

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL



**“ OPTIMIZACION DEL PROCESO DE MEZCLA EN UN EQUIPO
TIPO BANBURY, PARA LA FABRICACIÓN DE NEUMATICOS”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUIMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

JAIME WILDER MENDOZA ROJO

LIMA – PERU

2006

RESUMEN

Como suele ocurrir en una gran cantidad de procesos, la energía es una de las variables que más impacta en los costos de fabricación de neumáticos.

De otro lado, preservar y optimizar los recursos (materias primas, energía) es uno de los principales objetivos de toda organización para poder ser competitivos en este mundo globalizado.

En este contexto, el presente informe de suficiencia se centra en el estudio de mezcla en un equipo tipo banbury durante la producción de neumáticos; esto por que la etapa de mezcla es el área de mayor consumo de energía y porque constituye el cuello de botella del proceso productivo.

Se empieza describiendo el proceso productivo, para luego analizar las oportunidades a niveles de formulaciones (condiciones de temperatura de mezcla) y variables de proceso que conduzcan a ciclos de mezclas más cortos, de modo que se tenga una mayor productividad y una mejor calidad de los productos.

Los conceptos teóricos, y las experiencias son fundamentales para conseguir los objetivos. Dentro de algunas variables monitoreadas tenemos: Tamaño del lote, adición de insumos (rellenos, plastificantes), formulaciones y temperaturas de proceso entre otras.

INDICE

Resumen		2
I. - Introducción		4
II. - Conceptos teóricos y técnicas del proceso de mezcla		
2.1 Proceso productivo de la fabricación de neumáticos.....		5
2.1.1 Materias primas.....		8
2.1.2 Proceso de elaboración de un neumático.....		13
2.1.3 Diagrama de flujo.....		19
2.2 Area de mezclado.....		20
2.2.1 Descripción de principales equipos.....		22
2.3 Formulaciones de compuestos.....		28
2.4 Tipos de mezclas.....		29
III. - Desarrollo del tema		
3.1 Principales variables de Proceso		30
3.1.1 Temperatura de la zona de mezclado.....		30
3.1.2 Presión de mezcla.....		31
3.1.3 Tamaño del lote.....		34
3.1.4 Secuencia de adición de insumos.....		36
3.1.5 Temperatura de descarga del lote.....		40
3.2 Pruebas experimentales de los cambios realizados en las variables de proceso para los principales compuestos		41
3.3 Resultados finales de los cambios realizados		49
IV. - Conclusiones y Recomendaciones		53
V. - Bibliografía		55

I. - INTRODUCCION

Actualmente, en la industria del caucho (neumático y afines) se está dando una fuerte competencia. Existen en el mercado aproximadamente sesenta (60) marcas diferentes de neumáticos. Esto obliga a las empresas a estar en constante mejora de sus procesos.

El proceso de fabricación de un neumático es muy complejo, requiere una alta calidad de los insumos y un proceso con una alta productividad, de esta forma optimizamos el uso de los recursos y minimizamos los costos de fabricación.

El tema presentado, muestra las principales variables que impactan en los ciclos de mezcla, además como estos a su vez pueden ser optimizados con la finalidad de reducir dichos ciclos.

El proceso de mezcla para este tipo de industrias requiere de equipos de alto consumo de energía, por lo que el presente trabajo está abocado a reducir los ciclos de mezcla, y puede ser aplicado a todo tipo de industrias del caucho.

II.- CONCEPTOS TEORICOS Y TECNICAS.

2.1 Proceso productivo de la fabricación de neumáticos.

El proceso se inicia con la recepción de las materias primas; entre las principales tenemos: caucho, negro de humo, plastificantes y agentes vulcanizantes, los cuales serán descritos más adelante. Luego, estos materiales pasan al proceso de mezcla, dando como resultado un producto que será identificado como Compuesto, el cual será utilizado en la elaboración de los componentes requeridos para ensamblar un neumático.

Los compuestos obtenidos en el proceso de molienda son enviados a diferentes procesos con la finalidad de obtener los componentes del neumático.

Dentro de los principales componentes tenemos:

- Componentes entubados (banda de rodamiento y costado) son los componentes externos del neumático constituido únicamente por compuestos. La banda de rodamiento, cuya característica principal en el compuesto es la resistencia a la abrasión y cortes por estar en permanente contacto con el pavimento. En el costado se encuentran los estampados propios del diseño, la base de este compuesto requiere una mayor flexibilidad para amortiguar los golpes a los que se encuentra expuesto el neumático. Estos componentes se obtienen en una extrusora a un contorno especificado según los requerimientos de diseño del neumático.
- Componentes calandrados, conocidos como lonas, que vienen a formar parte de la carcasa del neumático, pueden ser utilizados en

diferentes cantidades según la carga especificada del neumático. Las lonas son formadas por el calandrado de tela (poliéster o nylon) y compuesto con alta adherencia. Las características de tamaño y ángulo de las lonas son definidas por el diseño del neumático y procesadas en máquinas cortadoras.

- Componentes acerados (banda de acero y talones) extrudidos con compuestos que ayudan a la disipación de calor cuando el neumático está en servicio.

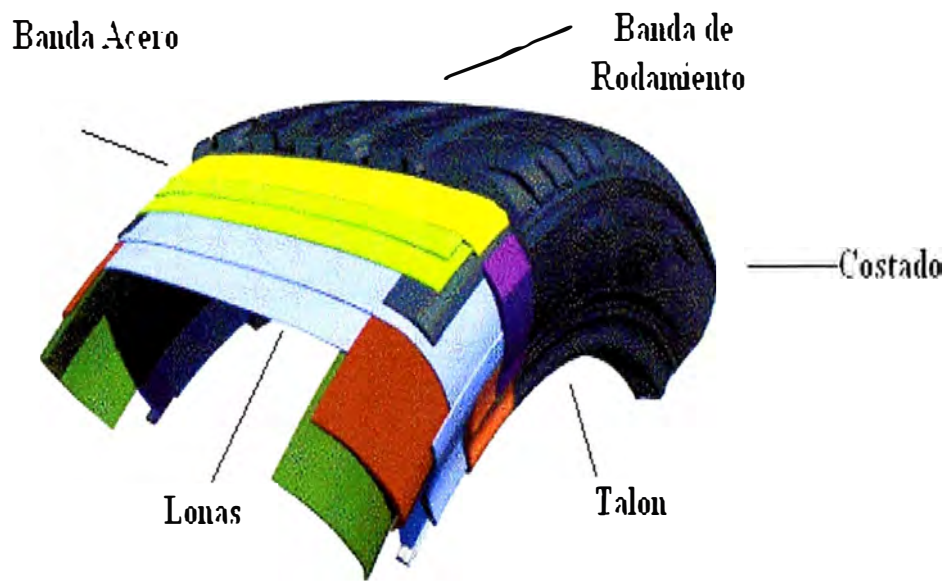
Luego de obtener los componentes, son enviados a las máquinas ensambladoras, en donde se obtendrá un neumático crudo (sin vulcanizar).

Finalmente el producto crudo es enviado a las prensas, en donde es sometido a un ciclo de calentamiento con vapor para obtener un producto vulcanizado.

El producto final es inspeccionado y sometido a pruebas de calificación con límites de acuerdo a su diseño, dentro de los límites más importantes tenemos: Resistencia al peso especificado, dimensiones del producto final y apariencia. Finalmente es enviado a los almacenes para su distribución.

La siguiente figura muestra la sección de un neumático con los principales componentes.

Figura N° 1
Sección de un Neumático y sus Componentes



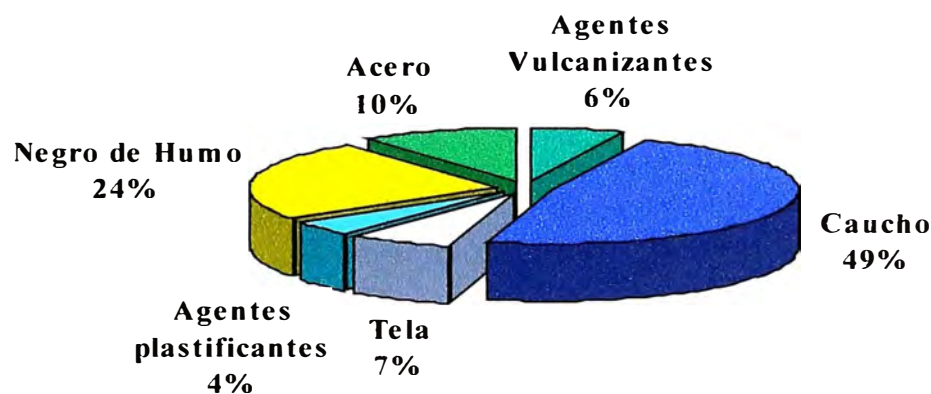
2.1.1. Materias Primas.

Para el proceso de fabricación de neumáticos se utiliza una gran variedad de materias primas entre las que tenemos: cauchos naturales y sintéticos, negros de humo, plastificantes, pigmentos, químicos (aceleradores, antioxidantes, ablandadores, resinas), alambres de acero y cuerdas de nylon y poliéster.

Toda la materia prima se almacena en áreas o recipientes asignados y antes de ser usados son aprobados según las especificaciones mínimas requeridas para asegurar la calidad del producto final.

