

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y MANUFACTURERA**



**“EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONOMICA SOBRE
REUTILIZACIÓN DE LOS DESPERDICIOS DE CAUCHO
REGENERADO EN LA PRODUCCIÓN DE SUELAS DE
CALZADO”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE
CONOCIMIENTOS**

PRESENTADO POR:

JORGE GUALBERTO ROJO OSORIO.

LIMA - PERU

2002

A mi Madre:

Por todo el apoyo brindado que hizo posible que culmine mis estudios en esta prestigiosa Universidad.

Agradezco a los profesores que participaron en este proceso de titulación y al Sr. Francisco González por la colaboración prestada.

RESUMEN

Este Informe propone la posibilidad de emplear los desperdicios de caucho vulcanizado generados en el deshueso de los neumáticos usados y en la fabricación de las suelas de calzado, como materia prima para la obtención de un producto con características semejantes al caucho natural o sintético, que podrá volver a utilizarse en la fabricación de suelas de calzado u otros productos de caucho. El producto intermedio que se pretende obtener se denomina “Caucho Regenerado”.

Inicialmente se desarrolla algunos conceptos teóricos, se describe el proceso de fabricación de una suela de caucho, explicando cada una de las etapas involucradas en el proceso de vulcanización, desde la preparación de la mezcla a vulcanizar hasta la obtención del producto y generación de desperdicios.

Habiendo determinado la constitución de los desperdicios de caucho vulcanizado, detallaremos las características del producto que ha de obtenerse. Basados en la bibliografía consultada, se hará una reseña histórica acerca del caucho regenerado. Señalaremos los diferentes procesos de obtención del caucho regenerado, explicándolos brevemente, mencionando los agentes de regeneración, devulcanizantes o deteriorantes más empleados. Después de un análisis de los procesos se seleccionará aquel o aquellos que pueden ajustarse a nuestra realidad económica y requerimientos técnicos.

Se efectuará un estudio de mercado a fin de poder determinar los potenciales consumidores del producto final y subproductos e incluso considerar la posibilidad de exportarlo, siempre y cuando se pueda ofertar a precios competitivos.

INDICE

- I. INTRODUCCIÓN**
- II. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS.**
 - II.1 CAUCHO NATURAL
 - II.2 CAUCHO SINTÉTICO
 - II.3 FABRICACIÓN DE SUELAS DE ZAPATO
 - II.3.1 MATERIAS PRIMAS
 - II.3.2 PROCESOS DE FABRICACIÓN.
 - A. OPERACIONES PREVIAS.
 - B. VULCANIZACIÓN.
 - II.3.3 REQUISITOS EXIGIDOS A LAS SUELAS DE ZAPATO
 - II.4 RESIDUOS GENERADOS EN EL DESHUESO DE NEUMÁTICOS.
 - II.5 REGENERACIÓN DEL CAUCHO
 - II.5.1 DEFINICIÓN Y RESEÑA HISTÓRICA-
 - II.5.2 SUSTANCIAS USADAS EN LA REGENERACIÓN
 - II.5.3 PROCESOS DE REGENERACIÓN.
 - II.5.3.1 PROCESOS QUÍMICOS
 - DESULFURIZACIÓN EMPLEANDO UN METAL ALCALINO.
 - REGENERACIÓN CON AGENTES DETERIORANTES.
 - OTROS PROCESOS
 - II.5.3.2 PROCESOS TÉRMICOS.
 - II.5.3.3 PROCESOS MECÁNICOS.
 - II.5.3.4 OTROS PROCESOS.
 - II.5.4 CARACTERÍSTICAS DEL CAUCHO REGENERADO.
 - II.5.5 USOS Y VENTAJAS DEL REGENERADO.
- III. DESARROLLO DEL TEMA.**
 - III.1 ESTUDIO DE MERCADO.
 - III.1.1 IMPORTACIONES DE CAUCHO NATURAL Y SINTÉTICO.

- III.1.2 PRODUCCIÓN DE SUELAS DE CAUCHO.
- III.1.3 RESIDUOS DE CAUCHO GENERADOS EN EL DESHUESO DE NEUMÁTICOS.
- III.2 DISEÑO DE LOS PROCESOS SELECCIONADOS PARA DESULFURAR O REGENERAR LOS DESPERDICIOS DE CAUCHO.
 - III.2.1 BALANCE DE MATERIA Y ENERÍA.
 - III.2.2 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE EQUIPOS.
 - III.2.3 CARACTERÍSTICAS Y ALMACENAJE DEL PRODUCTO
- III.3 CONSIDERACIONES PARA EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
 - III.3.1 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES (ANTECEDENTES).
 - III.3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL
 - III.3.3 PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN.
 - III.3.4 PROGRAMA DE MONITOREO AMBIENTAL
 - III.3.5 MÉTODOS DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN.
- III.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA.
 - III.4.1 ESTIMACION DE LA INVERSIÓN (INV)
 - III.4.2 ESTIMACION DEL COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN (CTF)
 - III.4.3 ESTIMACION DE LOS GASTOS GENERALES (GG).
 - III.4.4 DETERMINACIÓN DEL COSTO TOTAL DEL PRODUCTO (CTP)
 - III.4.5 DETERMINACIÓN DEL GASTO POR UTILIDAD BRUTA (G.U.B.)
 - III.4.6 CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VPN) Y PERIODO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN.
- IV. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**
- V. **BIBLIOGRAFÍA.**
- VI. **ANEXOS.**
 - 1. NORMAS TÉCNICAS PERUANAS RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN DE SUELAS DE ZAPATO.
 - 2. ESTADÍSTICAS DE POBLACIÓN.

3. SOLVENTES IMPORTADOS DURANTE EL AÑO 2001.
4. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA: PROCESO DE DEVULCANIZACION POR DESULFURIZACION.
5. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE LOS COMPUESTOS QUÍMICOS.
- 6 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE DESULFURIZACIÓN.
- 7 LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EFLUENTES SEGÚN NUESTRA LEGISLACIÓN.
- 8 METODOLOGÍA Y EQUIPOS PARA MONITOREO DE EFLUENTES LÍQUIDOS.
9. COSTO DE LOS SERVICIOS AUXILIARES SEGÚN SIMULADOR (PROCESO DE DESULFURIZACIÓN).
- 10 REGENERACIÓN USANDO UN AGENTE DETERIORANTE EN LOS HOMOGENIZADORES.
- 11 ULTIMA IMPORTACIÓN REGISTRADA DE CAUCHO REGENERADO.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la perspectiva de un mundo globalizado por los avances tecnológicos y la apertura de los mercados de capitales, se hace necesario aumentar la productividad de la industria nacional y el sector dedicado a la producción de suelas de caucho y productos similares no es la excepción, en especial si el calzado nacional quiere competir con el importado.

En ese contexto, el presente informe propone reutilizar en el proceso los desperdicios de caucho vulcanizado generados en la producción de suelas de zapato. Asimismo, también se sugiere regenerar los desperdicios de caucho obtenidos en el deshueso de neumáticos usados, para utilizarlos como materia prima y abaratar los costos de producción.

Los procesos de regeneración desarrollados en este informe requieren que los desperdicios de caucho sean triturados a un tamaño de malla (A.S.T.M) entre 20 y 30, cuya estructura reticular debe ser debilitada al aumentar su volumen, sumergiéndolos en un solvente orgánico inerte (tolueno, benceno, acetato de etilo, entre otros) a una determinada temperatura. Después el caucho es atacado por un agente devulcanizante o deteriorante en un reactor, molino u homogenizador. Luego de producida la regeneración se debe recuperar el solvente por un proceso de separación y secar el producto obtenido.

Asimismo, se indicará el tratamiento de las emisiones o efluentes generados en el proceso de regeneración efectuando un Estudio Preliminar de Impacto Ambiental.

También se describirán las especificaciones técnicas que debe reunir el producto obtenido al revulcanizar el caucho regenerado (suela de zapato).

En la parte correspondiente al diseño del proceso o procesos seleccionados, se efectuará el cálculo del volumen de materia prima que ha de procesarse, mencionando las operaciones y los equipos a emplearse para la obtención del producto; en cada uno de ellos será necesario efectuar los balances requeridos para poder dimensionar los equipos.

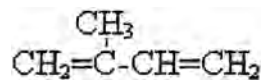
Teniendo en consideración el mercado al cuál se destinaría el producto, se efectuará un breve estudio económico y ambiental con la finalidad de determinar si se justifica la inversión en la implementación de un proceso de regeneración.

II. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS.

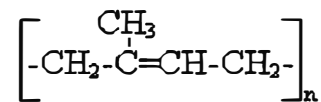
II.1 CAUCHO NATURAL

A. DEFINICIÓN.-

El caucho es un hidrocarburo que se obtiene de la segregación lechosa y turbia proveniente de los conductos lactíferos de ciertos árboles y plantas que crecen predominantemente en zonas tropicales. Se le puede considerar un polímero cis del dieno conjugado 2 metil 1,3 butadieno, o isopreno¹:



Isopreno



cis Poliisopreno
(Caucho natural)

Entre las principales variedades de árboles y plantas de las cuales se obtiene el caucho podemos mencionar:

Árboles:

La HEVEA o PARA (Hevea Brasiliensis),

El CASTILLOA ELASTICA, al que se le considera el árbol de caucho propiamente dicho y una variante de este el CASTILLO ULEI.

La FUNTUMIA y FICUS ELASTICA, existentes en Malasia y África.

El CHICLE, utilizado en la industria de las gomas de mascar.

Además, debemos mencionar que de las hojas de los árboles de la GUTTA-PERCHA y su sustituto la BALATA se obtiene un hidrocarburo isómero del caucho pero de configuración trans.

Plantas:

EL GUAYULE, única planta que se cultivó en forma masiva y organizada.

Las trepadoras APOCYNACEAS, ASELEPIADACEAS, LANDOLPHIA, CLITANDRA y CARPOLINUS.

¹ Los pies de paginas numéricos hacen referencia a la Bibliografía (sección V).

Los pies de pagina con asterisco (*) indican referencias puntuales.

En nuestro país, en la región de la selva, por el norte desde Putumayo hasta el Caqueta y por el sur desde Tambopata hasta Madre de Dios, podemos encontrar predominantemente reservas silvestres de HEVEA y CASTILLOA².

ESTRUCTURA DEL CAUCHO.-

De acuerdo con Treloar quien, en Trans. Faraday Soc., en 1941, hizo una recopilación de los estudios efectuados a la segregación o látex proveniente de la HEVEA, el cual es el árbol que produce la mayor cantidad de caucho natural, la molécula de este hidrocarburo está constituida por 5 000 unidades de Isopreno con un peso molecular de 350 000, agrupadas en una especie de espiral o resorte que le confieren sus propiedades elásticas³.

B. OBTENCIÓN.-

El caucho se obtiene del árbol por medio de un tratamiento sistemático de "sangrado", que consiste en hacer un corte en forma de ángulo a través de la corteza, profundizando hasta el cambium. Luego se coloca una pequeña vasija que cuelga en el tronco del árbol para recoger el látex, jugo lechoso que fluye lentamente de la herida del árbol



Figura N°1:
Extracción del Látex

El látex de la HEVEA contiene:

- 35 a 40% de hidrocarburo del caucho.
- 2 a 2,6% de proteínas
- 2 a 3,5% de resinas.

- 1 a 4,0% de azúcares.
- 0.5 a 3,0% de materias minerales.
- y 50 a 60% de Agua.

La composición del látex varía en las distintas partes del árbol; generalmente el porcentaje de caucho (hidrocarburo) decrece del tronco a las ramas y hojas.

Generalmente el látex fresco es transformado en caucho seco empleando agentes coagulantes como el ácido fórmico y alumbre.

C. PROPIEDADES FÍSICAS.-

Las propiedades físicas del caucho bruto varían con la temperatura. A bajas temperaturas, se vuelve rígido y quebradizo y puede ser reducido a polvo si es sometido a la acción del aire líquido. Cuando se congela en estado de extensión adquiere estructura fibrosa. A temperatura ambiente es flexible y plástico. Calentando a más de 100 °C se ablanda y sufre alteraciones permanentes. A 140°C se vuelve viscoso y a 180°C se funde (el punto de fusión oscila entre 140°C y 200°C y depende de la cantidad de resinas e impurezas).

Cuando el caucho bruto ha sido estirado y deformado durante algún tiempo, no vuelve completamente a su estado original. Si se calienta, la recuperación es mayor que a la temperatura ordinaria. Este fenómeno se denomina deformación residual o estiramiento permanente y es propio del caucho.

A continuación se mencionan sus principales propiedades:

Densidad.- La densidad del caucho a 0°C es de 0.950 y a 20°C es de 0.934. El caucho bruto deshelado después de la masticación por cilindros fríos no varía de densidad.

Solubilidad.- La solubilidad del caucho bruto en sus disolventes más comunes no es muy elevada. Para hacer una solución de 10% en peso es necesaria cierta disociación, ya por medios químicos, empleando un oxidante, ya por medio físicos, utilizando un molino. En contacto con el disolvente, el caucho se hincha primero poco a poco hasta la

consistencia de gel y después éste se dispersa formando una solución. El efecto Tyndal, propio de las dispersiones coloidales, se produce en las soluciones de caucho.

Muchas otras sustancias son solubles o pueden dispersarse en caucho bruto, tales como el azufre, colorantes, ácido esteárico, N-fenil-2-naftilamina, mercaptobenzotiazol, pigmentos, aceites, resinas, ceras y negro de carbono.

D. PROPIEDADES QUÍMICAS.-

Por acción de la luz y aire se oxida volviéndose quebradizo.

Es poco atacable por los ácidos minerales diluidos y los álcalis, pero los ácidos HNO_3 y H_2SO_4 lo destruyen rápidamente.

Arde con color brillante y su olor es desagradable.

Cuando reacciona lentamente con el oxígeno del aire se vuelve resinoso y pegajoso.

Los dobles enlaces de la molécula del caucho son de gran importancia porque permiten la adición de halógenos y su vulcanización, es decir, la formación de puentes de azufre entre moléculas o cadenas de caucho diferentes, los cuales endurecen y dan mayor resistencia al hidrocarburo permitiendo su gran uso a nivel industrial.

El caucho frecuentemente se comercializa en laminas de crepe, hojas ahumadas o en forma de látex concentrado.

II.2 CAUCHO SINTETICO

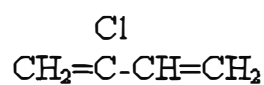
A. DEFINICION :

El caucho sintético es un polímero que se obtiene por síntesis y se caracteriza por tener propiedades similares a las del caucho natural. Los productos básicos que por polimerización dan lugar al caucho sintético son el butadieno, el isopropeno o 2 metil 1,3 butadieno y 2 cloro 1,3 butadieno.

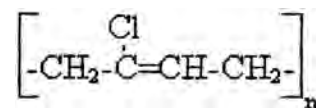
De los elastómeros sintéticos **el más importante es el caucho estireno butadieno (SBR)** que se produce por medio de radicales libres; compite con el caucho natural en la manufactura de neumáticos para automóviles y suelas de zapatos.

Cualquier tipo de caucho sintético es mayormente polidienico y altamente no saturado. Se exige un grado de una instauración suficiente para permitir la formación de enlaces cruzados en la vulcanización. Por ejemplo, en la manufactura del caucho butílico solo se copolimeriza un 5% de isopreno con isobutileno.

La polimerización de dienos para obtener sustitutos del caucho fue la precursora de la desarrollada industria actual de plásticos. El policloropreno (neoprén o duprén) fue el primer sustituto del caucho de éxito comercial en Estados Unidos.



Cloropreno



Policloropreno

En parte, las propiedades de los sustitutos del caucho -como las de otros polímeros- están determinadas por la naturaleza de los grupos sustituyentes. El policloropreno, por ejemplo, es inferior al caucho natural en algunas de sus propiedades, pero superior en su resistencia a aceites, gasolina y otros disolventes orgánicos.

También pueden obtenerse artificialmente polímeros del isopreno que contienen la misma cadena no saturada y el mismo sustituyente (grupo -CH₃) que el caucho natural. Debe precisarse que no pudo lograrse un caucho sintético verdadero hasta 1955, cuando se empleó un tipo de catalizador que hizo posible la polimerización estereoselectiva del isopreno, obteniéndose un material virtualmente idéntico a caucho natural: el cis 1,4 poliisopreno.

B. NOMENCLATURA DE LOS CAUCHOS SINTETICOS

Internacionalmente se han adoptado las abreviaturas siguientes para identificar a los principales tipos de caucho sintéticos.

Abreviatura	Nombre
ABR	Caucho Acrilo Butadieno
BIIR	Caucho Bromo Isobutadieno Isopreno
BR	Caucho Butadieno
CIIR	Caucho Cloro Isobutileno Isopreno
CR	Caucho Cloropreno
EPDM	Caucho Etileno Propileno Dieno
EPM	Caucho Etileno Propileno
HNBR	Caucho Acrilonitrilo Butadieno Hidrogenado
IIR	Caucho Butilo
IR	Caucho Isopreno
NBR	Caucho Acrilonitrilo Butadieno
NCR	Caucho Acrilonitrilo Cloropreno
NIR	Caucho Acrilonitrilo Isopreno
PBR	Caucho Vinil-Piridino Butadieno
PSBR	Caucho Vinil-Piridino Butadieno Estireno
SBR	Caucho Estireno Butadieno
SCR	Caucho Cloropreno Estireno
SIR	Caucho Isopreno Estireno
XSBR	Caucho Butadieno Estireno Carboxílico
XNBR	Caucho Acrilonitrilo butadieno Carboxílico.

C. CAUCHO ESTIRENO BUTADIENO (SBR)

El SBR es un copolímero de butadieno estireno en una proporción de 23.5% de estireno por 76.5% de butadieno, obtenido por polimerización en frío en una emulsión jabonosa mixta y coagulado en un medio ácido. El objeto de esta copolimerización es obtener un tipo de caucho que conserve el comportamiento elástico del butadieno con una mayor cohesión que lo haga utilizable para

productos vulcanizados en las cuales se exige un mínimo de dureza y resistencia a la abrasión en condiciones climáticas extremas de temperatura. Además este tipo de caucho confiere a los productos fabricados a partir de él, una buena resistencia al envejecimiento, baja absorción de agua, menor tendencia al agrietamiento y constancia en sus propiedades físicas. El SBR es un insumo clave para la fabricación de neumáticos, calzados, pisos de goma, cintas transportadoras, etc.

Las principales deficiencias que tienen lugar en empleo del SBR pueden ser atribuidas en parte a una irregular disposición de cadenas, en las cuales las de bajo peso molecular persisten aun después de la vulcanización.

El gran consumo de SBR y las posibilidades cada vez mayores de sustituir al caucho natural, ha hecho que los fabricantes modifiquen el medio y condiciones donde se realiza la copolimerización con la finalidad de tener un mayor control en el grado de polimerización, obteniendo de esta forma tipos que se adaptan más a un específico predeterminado.

Los tipos más conocidos de SBR son el 1702 de color negro (contiene residuos de aceite aromático), el 1502 y 1510 de colores amarillo y crema respectivamente. Los dos últimos contienen menos cadenas de bajo peso molecular.

II.3 FABRICACIÓN DE SUELAS DE ZAPATO

Desde que 1839 Charles Goodyear descubrió el proceso de vulcanización del caucho empleando calor y azufre, empezó el desarrollo de la industria del caucho a nivel mundial.

En 1844, Goodyear patentó su método de vulcanización con el registro USP 3633 y en 1848, la L. Grandee Corporation y la Newark Manufacturer Company compraron los derechos exclusivos para la fabricación de botas y zapatos bajo licencia de la patente de Goodyear.

II.3.1 MATERIAS PRIMAS

Cabe mencionar que existe una variedad considerable y combinaciones ilimitadas de productos químicos empleados en la vulcanización, cuya elección depende del formulador que aplica con éxito sus conocimientos para obtener el máximo de propiedades físicas, de acuerdo al equipo disponible en la línea de producción, minimizando los gastos de fabricación.

Además del Caucho natural o sintético en la fabricación de suelas de zapato se suele emplear los siguientes insumos:

A. Agentes de vulcanización².- El azufre es el agente de vulcanización más utilizado, se usa generalmente en forma de azufre molido, una variedad que contiene que contiene 90% de azufre insoluble es el sulfuro de carbono, el cual se usa cuando es inconveniente la eflorescencia de azufre del material no vulcanizado. Durante la vulcanización, la forma insoluble se convierte en azufre ordinario. Las combinaciones orgánicas sulfurosas capaces de liberar azufre a las temperaturas de vulcanización sirven también para esta operación. Los principales miembros de este grupo son el disulfuro de bis-dimetiltiocarnilo y sus homólogos, el tretasulfuro y el sulfuro de dipentametileno.

Los elementos selenio, telurio y el monocloruro de azufre se usan también como agentes de vulcanización.

También existen agentes vulcanizantes específicos como el peróxido de benzoílo empleado en la vulcanización del caucho de silicona.

