace de fácil circulación, teniendo en cuenta los pesos en las relaciones de cercanía calculados.

Se recomienda la implementación de un equipo de secado, que cuente con buena capacidad, para atender el alto porcentaje de trabajo dentro del proceso que tiene esta operación y que además contribuya en la disminución del tiempo de procesamiento de la misma; ya que es esta operación, la que en las condiciones actuales se presenta como el cuello de botella del proceso y limita el throughput de la empresa.

### 4. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] ASOHECA, A. d. (1998). Aprovechamiento del cultivo y beneficio del Látex del caucho natural. Florencia, Caquetá
- [2] Enciso, M. I. (2008). Tren laminador para obtención de laminas delgadas de látex (caucho natural). Universidad de Ibagué.
- [3] Banks, J. (2005). Discrete Event System Simulation. 4th Edition. ISBN 81 203 2832-9: Practice-Hall.
- [4] Chase, Aquilano (1995). Administración de Operaciones. Mexico DF; Doyma Mexicana
- [5] Universidad de Ibagué (22 octubre de 2008) Universia. <http://www.universia.netco>
- [6] Ministerio de Agricultura. (2003). "Plantación modelo de caucho en la Amazonía", programa por el desarrollo de la Amazonía, PROAMAZONIA. Amazonas.