Gráfica N° 1

Porcentaje de Materias Primas



Dentro de las principales materias primas tenemos:

- a) **Cauchos:** Para la fabricación de neumáticos se utiliza una variedad de cauchos naturales y sintéticos, dependiendo mucho del tipo de neumático y del servicio que realiza. En la tabla adjunta se muestra las principales características:

Tabla N° 1

Principales características del caucho natural y sintético

Características	Caucho natural	Caucho sintético
Proceso de obtención	Se obtiene a partir de un fluido lácteo llamado látex hallado en muchas especies vegetales típicas de regiones tropicales.	Se obtiene a partir del procesamiento de hidrocarburos.
Principales propiedades	Mejor procesabilidad	Resistencia a la tracción, rotura, adherencia y disipación del calor
	Mayor resistencia al corte	Superior en permeabilidad, envejecimiento, y resistencia al calor y desgaste.
	La vulcanización requiere menos agentes acelerantes	La vulcanización requiere menos agente vulcanizante
	Utilizado para vehículos de carga y autobuses.	Utilizado para vehículos de pasajeros
Rango de dureza	20 - 90 shore A	40 - 90 shore A
Costos	Mayor costo	Menor costo

Los principales cauchos son polímeros del Isopreno (C_5H_8), Butadieno (C_4H_6), Estireno (C_8H_8), entre otros.

b) Negro de Humo: Es producido industrialmente como producto de una combustión deficiente de algún combustible que puede ser gas o derivados del petróleo.

Las características más importantes del negro de humo son: Tamaño y estructura de la partícula, superficie activa, densidad y pureza.

Tabla N° 2
Características del negro de humo

Área superficial:	254 m ² /g
Tamaño de partícula:	30 nm
% volátiles:	1,5
Estructura (DBP):	188 cm ³ /100g
Densidad aparente:	0,098 g/cm ³
Pureza (%):	C: 97,786; H: 0,195; N: 0,530; S: 0,538

(DBP) Absorción de dibutil ftalato

Los resultados más importantes del uso de esta materia prima son: Mejorar las propiedades físicas de los compuestos, disminuir el costo del compuesto, aumentar la dureza y la temperatura de los componentes extrudidos.

Dentro de los diferentes códigos de negro de humo tenemos:

Código ASTM: N220, N330, N990, N660, N110, entre otros.

El uso de cada código depende del tipo y servicio del neumático.

Tabla N° 3

Principales códigos de negro de humo utilizado

Códigos de negro de humo utilizado			
Código ASTM	Area Superficial (m²/g)	DBP	Descripción y Usos
N550	40 - 49	121	Utilizado para componentes de banda de rodamiento
N220	100 - 120	114	Utilizado para componentes de banda de rodamiento
N660	33 - 39	90	Utilizado para componentes de lonas.
N326	70 - 99	72	Utilizado para componentes de lonas.
N234	100 - 120	125	Utilizado para componentes de banda de rodamiento.
N339	70 - 99	120	Utilizado para componentes de lonas.
S212	100 - 120	85	Muy poco utilizado.

Donde:

Prefijo “ N”, significa negro de humo para compuestos de cura normal.

Prefijo “S”, significa negro de humo para compuestos de cura lenta.

Los prefijos N1 y N2, corresponden a negros de humo típicos para componentes de bandas de rodamientos, por ser de un tamaño de partícula muy pequeño (mayor área superficial) y que tienen mayor resistencia al desgaste y a la abrasión.

Los prefijos N3, corresponden a negros de humo típicos para componentes de lona, tienen mayor tamaño de partícula.

c) Agentes del proceso de vulcanización: En la vulcanización intervienen los siguientes agentes:

- Agente vulcanizante, ampliamente utilizado “azufre” puro, es el agente que va unir las cadenas de los polímeros.
- Agentes acelerantes, productos químicos utilizados en presencia del agente vulcanizante para reducir la velocidad de vulcanización y tener procesos más eficientes y productivos.
- Agente activador, agente adicionado en un sistema de vulcanización, para mejorar la aceleración y permitir tener un entrecruzamiento óptimo. El activador más ampliamente utilizado en este proceso es a partir de óxidos metálicos (ZnO), que trabaja conjuntamente con el ácido esteárico (ácido graso), dispersándose en este último y permitiendo que el calor ingrese rápidamente a la zona de la reacción entre el polímero y el azufre.
- Agente retardante, producto químico adicionado para prevenir que suceda vulcanización prematura en los procesos previos (extrudidos, calandrados, etc.).

d) Plastificantes, son agentes que ayudan a incorporar el negro de humo, reduciendo la potencia requerida para la incorporación de todos los insumos, promueven la adhesión de los componentes y reducen el costo de los compuestos.

Dentro de los principales agentes plastificantes tenemos: Aceites aromáticos, nafténicos y parafínicos, además de resinas naturales o sintéticas.

2.1.2. Proceso de elaboración de un neumático

a) Mezcla de insumos

La primera etapa se inicia con la mezcla por lotes en un equipo cerrado, llamado “Banbury”, donde se mezclan los polímeros (natural y sintético) con otros insumos industriales como: negro de humo, plastificantes y agentes vulcanizantes.

Todo lote mezclado tiene una especificación de tiempo y temperatura, que varía según la formulación y característica propia del compuesto, cuanto mayor es el porcentaje de caucho natural, mayor serán los tiempos de mezcla, una vez que estas condiciones han sido alcanzadas, el lote es descargado en un molino abierto, donde es laminado para ser evacuado, enfriado y apilado en plataformas para su posterior uso.

Los compuestos que se obtienen del proceso de mezclado, se utilizan en la extrusora, calandrado, construcción de pestañas y bandas de acero.

La conformidad de los estándares de calidad de estos compuestos son analizados en el laboratorio mediante controles

físicos (velocidad de vulcanización, gravedad específica y viscosidad).

b) Extrusión

En esta parte del proceso se calienta el compuesto en molinos abiertos y son enviados en forma de tiras de alimentación al proceso de extrusión, tomando la forma del perfil de la matriz, en esta etapa del proceso la propiedad crítica es la viscosidad del compuesto, otra variable importante es el control de la temperatura. Las principales características de los componentes extrudidos son los perfiles, anchos y pesos.

c) Calandrado.

En esta etapa, la principal materia prima utilizada es la tela (nylon y poliéster) que viene almacenada en bobinas, pasando por rodillos secadores con la finalidad de eliminar la humedad absorbida por la tela, luego pasa por las calandrias, donde se prensa el compuesto previamente calentado en los molinos abiertos, finalmente es enfriado en rodillos para controlar la temperatura final del tratamiento, el cual es el producto de este proceso, el control de la temperatura es importante por influenciar directamente con la propiedad de adherencia, que es crítico para la etapa de ensamblaje.

El tratamiento debe tener las características de peso y calibre especificadas para ser cortado a un ancho y ángulo definido por el área de Servicio Técnico, quien define las especificaciones de acuerdo a los diseños de los neumáticos.

d) Construcción de componentes acerados.

Esta etapa se divide en dos partes: la construcción de talones y bandas de acero. Para ambos casos el compuesto es alimentado a una extrusora en frío, la cual aplica goma al alambre de acero.

El tratamiento de acero es pasado a través de un aro que le dará características de diámetro, número de vueltas y número de alambres. Obtenidas estas características de acuerdo a las especificaciones correspondientes, el componente es denominado talón.

Para las bandas de acero, el proceso de extrusión es similar, la gran diferencia es el número y diámetro de los alambres, de este proceso sale un tratamiento de acero el cual es cortado y enrollado en carretes que pasan luego a la conformadora de bandas de acero, dándole el perímetro específico para cada diseño de neumático.

e) Ensambladora.

En esta parte del proceso, se ensambla el neumático en base a los componentes producidos en los procesos anteriores, estos son colocados sobre un tambor rotatorio, el diámetro usado es de acuerdo al aro del neumático a ensamblar y el ancho del tambor define la tensión del neumático.

La aplicación de los materiales es manual y para un mejor conformado, estos son planchados por rodillos cónicos a la presión establecida con la finalidad de eliminar aire atrapado entre los componentes, produciendo en la etapa de vulcanización productos no conformes.

f) Vulcanización.

Los neumáticos crudos previamente lubricados, son colocados en prensas, por un tiempo y temperatura de cura definido por el tamaño del neumático, luego es sometido a un enfriamiento, para darle la forma y tensión necesaria, manteniendo aire a presión en su interior.

La vulcanización es un proceso térmico, donde un compuesto que contiene agentes vulcanizantes (azufre en una vulcanización sulfúrica), es posible convertirlo de un material plástico a un producto elástico.

Químicamente la vulcanización es el entrecruzamiento de la molécula del polímero con el agente vulcanizante, formando estructuras tridimensionales. En la vulcanización usando azufre, se introducen entrecruzamientos sulfúricos, a través de la cadena del polímero.

La siguiente estructura química muestra el resultado del entrecruzamiento de las moléculas de los polímeros con el agente vulcanizante.

g) Inspección de producto final.