El requisito principal que debe cumplir un agente vulcanizador es que efectúe la vulcanización después de ser expuesto a una temperatura conveniente. Las principales transformaciones producidas por la vulcanización son la represión de la plasticidad, aumento de la elasticidad y aumento de la resistencia.

B. Aceleradores de vulcanización.- Son sustancias que añadidas en cantidades pequeñas a la mezcla de caucho aumentan considerablemente la rapidez de vulcanización.

Los acelerantes orgánicos están divididos en ciertos grupos químicos, en base a su composición. Estos grupos están clasificados como acelerantes primarios o secundarios, dependiendo de la velocidad de vulcanización alcanzada. Por ejemplo:

Los tiazoles y sulfenamidas son conocidos por producir un incremento alto en la velocidad de vulcanización, por lo que se clasifican como acelerantes primarios.

Las tiuramas y los ditiocarbamatos producen un menor incremento en la velocidad de vulcanización. Cuando son usados aisladamente se clasifican como acelerantes secundarios. Sin embargo, acelerantes primarios y secundarios se usan juntos casi siempre en la vulcanización.

Los últimos se usan como **activadores** de los acelerantes primarios.

Los aldehídos, aminas y guanidinas son también clasificados como acelerantes secundarios.

La siguiente tabla resume lo expuesto:

Grupo químico	Clasificación	Vulcanización
Tiazoles (MBT, MBTS)	Primario	Rápido
Sulfenamidas (CBS, TBBS y MBS)	Primario	Rápido de acción
Tiuramas(TMTD y TMTT)	Secundario	Rápido
Ditiocarbamatos (ZMDC y ZEDC)	Secundario	Rápido
Aldehidoaminas	Secundario	Medio
Guanidinas (DPG, DOTG)	Secundario	Medio

Para la fabricación de suelas los aceleradores más empleados son el MBT (2-mercaptobenzotiazol) y el MBTS (2-2 ditiobisbenzotiazol).

Como activador se suele utilizar a la Guanidina.

C. Iniciadores de vulcanización.- El más utilizado es el Oxido de Zinc.

Se emplean para facilitar la vulcanización bajando la energía de

activación de la reacción. Siempre actúan simultáneamente con los aceleradores de vulcanización.

D. Antioxidantes.- Son sustancias que retardan el deterioro del caucho bruto o vulcanizado causado por la oxidación del polímero. Hoy se admite que los antioxidantes ejercen su acción protactiva retardando la velocidad de combinación del oxígeno con el caucho. Los peróxidos formados por la absorción del oxígeno, son probablemente los causantes de la degradación del caucho.

Las diarilaminas y los productos de su reacción con cetonas son los grupos más importantes. Son miembros sobresalientes de estos grupos: N-fenil-2-naftilamina y la difenilamina alquilada.

La eficacia de los antioxidantes se determina frecuentemente comparando su efecto en un vulcanizado de caucho con un patrón de satisfactoria acción antioxidante.

E. Plastificantes químicos.- Los plastificantes químicos son sustancias que aceleran la reducción de la viscosidad del caucho durante la masticación. Se usan principalmente con el caucho natural, el cual en estado bruto es demasiado viscoso para su empleo inmediato y requiere el reblandecimiento previo. Como plastificante del caucho sintético se suele emplear al ácido esteárico que a la vez cumple la función de un activador.

F. Ablandadores y extensores.- Los ablandadores más usados son los aceites de petróleo o minerales, alquitranes, breas y resinas. Los extensores son sustancias que poseen propiedades plásticas o semejantes a las del caucho, que reemplazan parte del caucho y generalmente facilitan las operaciones de fabricación. Los extensores más usados son el caolín, diatomitas y talco.

Ablandadores y extensores pueden usarse con el único carácter de diluyentes.

La solubilidad del ablandador en el caucho es una de sus principales propiedades. Tipos no disolventes o lubricantes se usan también para

facilitar ciertas operaciones de fabricación. Los disolventes ablandadores reblandecen las mezclas no vulcanizadas, pero no reducen el nervio del caucho. También comunican la máxima resiliencia y reducen la dureza de los vulcanizados.

G. Negro de Humo.- Estas partículas de carbón fino se emplean principalmente para aumentar la resistencia a la abrasión del producto vulcanizado.

Otras sustancias empleadas para vulcanizar el caucho, no empleadas para fabricar suelas de zapato son:

- Las parafinas que evitan el agrietamiento debido a la acción del ozono sobre el caucho estirado
- Los agentes gasógenos empleados para obtener productos de estructura celular (ya sea de celdillas abiertas o cerradas). El clásico agente gasógeno es el bicarbonato de sodio.
- Los retardadores que retrasan el comienzo de la vulcanización pero no afectan el curso subsiguiente de la reacción. Los más usados son el ácido benzoico y el ácido salicílico.

Una mezcla patrón para la elaboración de suelas de zapatas es la siguiente:

Compuestos	Peso
Láminas ahumadas (masticadas durante 15 min. en el molino frío)	1000 g
Oxido de zinc (activador del acelerador)	30 g
Ácido esteárico (activador y plastificante).	20 g
Negro SRF (negro de humo)	650 g
Aceite de petróleo (ablandador)	80 g
MBT (acelerador).	10 g
Azufre (agente vulcanizante)	20 g
Antioxidante	10 g
Difenilguanidina (activador)	5 g

Nota.- El caucho en láminas ahumadas puede ser reemplazado por la misma cantidad de SBR.

Para fabricar un neumático se utiliza un 50% más de azufre.

II.3.2 PROCESOS DE FABRICACIÓN

En la fabricación de las suelas de zapato de caucho, la masticación, mezcla y vulcanización son operaciones que hay que tener en cuenta para la obtención de un producto acorde a las condiciones de calidad que exige el mercado. Dichas operaciones varían según el equipo y método empleado en la fabricación, además del tipo y la demanda del producto que se desea obtener.

A. OPERACIONES PREVIAS.

- Masticación.-

El caucho natural bruto, tal como es recibido de la plantación, posee elevada viscosidad y para la mayoría de los usos es conveniente disminuirla mediante la operación de masticación. Esta puede realizarse en un molino de rodillos, en un mezclador interno o en un plastificador helicoidal y causa la ruptura del nervio del caucho, el cual está constituido por las moléculas de mayor peso molecular.

El molino de rodillos consiste en dos rodillos horizontales paralelos que giran en direcciones opuestas, que permiten que el material sea deformado al pasar entre los cilindros. El rodillo posterior gira más deprisa que el delantero en relación de 1.1/1.0 y 1.5/1.0. El espacio entre los rodillos puede ser variado a voluntad regulando la posición del delantero (ver figura N°2).

Figura N°2:
Molino de
Rodillos



Los rodillos son huecos y por su interior se hace circular agua fría o caliente o vapor, para mantener la temperatura deseada durante la operación. Para masticar el caucho, los rodillos se mantiene a baja temperatura, y el caucho pasa entre los rodillos repetidas veces.

Después de varias pasadas, el caucho se adhiere al rodillo delantero formando una tela bastante coherente que pasa de nuevo entre los rodillos. Entonces el operador durante 8 minutos efectúa frecuentes cortes de izquierda a derecha y de derecha a izquierda con objeto de conseguir reducir la viscosidad del caucho.

Al final del tiempo prescrito para la masticación, el caucho se separa en forma de grandes láminas y se enfría antes de apilarlo sobre los polines.

En un mezclador interno (Bambury) o plastificador helicoidal, a diferencia del molino de rodillos, se puede reducir el tiempo de masticación añadiendo un plastificante químico. Los plastificantes obran mejor a las elevadas temperaturas desarrolladas en estos dos equipos y por esta razón no se usan en la masticación en molino abierto a baja temperatura.

Los factores que influyen en la masticación del caucho son:

- a) Tiempo de Masticación.
- b) Potencia Consumida.
- c) Peso Total del Caucho.
- d) Paso entre los Cilindros Masticadores
- e) Velocidad Periférica.
- f) Relación de Fricción entre los Rodillos de los Cilindros (Relación de Velocidades)
- g) Diámetro de los Rodillos.
- h) Tiempo y temperatura después de la masticación.
- i) Personal que efectúa las Operaciones.

- Mezcla

La mezcla es una de las más importantes operaciones por las que debe pasar el caucho y los productos empleados en la vulcanización. Las fases del proceso subsiguiente a la mezcla dependen de que ésta sea suficiente y uniforme, y la calidad del producto final está directamente influida por la clase de mezcla realizada.

Los fines de la operación de mezcla son:

- a) Hacer una composición uniforme de todos los componentes.
- b) Hacer una buena dispersión de los pigmentos evitando los grumos.
- c) Producir lotes consecutivos del mismo grado de dispersión y de viscosidad.

Todos los tipos de mezcla en la actualidad son operaciones intermitentes y se efectúan en los mismos equipos utilizados en la masticación. El primer paso es pesar los ingredientes prescritos por la fórmula. El tamaño de cada lote variará según la capacidad de los aparatos de mezcla y las propiedades físicas del lote. Para un molino de rodillos de 84 pulgadas de ancho y 24-26 pulgadas de diámetro, el peso del lote puede variar de 150 a 300 libras. A continuación se detalla la operación de mezcla efectuada en un molino de rodillos abierto de 84 pulgadas de ancho y un lote de 90 kg. de la mezcla patrón descrita en el numeral II.3.1.

El espacio entre los rodillos se ajusta a 1/4 de pulgada (6.4 mm), por el interior de cada rodillo se hace circular agua fría durante la operación. Después de varias pasadas, el caucho se convierte en una lámina que se adhiere al rodillo delantero y sigue pasando entre los rodillos. Se corta la lámina a lo largo del rodillo en una y otra dirección dos veces para asegurar una buena mezcla. Se añade el óxido de zinc, el antioxidante, el ácido esteárico y el MBT y de nuevo se corta el caucho dos veces para distribuir estos materiales en la mezcla. En ese momento debe haber transcurrido aproximadamente 8 minutos.

Se aumenta ligeramente la distancia entre los rodillos del molino y se añaden a la masa lenta y alternativamente el negro de humo y el aceite. Cuando todo el negro de humo se ha mezclado y no hay visible negro libre, se corta el caucho en una y otra dirección dos veces. La incorporación del negro de humo y el aceite requiere unos 11 minutos, lo que hace un total de tiempo transcurrido de 19 minutos.

Puesto que el volumen total del lote ha aumentado apreciablemente por la adición del negro de humo y del aceite, la masa acumulada en el rodillo es mayor que al principio de la mezcla. Por consiguiente, se aparta una porción de esta masa para reducirla a un tamaño que pueda circular y no permanecer inactiva, en ese momento se agrega el azufre uniformemente por toda la masa añadiendo de nuevo el material que fue separado y toda la masa es cortada seis veces desde un extremo y otras tantas desde el otro, hasta lograr una mezcla completa. Entonces, el operador separa la masa que está en forma de láminas de 0.90 x 2.40 m, aproximadamente, y la sumerge en agua que contiene esteatita (talco) en suspensión; se cuelga a secar y enfriar o se echa sobre bastidores cubiertos de rejilla, donde de enfría; se espolvorean las láminas con esteatita y se apilan sobre los polines. Esta operación requiere unos 8 minutos, lo que hace un total de 30 minutos para la partida.

Cada fabricante tiene preferencia por un orden de adición de los ingredientes y no todos estarían de acuerdo en que el procedimiento descrito anteriormente fuese el mejor. Además, los procedimientos varían muchísimo para distintas composiciones y según los diferentes tipos de aparatos. Puesto que se usan miles de composiciones, el número de procedimientos de mezcla también se eleva a miles.

B. VULCANIZACIÓN.

- CONCEPTO

La vulcanización es un proceso físico-químico por el cual el caucho pasa de un estado plástico a uno elástico.

Durante la vulcanización las macromoléculas de los elastómeros se unen unas a otras formando una red gigantesca de macromoléculas con menos movilidad y movimiento. La unión se hace a través de enlaces cruzados entre las moléculas. Los enlaces cruzados se producen normalmente entre dos átomos de carbono, pertenecientes a diferentes cadenas moleculares, algunas veces sin carbono entre ellos. Esta red de macromoléculas cuyo movimiento y movilidad están ahora limitados, está representada en la siguiente figura.



Elastómeros no vulcanizados pegajoso cuando está caliente Rígido cuando está frío.

Tratamiento físico – químico

Caucho o goma vulcanizada (material elástico y estable)

El método de vulcanización mas usada es el que utiliza al azufre como agente vulcanizante, mediante el cual un átomo de azufre produce un enlace entre dos moléculas de caucho, por ruptura de los dobles enlaces terminales del polímero.

Hasta el día de hoy, el mecanismo de la vulcanización no está completamente comprendida. No existen evidencias directas que expliquen totalmente la teoría de la unión sulfuro en el proceso. En la práctica, se consideran tres etapas: unión de los elementos intermedios del caucho, su conversión en el entrecruzamiento y su acortamiento.

- MÉTODOS DE VULCANIZACIÓN.

Los métodos de vulcanización más conocidos son:

- a. **Vulcanización Estática.**- Por compresión, por transferencia, por inyección y por vapor abierto (autoclave).
- b. **Vulcanización Continua.**- Puede ser por vapor abierto (tubo), por aire (caliente), baños de sal (LCM).

La diferencia entre los métodos estáticos y continuos es que, en el primero la pieza de caucho permanece estática (sin movimiento) expuesta a una fuente de calor, mientras que en el segundo el artefacto de caucho se mueve dentro de una fuerza de energía.

En algunos casos el aire es preferido al vapor para evitar la humedad durante la vulcanización, así como el desteñido y las manchas acuosas de los productos. El aire es un medio menos conveniente para transmitir el calor que el vapor o el agua debido a su menor capacidad calorífica y menor poder de transmisión del calor al caucho. Por esta razón, los vulcanizadores de aire se diseñan para obtener una rápida circulación de éste y evitar zonas muertas en la cámara de vulcanización.

c. Vulcanización por radiofrecuencia.- Un método reciente es la vulcanización en un campo eléctrico de alta frecuencia. En los métodos anteriormente mencionados, el calor para la vulcanización es suministrado a la superficie del caucho, y la parte central de los objetos gruesos se calienta por conducción del calor desde la superficie. Por ser el caucho un mal conductor, los objetos gruesos necesitan ser calentados durante largo tiempo para que alcancen una temperatura adecuada y generalmente las capas exteriores se vulcanicen demasiado. En el calentamiento por radiofrecuencia, el calor es generado en toda la masa y así se ahorra el tiempo necesario para la transmisión del calor por conducción. Existen ciertas dificultades para la aplicación de este método. Una de ellas es que no se ha descubierto todavía un material no metálico adecuado para los moldes. Por eso son limitadas las aplicaciones prácticas del método.

En Nuestro país los fabricantes e zapato encargan la elaboración de las suelas a terceros, los cuales emplean moldes de hierro y prensas de acero en donde someten la mezcla a una presión de 100 psi y una temperatura de 120°C, durante unos 7 minutos aproximadamente.

- CONTROL DEL PROCESO DE VULCANIZACIÓN⁴.-

La combinación del polímero con el agente de vulcanización, el acelerador, activador, clase y cantidad de pigmento y la adición de otros materiales accesorios para obtener una composición determinada, son los factores principales que influyen en la velocidad de vulcanización. Ésta se mide por la rapidez con que se desarrollan las propiedades físicas de la mezcla durante el calentamiento.

El método usual para determinar la velocidad de vulcanización y temperatura de trabajo consiste en vulcanizar planchas de prueba en varios intervalos de tiempo a una temperatura constante y medir la variación de las propiedades de dureza, resistencia a la tracción y la carga requerida para producir un alargamiento de 300% hasta obtener las propiedades deseadas para el producto.

A continuación explicaremos como influyen algunas variables en el proceso de vulcanización:

- a. Tamaño y forma del producto.-** En todos los métodos de vulcanización, excepto en la radiofrecuencia, el calor es suministrado al producto en su superficie. Debido a las buenas características aisladoras de las composiciones de caucho, el periodo de tiempo requerido para que el centro del objeto alcance la temperatura deseada es muy largo. Este retraso (o tiempo de incubación), es función del tamaño y forma del objeto y de la conductividad térmica del caucho. Por lo cual a mayor tamaño o espesor del producto se recomienda que sea más baja la velocidad de vulcanización para dar tiempo a que el calor llegue al interior del producto.
- b. Temperatura de vulcanización.-** La velocidad con que la vulcanización ocurre es directamente proporcional a la cantidad de calor y energía aplicada. Ya que la mayoría de los procesos de vulcanización son dependientes del calor, se puede concluir que cuanto más alta es la temperatura de vulcanización, menor será el tiempo empleado. La figura 2, describe gráficamente esta relación.

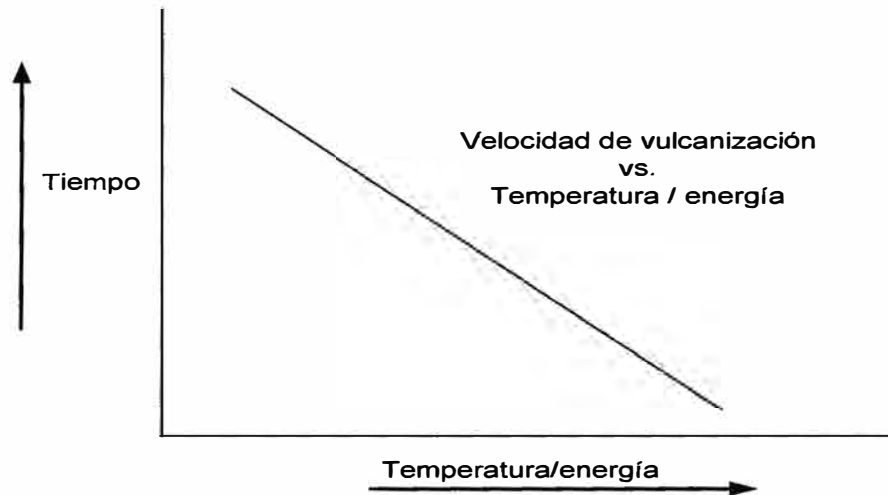


Figura 2

La temperatura de vulcanización elegida para un producto determinado depende de muchos factores, entre ellos los siguientes:

- Para vulcanización en molde es económicamente ventajoso tener una rotación de moldes rápida. En consecuencia, la temperatura elegida es la máxima posible la cual debe ser compatible con la producción de artículos de calidad satisfactoria.
- El tamaño del producto determina la mayor temperatura. Un producto que posea un gran volumen de caucho tendrá una vulcanización más uniforme en toda su sección transversal si se prolonga la vulcanización y ésta se hace a baja temperatura que si se ejecuta a temperatura elevada en corto tiempo.
- La temperatura máxima que puede aplicarse está limitada algunas veces por la presión que pueden soportar los aparatos.
- La temperatura máxima que puede aplicarse está limitada frecuentemente por los defectos de fabricación que ocurren a elevadas temperaturas de vulcanización.

- SISTEMA EFICIENTE Y SEMI-EFICIENTE DE VULCANIZACIÓN⁴.-

Los sistemas de vulcanización eficiente y semi-eficiente derivan del uso más eficiente del azufre en esos sistemas y son muchas veces conocidos como sistemas de cura con baja cantidad de azufre, porque poco o ningún azufre libre se usa en el compuesto. Aunque el término “sin azufre” sea inadecuado, ya que los átomos de azufre son donados por el acelerante orgánico (por ejemplo el MBTS) en la formación de las uniones cruzadas entre las cadenas de los elastómeros, se acostumbra denominar este sistema como sistema donador de azufre.

Compuestos de caucho vulcanizado por el sistema convencional pierden buena parte o retienen bajas propiedades físicas después del envejecimiento por calor. Una manera de eliminar estos efectos es reducir el número de uniones polisulfídicas entre las moléculas del caucho. Tal reducción está acompañada del uso de gran cantidad de acelerantes donadores de azufre en relación a la pequeña cantidad o ningún azufre libre. Cuando ningún azufre libre se utiliza, el sistema donador de azufre se llama sistema de vulcanización eficiente (E.V.), ya que el uso de azufre disponible para la vulcanización se torna eficiente. Cuando se usa una pequeña cantidad de azufre libre en relación a la cantidad de acelerantes donadores de azufre, el sistema se llama sistema semi-eficiente o (SEMI – E.V.). Estos sistemas poseen gran estabilidad térmica, excelente resistencia al calor y menor tendencia a la reversión en los compuestos de goma natural. Por otro lado, estos sistemas poseen menor resistencia a fallas cuando son sometidos a fatiga por flexión, posiblemente en razón del menor número de enlaces polisulfídicos, las cuales contribuyen para una mayor rigidez y menor elasticidad de la red de enlaces de las cadenas moleculares.