Para los neumáticos radiales se realiza una mayor de cantidad de controles debido a las características del producto, ya que tienen una mayor flexibilidad y rigidez sobre el pavimento en el servicio, por tal motivo las exigencias de los clientes son mayores, realizándose los siguientes controles:

- Inspección visual: detecta las fallas visibles del proceso.
- Control de variación de fuerza: controlando la distribución de fuerzas radiales y laterales ejercidas por la etapa de ensamble del neumático.
- Balance estático y dinámico: controla la distribución de masa a lo largo de la circunferencia del neumático.
- Rayos X: controla la distribución y apariencia de componentes acerados

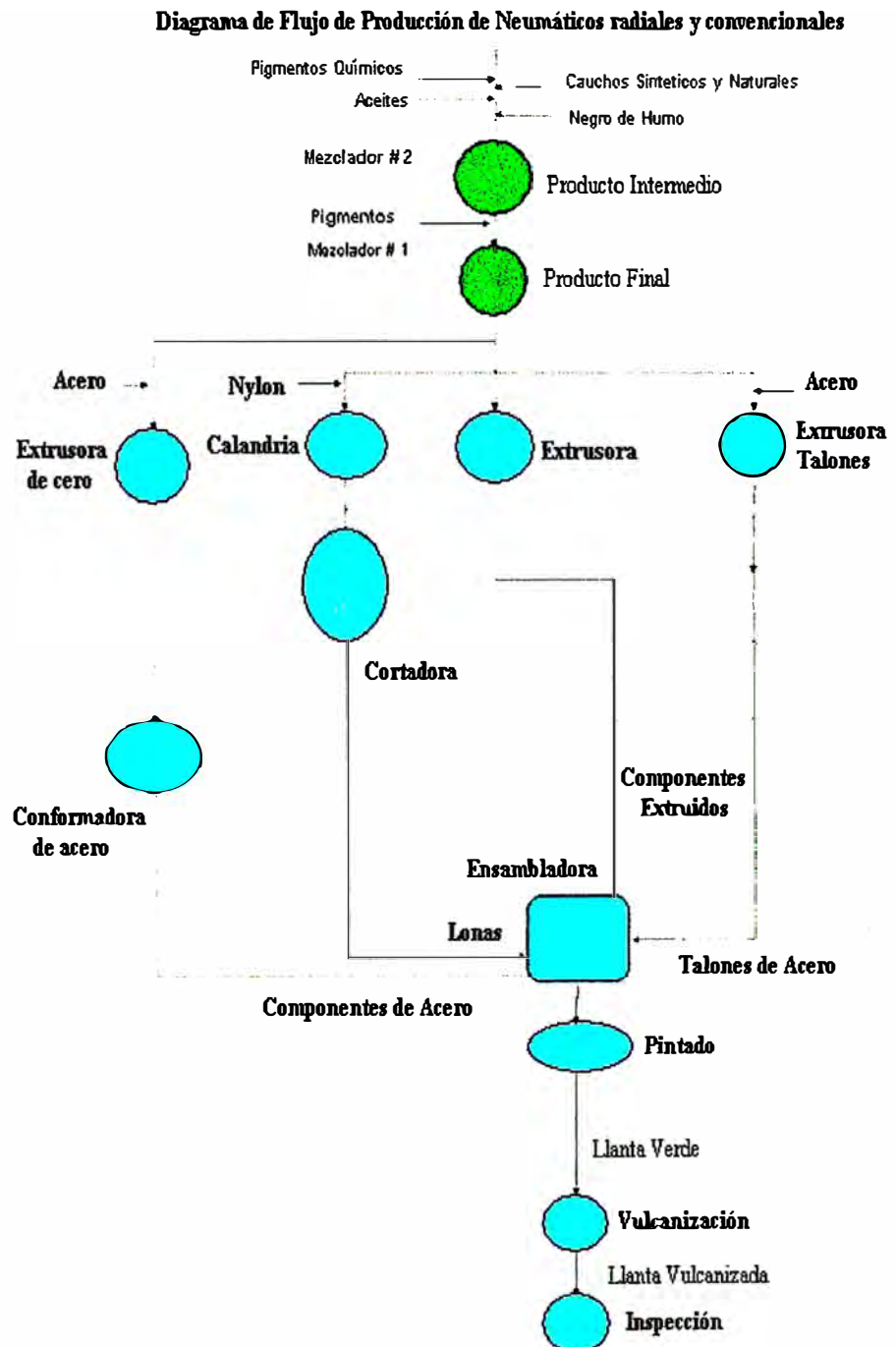
Para el caso de neumáticos convencionales, solo se realiza la inspección visual. Es necesario aclarar que la principal diferencia entre los tipos de neumáticos es el ángulo de corte de los tratamientos (radial, ángulo de 90° y convencional con un rango de 50° - 65°) y los componentes acerados solo para neumáticos radiales.

Los neumáticos que se encuentran dentro de los límites establecidos son almacenados en parihuelas y transportados por medio de montacargas al almacén de productos terminados.

2.1.3. – Diagrama de flujo del proceso productivo de la fabricación de neumáticos

El Diagrama de Flujo muestra el proceso para la elaboración de neumáticos, el cual va desde la recepción de la materia prima hasta la inspección del producto final.

Figura N° 3



2.2. Descripción del área de mezclado:

El área de mezcla viene a ser el inicio del proceso productivo para la industria de fabricación de neumáticos, aquí es donde se realiza la mezcla de todas las materias primas para la elaboración de los diferentes compuestos que vendrán a ser parte de los principales componentes de los neumáticos.

La operación de estos mezcladores se realiza por lotes de 200 kg. de peso aproximado, dependiendo del tipo y capacidad del mezclador.

Esta área está básicamente formada:

- Mezclador interno llamado banbury, que viene a ser el equipo más importante para el proceso de mezcla y a la vez el que tiene el porcentaje más alto de consumo de energía.
- Molinos de rodillos para laminar y evacuar los compuestos.
- Cadena de evacuación.
- Zona de apilado.

Los compuestos aquí mezclados pasan a las siguientes áreas del proceso productivo como son:

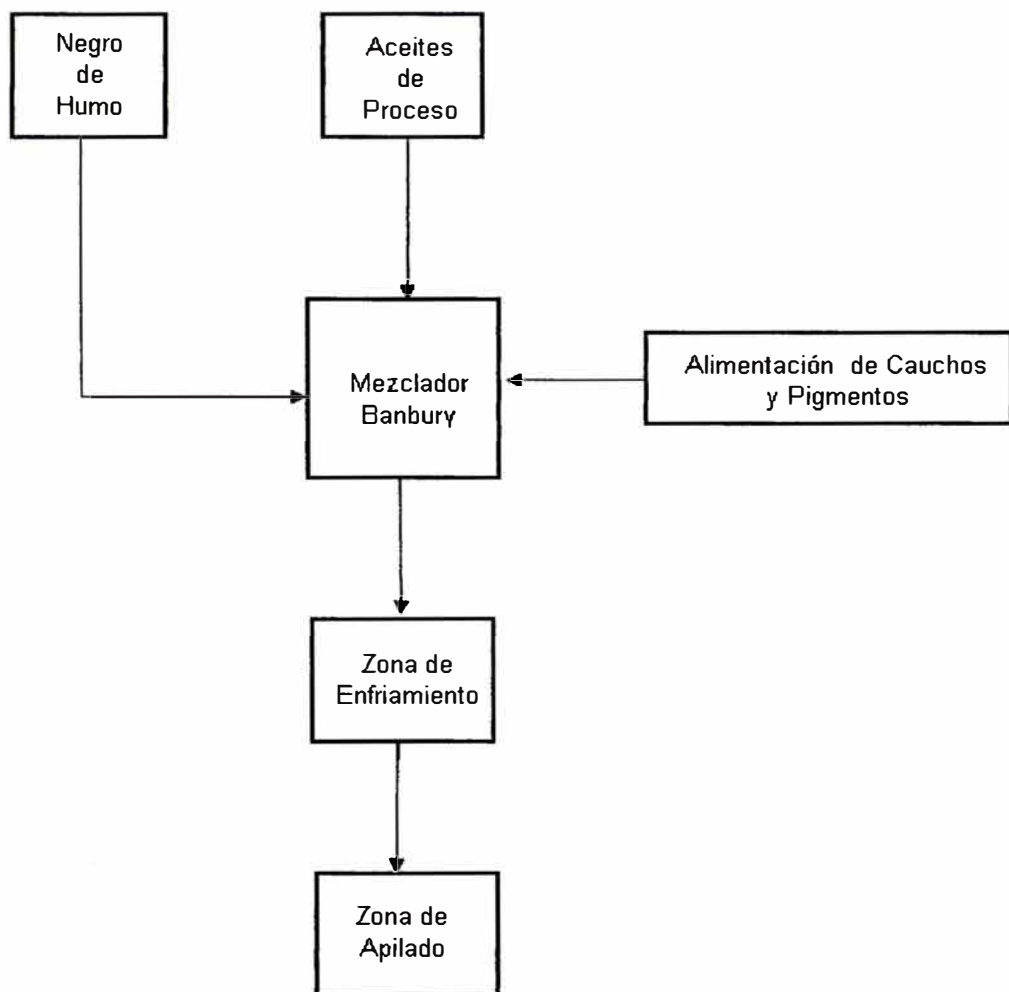
- Extrusora
- Calandrias y cortadoras.
- Máquina de talones y bandas de acero.

De donde se obtendrán todos los componentes mencionados, que serán utilizados en el área de ensamblado.

En el siguiente diagrama se muestra el área de mezcla.