II.3.3 REQUISITOS EXIGIDOS A LAS SUELAS DE ZAPATO

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana 300.019⁵ aprobada por Resolución Directoral N° 352-79-ITINTEC los requisitos exigidos a una suela de zapatos son:

A. CON RESPECTO AL ACABADO

El caucho vulcanizado deberá ser homogéneo en toda su masa, libre de poros y burbujas.

La superficie, a parte del grabado, deberá ser lisa, libre de rajaduras, ampollas, etc. Y toda excrescencia de vulcanizado deberá ser recortada en forma neta.

B- CON RESPECTO AL ESPESOR

En el enfranque el espesor no podrá ser menor de 2 mm, y en el resto de la suela no será menor de 2,5 mm.

C. REQUISITOS FISICOS.

- La densidad deberá ser de 1,60 máximo
- La dureza deberá ser 50° Shore A mínimo.
- La resistencia a la ruptura por tracción deberá ser de 105 kg/cm²
- La resistencia a la abrasión deberá ser de 30% sobre el patrón mínimo.
- La deformación permanente por compresión a baja, normal y alta temperatura deberá ser 25% 40% y 60% máxima respectivamente.
- Luego de un período de envejecimiento de 72 h, a una temperatura de 70°C ± 1°C en estufa, deberá constatarse que:
 - a. La dureza no deberá haber cambiado en + 7° y – 0° con relación a la original.
 - b. La resistencia a la ruptura no deberá haber disminuido en más de 15% con relación a la original.

Las normas donde están descritas los procedimientos para determinar las propiedades físicas mencionadas se encuentran en el anexo I.

II.4. RESIDUOS GENERADOS EN EL DESHUESO DE NEUMÁTICOS

Dado que no existe un estudio que haya determinado la cantidad de neumáticos usados inservibles para el transporte público que se generan anualmente en la ciudad de Lima, podemos considerar para realizar un primer estimado, la información registrada en el portal de la Alcaldía Mayor de la Ciudad de Bogotá (www.dama.gov.co/publnw/plaz/plaz5.htm), en dicha página el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente señala que el millón de unidades de transporte que circulan en esa ciudad generan aproximadamente 18 mil toneladas de neumáticos inservibles.

De otro lado si tenemos en cuenta que la estimación del parque automotor nacional efectuado por el Ministerio de Transportes, comunicaciones, vivienda y construcción que se resume en el cuadro siguiente:

PARQUE AUTOMOTOR ESTIMADO SEGÚN CLASE DE VEHÍCULO

Clase de Vehículo	1998	1999	2005	Tasa de Crecimiento Anual
Automóvil	544421	565821	747099	4.7
Station Wagon	101513	118712	139660	2.7
Camioneta Pick Up	140917	142819	184244	4.3
Camioneta Rural	95804	101342	158626	7.8
Camioneta Panel	15094	18040	21745	3.2
Omnibus	43366	44192	73154	8.8
Camión	91380	97259	112885	2.5
Remolcador	11423	12630	17601	5.7
Semi Remolque	11827	13376	16737	3.8
Total	1055745	1114191	1471751	

podemos inferir al comparar las estadísticas de vehículos que en nuestro país se generan 21 mil toneladas de neumáticos inservibles al año.

En los países más desarrollados como en Estados Unidos se llega a reutilizar el 70% de estos desechos sólidos, los cuales son triturados para ser empleados como combustible en la generación de energía o industria del cemento, como un aditivo del pavimento en la fabricación de pisos y carreteras, o son regenerados para ser utilizados en la elaboración de otros productos de caucho.

En nuestro país los neumáticos inútiles son utilizados para calentar las piedras que serán removidas de los cerros que obstaculizan la construcción de pistas o carreteras, o son deshuesados en forma artesanal para fabricar sandalias y obtener el alambre que será empleado en la elaboración de escobas.

El deshueso se realiza en Lima en los distritos de San Luis (ver figura N°3) y Collique, lugares de acopio de los neumáticos inservibles que son recolectados de los talleres o lugares de venta de llantas.



Figura N°3

El deshueso consiste en separar la banda de rodamiento (la parte que está en contacto con el suelo) y el flanco lateral del neumático de la carcasa interna que está compuesta por una mezcla de caucho, tejidos y refuerzos metálicos situados en diferentes cajas, llamadas lonas. El resultado de los productos del deshueso se muestran en la figura siguiente:



Figura N°4

De la banda de rodamiento y el flanco lateral que están constituidos íntegramente por una mezcla de caucho vulcanizado se recortan si es posible la planta de las sandalias o yunque. Los pedazos que sobran son recolectados y vendidos a las ladrilleras para ser utilizados como combustible.

De la carcasa interna se obtiene el alambre para la fabricación de escobas.

II.5 REGENERACIÓN DEL CAUCHO

II.5.1 DEFINICIÓN Y RESEÑA HISTORICA

A. INTRODUCCIÓN.

El constante aumento del consumo de caucho natural, debido a las múltiples y numerosas aplicaciones que de él se hacía en la fabricación de toda clase de artículos, hizo fijar la atención de los técnicos en la posibilidad de recuperar parte del caucho contenido en los desperdicios de caucho que en gran cantidad se iban desechando en todo el mundo.

Así en 1858 H. L. Holl patentó el primer proceso de devulcanización del caucho, logrando el reciclaje del producto mediante un proceso térmico⁶.

La utilización del caucho regenerado siempre representó una economía en el costo de los productos que admitieran su inclusión y tubo su auge durante las dos guerras mundiales, debido a la escasez de caucho virgen en el mercado.

Desde ese entonces, a pesar que la mayor parte de los desperdicios de caucho vulcanizado se emplean actualmente como carga en la fabricación de asfalto y en la industria del cemento, o como materia combustible, los procesos de regeneración han ido perfeccionándose para lograr un máximo rendimiento y un producto de alta calidad.

B. DEFINICIÓN.

Actualizando la definición contenida en el “Tratado Moderno de la Industria del Caucho” de M. Vidal de Cárcer, podemos establecer que el caucho regenerado es un producto plástico, trabajable y pegajoso, obtenido a partir de los desperdicios de caucho vulcanizado por diversos tipos de tratamiento (mecánico, térmico, químico, entre otros), el cual puede ser formulado, manufacturado y vulcanizado de la misma forma que el caucho virgen.

De acuerdo al tratado citado, durante la vulcanización el caucho cambia de un estado plástico a uno elástico debido a la sustitución irreversible de algunos de los enlaces dobles de la cadena del polímero por enlaces con los átomos de azufre que actúan como puente entre las macromoléculas. En otras palabras la regeneración no puede ser el reverso de la vulcanización en el sentido de retirar el azufre combinado.

Sin embargo, se debe mencionar que actualmente existen procesos de regeneración en los cuales se alcanza un grado de desulfurización significativo.

II.5.2 SUSTANCIAS USADAS EN LA REGENERACIÓN.

Las sustancias usadas en la regeneración del caucho dependen del método o equipo usado para obtener el regenerado, en esta parte del informe mencionaremos los más usados:

A. AGENTES HINCHANTES.-

Son líquidos alifáticos o aromáticos que son absorbidos por los trozos de caucho vulcanizado, causando el aumento de las dimensiones del trozo del polímero.

Los agentes hinchantes se emplean para dilatar y debilitar la estructura reticular del caucho vulcanizado para el ataque de agentes desulfurantes, peptizantes u oxidantes o facilitar la acción de otras sustancias empleadas en el proceso como los plastificantes.

Las propiedades que debe reunir un agente hinchante son:

- a. No reaccionar con el caucho vulcanizado, ni disolver los ingredientes usados para preparar la mezcla que se vulcanizó (con excepción de los plastificantes).
- b. Que se pueda recuperar fácilmente después de culminado el proceso de regeneración (que las últimas trazas no se adhieran al regenerado).
- c. No ser tóxico y ser barato.

Los agentes hinchantes más utilizados son:

Éteres: Éter etílico, éter isopropílico, éter butílico, óxidos de etileno y propileno.

Esteres: Etil acetato, isopropil acetato, butil acetato, 2 etil-hexil acetato.

Cetonas: Acetona y metil etil acetona

Aminas: Fenil amina, difenil amina, butil amina y dibutil amina.

Hidrocarburos: Benceno, tolueno, xileno, aceite aromático, iso-octano, ciclo-pentano, isopropil benceno, etc.

Aceite de pino

Clorados: Dicloro y tricloro etano, el cloroformo

B. AGENTES PLASTIFICANTES.-

Los plastificantes son aquellos productos químicos que se adhieren a los trozos de caucho vulcanizado para producir los siguientes efectos:

- a. Reducir la cantidad de trabajo mecánico necesario para ablandar al caucho en tratamientos térmicos – mecánicos.
- b. Provocar el ablandamiento del caucho vulcanizado a fin de facilitar la adición de caucho virgen.
- c. Intervenir en forma activa en la dispersión de los agentes desulfurantes o peptizantes.

El tipo de plastificante que se utiliza en un proceso de regeneración es un plastificante verdadero, es decir, que se disuelve en el caucho, entre los más usados tenemos a:

La brea de pino o hulla

El asfalto

Aceite de resina: Naftolen 20.

Aceite de Proceso de Parafina Sunpar 2280 (producido por Sun Oil Co Ltd.).

C. AGENTES PEPTIZANTES.-

Son sustancias que causan una degradación del polímero al ocasionar la ruptura de alguno de los enlaces sulfuro-carbono o carbono-carbono cercanos a los puentes de azufre formados al vulcanizar el caucho, los cuales se encuentran ubicados frecuentemente en los extremos de las moléculas de caucho. Por consiguiente, causan los mismos efectos que los plastificantes verdaderos.

Entre los más importantes hallamos a:

- a. Las hidracinas aromáticas, como por ejemplo, la fenilhidracina
- b. Los derivados de la guanidina, por ejemplo, la difenilguanidina.
- c. Los tioácidos, como el tiobenzóico;
- d. Alguno nitroderivados, como el nitrosobetanaftol
- e. Los mercaptanes aromáticos con el betanatilmercaptán a la cabeza.
- f. El PEPTOR 3S o di-(0-benzamidophenyl) disulfide, fabricado por Kawaguchi Chemicals Co.Ltd.

La acción de las hidracinas tiene lugar cuando se mezclan éstas con el caucho en un cilindro mezclador y luego se mantiene almacenada la mezcla a una temperatura de 70°C, durante veinticuatro horas.

También se pueden considerar como agentes petizantes o deteriorantes a algunos metales como el cobre, manganeso, cromo, vanadio cobalto y hierro; o el FeCl_2 y el CuCl_2 que actúan como catalizadores acelerando la degradación del polímero por la acción del oxígeno.

D. AGENTES DESULFURANTES.-

Se llaman agentes desulfurantes a aquellos que causan la separación del azufre del caucho vulcanizado con la consecuente destrucción de los puentes de azufre formados en la vulcanización.

El más empleado en la actualidad es el sodio metálico que reacciona con el azufre formado sulfuro de sodio Na_2S . Una invención que describe el empleo de este metal alcalino es la patente US5798394 publicada el 25.08-1198.

E. AGENTES REGENERANTES O DEVULCANIZANTES.-

En este informe denominaremos agentes regenerantes o devulcanizantes a los productos químicos comercialmente más conocidos, elaborados exclusivamente para ser empleados en los procesos de regeneración del caucho, cuyo acción puede determinarse si se conocen todos sus constituyentes.

Algunos utilizan mezclas de agentes peptizantes y plastificantes o sustancias que facilitan la dispersión de los trozos de caucho vulcanizado en el caucho virgen, al modificar las propiedades superficiales del desperdicio de caucho.

En la década del 80 los más usados eran los RENACIT IV, V y VI fabricados por la casa Bayer, que se emplean con agentes hinchantes en un porcentaje de 2% en peso con relación al caucho a recuperar.

Actualmente, los más empleados en Norteamérica y Europa son el DeLink distribuido por STI-K American, el Isracrumb producido por Lev gum Ltd.

Sin embargo, es necesario precisar que desde 1996 los fabricantes de llantas Japoneses y Chinos han patentado una serie de procedimientos que emplean varios agentes de regeneración o devulcanización, cuya fórmula se mantiene como secreto comercial.

F. AGENTES DESFIBRADORES.-

Se emplean específicamente para eliminar las fibras textiles contenidos en los trozos de neumáticos usados. Los más importantes son:

- Un álcali, por ejemplo la soda Cáustica.
- El ácido sulfúrico.
- El Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$) o Cloruro de Calcio ($CaCl_2$).

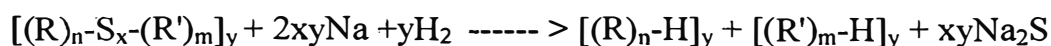
II.5.3 PROCESOS DE REGENERACIÓN.

Muchos son los procedimientos utilizados para la obtención de caucho regenerado. En la página web de la Oficina de Patentes Europea <http://www.espacenet.org> se puede encontrar más de 40 patentes registradas, las cuales se pueden clasificar con fines didácticos por el agente principal que provoca la regeneración, aunque en la mayoría de los casos se utiliza más de un agente para obtener un regenerado de buena calidad a menor costo

II.5.3.1 PROCESOS QUÍMICOS.

- DESULFURIZACION EMPLEANDO UN METAL ALCALINO⁷.

Este procedimiento se sustenta en el rompimiento de los enlaces puente de azufre que unen las moléculas de caucho de la miga vulcanizada por la acción del sodio (metal alcalino) cuya presencia genera una reacción exotérmica al producir sulfuro de Sodio Na_2S , dicha reacción puede ser representada por:

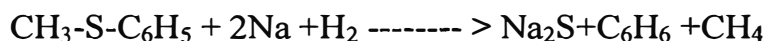


Donde:

- $[(R)_n-S_x-(R')_m]_y$ representa al caucho vulcanizado
- $(R)_n$ y $(R')_m$ representan el mismo o diferentes moléculas de caucho con n y m unidades monoméricas.

- x es el número de átomos de azufre que conforman los puentes.
- y es la longitud de la cadena del caucho vulcanizado

La reacción es rápida y el calor de reacción para la desulfurización del caucho natural es similar a la desulfurización del metil-fenil sulfuro:.



ΔH a 298°C = -610.09 kcal/kg de caucho

La desulfurización se lleva a cabo en un reactor mezclando la miga de caucho hinchada por un solvente orgánico y el sodio metálico. Luego se procede a purgar el oxígeno con nitrógeno debido a que reacciona con el sodio formando el Na₂O a la temperatura de operación.

A continuación se agrega hidrógeno hasta alcanzar una presión de 200 psia a efecto de favorecer la reacción de devulcanización. El uso de hidrógeno es opcional, su ausencia originaría la formación de enlaces dobles carbono-carbono en la molécula de caucho, los cuales pueden producir un caucho reforzado.

Finalmente se procede a calentar los desperdicios de caucho, agitando la mezcla a una velocidad de 1600 rpm. La reacción comienza a 125°C y se debe procurar que la temperatura no exceda los 220°C para evitar la degradación del polímero.

- **REGENERACIÓN CON AGENTES DETERIORANTE.**

El Chemical Abstracts, volumen 84 (1976) se describe un método de regeneración directa en fase sólida, y comprende dos operaciones, una primera operación en la que una mezcla de migas de chatarra de caucho natural, aceite plastificante, fenilhidrazina, cloruro ferroso y alcohol metílico, se agita durante 4 horas, y una segunda operación durante la cual la mezcla así formada se calienta a 100°C, durante 60 minutos.

En la patente japonesa JP 48640/94, publicada el 18.03.1994, cuyo solicitante es MAZDA MOTOR CORPORATION, se describe un procedimiento en el que se hincha 100 gramos de una miga de neumático malla 15 compuesta por caucho natural y estireno-butadieno

sumergiéndolos en 100 ml de un solvente compuesto por tolueno, xileno e iso-Octano por 8 horas a temperatura ambiente. Luego de extraer el solvente, se añade a la miga de caucho 150 gramos de aceite de proceso de parafina y 10 gramos de un **agente peptizante** (Peptor 3S), agitándose la mezcla durante 8 horas. Finalmente el regenerado se obtiene al separar el aceite de proceso.

En la invención US 5677354⁸ de fecha 14.OCT.1997, se describe procedimiento por el cual se debilita la miga de caucho vulcanizada hinchándola con un solvente, para luego hacer pasar varias veces la suspensión que contiene la miga por una restricción de metal (plato perforado o esponja de cobre), con ayuda de un pistón, hasta lograr que la miga se plastifique al degradarse el polímero por la acción del metal que actúa como agente deteriorante⁹ que actúa como catalizador causando la degradación del polímero y la ruptura de algunos enlaces azufre-carbono. El regenerado es obtenido al recuperar el solvente.

- OTROS PROCESOS³

a. Empleando Plastificantes.

P. Alexander dio a conocer un procedimiento que consiste en coger los desperdicios de neumáticos y sumergirlos en cuatro veces su peso en brea de hulla de un punto de ebullición comprendido entre 130 a 160°C y manteniéndolos durante cuatro a cinco horas en una autoclave a una presión de 5 a 6 atmósferas. La disolución obtenida de esta forma, se traslada a un recipiente en donde se evapora el plastificante, quedando una capa muy fina de caucho regenerado de una gran pureza, pero que tiene el inconveniente de haber sufrido una despolimerización que lo hace menos apto para los usos normales.

Posteriormente Culter en 1913, patentó un procedimiento en donde se reemplaza la solución alcalina por una acuosa de $ZnCl_2$ o $CaCl_2$ (1 al 3% en peso), la cual actúa como agente desfibrador. El desperdicio molido se carga en una autoclave conteniendo solución digestiva y 10

a 15 partes de plastificante y se calienta a presión normal durante varias horas. Luego se extrae el agua del regenerado, se refina y filtra. En los procesos modernos se usa además agentes regenerantes o petizantes, y la presión llega a 28 atmósferas.

b. Empleando Agentes Regenerantes.

En estos procedimientos la regeneración se produce en un tiempo aceptable a una temperatura normal o por debajo de los 100°C. El agente regenerante que más se usó después de la segunda guerra mundial fue el RENACIT producido por la Bayer.

El principio de la regeneración consiste en triturar lo más finamente posible el desperdicio de que se trate, libre de tejidos y fibras, al que se añade un agente hinchante y el RENACIT correspondiente, procediendo a mezclar convenientemente estos productos con la finalidad de que el contacto con el desperdicio sea mayor. Es aconsejable mantener almacenada la mezcla algunos días para que el efecto del RENACIT sea más energético.

Los tipos de RENACIT que se utilizan para los diferentes tipos de desperdicios, son los siguientes:

Desperdicio de caucho natural: RENACIT IV.

Desperdicio de caucho SBR: RENACIT V y VI.

Para que la aplicación del RENACIT IV y V sea eficiente es necesario la presencia de oxígeno, a una presión de aire de 3 atmósferas.

II.5.3.2 PROCESOS TERMICOS.

Emplean principalmente al calor como fuente de energía para romper los enlaces azufre-carbono y carbono-carbono. Los procesos de regeneración térmica pueden dividirse en cuatro grupos.

- A. Los que se efectúan con la sola aplicación de calor directo en una autoclave que contenga desperdicios finamente triturados. Los regenerados obtenidos por este procedimiento son muy plásticos, dando lugar a vulcanizados sin "nervio" y de baja calidad.

La temperatura en estos procesos varia entre 130 y 200°C y las presiones de 5 a 13 atmósferas. Se debe controlar la temperatura y evitar recalentamientos locales que puedan provocar la descomposición de la goma, con el peligro consiguiente de un gran aumento de presión.

Cuando se considera terminada la operación se deja enfriar la autoclave hasta una temperatura que permita el contacto del regenerado con el aire sin provocar la auto-inflamación.

- B. Cuando la aplicación del calor va unida a la acción de un álcali o un ácido con o sin plastificante. La aplicación de álcalis (a excepción de la sosa cáustica) o ácidos al desperdicio, ya no tiene importancia desde el punto de vista industrial, y solamente se mencionará la aplicación del ácido sulfúrico al desperdicio antes de la regeneración alcalina.

El sistema de regeneración por ácido, fue introducido en USA en 1880 por N. Chapman y Mitchell y consiste en sumergir los desperdicios de neumáticos en una solución de ácido sulfúrico de 15° Bé (21 partes de ácido por 100 de agua) con la finalidad de destruir las fibras textiles. Luego la goma vulcanizada es introducida a una caldera de cocción abierta y forrada con plomo, elevando la temperatura a 80°C durante un período de tiempo que varía de hora y media a dos. Una vez terminada la operación, se lava el desperdicio con vapor vivo, añadiéndose los plastificantes para obtener el regenerado. Al final se pasa la goma recuperada por un cilindro refinador y se filtra.

La regeneración alcalina se efectúa en autoclaves giratorias, en las cuales se introduce la granza de desperdicio que se quiere regenerar y una solución de sosa cáustica, así como los plastificantes necesarios y generalmente por calor directo, se eleva la temperatura hasta alcanzar una presión de 14 a 16 atmósferas durante 8 horas, procediéndose finalmente a enfriar y lavar el regenerado. La desventaja de este procedimiento es que ocasiona la separación de azufre libre y no es

adecuado en combinación con agentes de regeneración química y, por lo tanto, se ha vuelto menos importante con la creciente utilización del caucho sintético en la chatarra de caucho.

C. Los que utilizan vapor húmedo como medio de calefacción. La base de estos procedimientos es la aplicación del vapor de agua, con las variaciones que supone el trabajar a baja presión, alta presión, vapor directo o recalentado, todas ellas con o sin adición de plastificantes.

La regeneración consiste en someter los desperdicios de neumáticos cortados a grandes trozos, a una temperatura de 250°C en autoclaves provistas de bandejas, por las cuales se hace pasar vapor saturado o sobrecalentado, entre 5 y 10 atmósferas, hasta conseguir la temperatura indicada. Pasadas 4 o 5 horas se enfría el regenerado para evitar oxidaciones e inflamaciones.

D. Actualmente se aplica un procedimiento en donde no se utiliza vapor sino un calefactor que hace uso de **energía del microonda** (patente US 4104205), el cual permite un gran ahorro de energía en este tipo de procesos y reducir el tiempo de operación hasta en un 50%. El proceso utiliza frecuencias de 915 a 2450 megaciclos.

II.5.3.3 PROCESOS MECÁNICOS.

En estos procesos por lo general se emplean equipos en donde los desperdicios de caucho son sometidos a grandes esfuerzos que causan la ruptura de los puentes de azufre.

El primer procedimiento que podemos mencionar es el descrito en la patente FP 890.349 presentada por GETEFO (Ges, Fur Technischen Forstschritt) en la que reivindica el uso de 4 partes de una mezcla de 2-sulfhidirlnaftaleno y de beta-benaftilbisulfuro, o una solución de éter dibencílico por 100 partes de desperdicio finamente tritura. La mezcla es sometida a **esfuerzos de fricción intensos en un cilindro regenerador**, elevándose la temperatura a 80°C.

En la invención WO 8605192, publicada en 12.04.1986, Kralovopolska Strojirny patenta el diseño un aparato similar a una amasadora de pan en donde se mezcla la miga de caucho, con un aceite plastificante y vapor de agua a una presión de 20 a 35 atmósferas y una temperatura entre 200 y 250°C.

En la Patente US 5883140 de fecha 16.03.1999 se diseña un aparato que permite **aplicar grandes fuerzas de impacto** a una mezcla de miga de caucho (de un tamaño de malla superior a 200) con 2% de aceite plastificante

II.5.3.4 OTROS PROCESOS.

En la actualidad se emplean otros procesos que utilizan otras fuentes de energía u agentes para romper los puentes de azufre. Entre ellos podemos mencionar:

- a. La devulcanización por ultrasonido.- En la invención US 5799880, publicada el 01.09.1998 se describe el diseño de un aparato que utiliza **frecuencias ultrasónicas** en el rango de 20,000 a 50,000 hertz. Estas producen la ruptura de los enlaces azufre - carbono que son menos estables que los enlaces carbono - carbono.
- b. Con fines didácticos se debe mencionar la patente CN 1047872 publicada en 19.12.1990, solicitada por la BEIJING RUBBER AND PLASTIC PRO en la república China. En el resumen de este procedimiento se detalla que se logró regenerar el caucho butadieno **por radiación** a temperatura ambiente, reduciendo los gastos por consumo de energía y la contaminación ambiental.
- c. Los procesos Bioquímicos.- Recientemente se está empleando microorganismos para producir la devulcanización de los desperdicios de caucho a temperatura ambiente. Destacan los estudios de la Dr. Katarina Bredberg de la fundación Kungl Tedniska Hogskolan.

Como puede apreciarse, los procedimientos de regeneración han ido evolucionando y combinándose con el transcurso del tiempo. El

procedimiento a elegir depende de las características del caucho a regenerar, de la tecnología disponible y de las propiedades que deseamos que tenga el producto elaborado con el regenerado.

II.5.4 CARACTERÍSTICAS DEL CAUCHO REGENERADO

Un regenerado de buena calidad debe poseer las siguientes características:

- a. Buena plasticidad y facilidad para el proceso de mezcla.
- b. Buena viscosidad.
- c. Ausencia de módulos y partículas extrañas.
- d. Poco olor y buenas propiedades mecánicas después de que son vulcanizados
- e. Alta resistencia al envejecimiento de los artículos fabricados con él.
- f. Velocidad de vulcanización más rápida que el caucho que genero el residuo.
- g. Es menos termoplástico que el caucho nuevo.

II.5.5 USOS Y VENTAJAS DEL REGENERADO.

Inicialmente, el regenerado se utilizaba sólo como carga; pero después, y a medida que ha sido necesario obtener mezclas más económicas para la fabricación de objetos de caucho, el papel del regenerado ha ido valorizándose, llegando a sustituir totalmente, en algunas manufacturas, al caucho virgen. No obstante, en los Estados Unidos se considera comercialmente que la proporción máxima de regenerado a utilizar en una mezcla normal es la siguiente:

- a. Neumáticos y bandas de rodamiento, Hasta el 10%.
- b. Carcasas de neumáticos, hasta el 40%.
- c. Cámaras, hasta el 30%
- d. Calzado, de un 10% a un 50%.
- e. Ebonita, hasta el 50%.
- f. Aislantes, de un 10 a un 40%.
- g. Aislantes para cables, de un 10 a un 40%.
- h. Cajas de bujías, de un 35 a 45%.

- i. Suelas y tacones, de un 40 a un 45%.
- j. Esteres de coches y accesorias para la carrocería de los mismos hasta un 50%.

En donde el tipo de regenerado utilizado es el obtenido a partir del tipo de caucho utilizado para fabricar el producto original.

El uso del regenerado en las mezclas de caucho favorece la plastificación del caucho natural o sintético, disminuyendo el tiempo de masticación y facilitando la inclusión de cargas a baja temperatura. Facilita, por otra parte, las operaciones posteriores de la mezcla, tales como el calandrado y la extrusión en la fabricación de tubos. Las pequeñas cantidades residuales de acelerantes y antioxidantes que acompañan al regenerado, por lo general ayudan a la posterior vulcanización de las mezclas: tanto es así, que es posible fabricar un objeto con regenerado sin adición de acelerante, consiguiendo vulcanizaciones casi normales, aunque la elasticidad y la resistencia a la tracción de estos vulcanizados son ligeramente inferiores a los que resultan de una adición normal de azufre y acelerante.

III. DESARROLLO DEL TEMA.

III.1 ESTUDIO DE MERCADO.

III.1.1 IMPORTACIONES DE CAUCHO NATURAL Y SINTETICO.

En la Sección VII, Capítulo 40 de nuestro Arancel de Aduanas vigente, aprobado por Decreto Supremo N°239-2001-EF del 29.12.2001, están clasificados los “Cauchos y sus Manufacturas”. Actualmente, existen 47 subpartidas nacionales codificadas, desde la 4001.10.00.00 hasta la 4005.99.90.00, en donde están registradas todas las importaciones y exportaciones de los diferentes tipos de caucho.

Entre los años 1999 y 2001 se registró el siguiente movimiento de importaciones a nivel nacional.

IMPORTACIONES DE CAUCHO NATURAL Y SINTETICO SIN VULCANIZAR

Partida	Descripción de la Partida	TON	TON	TON	Valor CIF-
Arancelaria		1999	2000	2001	2001 (US\$)
4001220000	Caucho natural técnicamente especificado.	5385.30	7680.77	8760.01	6023289.04
4002191100	Caucho estirado butadieno en formas primarias	3035.77	5349.49	6192.30	5847604.99
4002191200	Caucho estireno butadieno en placas, hojas o tiras	2046.92	352.41	.46	6001.03
4002209200	Caucho butadieno en placas, hojas y tiras	1055.27	926.47	18.40	18457.64
4002491000	Caucho cloropreno (clorobutadieno) en formas primarias	310.79	347.90	315.19	992264.22
4002209100	Caucho butadieno en formas primarias	582.99	1015.34	2271.15	2081776.20
4005100000	Caucho con adición de negro de humo o sílice	252.92	333.97	209.12	254319.24
4001210000	Hojas ahumadas de caucho natural	301.38	409.25	655.87	492465.50
4001292000	Caucho natural granulado reaglomerado.	237.21	198.13	245.39	186973.94
4002591000	Caucho acrilonitrilo-butadieno en formas primarias	137.43	217.04	225.18	309690.53
4001100000	Latex de caucho natural, incluso prevulcanizado	236.86	386.32	549.09	464528.52
4005911000	Bases para gomas de mascar en placas, hojas o tiras	144.92	270.97	387.87	477987.85
	Otros tipos de caucho	705.22	666.43	1072.24	1861980.32

Como se puede apreciar las importaciones de caucho natural y estireno butadieno (en formas primarias, placas, hojas y tiras) representan respectivamente el 40% y 30% del total de caucho importado. Las importaciones de caucho natural y SBR son similares en cuanto al precio (valor CIF).

Los principales importadores registrados son los siguientes:

PRINCIPALES IMPORTADORES DE CAUCHO ESTIRENO BUTADIENO (SBR)
(PERIODO DE EVALUACIÓN: AÑO 2001)

RUC	Denominación Social	Peso (kg)	CIF (US\$)	Impuesto (% CIF)
20100012856	CIA GOODYEAR DEL PERU S A	3087495.89	2809709.45	14.70
20100652596	COMERCIAL CONTE SRL	1003511.00	969255.64	19.90
20100182778	LIMA CAUCHO S A	671489.00	665254.94	19.37
20100107644	COMERCIAL LIDER S A	501480.00	496564.55	19.64
20102028687	KBR INGENIEROS S A	393663.00	391296.78	19.54
20126500433	COMERCIAL QUIMICA SCORPION S.R.L.	209181.00	206180.98	20.13
20110649224	AUGUSTO C. MULANOVICH INDU. Y COMER.S.A.	126094.00	122033.54	21.42
20137976171	WELLCO PERUANA S.A.	43991.00	45032.53	22.72
20131529181	SEGURINDUSTRIA SA	42840.00	42627.17	20.12
20100173191	INDUSTRIAL EL SOL S.A.C.	34721.00	27718.86	20.52
20100160707	INDELAT SAC	34219.00	28951.20	19.89
	OTROS IMPORTADORES	111780.00	99297.23	

PRINCIPALES IMPORTADORES DE CAUCHO NATURAL TECNICAMENTE ESPECIFICADO
(PERIODO DE EVALUACIÓN: AÑO 2001)

RUC	Denominación Social	Peso (kg)	CIF (US\$)	Impuesto (% CIF)
20100012856	CIA GOODYEAR DEL PERU S A	6390720.00	4345651.89	11.40
20100182778	LIMA CAUCHO S A	826560.00	553168.87	24.44
20100160707	INDELAT SAC	648320.00	469869.16	25.35
20100652596	COMERCIAL CONTE SRL	428170.00	321364.33	25.91
20102028687	KBR INGENIEROS S A	119970.00	86539.53	25.19
20100173191	INDUSTRIAL EL SOL S.A.C.	63453.30	48215.38	28.56
20110649224	AUGUSTO C. MULANOVICH INDU. Y COMER.S.A.	60480.00	39317.21	22.72
20462829737	MEGACAUCHO Y DERIVADOS S.A.C.	60480.00	39959.88	26.18
20100107644	COMERCIAL LIDER S A	54960.00	37782.85	24.80
20106740004	VULCO PERU S.A.	38500.00	30213.47	27.69
20126500433	COMERCIAL QUIMICA SCORPION S.R.L.	38400.00	28329.23	27.53
	OTROS IMPORTADORES	76900.00	58542.70	

En donde Good Year del Perú S.A, Lima Caucho S.A., Industrial el Sol y Megacauchos S.A.C se dedican a fabricar o reencauchar neumáticos. **INDELAT S.A.C., Comercial Conte S.R.L. y Lider S.A.** son distribuidores que venden caucho a la red de pequeños fabricantes que producen suelas de zapatos.

Desde el año pasado Good Year del Perú S.A. también se ha dedicado a abastecer a parte del mercado sudamericano, tal como lo demuestra las exportaciones de neumáticos registrados en el cuadro que se muestra a continuación:

EXPORTACIONES DE LLANTAS DURANTE EL AÑO 2001

RUC	DENOMINACION SOCIAL	Peso (ton)	Unidades
20100012856	CIA GOODYEAR DEL PERU S A	11435.53	653838.00
20100182778	LIMA CAUCHO S A	348.32	10266.00
20422626175	Otros Exportadores.	29.75	758.00

Las variedades y costo CIF más impuestos de los tipos de caucho importados empleados para fabricar suelas de zapato son:

Variedad de Caucho SBR	Precio Unitario (US\$/kg)
Arpol 1502	1.20
Arpol 1510	1.15
Arpol 1712	1.10
Variedad de Caucho Natural	Precio Unitario (US\$/kg)
SMR 10	1.15
SMR 20	0.95

La selección de la variedad depende del precio de ocasión y las características del producto que se desea obtener.

III.1.2 PRODUCCIÓN DE SUELAS DE CAUCHO.

A falta de información de la producción de la industria informal, en esta parte del Informe estimaremos la cantidad máxima de pares de suelas que pueden ser fabricadas en el mercado nacional calculando el peso de un par, considerando el rango de edades de la población, y la cantidad de caucho natural y sintético importado. La cantidad obtenida se verificará con la demanda de la población, descontando la cantidad de zapatos importados. Para estimar el peso por par de suela, emplearemos los modelos que han tenido más venta el año pasado

El modelo estándar para caballero, similar al empleado en la campaña escolar registra los pesos mencionados a continuación (ver figura N° 5):

- Talla 34 un promedio de 420 g
- Talla 37 un promedio de 510 gr
- Talla 40 un promedio de 600 gr

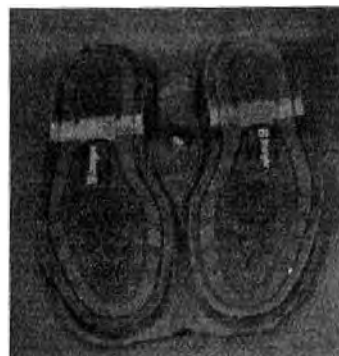


figura N°5

Para la suela del zapato de dama se registra:

(ver figura N°5)

- Talla 34 un promedio de 410 g
(modelo escolar estándar).
- Talla 36 un promedio de 450 g (taco N°6).
- Talla 38 un promedio de 480 g (taco N°5)



Figura N°6

Si consideramos la información de la pagina web del Instituto Nacional de Estadística (ver anexo II) y agrupamos a la población de ambos sexos por talla y rango de edades, obtenemos el cuadro siguiente:

Rango de Edades	Talla Hombre	Total Hombres	Talla Mujer	Total Mujeres
10 - 14 años	34	1 474 847	34	1 421 414
15 - 19 años	37	1 448 748	36	1 404 735
20 - 70 años	40	6 677 765	38	6 972 223

El peso representativo de un par de suelas se puede obtener efectuando un promedio ponderado entre el peso promedio de una talla y la cantidad de personas de un rango de edades determinado, suponiendo que una persona por lo menos adquiere un par de zapatos de suela de caucho al año. Dicho peso resulta 0.512 Kg

Si tomamos la composición de la mezcla patrón empleada para fabricar una suela, mencionada en el numeral II.3.1 del Informe, constituida por 54.79% en peso de caucho deducimos que se utiliza 0.280 Kg de caucho para producir un par de suelas de zapato.

De otro lado, si tenemos en cuenta que los principales distribuidores de caucho para la fabricación de zapatos: INDELAT S.A.C., Comercial

Conte S.R.L. y Lider S.A han importado 2670,66 ton (de los cuales 1539.21 ton fueron SBR) y dividimos está cantidad entre 0.280 Kg, se obtiene que durante el año 2001 se pudieron haber producido 9 538 071 pares, sino se consideran las mermas en la producción generadas por los pares de defectuosos y rebabas.

Dicha cifra es aceptable si consideramos que según el Instituto Nacional de Estadística somos alrededor de 19 399 071 peruanos mayores de 10 años y que el año pasado sólo se han importado 8 348 802 pares de calzado de acuerdo al detalle siguiente:

IMPORTACIONES DE CALZADO REGISTRADA DURANTE EL AÑO 2001

Subpartida Nacional	Descripción de la Subpartida	Total de Pares	Total Peso Neto (kg)	Peso Neto por Par	Valor CIF (US\$)
6402990000	Los demás calzados con suela y parte superior de caucho o plástico	4772595	2370167.90	0.497	11980575.87
6401920000	Calzado impermeable con suela y parte superior de caucho o plástico que cubran el tobillo	586057	781257.47	1.333	1312694.57
6402200000	Calzado con parte suprio de tiras o bridas fijas a la suela por tcones con suela de caucho o plástico	573879	258072.18	0.450	551560.44
6403990000	Los demás calzados con suela de caucho o plástico y parte superior de cuero natural	561146	467523.43	0.833	7647448.52
6404110000	Calzado de deporte con suela de caucho o plástico y parte superior de materia textil.	523464	389354.91	0.744	2058417.41
6404190000	Los demás calzados con suela de caucho o plástico y parte superior de materia textil.	493877	338718.54	0.686	3070017.20
6403910000	Los demás calzados con suela de caucho o plástico y parte superior de cuero natural que cubran el tobillo	143657	172931.76	1.204	2844860.89
6403190000	Los demás calzados de deporte con suela de caucho o plástico y parte superior de cuero natural	142160	138757.55	0.976	2483862.06
6405200000	Los demás calzados con parte superior de materia textil y con suela no de caucho, plástico o cuero	128038	44328.76	0.346	356090.46
6402190000	Los demás calzados de deporte con suela y parte superior de caucho y plástico	101669	93284.47	0.918	1239701.83
	Otros tipos de calzado	322261	251682.98	0.781	2451021.80
	Total importado durante el año 2001	8348802	5306079.95	0.636	35996251.04

La cantidad restante de personas que no habría adquirido un par de zapatos de suela de caucho ($19\ 399\ 732 - 9\ 538\ 071 - 8\ 348\ 802 = 1\ 512\ 859$) habría comprado sólo un par nacional con suela de plástico, madera o cuero.

III.1.3 RESIDUOS DE CAUCHO GENERADOS EN EL DESHUESO DE NEUMÁTICOS.

A. CARACTERÍSTICAS DE LOS NEUMÁTICOS USADOS.

Todo neumático está constituido por lo general por caucho sintético y natural, sulfuro y compuestos de sulfuro, silicona, resina fenólica, aceites aromáticos, nafténico y/o parafínico, tela poliéster, nailon o de material sintético, ceras de petróleo, óxido de zinc, dióxido de titanio, negro de carbón, ácidos grasos, alambre de acero ASTM 1070 y materias inertes. Su composición es la siguiente:

Composición de un Neumático Usado

Material	Neumático de Automovil	Neumático de Camión
Caucho Natural	14%	27%
Caucho Sintético	27%	14%
Negro de Carbón	28%	28%
Acero	14 - 15%	14 - 15%
Tela, aceleradores, antioxidantes, etc.	16 - 17%	16 - 17%
Peso Prom. Nuevo (kg)	11.34	54.43
Peso Prom. Usado (kg)	9.07	45.36
Porc de perdida Peso	20.00%	16.67%

Distribución del Caucho entre las Partes de un Neumático

Parte del Neumático	% Peso
Banda de Rodamiento	32.60%
Flanco Lateral	21.90%
Base de Carcasa	1.70%
Resto de Carcasa	43.80%

Fuente: Pagina Webb de la Rubber Manufacturers Association (<http://www.rma.org>)

La densidad de los residuos del neumático depende de su estado, forma de embalaje y presentación:

Densidades máximas de los residuos de un Neumático Usado (gr/cm ³)	
Neumático Usado	0.35
Neumático Usado compactado	0.77
Fragmentos de 2 pulg compactado	0.86
De la banda de rodamiento	0.56
Miga de Malla 10	0.46
Miga de Malla 30	0.45
Miga de Malla 80	0.42

El neumático comienza arder instantáneamente entre los 288°C y 343°C, el carbón comienza a quemarse a los 450°C y se quema totalmente a los 650°C. El resultado de los residuos de su combustión es el siguiente:

Descripción	Porcentaje en Peso (%)
Humedad	0.62
Ceniza	4.78
Carbón	83.87
Hidrógeno	7.09
Nitrógeno	0.24
Sulfuro	1.23
Oxígeno (por diferencia)	2.17
Total :	100.00

ANALISIS DE CENIZA (BASE HUMEDA)
(oxidados formados)

Descripción	Porcentaje en Peso (%)
Zinc	1.5200
Calcio	0.3780
Hierro	0.3210
Cromo	0.0097
Cadmio	0.0006
Plomo	0.0065
Otros compuestos inorganicos	2.5442
Total :	4.7800

B. CANTIDAD DE NEUMÁTICOS USADOS GENERADOS .

En la sección II.4 del capítulo anterior se estimó que en nuestro país se generaban 21 mil toneladas de neumáticos usados al año, a partir de un estudio similar del parque automotor de la ciudad de Bogotá .