Figura N° 4

Diagrama del Area de Mezclado



2.2.1. Descripción de Principales Equipos.

Dentro de los principales equipos tenemos: mezclador interno llamado “Banbury” y molinos de laminación y evacuación.

a) **Mezclador interno**, consta de dos rotores que giran en sentidos opuestos. En cada rotor se especifica el número de aletas, dependiendo del tipo y tamaño del mezclador.

Tabla N° 4
Especificaciones técnicas del mezclador interno
(Tipo: 11D 2W 40RPM)

Díametro del cilindro del ram	11"
Número de alas	2
Velocidad	40 rpm
Volumen	237 litros
Potencia	400 HP

Las partes principales de un mezclador interno son:

- **Rotores**, giran en sentido contrario, la característica más importante es el número de aletas que lo conforman, viene a ser la superficie donde se dan las fuerzas de corte de los cauchos para la incorporación del negro de humo y los pigmentos.

La figura N° 5, muestra la vista de un corte del rotor y la figura N° 6 representan los movimientos internos del compuesto, durante la mezcla.

Figura N° 5
Vista vertical del rotor

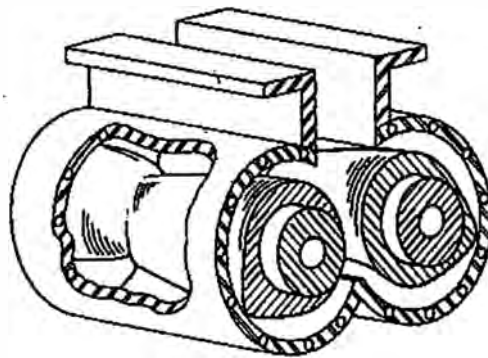
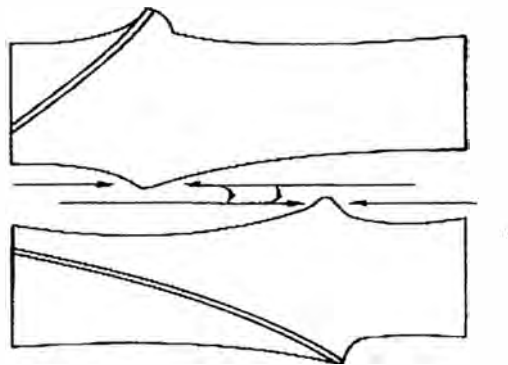


Figura N° 6
Vista superior del rotor



- **Peso flotante o Ram**, da la presión efectiva sobre el compuesto dentro de la caja de mezcla, el efecto de la presión sobre el tiempo de mezcla es muy importante, a medida que la presión aumenta, el tiempo de mezcla disminuye.

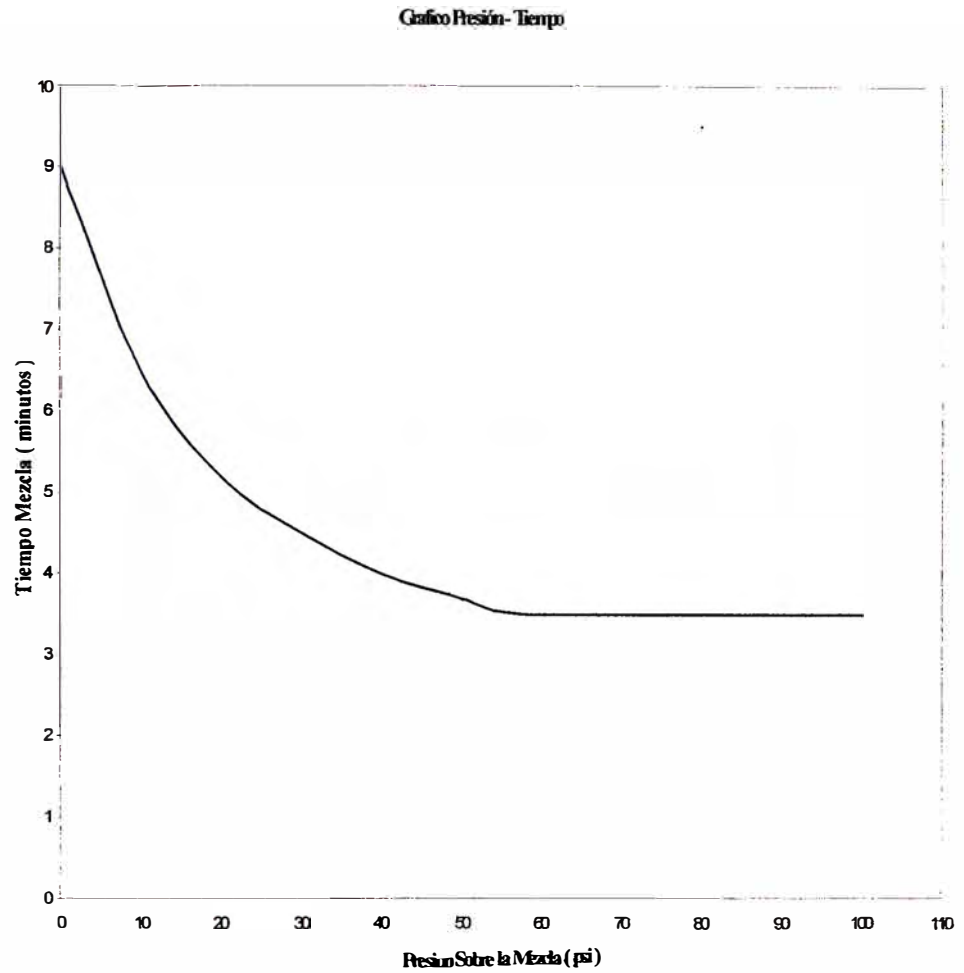
Existen valores definidos de presión, dependiendo del tipo de mezclador interno.

Trabajar a presiones muy bajas no es recomendable, porque aumentamos el tiempo de mezcla y no existe una buena dispersión de los insumos.

La gráfica N° 2 adjunta muestra la curva de presión versus tiempo de mezcla.

Gráfica N° 2

Efecto de la presión sobre el tiempo de mezcla



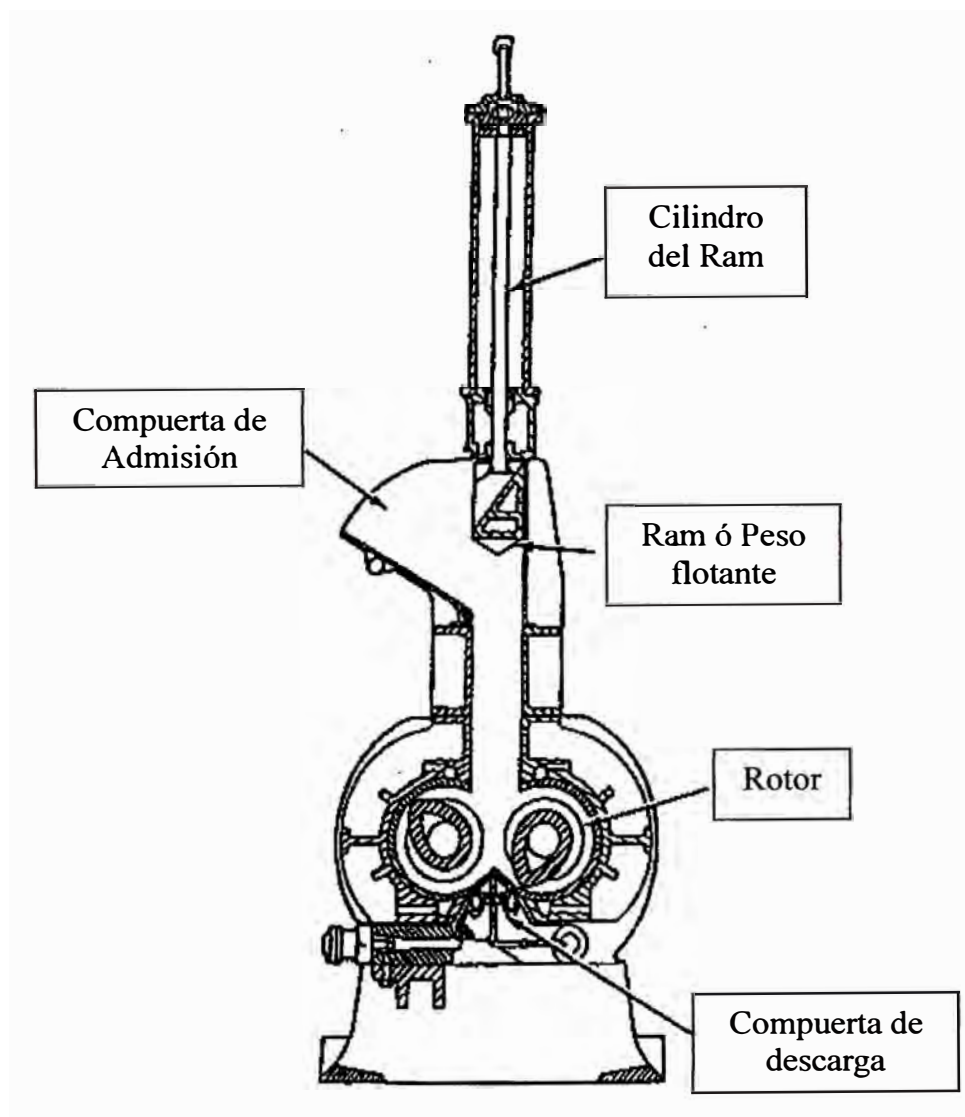
Otras partes importantes del mezclador interno son:

Compuerta de descarga, Puerta de admisión y cilindro del peso flotante.

La figura N° 7, muestra el cuerpo de un mezclador interno llamado Banbury.

Figura N° 7

Mezclador interno "Banbury"



- b) **Molinos de Laminación y Evacuación**, los molinos de evacuación constan de dos rodillos de superficie lisa o corrugada (rodillo frontal y rodillo posterior), que operan a una relación de velocidad especificada, dependiendo del uso y tamaño de los molinos.

Para los molinos del mezclador interno se tienen las siguientes características técnicas:

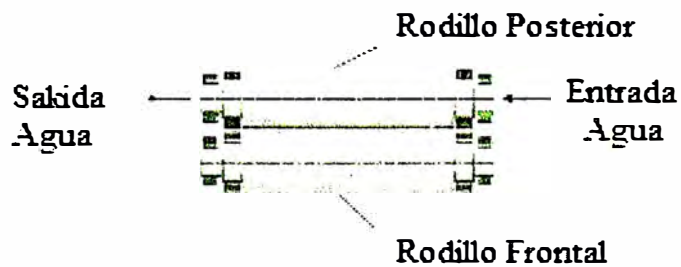
Tabla N° 5
Características del mezclador interno

Diámetro	24"
Longitud	84"
Relación de velocidad	1:1,08 (Rodillo posterior / rodillo frontal)
Temperatura de operación	160 °F
Potencia	200 HP

La siguiente figura muestra el esquema de un molino de evacuación.

Figura N° 8

Molino de Evacuación y Laminación



2.3. - Formulaciones de Compuestos.

Todos los compuestos se formulan en base de cien (100) partes de caucho (natural o sintético), los demás insumos son balanceados sobre la base mencionada de caucho.

En la formulación de compuestos es común el uso de los siguientes términos:

- a) **Libro fórmula**, viene a ser la lista de los insumos de la fórmula, basado en las 100 partes de caucho. Adicionalmente contiene los porcentajes de cada insumo y los números de pasos.
- b) **Paso**, viene a ser el número de veces que el compuesto es pasado a través del mezclador interno. Este paso puede ser un no productivo ó primer paso, un remolido o un paso final productivo.
- c) **Producto intermedio (primer paso)**, también conocido como maestras, viene a ser el primer paso de mezcla, generalmente esta constituido por el total de caucho natural, el negro de humo y algunos otros insumos.
- d) **Remolido**, viene a ser un paso adicional que se realiza en el mezclador para reducir la viscosidad y tener un mejor proceso de extrusión.
- e) **Producto final (finales)**, también conocido como finales, este compuesto contiene todos los agentes vulcanizantes, que van a permitir tener un proceso de vulcanización óptimo.
- f) **PHR**, viene a ser la abreviación de partes de insumos por cien partes de caucho, usado para indicar las proporciones de los insumos en un compuesto.

2.4. - Tipos de Mezcla

Existen muchos métodos de mezcla de compuestos, los cuales dependen mucho de las propiedades físicas que se quieren conseguir.

Dentro de los métodos más comunes tenemos:

- a) **Inyección de plastificante retardado**, en este método, el aceite que cumple la función de plastificante, es adicionado a una temperatura de mezcla especificada, que usualmente se encuentra alrededor de los 100 °C, la cantidad de aceite, el tiempo de inyección y la temperatura son variables muy importantes para conseguir un tiempo de mezcla óptimo y una buena dispersión de los insumos.

- b) **Inyección de plastificante al inicio de la mezcla**, con este método, se logra reducir los tiempos de mezcla, teniendo como desventaja una baja dispersión de los insumos, el promedio de la dispersión esta alrededor de los 75%. Solo es permitido para compuestos donde no se requiere una alta dispersión.

- c) **Mezclas en un solo paso**, muy poco utilizado y no recomendado, por que se obtienen propiedades físicas muy por debajo de los valores especificados.

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1.- principales variables de proceso.

El mayor uso de energía en la industria de neumáticos se encuentra concentrado en el área de mezclado.

Existen muchos procedimientos de mezcla que pueden contribuir a reducir el consumo de energía, reduciendo los tiempos de mezcla y ciclos de mezcla, y mejorando la calidad de los compuestos.

Dentro de los parámetros de procesos más importantes que determinan el consumo de energía tenemos:

- Temperaturas de la zona de mezcla.
- Presión de mezcla
- Tamaño del lote
- Secuencia de adición de insumos.
 - Cargas (negro de humo, sílica, etc.)
 - Aceites y Plastificantes.
 - Pigmentos.
- Temperatura de descarga del lote

3.1.1 - Temperatura de la zona de mezcla.

Durante muchos años la temperatura de las zonas de mezcla especificada, han sido las siguientes:

- | | |
|---------------------------------|--------|
| • Chaquetas frontal y posterior | 30 °C |
| • Rotores | 25 °C |
| • Compuerta de descarga | 25 °C. |

Actualmente, con el objetivo de tener ciclos de mezcla más cortos, los especialistas en este proceso, sugieren utilizar las siguientes temperaturas de trabajo:

- Chaquetas frontal, posterior y rotores 55°C
- Compuerta de descarga 60°C

Altas temperaturas de zonas de mezcla, causan una rápida trituración del caucho, reduce el tiempo de incorporación del negro de humo, el tiempo de mezcla y por consiguiente disminuye el consumo de energía.

Adicionalmente, trabajar a temperaturas elevadas, disminuye los tiempos perdidos por problemas de evacuación, siendo el mayor, compuestos pegados en la compuerta de descarga.

Con estos cambios en el aumento de temperatura, se redujo los tiempos de ciclo entre tres a cinco segundos/lote. Dando como resultado un aumento de veinte lotes adicionales al día (tres mil segundos por día).

3.1.2. Presión de Mezcla

Las antiguas especificaciones, referencias bibliográficas recomendaban trabajar a una presión efectiva de 24 psi, para lo cual se mantenía una presión de línea de 35 psi.

Experiencias realizadas en otras plantas más productivas, demuestran que trabajar a una presión elevada, reduce los tiempos de mezcla, aumentando la fuerza de contacto entre el caucho y la superficie del rotor (gráfica N° 2).

Trabajando a altas presiones, el caucho empieza a fluir a bajas temperaturas, disminuyendo el tiempo de incorporación del negro de humo e insumos y reduciendo el tiempo de mezcla.

Para las características del Banbury (Tipo 11D W/T, 40 rpm de velocidad), para alcanzar una presión efectiva de 54 psi, se debe mantener una presión de línea de 79 psi (referencia tabla N° 3)

Tabla N° 6
Tabla de presión efectiva

Tamaño mezclador	BB270	11D	11D	11D W/T
Tamaño cilindro	22"	11"	16"	22"
Tamaño ram	17,625" X 34,625"	11" X 31,5"	11" X 31,5"	17,5" X 31,5"
Presión de la				
línea de aire (PSI)	ESP	ESP	ESP	ESP
35	22	10	20	24
37	23	10	21	25
39	24	11	23	27
41	26	11	24	28
43	27	12	25	29
45	28	12	26	31
47	29	13	27	32
49	31	13	28	33
51	32	14	30	35
53	33	15	31	36
55	34	15	32	38
57	36	16	33	39
59	37	16	34	40
61	38	17	35	42
63	39	17	37	43
65	40	18	38	44
67	42	18	39	46
69	43	19	40	47
71	44	19	41	48
73	45	20	42	50
75	47	21	44	51
77	48	21	45	53
79	49	22	46	54
81	50	22	47	55
83	52	23	48	57
85	53	23	49	58
87	54	24	50	59
89	55	24	52	61
91		25	53	62

Durante la mezcla de un lote, a una determinada temperatura, el peso flotante sube hasta la posición superior del mezclador e inmediatamente baja hacia el compuesto, para continuar con la presión efectiva sobre el lote, este ciclo se realiza con la finalidad de limpiar el peso flotante de los residuos de negro de humo que pudieran haber quedado sobre él.

Este ciclo dura aproximadamente 8 - 10 segundos. Durante este tiempo el compuesto sigue mezclándose sin presión efectiva alargando los tiempos de mezcla y disminuyendo la dispersión de los insumos, por lo tanto:

- Para mezcla de productos intermedios con adición de aceite retardado, la subida del peso flotante se da únicamente al momento de la inyección de aceite, otra secuencia adicional no es necesaria.
- Para mezclas de productos intermedios, donde el plastificante es adicionado al inicio de la mezcla, una secuencia de subida de peso flotante puede ser necesaria dependiendo del tipo de caucho, este ciclo es recomendado cuando la mezcla alcance la temperatura de 220 – 260 °F, debido a que en este rango el negro de humo ya ha sido incorporado al compuesto.
- Para mezclas de remolidos y productos finales no es necesario esta secuencia.

Esta reducción de ciclos de subida de peso flotante innecesaria, representa un aumento de diez lotes adicionales de mezcla por día.

3.1.3. Tamaño del Lote.

Una de las variables más importantes en el proceso de mezcla es el peso del lote. Un adecuado peso aumenta la calidad y eficiencia del proceso.