Para corroborar esta cifra, podemos asumir por simple balance de materia que la cantidad de neumáticos desechados es igual a la cantidad de neumáticos consumidos importados y fabricados en nuestro país.

Las importaciones registradas en el año 2001 son:

Importación de Tipos de Neumáticos
(Periodo de Evaluación: año 2001)

Subpartida	Descripción	Peso (ton)	Unidades	Peso por Unidad (kg)
4011200000	Neumáticos para Autobus o camiones	13201.37	305867.00	43.16
4011100000	Neumáticos para Automóviles	5941.97	654187.71	9.08
4011910000	Neumáticos con altos relieves	5270.85	10967.00	480.61
4011990000	Otros tipos de Neumáticos	4869.81	200606.00	24.28
	Los demás tipos de Neumáticos	16082.63	865760.71	18.58

Los Neumáticos con altos de alto relieve son difíciles de recolectar, se utilizan en la agricultura y en la industria minera. Tampoco podemos contar con los otros tipos de neumáticos (de bicicleta, aviones y otros) por su reducido tamaño o diferente composición.

Si consideramos el porcentaje de pérdida de peso por uso mencionado en el cuadro donde se registra la composición de neumático deducimos que se generan:

11 000.70 ton de llanta de camión ($13\ 201.37 \times (1 - 0.1667)$)

4 753.58 ton de llanta de automóvil ($5\ 941.97 \times 0.80$)

Lo que hace un total de 15 754,27 ton de llantas usadas.

La cantidad de neumáticos producidos en el país para el mercado nacional se puede estimar a partir de las 10 976,27 toneladas de caucho importado por CIA GOODYEAR DEL PERU S.A. y LIMA CAUCHO S.A. (ver pag. 48, sección III.I.1), descontando la cantidad de caucho contenida en sus exportaciones de neumáticos que viene hacer la cantidad de 4 831.38 toneladas ($11\ 783.85$ ton de llantas exportadas $\times 0.41$ ton caucho por ton de llanta). En consecuencia, dichas empresas destinan 6 144,89 ton de caucho para el producir o reencauchar neumáticos en nuestro país.

Si asumimos que el 50% de esta última cantidad se utiliza en la fabricación de neumáticos se puede producir 7 493,77 ton ($6\ 144.89 \times 50\% / 0.41$). Finalmente, si consideramos una pérdida de peso por uso de 20% obtendremos 5 995.01 ton de neumáticos usados.

En consecuencia, tendremos un total de $15\ 754,27 + 5\ 995,01 = 21\ 749,28$ ton de neumáticos usados, con lo cual quedaría ratificada nuestra estimación inicial 21 mil toneladas.

III.2 DISEÑO DE LOS PROCESOS SELECCIONADOS PARA DESULFURAR O REGENERAR LOS DESPERDICIOS DE CAUCHO.

Un diagrama de flujo preliminar que ilustra el primer proceso a evaluar se muestra en la pagina siguiente. Los residuos de caucho provenientes de neumáticos en desuso son triturados y si es necesario tamizados. Para los procesos que involucran el uso de un solvente, las partículas de tamaño de malla 20 A.S.T.M. son transportadas por una faja transportadora a un tanque mezclador en donde la miga de caucho vulcanizado se hincha o debilita a una temperatura de 80°C

DESULFURIZACIÓN USANDO UN METAL ALCALINO⁷.

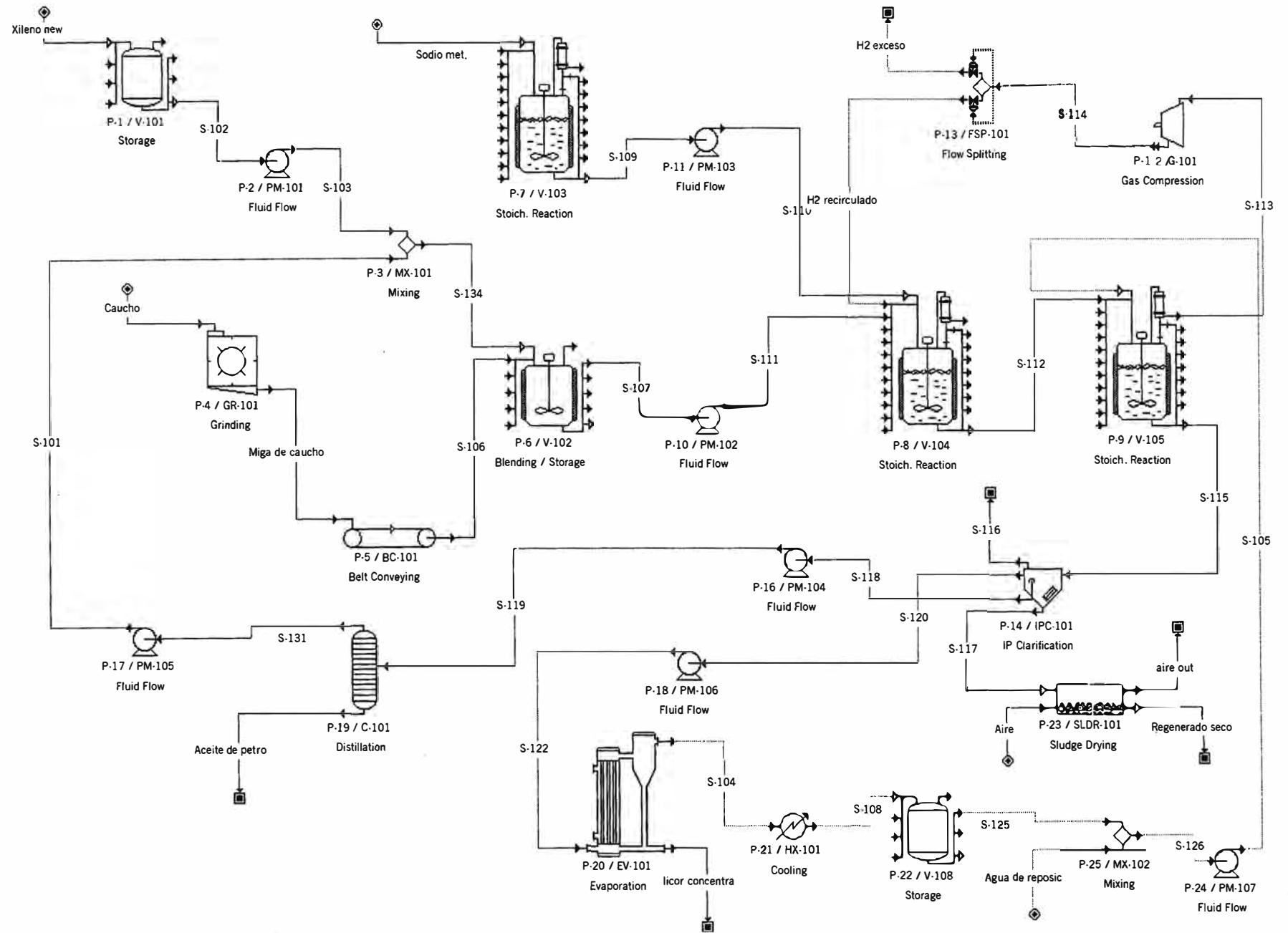
En este método la miga hinchada y el solvente se elevan a una temperatura de 115°C y una presión de 132.3 psi y se mezclen con sodio metálico en estado líquido e hidrógeno a la misma temperatura, en una atmósfera de Nitrógeno (libre de oxígeno), en un reactor con una velocidad de agitación de 1800 rpm, en donde se produce la reacción exotérmica de desulfurización descrita en la sección II.5.3.1. La temperatura del flujo de salida del reactor, no debe exceder de 140°C y se controla regulando el flujo de agua de refrigeración.

Después en otro tanque mezclador (reactor) se agrega agua a 37.5°C para que el exceso de sodio metálico se convierta en NaOH y se disuelva la mayor cantidad el Na₂S.

Posteriormente, se reduce la presión de la suspensión que contiene el regenerado (el que se encuentra a una temperatura de 60°C) a una atmosférica por intermedio de una válvula para separar posteriormente las fases en un tanque clarificador de platos inclinados (IP – Clarification).

- La fase orgánica que contiene principalmente el solvente usado y el aceite de petróleo que estaba contenido en el caucho vulcanizado es destilada para recuperar el solvente.

Proceso: DEVULCANIZACION POR DESULFURIZACION DEL CAUCHO CURADO



- La fase acuosa es concentrada en un evaporador para reutilizar el agua de proceso y obtener un licor de NaOH y Na₂S el cual es un subproducto que puede ser utilizado en la obtención de pulpa de papel sulfatada (proceso Kraft).
- El regenerado se obtiene después de secar la fase sólida en un secador de lodos.

Las variables más resaltantes de este proceso han sido obtenidas en una simulación efectuada por el programa Super Pro Designer, versión 4.7 (año 1991)*. Las variables de operación y dimensiones de los equipos que no han sido calculadas por el simulador se muestran en la siguiente sección del informe, las restantes están incluidas en los reportes del programa detallados en los anexos.

- REGENERACIÓN USANDO COBRE METALICO COMO AGENTE DETERIORANTE.

La presión de la suspensión de miga hinchada a 80°C se eleva 44 psi y es introducida en homogenizadores tipo Gaulin de dos (02) etapas compuesta por una bomba de pistones que aumenta la presión de la suspensión a 3 675 psi para hacerla pasar entre dos válvulas o cabezales de homogenización de cobre con una abertura de 0.1 mm a una velocidad de 400 m/s durante aproximadamente 15 microsegundos. Durante este tiempo toda la energía de presión liberada por una bomba de pistón se convierte en energía cinética. Parte de esta energía se desprende en forma de calor; cada 580 psi de caída de presión en el cabezal de válvula provoca un aumento de temperatura de 1°C, menos del 1% de la energía se utiliza para generar los esfuerzos que van a propiciar la acción catalítica del cobre para provocar la ruptura de los enlaces azufre – carbono y aquellos cercanos a estos. A la salida del orificio de la primera válvula hay un anillo

* Una versión de evaluación de este simulador puede ser descargada de la pagina www.intelligen.com (Permite trabajar 2 horas y grabar procesos en la que intervienen hasta dos equipos)

perpendicular a la dirección del flujo, contra el cual chocan las migas de caucho.

Los esfuerzos generados son atribuidos a diversos mecanismos:

- a. Cizalla, debida a los gradientes de velocidad entre la suspensión y la superficie de las válvulas de homogenización.
- b. Turbulencia, provocada por la alta velocidad de la suspensión en la válvula que causa remolinos en el flujo (microtorbellinos) y, por tanto, fluctuaciones locales de la velocidad y presión de la suspensión. Cuando la velocidad de flujo en la rendija de la válvula es máxima, la presión local es menor de cero. Una presión negativa origina cavitación, es decir, la formación y colapso muy rápido de burbuja de vapor. Este colapso origina ondas de choque muy intensas que también generan esfuerzos intensos.
- c. Vibraciones de alta frecuencia (entre 10 y 50 kHz) generadas por la turbulencia o cavitación originan la ruptura de los enlaces azufre – carbono. Este es el principio que utiliza la regeneración por ultrasonido.

Finalmente, se separa el regenerado del flujo de salida del homogenizador y la mayor parte del solvente es recuperado en un proceso de destilación.

REGENERACIÓN USANDO UN AGENTE REGENERANTE DE FASE SÓLIDA¹⁰.

Este último método tiene la ventaja principal de no emplear un solvente orgánico y por consiguiente no se utilizan recursos en su conservación, manipulación y recuperación. El caucho triturado a un tamaño menor a malla 30 es introducido en un mezclador helicoidal tipo Bambury conjuntamente con el agente regenerante “Isracrumb”, el cual es un modificador en fase sólida, cuyos componentes generan un compuesto específico que selectivamente destruye los enlaces entrecruzados azufre – carbono y maximiza la retención de los enlaces en la cadena principal del polímero en su tiempo de vida activa.

La temperatura en el mezclador helicoidal no debe exceder de 40°C y el tiempo de retención fluctúa alrededor de 10 minutos. La cantidad de regenerante a emplear depende del tamaño de las partículas de caucho vulcanizadas a tratar y las propiedades mecánicas que debe tener la suela o producto revulcanizado.

III.2.1 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.

A. Determinación de la cantidad de desechos de caucho vulcanizado a tratar.

Primero tiene que considerarse que para obtener una mezcla consistente fácil de moldear y vulcanizar, se debe mezclar 50% de miga de caucho regenerado con 50 % de caucho virgen (natural o sintético).

Si consideramos que según el estudio de mercado desarrollado en la sección III.1.1, la cantidad de caucho natural y sintético importado por COMERCIAL CONTE S.R.L., INDELAT SAC Y COMERCIAL LIDER S.A. fue de 2 650,66 toneladas en el año 2001, es de esperar que tendríamos que producir 1 335, 33 toneladas de regenerado por año, si es que logramos recolectar suficiente desperdicio de caucho vulcanizado proveniente de las 21 000 toneladas de neumáticos usados inútiles.

De otro lado, dado que la planta de regeneración debe de estar ubicada en Lima, en virtud a que este departamento concentra el 68% del parque automotor nacional según la página WEBB del Consejo Nacional del Ambiente (www.conan.gob.pe), y si consideramos que en las ciudades donde si existe una industria dedicada al reciclaje o reutilización de neumáticos usados se ha logrado en promedio un 70% de eficiencia en su recolección, podemos asumir que lograríamos recolectar $21\ 000 \times 0.68\% \times 0.70\% = 9\ 990$ ton. de neumáticos usados.

Ahora, si tenemos en cuenta que en este informe no hemos considerado la alternativa de instalar una unidad de trituración de neumáticos enteros y otra de separación de partículas de caucho vulcanizado de los residuos metálicos y textiles, por limitaciones en la capacidad de inversión y demanda del mercado, y que sólo vamos a trabajar con los residuos

generados por el deshueso de neumáticos usados de **ómnibus o camión** y que:

- A partir de la información registrada en el cuadro de importación de tipos de neumático, podemos deducir que el peso de los neumáticos para ómnibus o camión representa el 29% del total.
- El porcentaje en peso de caucho natural y sintético de un neumático es de 41% (ver cuadro de composición de un neumático usado, pag. 52).
- Sólo podemos recuperar el caucho contenido en la banda de rodamiento y flanco lateral que representa el 54.5% del polímero contenido en el neumático (ver cuadro de distribución de caucho entre las partes de un neumático).

para determinar el contenido de caucho en los desperdicios de caucho de neumático que podemos utilizar y recolectar, resulta que sólo podemos regenerar: $(9\ 990 \times (29\%) \times (41\% \times 54.5\%)) = 647.36$ toneladas de caucho al año y no las 1 334.33 toneladas que estimamos inicialmente.

Finalmente, si consideramos que la composición promedio de los blancos y bandas de neumático es similar a la mostrada en la sección II.3.1, página 20, con un 50% adicional de agente vulcanizante (ver cuadro):

**Composición de los desperdicios del
Neumático**

Compuesto	Porcentaje en Peso
Caucho	54.50%
Oxido Zinc	1.63%
Acido Esteárico	1.09%
Negro SFR	35.42%
Aceite de Petróleo	4.36%
Tiazol MBT (acelelador)	0.54%
Azufre	1.63%
Antioxidante	0.54%
Difenil Guadinina (Activador)	0.27%

Obtendremos que tenemos que tratar $647.36 / 0.545 = 1\ 187,9$ toneladas de desperdicio de neumáticos al año.

Para determinar los flujos de entrada y salida asumiremos un proceso continuo durante 330 días al año (7920 horas)*, los demás días se utilizarán para la limpieza o mantenimiento del equipo.

En este caso, tenemos un flujo de **149,98 kg/hr de desperdicio de caucho** vulcanizado a tratar a la entrada y salida del triturador.

B. Cantidad de Solvente o agente hinchante a utilizar.

En primer lugar se tuvo que seleccionar el solvente a utilizar entre los disponibles en el mercado: Benceno, tolueno, xileno y acetato de etilo a granel.

Comparando las propiedades y los precios del anexo III: Solventes Importados durante el año 2001, para el método de desulfurización usando un metal alcalino se eligió el xileno a granel por su insolubilidad en el agua y bajo precio, dado que por razones económicas y ambientales se debe recuperar la mayor parte del solvente libre de agua para evitar un consumo adicional de sodio en el proceso de desulfurización.

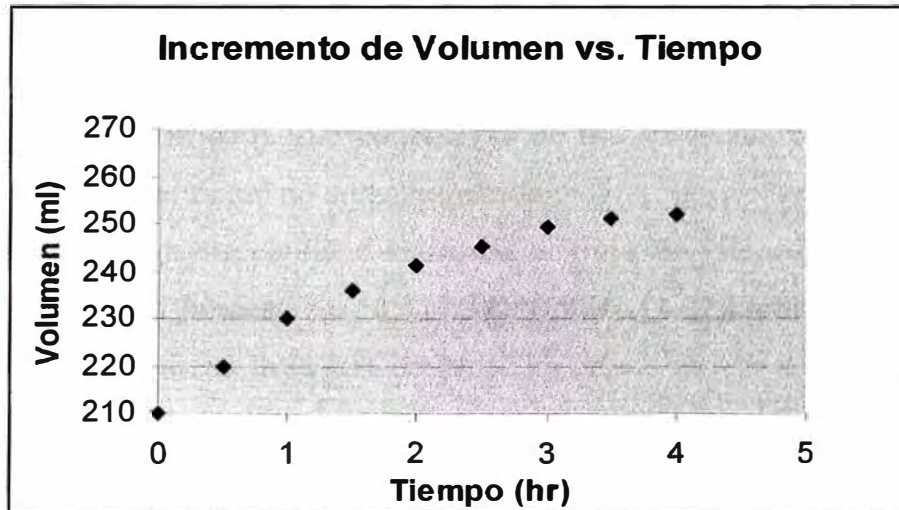
En el segundo método (regeneración usando cobre como agente deteriorante) se debería elegir al tolueno a granel por ser el solvente más barato.

La cantidad de solvente a utilizar para hinchar los desperdicios de caucho vulcanizado se obtiene realizando la **prueba de imbibición** o absorción que a continuación se describe.

“En una bureta de 500 ml sé hecho 50 g de miga de caucho malla 20 verificándose que ocupó un volumen inicial de 188 ml. A continuación se agregó el xileno en porciones de 25 ml hasta que el nivel del solvente se igualará al nivel de la miga que instantáneamente se iba hinchando. Ello ocurrió cuando se vertió un total de 175 ml de solvente y la suspensión ocupó un volumen de 210 ml. Luego se agregó 90 ml de xileno para completar los 300 ml. Desde ese instante se tomó el tiempo cada 15

* Similar asunción es tomada por otros programas utilizados para simular procesos como el Super Prodesigner 4.7

minutos y se registró la altura de la miga en la bureta, obteniéndose el gráfico siguiente:



vemos que la miga de caucho tienden a hincharse hasta ocupar un volumen máximo de 255 ml (volumen que la suspensión alcanza cuando se vierte 225 ml de solvente).

A continuación, se volvió a repetir la prueba a una temperatura de 80°C, obteniéndose prácticamente el mismo volumen pero en un tiempo de 3 horas. Idéntico resultado se obtuvo cuando se empleó tolueno en lugar de xileno.

En consecuencia, para producir el hinchamiento de 50 gramos de miga resulta conveniente emplear $225 \text{ ml} \times 0.87 \text{ g/ml} = 195.75$ gramos de xileno o 194.85 gramos de tolueno a granel.

Si respetamos esta proporción el **flujo de xileno y tolueno a la entrada del tanque mezclador (P-6/V-102) debe ser 587.17 kg/hr y 584.47 kg/hr** respectivamente. La densidad de la mezcla en ambos casos resulta ser de 0.96 g/ml.

Cabe precisar que a la entrada del tanque mezclador el solvente contiene cierta cantidad de impurezas (aceite de petróleo, entre otros) provenientes de la destilación del solvente recuperado.

Para estimar el flujo del solvente nuevo que se mezcla con el recuperado se debe considerar que:

- En las pruebas de laboratorio detalladas en la patente US 5798394 se especifica que el mismo solvente puede emplearse en 14 corridas consecutivas sin que el grado de regeneración obtenido disminuya significativamente.
- Según la norma EPA 1989a* el 27% de los solventes con impurezas destilados usualmente no son recuperados.

En consecuencia, una cantidad estimada el flujo de xileno requerido (no recuperado) en el proceso es $(587.17/14)*0.27 = 11.32$ kg/hr, y en caso de emplear tolueno dicho flujo será de 11.27 kg/hr.

Esta cantidad será verificada al simular el proceso de regeneración utilizando el programa SuperPro Designer V 4.7.

C. Cantidad de sodio e hidrogeno empleados en la desulfurización.

Para desulfurar el caucho, la patente US 5798394 recomienda emplear una relación molar de sodio a azufre de 4:1, teniendo en cuenta que otros componentes presentes en la miga de neumático como el óxido de zinc y ácido esteárico reaccionan con el metal alcalino.

En nuestro caso, dado que en una hora de operación ingresa al reactor 149.98 kg de miga con un contenido de azufre de 1.7%, emplearemos $(149.98*1.7\%/32) \times 4 \times 23 = 7.33$ kg/hr de sodio metálico.

En la patente precitada se detallan cuatro (04) pruebas de regeneración. En las dos (02) ultimas en lugar de hidrógeno en exceso se utilizo nitrógeno, generándose un polímero con un grado de insaturación mayor, del cual se obtenían productos revulcanizados más rígidos y con otras propiedades similares a los vulcanizados del polímero original.

Aunque el empleo de hidrógeno exige tomar mayores medidas de seguridad, con la finalidad de disminuir la ocurrencia de explosiones en otras etapas posteriores a la desulfuración, emplearemos la mitad de hidrógeno requerido en la reacción descrita en la pagina 38, es decir, una

* United States Environmental Protection Agency 1989a Preliminary Data Summary for the Solvent Recycling Industry. Office of Water Regulations and Standards, Office of Water. Washington, D.C. EPA 440/1-89/102

relación molar de hidrógeno molecular a azufre de 1:2. Por consiguiente, se requerirá $(149.98 \times 1.7\% / 32) / 2 \times 2 = \mathbf{0.08 \text{ kg/hr de H}_2}$ en el reactor donde se produce la desulfurización (P-8 / V-104).

D. Cantidad de agua utilizada en el método de desulfurización.

En dicho método el agua se emplea por las razones siguientes:

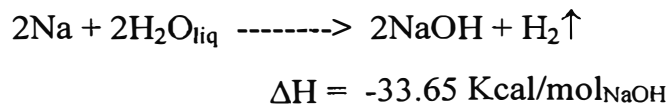
Para eliminar el exceso de sodio utilizado y transformarlo en NaOH.

Y remover el Na₂S del caucho regenerado (fase sólida).

Dado que la presencia de sodio en el proceso de revulcanización originaría un producto con menos resistencia a la abrasión y las fuerzas de deformación.

En todos los ejemplos contenidos en la patente mencionada se utilizaron 75 ml de agua en la regeneración de 100 gramos de miga. Por consiguiente, en este proceso se utilizara $149.98 \times 0.075 / 0.1 = \mathbf{112.48 \text{ kg/hr de agua}}$ para neutralizar el exceso de sodio que no reacciono, procedente del reactor (P-8/ V-104).

La reacción que ocurre en el reactor (P-9/ V-105) es la siguiente:



En este reactor se produce más del hidrógeno necesario para la desulfurización (0.19 Kg/h).

La cantidad neta de agua que requiere el proceso es de 19.25 kg/h considerando que el vapor de agua del evaporador (P-20/EV -101) se condensa y recicla.

En el anexo IV se detalla el reporte de balance de materia efectuado por el simulador para todos los flujos del proceso. A continuación, en la pagina siguiente se muestra un resumen de dicho balance de materia

Las propiedades que el programa utilizo en la simulación se encuentran detalladas en el anexo V.

Componentes (kg/hr)	Entradas (Kg/h)	Salidas (kg/h)					Total
		regenerado	Fondos Destilado	Licor	Aire Humedo	Hidrogeno	
caucho en vulc.	81.739						0.00
Negro de horno	53.153	53.153					53.153
ac. estearico	1.635	1.635					1.635
ac. petróleo	6.539		6.539				6.539
antioxidante	0.810	0.122	0.688				0.810
azufre	2.445	0.122					0.122
guanidina	0.405		0.405				0.405
Tiazol	0.810	0.122	0.688				0.810
ZnO	2.445	2.445					2.445
Hidrógeno	0.000					0.106	0.106
m-Xyleno	10.479	10.418	0.051				10.469
sodio metálico	7.330						0.000
Agua	19.250	0.015		11.533	4.354		15.902
regenerado	0.000	81.819					81.819
Nitrogeno	29.819				29.819		29.819
Oxigeno	9.052				9.052		9.052
Na ₂ S	0.000			5.378			5.378
NaOH	0.000			7.434			7.434
Totales (kg/hr)	225.910	149.849	8.372	24.345	43.225	0.106	225.897

III.2.2 ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE EQUIPOS.

Se determinará el tamaño del triturador, del tanque de hinchamiento y del reactor principal.

A. Triturador de Miga de Caucho (P-4/ GR-101).

En la actualidad las de mayor demanda son las trituradoras Norteamericanas y de la Comunidad Económica Europea. Las Norteamericanas tienen más capacidad y eficiencia, pero la miga obtenida es de tamaño superior a malla 20, según las condiciones de la demanda local que emplea la mayor cantidad de la miga como agente reforzante para la elaboración de autopistas. En este informe se ha seleccionado una trituradora Italiana marca TRITUTTO modelo 50/66 de las características siguientes:

Características principales :

- potencia instalada : HP 10
- transmisión : por engranajes
- número de ejes fresas : 2
- número de fresas templadas : 26
- número de ejes de introducción: 2
- número de discos de introducción: 26
- nº de rev./min. fresas: 25
- producción : 140 200 kg./hora
- equipamientos de seguridad : parada de emergencia, contacto de cierre tolva
- realización conforme a las normas CE

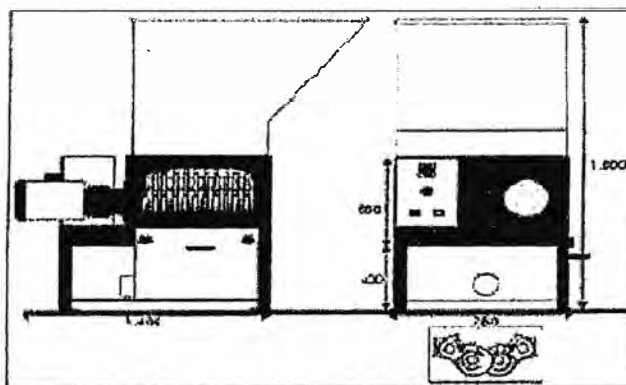


Figura N°7

Se eligió una de capacidad cercana de 200 kg/h previendo la posibilidad de recircular parte de la miga para reducir su tamaño.

B. Tanque en donde se hincha la Miga de Caucho (P-6/ V-102).

- Si consideramos la correlación para determinar la densidad del m-xileno registrada en el anexo V:

$$\text{Densidad (g/l)} = 1107.91 - 0.8309T(^{\circ}\text{K}).$$

Encontramos que la densidad (ρ) de dicho solvente es 860.17 g/l a 25°C y 785.81 g/l a 114.73°C (temperatura de salida de la suspensión de la miga hinchada).

- De los datos de la prueba de imbibición realizada a 25°C, tenemos que:

$$\text{Volumen de la Suspensión (Vs)} = 0.255 \text{ l}$$

$$\text{Volumen del solvente empleado} = 0.225 \text{ l}$$

$$\text{Peso de la Miga} = 50 \text{ g.}$$

$$\text{Tiempo necesario para el hinchamiento (t}_h\text{)} = 3 \text{ horas.}$$

La densidad de la suspensión (ρ_s) a 114.73°C puede ser estimada a partir de la relación siguiente:

$$\rho_s = \frac{\text{Peso de la Miga} + \text{Peso del Solvente}}{V_s \times \left(\rho^{25^{\circ}\text{C}} / \rho^{114.73^{\circ}\text{C}} \right)}$$

$$\rho_s = \frac{50 + 0.225 \times 860.17}{0.255 \times (860.17 / 785.81)} = 872.49 \text{ g/l} = 0.8725 \text{ kg/l}$$

y que el volumen del reactor es :

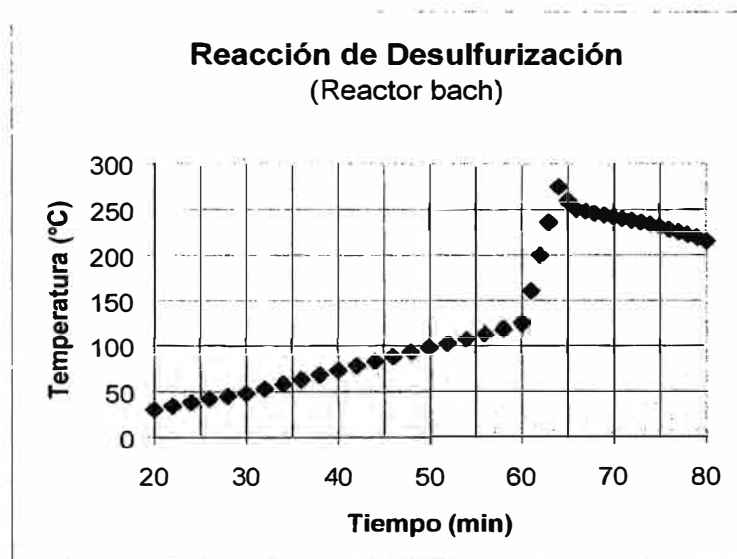
$$\text{Volumen (V-102)} = \text{flujos másico de entradas} / \rho_s \times t_R$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen (V-102)} &= (149,98 + 587.17)^* / 0.8725 \times 3 \\ &= 2534.61 \text{ litros.} \end{aligned}$$

Si comparamos este resultado con el volumen obtenido por el simulador se determina una diferencia aceptable de 3.9%.

C. Reactor de desulfurización (P-8/ V-104).

En este caso es necesario determinar el tiempo de residencia del flujo a partir de los datos experimentales registrados en la patente US 579839394. En la primera prueba realizada en dicha invención, al desulfurar 100 g de miga de neumático con un porcentaje en peso de azufre de 1.7 %, en presencia de sodio metálico en exceso y 350 g de tolueno, en un reactor bach con una atmósfera libre de oxígeno, velocidad de agitación de 1800 rpm y 9 bar de presión, se obtuvo el gráfico siguiente:



Deducimos que pesar que la reacción es exotérmica está empieza a los 125°C y ocurre aproximadamente durante 5 minutos.

* Los flujos másicos en kg/hr fueron calculados en el literal A sección III.2.1

En el diagrama propuesto para favorecer la reacción y evitar la degradación del caucho regenerado mantenemos la temperatura del flujo de salida del reactor a 140°C regulando el flujo del agua de enfriamiento.

Para asegurar que el 95% del azufre contenido en la miga reaccione con el sodio según los resultados citados en la patente, se ha establecido un tiempo de residencia de 10 minutos, considerando que se ha respetado la proporción entre el solvente y la miga de caucho empleada en la patente.

El volumen teórico del reactor se obtiene multiplicando el tiempo de residencia: 10 minutos, por el flujo registrado a la salida del reactor: 799.8 l/h (flujo S-112 del anexo V), el cual resulta ser 133.3 l. El volumen determinado por el simulador es 148.11 litros teniendo en cuenta que por defecto el programa asume un volumen de trabajo del 90%.

Las especificaciones de todos los equipos empleados en el proceso de desulfurización se encuentran en el anexo VI.

III.2.3 CARACTERÍSTICAS Y ALMACENAJE DEL PRODUCTO.

En la patente US5798394⁸, la cual describe el proceso de regeneración por desulfurización, se asegura que el producto obtenido tiene casi las mismas características que la mezcla de caucho original, por lo que al someterlo a una nueva vulcanización se logra un producto de la misma calidad a la obtenida en el primer vulcanizado.

En la patente US5677354⁷, en la que se propone utilizar el cobre como agente deteriorante, los resultados de la vulcanización del regenerado muestran que el producto disminuyó su resistencia a la abrasión y dureza en un rango del 5% al 10% con respecto a la del vulcanizado original.

En la invención WO0129122¹⁰, en donde se patenta el uso de un agente regenerante de fase sólida, se detalla que al mezclarlo con miga de caucho vulcanizada en una proporción en peso de 2 al 98 se obtiene un producto de determinadas características, el cual reúne las exigencias requeridas para producir una suela de zapato.

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2230 “Elastómeros vulcanizados. Condiciones de almacenamiento”, el regenerado se debe almacenar bajo las condiciones siguientes:

La Temperatura de almacenamiento deberá ser inferior a 25°C y de preferencia menor a 15°C

Se deberá evitar la exposición a la humedad. No se deben producir condensaciones de ningún género.

El regenerado se deberá mantener resguardado de la luz y concretamente, de la luz solar directa y de la luz artificial de elevado índice de rayos ultravioleta.

Cuando sea posible, los elastómeros se deberán mantener al resguardo del aire de circulación mediante envolturas y almacenándolos dentro de cajas herméticamente cerradas.

No deben ser sometidos a ningún esfuerzo de tensión.

Se debe considerar una buena rotación de existencias para que el producto permanezca almacenado el menor tiempo posible.

III.3 CONSIDERACIONES PARA EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

De acuerdo a lo establecido en el capítulo II, artículo 11 del Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera, aprobado por Decreto Supremo N°019-97-ITINCI (publicado el 01.10.97), los dos primeros métodos de regeneración mencionados requerirán la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) fundamentalmente en virtud a que:

Una fuga de hidrógeno originaría una explosión que podría causar la pérdida de vidas humanas y deterioro en la infraestructura de los servicios básicos.

Los solventes orgánicos utilizados pueden causar daño, deterioro o afección de la salud o seguridad de las personas que laboran en la planta y los alrededores.

Un derrame de solvente ocasionaría efectos adversos sobre la cantidad o calidad de los recursos naturales.

A continuación mencionaremos los aspectos más resaltantes, aún no detallados en el presente informe, que deberían incluirse en el EIA según lo establecido por su “Guía de Elaboración” aprobada por Resolución Ministerial N°108-99-ITINCI/DM, publicada el 04.10.99.

III.3.1 Requerimientos Ambientales (Antecedentes).

Efluentes líquidos.-

El séptimo párrafo del numeral 3 del Protocolo de Monitoreo de Efluentes, aprobado por Resolución Ministerial N°026-2000-ITINCI/DM señala que “En tanto, no existan Límites Máximos Permisibles para el sector Industrial Manufacturero, se tomarán como referencia un estándar internacional o de nivel internacional, cuya selección deberá ser debidamente sustentada”

No obstante, en nuestro país aun se suele tomar como referencia los límites señalados en el artículo 82° de la Ley General de Aguas, aprobada por Decreto Legislativo N°11752 del 24.07.69, modificado por Decreto Supremo N°007-83-SA; así como el Reglamento de Desagües Industriales, Decreto Supremo N° 028-60 del 29.11.60, los cuales están detallados en el anexo VII.

Sin embargo, considerando nuestra realidad y el nivel tecnológico que debe alcanzar nuestro país en los próximos años, el suscrito recomienda adoptar como estándar de nivel internacional los límites señalados en el Decreto Supremo N°22 del 25.01.99, emitido por la secretaria General de la Republica de Chile, el cual regula la emisión de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas superficiales. En esta norma los límites máximos permitidos para la descarga de efluentes a cuerpos de agua fluviales sin capacidad de dilución del cuerpo receptor son:

Contaminante	Unidad	Limite
Aceites y Grasas	mg/l	20
Cobre Total	mg/l	1
DBO ₅	mg O ₂ /l	35
Hidrocarburos totales	mg/l	10
pH	unidad	6,0 – 8,5
Sólidos suspendidos totales	mg/l	80
Sulfuros	mg/l	1
Temperatura	°C	35
Tolueno	mg/l	0,3
Xileno	mg/l	0,5
Zinc	mg/l	3

Si la descarga es a un cuerpo marino dentro de la zona de protección al litoral, los límites que varían son:

Contaminante	Unidad	Limite
DBO ₅	mg O ₂ /l	60
pH	Unidad	6,0 – 9,0
Sólidos suspendidos totales	mg/l	100
Sólidos sedimentables	ml/l/h	5
Temperatura	°C	30

Emisiones Atmosféricas.-

En el Anexo 1 del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental, aprobado por Decreto Supremo N°074-2001-PCM se establecen los siguientes valores en microgramos por metro cúbico (NE significa no exceder) con relación a la calidad del aire:

Contaminante	Período	Forma del Estándar	
		Valor	Formato
SO ₂	Anual	80	Media aritmética anual
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año
Partículas ≤ 10 micrómetros	Anual	50	Media aritmética anual
	24 horas	150	NE más de 3 veces por año
CO	8 horas	10000	Promedio móvil
	1 hora	30000	NE más de 1 vez por año
NO ₂	Anual	100	Promedio aritmético anual
	1 hora	200	NE más de 24 veces por año
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces por año

Si consideramos las emisiones que se producirían en los dos primeros procesos de regeneración mencionados, para proteger la salud de los trabajadores debemos establecer algunos valores límite para la concentración de los solventes. A continuación se mencionan los Límites Permisibles Ponderados establecidos por el Decreto Supremo N°594 del 29.04.2000 que aprueba las Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo para la República de Chile:

- Tolueno 80 ppm o 300 mg/m³
- Xileno 80 ppm o 347 mg/m³

Para el Xileno se acepta 150 ppm como Límite Permisible Temporal.

Finalmente, si se quiere evitar las explosiones por combustión de hidrógeno se debe mantener su concentración por debajo del 4%.

Residuos Sólidos.-

En nuestro país la “Ley General de Residuos Sólidos”, aprobado por Ley N°27314 del 21.07.2000, dispone destinar en todo relleno sanitario (superficial o bajo tierra) un área perimetral que actúe exclusivamente como barrera sanitaria (natural o artificial) que contribuya a reducir los

impactos negativos y proteger a la población de posibles riesgos sanitarios y ambientales.

No obstante, se debe precisar que aún no se ha aprobado el proyecto de reglamento elaborado por DIGESA, en donde se debe detallar los aspectos técnicos complementarios.

Ruidos y Vibraciones.-

Aunque los niveles aceptables de ruido y vibraciones son estándares de calidad que deben ser elaborados según las formalidades establecidas por el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, aprobado por Decreto Supremo N°044-98-PCM del 09.11.98, algunas municipalidades han establecido límites para los niveles de ruido.

Por ejemplo, mediante Ordenanza Municipal N°003-99/CDV la Municipalidad de Ventanilla a establecidos los siguientes límites para su zona industrial:

- Ruido Nocivo 90 decibeles.
- Ruido Molesto 80 decibeles (de 07:00 a 22:00 horas)
- 70 decibeles (de 22:00 a 07:00 horas)

III.3.2 Descripción General

- Elección del Sitio.

Teniendo en cuenta que en nuestra planta se utilizan solventes inflamables, las instalaciones tienen que estar relativamente lejos de las zonas urbanas. En consecuencia, resulta válido ubicar nuestra planta en la Av. Néstor Gambeta, distrito de Ventanilla, a dos Kilómetros del río Rimac.

- Aguas Residuales.-

Según la norma Norteamérica EPA 1989a la cantidad estimada de agua residual generada por los procesos de recuperación de solventes orgánicos puede variar desde menos de 1% hasta 15% del volumen total del solvente sucio. En nuestro caso el producto contiene trazas del agua empleada y casi la totalidad del agua utilizada separada de la fase sólida es recuperada y reciclada luego de obtener la mezcla de Na₂S y NaOH.

En consecuencia, casi toda la cantidad de agua no recuperada está contenida en el caucho regenerado y en la mezcla citada.

- Emisiones Atmosféricas.-

En el proceso de recuperación de solventes hay emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) por los respiraderos de los estanques de acumulación, respiradores del condensador y emisiones fugitivas. Además en los casos en que la disposición de residuos del proceso (por ejemplo, borras de destilación) sea eventualmente realizada mediante incineración, habrá emisiones fugitivas y emisiones por la chimenea del incinerador de contaminantes sólidos que han sido oxidados y descargados como material particulado, compuestos orgánicos sin quemar y gases de combustión.

Asimismo, se debe tomar en cuenta que en nuestro caso el solvente sucio no recuperado se va a mezclar con el combustible para la generación de vapor de agua.

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debido a filtraciones en equipos, exposición al aire del solvente (por ejemplo durante el almacenamiento) y derrames, son clasificadas como fugitivas.

Los factores de emisión correspondientes a lo descrito están detallados en la norma Norteamérica EPA 1995* y se presentan en la tabla siguiente:

Fuente	Promedio de factor de emisión (kg COV/ton solvente Recuperado)
Respiradero de estanque de almacenamiento de techo fijo.	0,01 (0,002 – 0,04)
Respiradero del Condensador	1,65(0,26 – 4,17)
Emisiones Fugitivas:	.
Derrames	0,10
Operación de carga del solvente	0,36(0,00012 – 0,71)

- Residuos Sólidos.-

* United States Environmental Protection Agency, 1995. 5ta Edition. Waste Solvent Reclamation . In Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), Volume 1.