Lotes pequeños resultan en una pobre presión efectiva sobre el compuesto dentro de la caja de mezcla, debido a que el peso flotante no entre en contacto con el compuesto, para poder tener la presión efectiva.

Lotes grandes, disminuyen el flujo del polímero dentro de la caja de mezcla, obteniendo una mala dispersión del negro de humo y aumentando los tiempos de mezcla.

La fórmula para el cálculo del peso exacto es:

$$\text{Peso Lote} = \% \text{ Fill} \times V \times D \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

% Fill: % de relleno, depende del tipo de polímero.

V: Volumen del mezclador.

D: Densidad del compuesto.

Los siguientes porcentajes de relleno son recomendados para los siguientes mezcladores y tipos de polímeros:

Tabla N° 7
Porcentajes de relleno recomendados

Porcentaje de relleno	Mezclador 1	Mezclador 2
Caucho natural producto intermedio	71%	72%
Caucho natural remolidos y producto final	73%	74%
Caucho sintético producto intermedio	73%	74%
Caucho sintético remolidos y producto final	75%	76%
Caucho halogenado	77%	78%

Donde:

Mezclador 1: Tipo 11D, 237 litros de volumen, 30 rpm y dos paletas

Mezclador 2: Tipo 11D, 232 litros de volumen, 40 rpm y cuatro paletas

La fórmula anterior mencionada (ecuación 1), debe ser utilizada como punto de partida para obtener el peso del lote apropiado. Los pesos pueden ser ajustados hacia arriba o hacia abajo, dependiendo del tipo de material a ser mezclado.

Un porcentaje de relleno por encima del 80% no es recomendado porque aumenta el tiempo de molienda y disminuye la calidad del producto.

3.1.4. Secuencia de adición de insumos.

La secuencia como se adicionan los insumos en la caja de mezcla es otro parámetro muy importante, de ello depende el tiempo de mezcla y la calidad del producto (dispersión del negro de humo). A continuación se describe las principales recomendaciones a tener en cuenta en la adición de insumos:

- 1° Para obtener una mejor dispersión, el negro de humo debe ser adicionado al inicio de la mezcla, cuando la temperatura es baja y las viscosidades y fuerzas son muy altas. esto resulta en un mayor aumento de la fuerza de corte y trituración del caucho, reduciendo el tiempo de incorporación y disminuyendo la viscosidad del producto mezclado.
- 2ª Los aceites y plastificantes se deben inyectar a una correcta temperatura, para evitar caídas de temperatura de mezcla, las siguientes recomendaciones se implementaron en base a experiencias de otras plantas, con la finalidad de obtener ciclos de mezcla más cortos:
 - Para mezclas con inyección de aceite retardado, este se debe incorporar en el rango de temperatura de 220 – 260 °F. El aceite adicionado a temperatura elevada, actúa como lubricante, perdiendo todas las fuerzas de corte, disminuyendo la dispersión y aumentando el tiempo de mezcla.
 - Adicionando el plastificante muy tarde (temperaturas mayores de 260 °F), no se tiene el

tiempo suficiente para incorporar todo el aceite, esto puede traer problemas de tiempos perdidos al momento de evacuación del compuesto en los molinos:

- 3^a Los agentes vulcanizantes deben de ser colocados en la parte central del lote en forma de “Sandwich”. Adicionarlos al inicio ocasiona que el lote resbale dentro de la caja de mezcla, perdiendo las fuerzas de corte. Adicionarlo al final ocasiona perdida de los agentes al momento de la bajada del peso flotante, produciendo contaminación de los compuestos y generación de productos fuera de especificación.
- 4^a Para fórmulas con varios polímeros, por ejemplo: caucho natural y sintético, es recomendable que el polímero de mayor viscosidad ingrese primero a la caja de mezcla, seguidos por los otros de menor viscosidad. Esto asegura una mayor fuerza de corte y una rápida incorporación de negro de humo.
- 5^a Es muy importante que en la formulación no se adicionen agentes antioxidantes en el paso final (productivos), porque estos actúan como lubricante, aumentan el tiempo de mezcla y disminuyen la dispersión.

Las tablas adjuntas muestran la formulación y especificación de mezcla antes de iniciar los cambios en la secuencia de adición de insumos, para un compuesto utilizado en la fabricación de neumático.

Tabla N° 8
Formulación para el compuesto AB-943.

Insumos	Partes	X-S943	AB-943
SBR	89,38	89,38	
PBD	35,00	35,00	
Negro de humo	70,0	70,00	
Aceite	14,00	14,00	
Acelerante 1	0,66		0,66
Acelerante 2	0,24		0,24
Antioxidante	0,75		0,75
Acido graso	2,00	2,00	
Antiozonante	0,96		0,96
Oxido metálico	2,00		2,00
Agente vulcanizante	1,40		1,40
Parafina	3,80	3,80	
X-S943			214,18
Total de partes	220,19	214,18	220,19

Tabla N° 9
Especificación de mezcla para el compuesto AB-943

Parámetros de Mezcla	X-S943	AB-943
Mezclador	#2	#1
% relleno lote	75,2%	74,7%
Peso lote (Kg)	185	200
Tiempo descarga negro humo (s)	7	No
Subida de peso flotante (°F)	300	No
Temperatura de inyección aceite (°F)	240	No
Tiempo bomba inyeccion (s)	40	No
Temperatura descarga (°F)	355	230
Tiempo mezcla (min)	2,5	2
Tiempo ciclo (min)	3	2,5
Presión de peso flotante (psi)	35	35
Velocidad (rpm)	40	30
TCU: Compuerta descarga, cuerpo y rotores - 34°C		

La tabla N° 9 muestra la nueva especificación para el mismo compuesto, resaltando los cambios en la secuencia de adición de insumos y variables de proceso de mezcla.

Tabla N° 10

Nueva formulación para el compuesto AB-943

Insumos	Partes	X-S943	AB-943
SBR	89,38	89,38	
PBD	35,00	35,00	
Negro de humo	70,00	70,00	
Aceite	14,00	14,00	
Acelerante 1	0,66		0,66
Acelerante 2	0,24		0,24
Antioxidante	0,75		0,75
Acido graso	2,00	2,00	
Antiozonante	96,00	0,96	
Oxido metálico	2,00	2,00	
Agente vulcanizante	1,40		1,40
Parafina	3,80	3,80	
X-S943			217,14
Total de partes	220,19	217,14	220,19

Tabla N° 11

Nueva especificación de mezcla para el compuesto AB-943

Parámetros de Mezcla	X-S943	AB-943
Mezclador	#2	#1
% Relleno lote	74,0%	75,0%
Peso lote (Kg)	183	201
Temperatura inyección aceite (°F)	220	No
Subida de peso flotante con aceite (s)	9	No
Tiempo bomba inyeccion (s)	8	No
Temperatura descarga (°F)	320	230
Tiempo mezcla (min)	2	1.6
Tiempo ciclo (min)	2.5	2
Presión de peso flotante (psi)	79	79
Velocidad (rpm)	40	30
TCU: Compuerta descarga: 60 °C, cuerpo y rotores: 55 °C		

3.1.5. Temperatura de descarga del lote.

Es muy importante seleccionar la temperatura de descarga apropiada para cada compuesto. De ello dependen las propiedades físicas vulcanizadas.

Una baja temperatura de descarga, disminuye el tiempo de mezcla, pero se obtiene una mala dispersión de los insumos, afectando las propiedades físicas de los compuestos.

Elevadas temperaturas generan problemas de evacuación en los molinos y alto desperdicio de producto.

En el caso de productos intermedios, tenemos las siguientes recomendaciones implementadas:

- Mezclar compuestos con alto contenido de caucho sintético (PBD) a temperaturas de 360 °F, causa problemas de evacuación al obtener un compuesto más seco, incrementando la viscosidad del compuesto final. Por tal motivo se recomienda una temperatura de descarga entre 320 - 330°F.
- Temperaturas elevadas para compuestos de caucho natural, causan problemas de evacuación en los molinos, compuestos calientes tienden a adherirse a la superficie del rodillo.

3.2. –Pruebas experimentales de los cambios realizados en las variables de proceso para los principales compuestos.

En esta sección del informe se presentaran cuadros en donde se podrán apreciar los cambios realizados en el tamaño del lote, temperaturas de la zona de mezclado, temperatura de inyección de plastificante y temperatura de descarga del lote de diferentes compuestos.

El impacto que tienen estas variables en la reducción del tiempo de mezcla y el aumento o disminución de la productividad, para poder comparar las variaciones, se analizan las especificaciones de mezcla vigentes contra las propuestas y las implementadas.

En las siguientes tablas, los cambios propuestos e implementados son resaltados en color “ rojo”, para poder diferenciarlos y una mejor comprensión.

Dentro de la columna “ Condición” tenemos que los controles de piso son los valores reales medidos al momento del estudio, y son comparados contra las especificaciones de papel. Los controles de pruebas son las propuestas planteadas y evaluadas para poder obtener finalmente la nueva especificación.

Es necesario aclarar que los compuestos evaluados tienen una nomenclatura que sigue un patrón definido, por ejemplo así tenemos para el compuesto X-389 se define como:

- “X”:
Letras que puede variar, utilizada para poder diferenciar los compuestos, siempre en debe de estar en mayúscula.
- “S”:
Letra utilizado exclusivamente para compuestos intermedios.

Así tenemos que: X-S389, viene a ser el compuesto intermedio del producto final denominado como X-389

La parte numérica sigue la siguiente regla:

- “ 2 ” Número definido para componentes de lonas para cualquier tipo, tamaño y diseño.
- “ 3 “ Numero definido para componente de rodamiento para neumáticos de auto
- “ 6 “ Número definido para componentes de rodamientos para neumáticos pesados de camión.
- “ 7 “ Número definido para componentes de rodamientos para neumáticos de camioneta.

Los dos últimos dígitos numéricos no siguen una regla definida, son utilizados para poder denominar los diferentes compuestos.

Tabla N° 12
Control para el compuesto X-389

Identificación	Condición	Peso Lote kg	Temp Iny Aceite °F	Tiempo Inyección s	Temp subida de peso flotante °F	Temp Descarga °F	Tiempo ciclo (s)	kg/h	% Cambio	Resultados Propiedades Físicas
X-S389	Especificación Papel	185	240	12	290	356	180	3700		
Producto	Controles de Piso	185	240	12	290	356	167	3992		
Intermedio	Controles de pruebas	183	240	13	No	340	147	4485	12,4	Mejora
	Nueva especificación	183	220	9	No	320	146	4512	13,0	
X-389	Especificación Papel	200				230	150	4800		
Producto	Controles de Piso	200				230	131	5503		
Final	Controles de pruebas	201				230	116	6211	12,9	Mejora
	Nueva especificación	201				230	116	6211	12,9	

Tabla N° 13
Control para el compuesto X-761

Identificación	Condición	Peso Lote kg	Temp Iny Aceite °F	Tiempo Inyección s	Temp subida de peso flotante °F	Temp Descarga °F	Tiempo ciclo (s)	kg/h	% Cambio	Resultados Propiedades Físicas
X-S761	Especificación Papel	190	200	9	240	320	190	3600		
Producto	Controles de Piso	190	200	12	240	320	172	3977		
Intermedio	Controles de pruebas	185	220	9	No	320	161	4137	3,9	Mejora
	Nueva especificación	185	220	9	No	320	161	4137	3,9	
X-761	Especificación Papel	200				230	170	4235		
Producto	Controles de Piso	200				205	111	6480		
Final	Controles de pruebas	203				205	107	6840	5,5	Mejora
	Nueva especificación	203				205	107	6840	5,5	

Tabla N° 14
Control para el compuesto X-785

Identificación	Condición	Peso Lote kg	Temp Iny Aceite °F	Tiempo Inyección s	Temp subida de peso flotante °F	Temp Descarga °F	Tiempo ciclo (s)	kg/h	% Cambio	Resultados Propiedades Físicas
X-S785	Especificación Papel	185	Inicio	10	280	340	186	3580		
Producto	Controles de Piso	185	Inicio	10	280	340	202	3309		
Intermedio	Controles de pruebas	167	Inicio	10	No	320	160	3769	13,9	Mejora
	Nueva especificación	167	Inicio	0	No	320	160	3769	13,9	
X-785	Especificación Papel	196				230	180	3920		
Producto	Controles de Piso	196				230	157	4509		
Final	Controles de pruebas	185				230	155	4296	- 4,7	Mejora
	Nueva especificación	185				230	155	4296	-4,7	

Tabla N° 15
Control para el compuesto X-204

Identificación	Condición	Peso Lote kg	Temp Iny Aceite °F	Tiempo Inyección s	Temp subida de peso flotante °F	Temp Descarga °F	Tiempo ciclo (s)	kg/h	% Cambio	Resultados Propiedades Físicas
X-S204	Especificación Papel	177	250	13	290	355	216	2950		
Producto	Controles de Piso	177	250	13	290	355	223	2854		
Intermedio	Controles de pruebas	172	Inicio	10	290	355	172	3598	26,1	Mejora
	Nueva especificación	172	Inicio	0	290	355	172	3598	26,1	
X-204	Especificación Papel	198				240	195	3655		
Producto	Controles de Piso	198				240	168	4085		
Final	Controles de pruebas	189				240	191	3564	-12,7	Mejora
	Nueva especificación	189				240	191	3564	-12,7	

Tabla N° 16

Control para el compuesto X-698

Identificación	Condición	Peso Lote kg	Temp Iny Aceite °F	Tiempo Inyección s	Temp subida de peso flotante °F	Temp Descarga °F	Tiempo ciclo (s)	kg/h	% Cambio	Resultados Propiedades Físicas
X-S6981	Especificación Papel	183	220	11	270	330	190	3467		
Producto	Controles de Piso	183	220	11	270	330	178	3711		
Intermedio	Controles de pruebas	173	220	9	No	330	150	4162	12,1	Mejora.
	Nueva especificación	173	220	9	No	330	150	4162	12,1	
X-S6982	Especificación Papel	195			270	322	136	5162		
Producto	Controles de Piso	195			270	310	111	6320		
Intermedio	Controles de pruebas	181			No	290	96	6784	7,3	Mejora.
Remolido	Nueva especificación	181			No	290	96	6784	7,3	
X-698	Especificación Papel	212				240	186	4103		
Producto	Controles de Piso	212				250	149	5129		
Final	Controles de pruebas	198				220	129	5520	7,6	Mejora.
	Nueva especificación	198				220	129	5520	7,6	

Tabla N° 17

Control para el compuesto X-623

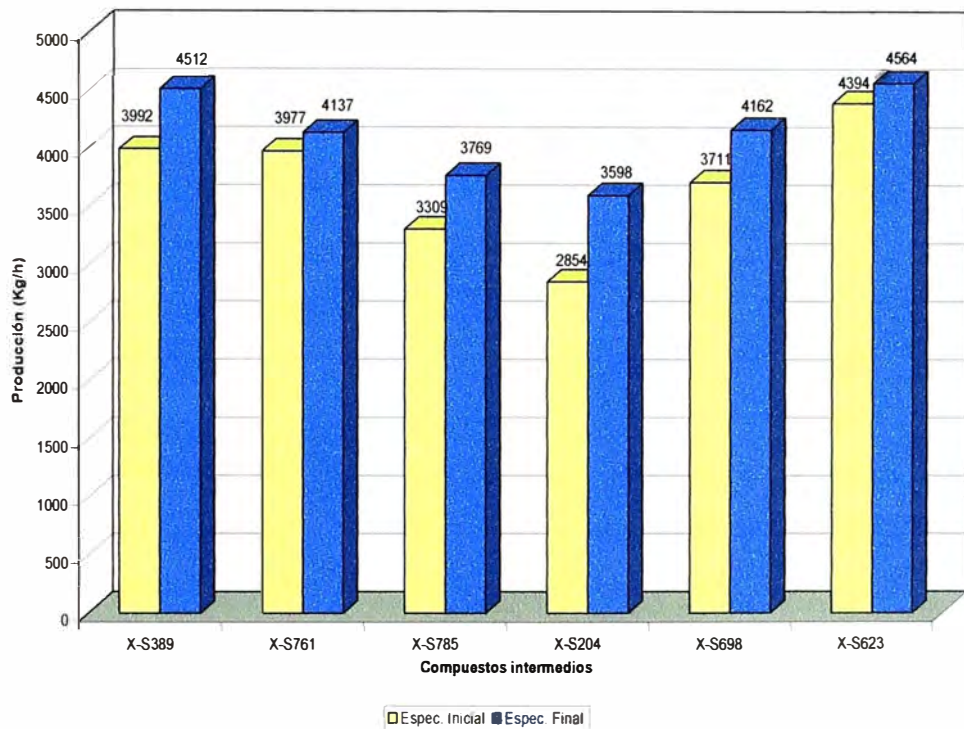
Identificación	Condición	Peso Lote kg	Temp Iny Aceite °F	Tiempo Inyección s	Temp subida de peso flotante °F	Temp Descarga °F	Tiempo ciclo (s)	kg/h	% Cambio	Resultados Propiedades Físicas
X-S623	Especificación Papel	191	250	13	290	360	176	3907		
Producto	Controles de Piso	191	250	13	290	355	157	4394		
Intermedio	Controles de pruebas	177	240	13	No	340	140	4564	3,9	Mejora
	Nueva especificación	177	240	9	No	340	140	4564	3,9	
X-623	Especificación Papel	205				250	170	4341		
Producto	Controles de Piso	205				250	160	4624		
Final	Controles de pruebas	194				230	123	5665	22,5	Mejora
	Nueva especificación	194				240	130	5580	20,0	

3.3 -Resultados finales de los cambios realizados en las principales variables de procesos.

Los cambios propuestos en la formulación y las variables de proceso, impactan fundamentalmente en la disminución de los tiempos de mezcla y como resultado de esta disminución, se tiene un aumento de la productividad. La gráfica N°3 es para compuestos intermedios y la gráfica N° 4 para compuestos finales.