En la norma EPA 1989a se analizó el residuo remanente de un evaporador de película delgada de mezclas de solventes halogenados y no halogenados (en proporción 17:3). Los valores entregados en la tabla siguiente (base húmeda), evidencian un alto contenido de compuesto orgánicos y de metales en las borras de destilación:

Parámetro	Concentración
Aceites y Grasas (mg/kg)	188.000
DBO ₅ total (mg/kg)	1.430.000
Sólidos Volátiles totales (mg/kg)	280.000
Fenol (mg/kg)	2,06
Cromo (mg/kg)	1.390
Plomo (mg/kg)	55.600

- Niveles de Ruido.-

La única fuente de ruido de impacto ambiental significativo en los procesos de regeneración mencionados es el producido por la trituradora de trozos de caucho. Si este excede de 70 decibeles habría que construir un ambiente aislante que amortigüe el ruido.

III.3.3 Prevención de la contaminación.

A. Minimización de residuos.-

- En los procesos de regeneración que usan un solvente orgánico se ha previsto un proceso de destilación continua para tratar de minimizar las emisiones fugitivas por la limpieza y mantenimiento de equipos.
- Se piensa ofrecer a los empleados programas de incentivos para identificar medidas para la disminución de costos.
- Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) desde estanques de almacenamiento puede reducirse hasta un 98% empleando techos flotantes en lugar de techos fijos.
- Para evitar las emisiones de COV en el condensador de la columna de destilación se debe elegir uno de carcasa y tubos en lugar de un condensador barométrico.

B. Manejo y conservación de Materias Primas.-

A continuación se mencionan algunas medidas de seguridad previstas en la Norma Chilena Oficial NCh.758/Of.71 “Sustancias Peligrosas – Almacenamiento de sólidos, líquidos y gases inflamables – Medidas Particulares de Seguridad”.

- En este caso todos los equipos y mangueras de transferencia deben conectarse a tierra para evitar la generación de chispas por estática.
- Usar materiales resistentes a chispas en todos los contactos metal-metal.
- En la medida de lo posible, se debe usar sólo equipos a prueba de explosiones. Los dispositivos eléctricos, interruptores y motores a prueba de explosiones son diseñados de manera tal que si una mezcla explosiva ingresa a la carcasa y es encendida, la carcasa se enfriará y contendrá la expansión de los gases de combustión.
- Disponer de diques alrededor de los estanques de almacenamiento de solventes para la contención de derrames.
- Separar el área de almacenamiento del área de procesos mediante un muro corta-fuegos.
- Disponer de ventilación adecuada cuando estén presentes vapores inflamables.
- Asegurar el flujo de fluidos inflamables a través o sobre superficies conductivas. Los solventes al caer libremente por el aire o al circular por tuberías plásticas generan cargas estáticas.
- El extremo de la cañería del respiradero debe tener un dispositivo corta-fuego para evitar que el fuego se propague a través de la cañería hasta el estanque.

Además debe precisarse que la norma precitada señala algunas condiciones específicas para el almacenaje de solventes orgánicos de acuerdo a su punto de inflamación. Para el xileno a granel clasificado como un líquido inflamable de clase 3 por tener un punto de inflamación de 29°C (entre 23 y 61°C) se establecen las condiciones siguientes:

Distancia mínima del Estanque a la vía publica	3 metros
Capacidad máxima permisible de los bidones	20 litros.
Capacidad máxima permisible de los tambores	250 litros.
Distancia mínima entre estanques:	
- Entre 250 y 1000 litros de capacidad:	2 metros
- Entre 3 000 y 50 000 litros de capacidad:	5 metros
- Entre 120 000 y 200 000 litros de capacidad:	10 metros.

y otros como la exigencia de drenajes y pasillos de determinadas características, así como las condiciones para el almacenamiento en el interior de edificios

Para el Tolueno las condiciones citadas son más restrictivas dado que es clasificado como liquido inflamable de clase 1 por tener un punto de inflamación de 6°C (menor que 18°C).

En lo concerniente a la manipulación de Hidrógeno existen normas específicas como la NFPA 50A*: “Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Customer Sites”, la cual establece por ejemplo que:

- Se debe mantener una distancia entre cilindros de H₂ de 20 pies.
- Los lugares en donde se almacena hidrógeno deben de estar separados de las demás áreas de trabajo por una barrera de 5 pies de altura con una resistencia al fuego de por lo menos ½ hora.

C. Implementación de los Sistemas de Gestión de Calidad.-

Para lograr la confianza de sus clientes en la actualidad todas las empresas se ven en la obligación de demostrar a terceros que han implementado un sistema de gestión ambiental que puede ser descrito como un programa de mejoramiento ambiental continuo que consta de las siguientes etapas:

- Revisión de las consecuencias ambientales de las operaciones.

* National Fire Protection Association of USA.

- Definición de un conjunto de políticas y objetivos para la eficiencia ambiental.
- Establecimiento de un plan de acción para lograr los objetivos.
- Seguimiento de la eficiencia con relación a estos objetivos.
Informar adecuadamente los resultados, y
- Revisión del sistema y resultados, y buscar el mejoramiento continuo.

Frecuentemente se busca certificar bajo la Norma ISO14001 para acreditar que se ha implementado un Sistema de Gestión Ambiental.

III.3.4 Programa de Monitoreo Ambiental

Según el Protocolo del Monitoreo de Efluentes Líquidos, aprobado por R.M. N°026-2000-ITINCI/DM cada programa debe elaborarse para cada situación en particular, sin embargo de acuerdo a la sección 4.4 de la citada resolución se deben monitorear por lo menos los siguientes parámetros

Parámetro	Efluente Industrial	Cuerpo Receptor
Caudal	Sí	Sí
Temperatura	Sí	Sí
DBO ₅	Sí	Sí
PH	Sí	Sí
Sólidos en Suspensión	Variable	Variable
Aceites y Grasas	Sí	Variable
Cobre	Sí	Sí
Sulfuros	Sí	Sí
Xileno o Tolueno	Sí	Sí

Las estaciones de muestreo fuera de la planta se ubicaran en la zona de mezcla, como en la zona de aguas abajo a una distancia de 300 m. Para aguas superficiales, las muestras deben ser tomadas a media profundidad del cuerpo de agua; cuando se trate de canales profundos, el muestreo debe ubicarse en un punto situados a un tercio de la profundidad media; en los

canales anchos, el punto de recolección deberá variar de acuerdo al ancho del canal.

Se llevarán a cabo como mínimo dos muestreos al año a máxima carga y después de que se produzca algún derrame o falla de equipo (no se toman en cuenta las mediciones efectuadas para mantener el proceso controlado) . La temperatura, el pH y oxígeno disuelto se pueden medir in situ (al inicio de la canal de descarga).

La metodología y/o equipos para monitoreo de efluentes y estándares de calidad de aire se mencionan en el anexo VIII.

III.3.5 Métodos de Control de la contaminación.

En nuestro caso el problema principal serán las emisiones de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) procedentes del Clarificador de Platos Inclinaados y Secador de la mezcla de sólidos que contiene el caucho regenerado.

Las unidades de oxidación térmica son las más comúnmente utilizadas en el control de emisiones atmosféricas¹¹. Básicamente consisten en un sistema que convierte las COVs y otros compuestos peligrosos en agua y dióxido de carbono. En particular, el proceso destruye los COVs mediante el incremento de la temperatura de las emisiones hasta alcanzar su temperatura de oxidación, aproximadamente 800°C, y manteniendo esta temperatura al menos por medio segundo. Estas unidades tienen una alta eficiencia de remoción, del orden del 99%. Los porcentajes de recuperación de calor pueden llegar hasta un 95%, lo que implica un bajo requerimiento de combustible, que en este caso será el residuo de la unidad de destilación.

También pueden ser utilizados los sistemas de oxidación catalítica, los cuales disponen de una cámara de combustión metálica aislada equipada con un quemador con control de temperatura, y una sección catalítica.

Bajo ciertas condiciones, un sistema catalítico con metales preciosos puede oxidar los COVs contenidos en las emisiones, a temperaturas

significativamente más bajas que una unidad de oxidación térmica, entre 300 y 550°C, lo que redonda en menores requerimientos energéticos.

Los productos de la destilación no reciclados serán utilizados o vendidos como combustible de acuerdo a la exigencia de los procesos en los cuales se emplee (se mezclan frecuentemente con petróleo diesel).

Tampoco representa un problema el licor de NaOH y Na₂S generado en el evaporador, equipo que es utilizado para reciclar el agua de proceso empleada en el método de desulfurización. Dicha solución saturada tiene valor comercial, dado que puede ser utilizada en la elaboración de la pulpa de papel sulfatada al mezclarla con agua y NaCO₃, así como en el remojo y despelaje del cuero. La cantidad de Na₂S que se produciría en un año de operación representa el 4% del total importado en el año 2001.

III.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Se efectuará una estimación relativa para tratar de averiguar la rentabilidad del proceso de regeneración por desulfurización, determinando el Valor Actual Neto (VPN) y período de recupero de la inversión del proyecto.

III.4.1 ESTIMACION DE LA INVERSIÓN (INV).

A. Determinación de los costos de Capital Fijo (CF).

- Costos Directos:

Los costos de adquisición (CA) de los equipos fueron determinados usando el Perry¹², la base de datos de importación de ADUANAS y el simulador empleado (ver referencias en el anexo VI).

Codigo	Descripción del Equipo	Costo (US\$)
V-103	Recipiente en donde se funde el Sodio	500
V-104	Reactor de desulfurización (hidrogenador)	9000
V-105	Reactor en donde reacciona el exceso Na	9500
V-102	Tanque para el hinchamiento de la Miga	3400
V-101	Tanque de Almacenamiento del Xileno	3000
V-108	Tanque de Almacenamiento del Agua	4000

Codigo	Descripción del Equipo	Costo (US\$)
GR-101	Trituradora	3800
BC-101	Faja Transportadora	4000
PC-101	Clarificador de placas inclinadas	25000
C-101	Equipo de Destilación	7000
EV-101	Evaporador	45000
SLDR-101	Secador de Lodos	8000
HX-101	Intercambiador de Calor de Placas	900
PM-101	Bomba	150
PM-102	Bomba	400
PM-103	Bomba	200
PM-104	Bomba	200
PM-105	Bomba	350
PM-106	Bomba	250
PM-107	Bomba	300
G-101	Compresor	3000
	Equipo no listado	
Costo Total de Adquisición de Equipos (CA):		127950

Los demás costos directos fueron deducidos de la siguiente manera:

Fuente de Referencia:		SuperPro Designer		Perry pag. 112
Instalación de Equipo Adquirido	40% CA	51180	9% CF:	50067
Cañerías y tuberías (instaladas)	35% CA	44783	9% CF:	50067
Instrumentación y Control (instalados)	25% CA	31988	3% CF:	16689
Aislamiento (colocado)	3% CA	3839		0
Instalaciones Electricas (colocadas)	10% CA	12795	2% CF:	11126
Obras Civiles (incluyendo servicios)	40% CA	51180	7% CF:	38941
Terreno y Mejoras	15% CA	19193	6% CF:	33378
Instalaciones Auxiliares (servicios)	40% CA	51180	11%CF:	61193
Total Costos Directos (CD)		394086		389413

- **Costos Indirectos:**

Fuente de Referencia:		SuperPro Designer		Perry pag. 112
Ingeniería y Supervisión	25% CD	98522	10% CF:	55630
Gastos de Construcción	25% CD	98522	8% CF:	44504
Total de Costos Indirectos y Directos (CID)		591129		489548

- **Otros Costos.**

Fuente de Referencia:		SuperPro Designer		Perry pag. 112
Honorarios de Contratistas	3% CID	17734	3% CF:	16689
Eventualidades	10% CID	59113	9% CF:	50067
TOTAL INVERSION EN CAPITAL FIJO		667976		556304
PROMEDIO DE INV. EN CAPITAL FIJO (CF) :		612140		

B. Determinación del Capital de Trabajo (CT)

Para el calculo de la inversión de capital asumiremos que el capital de trabajo es el 10% de la Inversión (Perry).

Por consiguiente, el Capital de trabajo será US\$ 68 016 si la **Inversión de Capital (INV)** es US\$ 680 156 (CF + CT).

III.4.2 ESTIMACION DEL COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN (CTF)

A. Costos Directos de Producción (CDP)

- Costo de la Materia Prima.

Insumos	Kg/hr	Kg/año	US\$/kg**	US\$/año
Caucho Vulcanizado*	149.98	1187841.60	0.12	137721
Sodio Metálico granel	7.33	58053.60	10.19	591566
Xileno granel	10.48	82993.68	0.52	42742
Agua de pozo tratada	19.25	152460.00	0.14	20735
Costo Total de Materia Prima:				792763

(*) Trozos de neumático deshuesado

(**) El precio de los trozos de caucho fue pactado con los deshuesadores de neumáticos, los otros precios fueron deducidos de la base de datos de ADUANAS.

- Costo por Servicios Auxiliares.

En el anexo IX se muestra el detalle del consumo por equipo, a continuación se muestra el resumen

Rubro	Consumo Anual	US\$/año
Energía Eléctrica	85538 kw-h	9922
Vapor de alta presión	2120151 kg	16325
Agua de Enfriamiento	213243726 kg	21324
Costo total por Servicios		47572

- Otros Costos Directos.

a. Mano de Obra (MO)

El SuperPro Designer asume un factor de horas de Mano de Obra necesaria por horas de funcionamiento de cada equipo que puede ser modificado por el usuario en caso que tenga una información más precisa. En la simulación, el programa determinó que al año se requiere 31 205 horas hombre.

Para el cálculo de este costo se asumirá que para este proceso la mano de obra vale 6 US\$/hr. Por consiguiente, el costo de mano de obra directa por año resulta: US\$ 187 230 (31 205*6).

b. Otros Costos Directos de Producción

Para el calculo de los otros costos directos asumiremos los factores de estimación promedio registrados en la página 151 del Perry.

Costos Directo (Otros)	Monto (US\$/AÑO)
Supervisión Directa (15% Mano de Obra)	28085
Mantenimiento y Reparación (8% Inv. Cap Fijo)	48971
Gastos de Laboratorio (10% Mano de Obra)	18723
Patentes y Regalías (no hay registro ante INDECOPI)	0

En resumen, los costos directos de producción estimados son:

Rubro de Costo Directo	Monto (US\$/AÑO)
Materia Primas	792763
Servicios de Energía, H ₂ O enfriamiento y vapor	47572
Mano de Obra	187230
Supervisión Directa	28085
Mantenimiento y Reparación	48971
Gastos de Laboratorio	18723
Patentes y Regalías	0
Total de Costos Directos (CDP):	1123344

B. Gastos Fijos y Generales de Planta (GFG)

- Gastos Fijos (GF).

Considerando que en materia de regeneración de caucho permanentemente se presentan innovaciones tecnológicas, se asumirá para el proyecto un período de vida útil de 10 años, en los cuales se depreciará en forma lineal el equipo, considerando un valor de rescate igual a cero. Por consiguiente, la Depreciación (**D**) será:

$$D = \frac{\text{Costo de Adquisición de Equipo (CA)}}{10}$$

$$D = 12795 \text{ US$/año}$$

Se asume que después del final del último año de operación se recuperará (**R**) el valor del Terreno y sus mejoras, así como el capital de trabajo, que en conjunto resultan ser **87 208 US\$/año**.

También se estima un gasto por seguro (**S**) del 0.5% de la ICF igual a **3 061 US\$/año**.

- Gastos Generales de Planta (GP)

Incluye los gastos para limpieza, servicios médicos, seguridad, protección, laboratorios, almacenaje entre otros. Se estima que es el 50% del costo de mano de obra, supervisión y mantenimiento, el cual equivale a **132 143 US\$/año**.

En resumen se tiene que:

$$\text{GFG} = \text{D} + \text{S} + \text{GP} = 147999 \text{ US$/año}$$

III.4.3 ESTIMACION DE LOS GASTOS GENERALES (GG).

Se consideran los factores de calculo propuestos por el Perry.

A. Gastos de Administración (GA).

Se asume un 15% del costo de mano de obra, supervisión y mantenimiento, el que resulta ser **39 643 US\$/año**

B. Gastos de Venta y Distribución (GV)

Se estima que son el 4% de los costos de fabricación más los gastos Generales, lo que equivale a **54 624 US\$/año**

III.4.4 DETERMINACIÓN DEL COSTO TOTAL DEL PRODUCTO (CTP)

Es la suma del Costo Total de Fabricación más los Gastos Generales.

Relación de Costos v Gastos	US\$/año
Costo Total de Fabricación	
Costos Directos de Producción (CDP)	1123344
Gastos Fijos (GF)	15856
Gastos Generales de Planta (GP)	132143
Gastos Generales	
Gastos de Administración (GA)	39643
Gastos de Ventas y Distribución (GV)	54624
Costo Total del Producto (CTP)	1365610

III.4.5 DETERMINACIÓN DEL GASTO POR UTILIDAD BRUTA (G.U.B.)

Para determinarlo se debe tener en cuenta que el Impuesto Renta (IR) en nuestro país es el 30%. Dicho gasto se determina a partir de la expresión siguiente:

$$\text{G.U.B.} = \text{IR} \times (\text{Ingresos por Ventas} - \text{CTP})$$

Determinación de los Ingresos por Ventas.

Sí se consideran los siguientes precios.

- Para el caucho regenerado el 90% del precio de venta del SBR: 2.27 US\$/kg.
- Para los subproductos:
 - Compuestos no reciclados del Destilado (90% del DIESEL 6): 0.46 US\$/kg.
 - Licor de NaOH y Na₂S (El precio del Na₂S contenido en la soluci 0.15 US\$/kg.
 - Exceso de Hidrogeno Producido 3.55 US\$/kg.

Los ingresos por ventas serán:

Producto o Subproducto	kg/hr	kg/año	Venta US\$/año
Caucho Regenerado	81.82	648006.48	1470975
Destilado no Reclidado (Ac. Petróleo)	8.38	66330.00	30445
Licor de NaOH y Na ₂ S	24.35	192812.40	29809
Exceso de Hidrógeno	0.11	839.52	2980
Ingresos por ventas anuales:			1534209

Por consiguiente:

$$G.U.B. = 50\,580 \text{ US$/año.}$$

III.4.6 CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VPN) Y PERIODO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN.

La utilidad Neta se obtiene de la expresión siguiente:

$$U.N. = (\text{Ingresos} - \text{CDP} - \text{Seguro (S)} - \text{GP} - \text{GA} - \text{GV} - \text{Depreciación(D)}) * (1 - \text{IR})$$

y el Flujo Neto de Fondos (FNF) por:

$$(\text{FNF}) = U.N. + D - \text{INV} + \text{Valor de recuperó (R)}$$

Si se expresa el Flujo Neto de Fondos en función de los ingresos:

$$\text{FNF} = (\text{Ingresos} - \text{CDP} - \text{S} - \text{GP} - \text{GA} - \text{GV} - \text{D}) * (1 - \text{IR}) + D - \text{INV} + \text{R}$$

El VPN es la suma de los FNF expresado en moneda del año cero (N=0) aplicando una Tasa de Descuento TD real para todo el horizonte de planeamiento. Cuando el VPN > 0 el proyecto es rentable.

Por consiguiente, el VPN viene dada por la siguiente expresión:

$$\text{VPN}_{\text{TD}0} = \sum \frac{\text{FNF}_j}{(1 + \text{TD})^j}$$

Aplicando una Tasa de Descuento (TD)= 10% se obtienen los siguientes FNF y VPN para un horizonte de planeamiento de 10 años:

Año	INV	Ingresos	Costos y Gastos	Depreciación	FNF _j	Σ VPN _{TD0}
0	680156				-680156	-680155.62
1		1534209	1352815	12795	130815	-561233.17
2		1534209	1352815	12795	130815	-453121.86
3		1534209	1352815	12795	130815	-354838.84
4		1534209	1352815	12795	130815	-265490.65
5		1534209	1352815	12795	130815	-184265.02
6		1534209	1352815	12795	130815	-110423.54
7		1534209	1352815	12795	130815	-43294.91
8		1534209	1352815	12795	130815	17731.10
9		1534209	1352815	12795	130815	73209.30
10		1534209	1352815	12795	130815	123644.03
11	-87208				87208	154209.92

Por consiguiente, este proceso puede ser rentable dado a que el VPN resulta ser **US\$ 154 209,92**, ocurriendo el recupero de la inversión en el octavo año de operación.

Para realizar una estimación preliminar del proceso de regeneración usando cobre como agente deteriorante (ver sección III.2), se elaboro el diagrama de flujo propuesto en el anexo X y a falta de datos experimentales, se supuso que la suspensión de miga de caucho se comportaba igual que la leche en el proceso de homogenización a efecto de simular el proceso en el simulador para una misma cantidad de miga de caucho tratada, obteniéndose los resultados siguientes:

Un ahorro de US\$ 613 031,00 anuales en materia prima, al no utilizarse sodio metálico y agua de proceso.

Una reducción de 41% en horas hombre queridas.