Gráfica N° 3

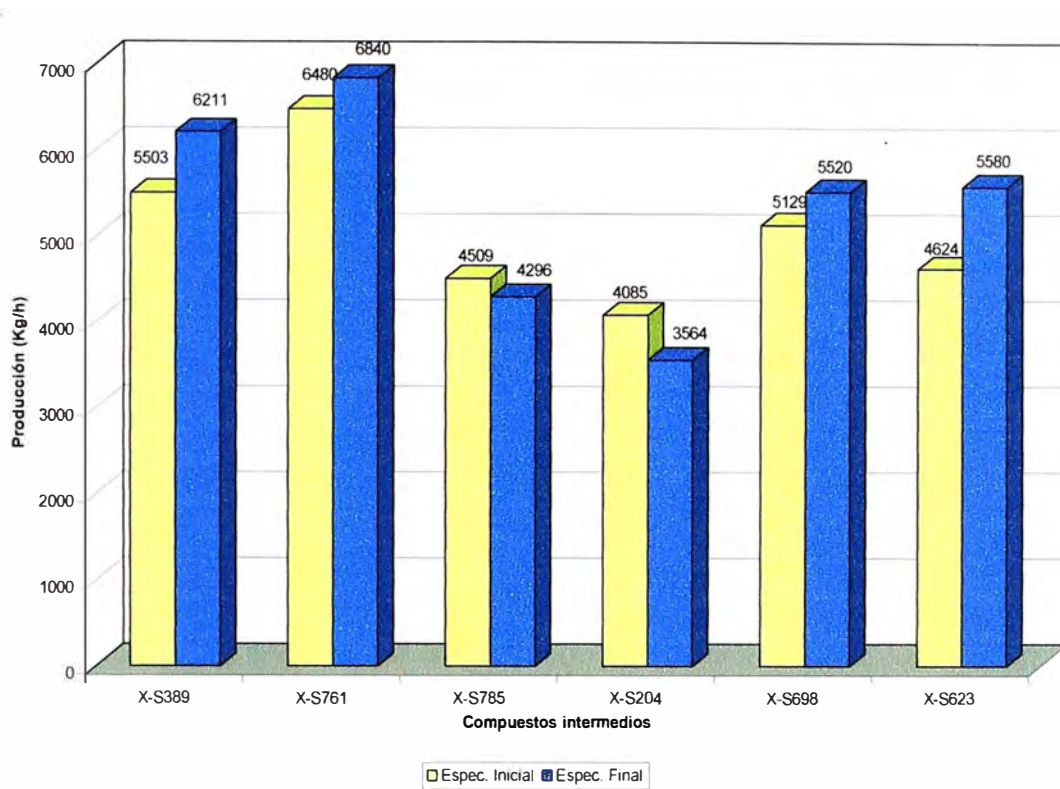
Resultados de los cambios realizados a los compuestos intermedios



Interpretación: Tomando como referencia el compuesto X-S389, para una misma condición de tiempo, la producción anterior era de 3992 kg/h, luego de los cambios implementados, la nueva producción es de 4512 kg/h.

Gráfica N° 4

Resultados de los cambios realizados a los Compuestos Finales



Interpretación: Como en la gráfica anterior, si se toma como referencia el compuesto X-389, para una misma condición de tiempo la producción era de 5503 kg/h y la nueva producción, luego de los cambios implementados es 6211 kg/h. Sigue representando un aumento en la eficiencia.

Tabla N° 18

Resumen del total de cambios implementados
Porcentaje en el incremento de eficiencia

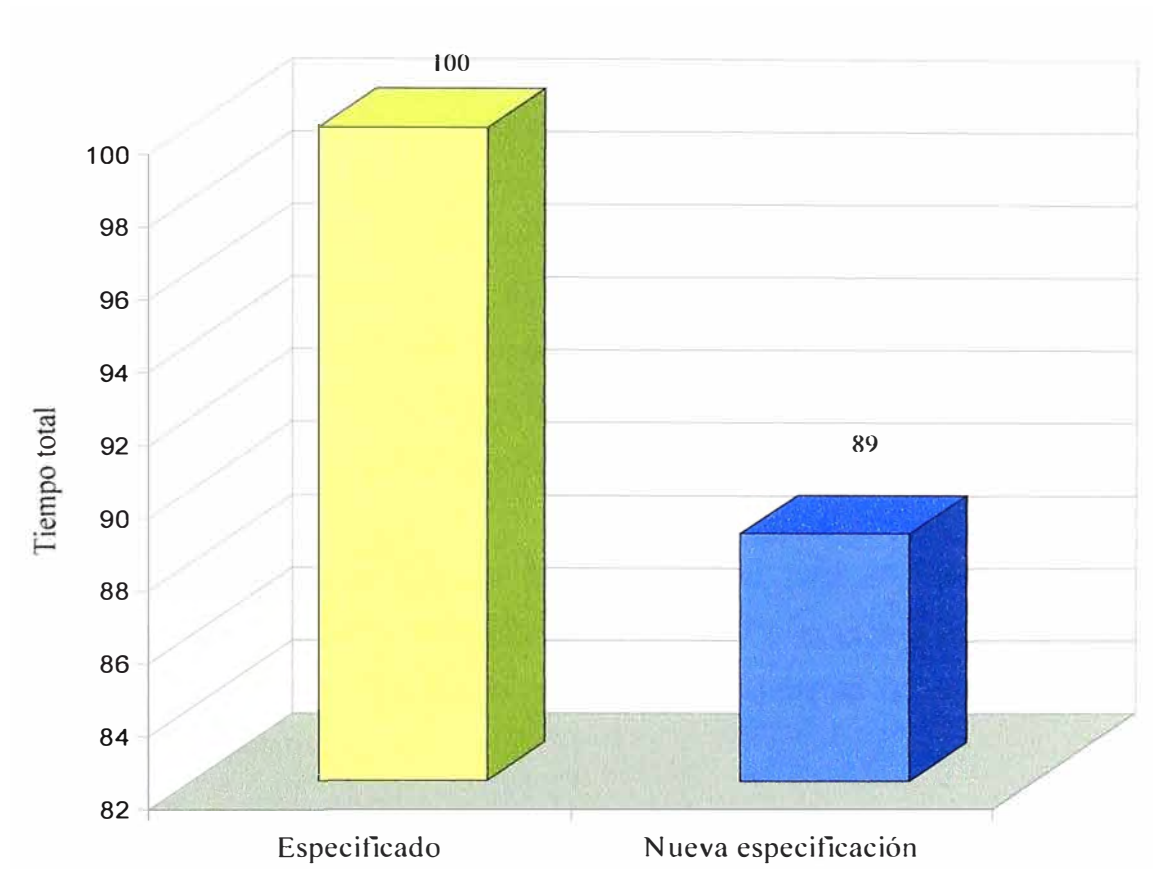
Resumen del tiempo de mezcla					
Compuestos	Tiempo base (s)	Nueva especificación (s)	Ahorro (s / lote)	Cedula (lotes / día)	Ahorro (s / día)
NP-389	167	146	21	55	1155
X-389	131	116	15	55	825
NP-761	172	161	11	70	770
X-761	111	107	4	70	280
NP-785	202	160	42	25	1050
X-785	157	155	2	24	48
NP-204	223	172	51	58	2958
X-204	168	191	-23	58	-1334
NP-6981	178	150	28	26	728
NP-6982	111	96	15	26	390
X-698	149	129	20	25	500
NP-623	157	140	17	26	442
X-623	160	130	30	25	750

Total (s)	2086	1853	233	543	8562
------------------	------	------	-----	-----	------

Total(s/dia)	8562
% Ahorro	11,17

Gráfica N° 5

Porcentaje de disminución de los tiempos de mezcla



IV. – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De los Resultados obtenidos, se concluye:

1. Los tiempos de mezcla se ven influenciados por las temperaturas altas de los sistemas de refrigeración del cuerpo del mezclador. Trabajar a temperaturas de 55°C y 60°C en reemplazo de las condiciones antiguas (35°C y 30°C) para rotores y compuerta de descarga respectivamente, representa una reducción de tres a cinco segundos/lote, dependiendo de la naturaleza del compuesto.
2. El peso del lote es la variable más importante, que impacta directamente en el incremento de la eficiencia del proceso productivo, reduciendo los tiempos de mezcla y mejorando la calidad de los compuestos. La reducción de los tiempos de mezcla por esta variable representa de cuatro a seis segundos/lote.
3. Con excepción del producto X-204, para el cual se tuvo una disminución de la eficiencia de -12,7% en el producto intermedio, en todos los demás compuestos el aumento de productividad es positivo.
4. Este aumento de productividad representa 2,96 días/mes de maquina parada, que puede ser utilizado para mantenimiento preventivo.
5. Esta disminución de tiempo de 2,96 días/ mes representa un ahorro \$ 1200 al mes, representando un total de \$ 14400 anuales.

6. La adición de los insumos juega un papel fundamental en la formulación, de ello depende la buena dispersión de los insumos y la disminución de los tiempos de mezcla. Para mezclas con azufre insoluble en su formulación, recomendamos no trabajar a temperaturas de descarga superior a 230°F, debido a que temperaturas altas, el compuesto pierde propiedades adhesivas y vulcanizantes.

7. Para mezclas con cauchos naturales se recomienda no exceder temperaturas de 350°F, porque trabajar mezclas a temperaturas elevadas, dificulta la evacuación en los molinos, originando tiempos perdidos y disminuyendo la productividad.

V. – REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Goodyear (2001), Manual del ingeniero de compuestos
- Goodyear (2006), Workshop latinoamericano de mezcladores
- Eirich, Frederick (1978), Science and technology of rubber.
- J.A.Brydson (1978), Rubber Chemistry.
- Carroll C.Davis (1937), The chemistry and technology of rubber.