En cuanto al costo de los servicios, un incremento anual de US\$ 124 371,00 debido principalmente a los requerimientos de agua de refrigeración requeridos en la homogenización.

Un incremento aproximado de US\$ 28 800 en la inversión de capital, dado que el costo de adquisición de los 8 homogenizadores supera a costo de los reactores, evaporador, compresor de hidrógeno y tanque de almacenamiento de agua empleados en el primer proceso.

En consecuencia, por los resultados obtenidos se concluye que sería justificable efectuar los estudios experimentales para tratar de implementar el segundo proceso de regeneración propuesto.

Lamentablemente, no se pudo evaluar el proceso de regeneración que usa un agente regenerante de fase sólida dado que no se obtuvo respuesta a los requerimientos de información solicitados al productor Levgum Ltd. a través de su pagina webb (www.levgum.com).

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. Los resultados de la estimación relativa del costo de capital para el proceso regeneración usando un metal alcalino, ameritan que se realice una estimación definitiva o detallada del mismo para verificar su rentabilidad, considerando los costos del tratamiento de las emisiones de los Compuestos Orgánicos Volátiles.
2. De los precios FOB de la última importación de caucho regenerado de origen colombiano realizada por Comercial Conte SRL, en donde se registran un costo menor a un US\$ 1,00 por kilo (ver anexo XI), se deduce que un proceso de regeneración de caucho implementado en esta parte del continente puede ser aceptablemente rentable dependiendo de las propiedades que se desee que tenga el producto revulcanizado. Por ejemplo, el proceso de desulfurización que produce el regenerado de más alta calidad, resulta más ventajoso a medida que se quiere regenerar un tipo de caucho más caro, dado que la cantidad de insumos empleados por kilo de regenerado es prácticamente el mismo (se podría intentar regenerar un caucho neopreno, cuyo valor en el mercado es mayor a 3.5 US\$/kg).
3. La rentabilidad estimada del proceso de desulfurización es muy sensible a los precios de venta del caucho sintético SBR, el cual oscila entre 2.5 y 2.8 US\$/kg. El proceso evaluado es rentable si el producto se puede vender a un precio mayor a 2.21 US\$/kg. Si los precios de venta del caucho sintético comienzan a bajar, convendría efectuar una evaluación económica detallada del proceso de regeneración que emplea cobre como agente deteriorante en virtud a la evaluación preliminar efectuada.
4. En caso que ninguno de los procesos propuestos resulte rentable, se recomienda emplear la miga de caucho triturada como insumo en la fundición de hierro, o en la elaboración de carreteras de tránsito pesado. Los norteamericanos poseen alta experiencia en esta materia.

V. BIBLIOGRAFÍA.

1. “Caucho y Cauchos Sintéticos”. Publicado por Vecom Comunicaciones Inc. en <http://members.tripod.com/fotografia/textos/diolefinas.htm>.
2. Flores, M. “La Explotación del Caucho en el Perú”. Primera Edición, CONCYTEC. Lima 1987. Pag. 49 – 77.
3. Vidal de Caser, M “Tratado Moderno de la Industria del Caucho”. Tercera Edición. Editorial Reverte. Madrid 1971. Pag. 21 – 32, 129 – 161, 297 – 315.
4. Cardelo, M. “Nuevas Tecnologías en la Industria del Caucho”. Ingeniería Industrial. Lima Octubre – Diciembre 1995. N° 16. Pag. 61- 72.
5. Norma Técnica Peruana 300.019. “Caucho Vulcanizado – Suelas y Tacos”. ITINTEC. Lima, Diciembre 1979. Pag. 1 - 3.
6. Pennano, G. “Economía del Caucho”. Primera Edición. Centro de Estudios Tecnológicos de la Amazonia (CETA). Iquitos 1988. Pag. 1 – 40
7. Meyrs, R; Macleod, J. “Rubber Devulcanization Process”. Patente Norteamericana US 5798394. Agosto 1998.
8. Oliveria Da Cunha, L. “Process for Reclaming Cured or Semi-cured Rubber”. Patente Norteamericana US 5677354. Octubre 1997.
9. Oliveira Da Cunha, L. “Processe Por Reformar Borracha Curada”. Patente Brasileira N° PI 8500981. Rio de Janerio 1985.
10. Beirakh, L; Goldstein, V; Kopylov, M. “Modifier For Devulcanization the Cured Elastomers, Mainly Vulcanized Rubber and Method for Devulcanization by Means of This Modifier”. Patente N° WO 0129122. Abril 2001.
11. Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial “Recuperación de Solventes”. Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana. Santiago, Junio de 1999. Pag. 2 – 22.
12. Perry R., Chilton C. “Manual del Ingeniero Químico”. Quinta Edición. Editorial McGraw-Hill. México D.F. 1982. Volumen 1, Pag. 3 - 6 a la 3 - 55; 3 -99 a la 3 – 112.

13. Kern, D. "Procesos de Transferencia de Calor". Decimonovena Impresión. Compañía Editorial Continental. México D.F. 1986. Pag. 462 – 511.
14. Treybar R, "Operaciones de Transferencia de Masa". Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. México D.F. 1980. Pag. 481- 489.

VI. ANEXOS.

ANEXO I

Normas Técnicas Peruanas relacionadas con la producción de suelas de Zapato

Número	Título	Observaciones
300.019	Caucho Vulcanizado.- Suelas y Tacos	Establece los requisitos para las suelas, medias suelas y tacos de caucho compacto, usados en la manufactura de calzado. Define el acabado y las propiedades físicas.
300.020	Caucho Vulcanizado.- Determinación de la Densidad Relativa.	A 20°C se pesa una probeta de caucho en el aire y luego se determina su volumen por desplazamiento de agua.
300.021	Caucho Vulcanizado.- Determinación de la Resistencia a la Abrasión	Consiste en determinar, por comparación con una muestra patrón, el desgaste por abrasión, mediante un tambor metálico rotatorio revestido de papel abrasivo constituido por papel granate N° 1 ½..
300.022	Caucho Vulcanizado.- Determinación de Grado de Dureza	Consiste en medir la longitud de penetración de una aguja en una muestra y expresar el resultado como grado de dureza
300.023	Caucho Vulcanizado.- Determinación de la Resistencia a la Tracción, Módulo y Elongación Final.	La Resistencia a la tracción es la carga por unidad de superficie de la sección transversal original, aplicada en el momento de la rotura de la probeta.
300.024	Caucho Vulcanizado.- Método de Ensayo para Determinar la Deformación Permanente por Compresión a baja, normal y alta temperatura..	La probeta de caucho se somete a una compresión del 25% de su espesor por un tiempo y temperatura de ensayo escogida, siendo el resultado la diferencia entre el espesor original y el espesor después del ensayo.
300.038	Caucho Vulcanizado.- Procedimiento para la preparación de muestras.	Salvo se especifique lo contrario las probetas tendrán las siguientes medidas: 150mm x 150 mm x 2 mm, cuya antigüedad estará comprendida entre 24 h y los 60 días contados a partir de la vulcanización.
300.059	Atmósferas patrones para el acondicionamiento y ensayos de las probetas de caucho.	La temperatura será $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa de $50 \pm 5\%$ en climas templados.
NTP ISO 2230 1999	Elastómeros Vulcanizados. Condiciones de almacenamiento	La temperatura de almacenamiento debe ser inferior a 25°C. Se deberá evitar la exposición a la humedad y Luz y aplicación de algún tipo de esfuerzo.

ANEXO II

Población en el Perú por Sexo y Departamento en el año 2001

Fuente: Pagina Webb de Instituto Nacional de Estadística (www.inei.gov.pe)

Rango de Edades	Hombres	Mujeres	Ambos sexos
0 - 4 años	1,474,847	1,421,414	2,896,261
5 - 9 años	1,448,748	1,404,735	2,853,483
10 - 14 años	1,428,098	1,389,415	2,817,513
15 - 19 años	1,361,582	1,331,836	2,693,418
20 - 24 años	1,278,541	1,268,424	2,546,965
25 - 29 años	1,102,921	1,126,802	2,229,723
30 - 34 años	936,369	989,498	1,925,867
35 - 39 años	800,053	859,297	1,659,350
40 - 44 años	662,443	710,789	1,373,232
45 - 49 años	556,157	588,277	1,144,434
50 - 54 años	449,282	471,009	920,291
55 - 59 años	362,450	382,234	744,684
60 - 64 años	298,268	320,179	618,447
65 - 69 años	231,281	255,714	486,995
70 - 74 años	159,682	184,977	344,659
75 - 79 años	99,189	122,687	221,876
mayores a 80	76,474	108,018	184,492
Total:	12,726,385	12,935,305	25,661,690

Departamento	Población
Lima	7,768,849
Piura	1,608,432
La Libertad	1,525,397
Cajamarca	1,469,178
Puno	1,248,018
Cusco	1,205,090
Lambayeque	1,137,360
Arequipa	1,116,453
Ancash	1,110,547
Loreto	916,444
Huanuco	808,213
Callao (*)	805,065
Otros	4,942,643
Total:	25,661,690

(*) Por excepción se considera la provincia del Callao

Total Dep. Lima: 8,573,914

ANEXO III

Solventes importados durante el año 2001

Subpartida Nacional	Denominación del Solvente	Origen	Precio Unif. (US\$/kg)	Solubilidad en Agua	Densidad	Punto Ebullición °C
2902200000	Benceno MSharlau	España	15.303	0.77 ²²	0.879	80.1
2902300000	Tolueno a granel	Venezuela	0.385	0.05 ¹⁶	0.866	110.6
2902430000	P-xileno MMerck	Alemania	21.241	insoluble	0.861 ²⁰⁴	138.3
2902410000	O-xileno M/Mallinckrodt	EE.UU	8.952	insoluble	0.881 ²⁰⁴	144.4
2902440000	Mezcla de isómeros de xileno a granel	Colombia	0.515	insoluble	0.87 ²⁰⁴	138.3 - 144.4
2915310000	Acetato de Etilo a granel	EE.UU	0.802	8.5 ¹⁹	0.901	77.1

Nota.-

- La solubilidad se da en partes en peso por 100 partes de agua
- El Punto de Ebullición es a presión atmosférica.
- El Precio Unitario es el valor CIF más impuestos.

**ANEXO IV: BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA
PROCESO DE DEVULCANIZACION POR DESULFURIZACION**

DATOS DEL PROCESO GLOBAL

Tiemp. Opera	7920	horas
Dias por Año	330	Dias

REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA A GRANEL

Materia prima	Kg/año	Kg/hr
---------------	--------	-------

Miga de Caucho

ac. petróleo	51789.89	6.54
caucho en vulc.	647373.67	81.74
Negro del humo	420971.06	53.15
ZnO	19361.82	2.45
guanidina	3207.17	0.41
antioxidante	6414.34	0.81
Tiazol	6414.34	0.81
azufre	19361.82	2.45
ac. Estearico	12947.47	1.64
	1187841.58	149.98
m-Xyleno	82993.68	10.48
Sodio Metálico	58053.60	7.33
Aire	307858.97	38.87
Agua	152460.00	19.25

Entradas Totales	1789207.85	225.91

DETALLE DE LAS CORRIENTES DEL PROCESO

Nombre de la Corriente	Xileno new	S-102	S-103	Caucho	Miga de caucho
Fuente	INPUT	P-1	P-2	INPUT	P-4
Destino	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5

Propiedades de la Corriente					
TEMP deg C	25	25	25.1	25	25
PRES bar	1	1	5	1	1
DENSITY g/L	860.2	860.2	860.1	1171.7	1171.7
Componentes de la Corriente (kg/hr promedio)					
ac. estearico	0.000	0.000	0.000	1.635	1.635
ac. petróleo	0.000	0.000	0.000	6.539	6.539
antioxidante	0.000	0.000	0.000	0.810	0.810
azufre	0.000	0.000	0.000	2.445	2.445
caucho en vulc.	0.000	0.000	0.000	81.739	81.739
guanidina	0.000	0.000	0.000	0.405	0.405
m-Xyleno	10.479	10.479	10.479	0.000	0.000
Negro de humo	0.000	0.000	0.000	53.153	53.153
Tiazol	0.000	0.000	0.000	0.810	0.810
ZnO	0.000	0.000	0.000	2.445	2.445

TOTAL (kg/h)	10.479	10.479	10.479	149.980	149.980
TOTAL (L/h)	12.2	12.2	12.2	128.0	128.0

(continuación)

**ANEXO IV: BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA
PROCESO DE DEVULCANIZACION POR DESULFURIZACION**

Nombre de la Corriente	S-106	S-107	Sodio met.	S-109	S-110
Fuente	P-5	P-6	INPUT	P-7	P-11
Destino	P-6	P-10	P-7	P-11	P-8

Propiedades de la Corriente					
TEMP deg C	25	114.7	25	110	110
PRES bar	1	1	1	1	9
DENSITY g/L	1171.7	847	971	971	971
Componentes de la Corriente (kg/hr promedio)					
ac. estearico	1.635	1.635	0.000	0.000	0.000
ac. petróleo	6.539	6.540	0.000	0.000	0.000
antioxidante	0.810	0.810	0.000	0.000	0.000
azufre	2.445	2.445	0.000	0.000	0.000
caucho en vulc.	81.739	81.739	0.000	0.000	0.000
guanidina	0.405	0.405	0.000	0.000	0.000
m-Xyleno	0.000	520.908	0.000	0.000	0.000
Negro de humo	53.153	53.153	0.000	0.000	0.000
sodio liq	0.000	0.000	0.000	7.330	7.330
sodio metálico	0.000	0.000	7.330	0.000	0.000
Tiazol	0.810	0.810	0.000	0.000	0.000
ZnO	2.445	2.445	0.000	0.000	0.000

TOTAL (kg/h)	149.980	670.889	7.330	7.330	7.330
TOTAL (L/h)	128.0	792.1	7.5	7.5	7.5

Nombre de la Corriente	S-111	S-112	S-113	S-114	H2 exceso
Fuente	P-10	P-8	P-9	P-12	P-13
Destino	P-8	P-9	P-12	P-13	OUTPUT

Propiedades de la Corriente					
TEMP deg C	115	140	60	40	40
PRES bar	9	9	1	9	9
DENSITY g/L	846.8	848.0	0.1	0.7	0.7
Componentes de la Corriente (kg/hr promedio)					
ac. estearico	1.635	1.635	0.000	0.000	0.000
ac. petróleo	6.540	6.540	0.000	0.000	0.000
antioxidante	0.810	0.810	0.000	0.000	0.000
azufre	2.445	0.122	0.000	0.000	0.000
caucho en vulc.	81.739	0.000	0.000	0.000	0.000
guanidina	0.405	0.405	0.000	0.000	0.000
Hidrógeno	0.000	0.000	0.186	0.186	0.106
m-Xyleno	520.908	520.908	0.000	0.000	0.000
Na ₂ S	0.000	5.378	0.000	0.000	0.000
Negro de humo	53.153	53.153	0.000	0.000	0.000
regenerado	0.000	81.819	0.000	0.000	0.000
sodio liq	0.000	4.275	0.000	0.000	0.000
Tiazol	0.810	0.810	0.000	0.000	0.000
ZnO	2.445	2.445	0.000	0.000	0.000

TOTAL (kg/h)	670.889	678.299	0.1859	0.186	0.106
TOTAL (L/h)	792.3	799.8	2527.626	267.1	152.1

(continuación)

**ANEXO IV: BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA
PROCESO DE DEVULCANIZACION POR DESULFURIZACION**

Nombre de la Corriente	H2 recircul	S-115	S-118	S-116	S-120
Fuente	P-13	P-9	P-14	P-14	P-14
Destino	P-8	P-14	P-16	OUTPUT	P-18
Propiedades de la Corriente					
TEMP deg C	40	60	60	0	60
PRES bar	9	9	1	0	1
DENSITY g/L	0.7	907.2	829.9	0	1042.6
Componentes de la Corriente (kg/hr promedio)					
ac. estearico	0.000	1.635	0	0.000	0.000
ac. petróleo	0.000	6.540	6.5398	0.000	0.000
antioxidante	0.000	0.810	0.6884	0.000	0.000
azufre	0.000	0.122	0	0.000	0.000
guanidina	0.000	0.405	0.4049	0.000	0.000
Hidrógeno	0.080	0.000	0	0.000	0.000
m-Xyleno	0.000	520.898	510.4799	0.000	0.000
Na2S	0.000	5.378	0	0.000	5.378
Negro de humo regenerado	0.000	53.153	0	0.000	0.000
NaOH	0.000	81.819	0	0.000	0.000
NaOH	0.000	7.434	0	0.000	7.434
Tiazol	0.000	0.810	0.6884	0.000	0.000
Agua	0.000	109.217	0	0.000	104.845
ZnO	0.000	2.445	0	0.000	0.000
TOTAL (kg/h)	0.080	790.665	518.802	0.000	117.657
TOTAL (L/h)	115.0	871.6	625.1	0.0	112.9

Nombre de la Corriente	regenerado	Aire	aire out	Ac. Petroleo	S-131
Fuente	P-23	INPUT	P-23	P-19	P-19
Destino	OUTPUT	P-23	OUTPUT	OUTPUT	P-17
Propiedades de la Corriente					
TEMP deg C	60	25	115	215	139
PRES bar	1	1	1	1	1
DENSITY g/L	1160.3	1.2	0.9	14.6	765.5
Componentes de la Corriente (kg/hr promedio)					
ac. estearico	1.635	0.000	0.000	0.000	0.000
ac. petróleo	0.000	0.000	0.000	6.539	0.001
antioxidante	0.122	0.000	0.000	0.688	0.000
azufre	0.122	0.000	0.000	0.000	0.000
guanidina	0.000	0.000	0.000	0.405	0.000
m-Xyleno	10.418	0.000	0.000	0.051	510.429
Negro de humo	53.153	0.000	0.000	0.000	0.000
Nitrogeno	0.000	29.819	29.819	0.000	0.000
Oxigeno	0.000	9.052	9.052	0.000	0.000
regenerado	81.819	0.000	0.000	0.000	0.000
Tiazol	0.122	0.000	0.000	0.688	0.000
Agua	0.015	0.000	4.354	0.000	0.000
ZnO	2.445	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL (kg/h)	149.849	38.871	43.225	8.372	510.430
TOTAL (L/h)	129.1	32963.2	50609.9	571.5	666.8

(continuación)

**ANEXO IV: BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA
PROCESO DE DEVULCANIZACION POR DESULFURIZACION**

Nombre de la Corriente	S-119	S-134	S-101	S-117	S-105
Fuente	P-16	P-3	P-17	P-14	P-24
Destino	P-19	P-6	P-3	P-23	P-9

Propiedades de la Corriente					
TEMP deg C	60	136.8	139.1	60	37.5
PRES bar	1.1	5	5	1	9
DENSITY g/L	829.9	767.3	765.3	1154.4	990.1
Componentes de la Corriente (kg/hr promedio)					
ac. estearico	0.000	0.000	0.000	1.635	0.000
ac. petróleo	6.540	0.001	0.001	0.000	0.000
antioxidante	0.688	0.000	0.000	0.122	0.000
azufre	0.000	0.000	0.000	0.122	0.000
guanidina	0.405	0.000	0.000	0.000	0.000
m-Xyleno	510.480	520.908	510.429	10.418	0.000
Neaero de humo	0.000	0.000	0.000	53.153	0.000
regenerado	0.000	0.000	0.000	81.819	0.000
Tiazol	0.688	0.000	0.000	0.122	0.000
Aqua	0.000	0.000	0.000	4.369	112.562
ZnO	0.000	0.000	0.000	2.445	0.000

TOTAL (kg/h)	518.802	520.909	510.430	154.203	112.562
TOTAL (L/h)	625.2	678.9	666.8	133.6	113.7

Nombre de la Corriente	S-108	S-122	S-104	licor conce	Aqua de rep
Fuente	P-21	P-18	P-20	P-20	INPUT
Destino	P-22	P-20	P-21	OUTPUT	P-25

Propiedades de la Corriente					
TEMP deg C	40	60	149	149	25
PRES bar	1	1.1	1	1	1
DENSITY g/L	989.2	1042.6	0.5	1.1	994.7
Componentes de la Corriente (kg/hr promedio)					
Na2S	0.000	5.378	0	5.378	0.000
NaOH	0.000	7.434	0	7.434	0.000
Aqua	93.312	104.845	93.312	11.533	19.250

TOTAL (kg/h)	93.312	117.657	93.312	24.345	19.250
TOTAL (L/h)	94.3	112.9	179411.7	22180.7	19.4

Nombre de la Corriente	S-125	S-126		
Fuente	P-22	P-25		
Destino	P-25	P-24		

Propiedades de la Corriente				
TEMP deg C	40	37.4		
PRES bar	1	1		
DENSITY g/L	989.2	990.2		
Componentes de la Corriente (kg/hr promedio)				
Aqua	93.312	112.562		

TOTAL (kg/h)	93.312	112.562		
TOTAL (L/h)	94.3	113.7		

ANE XO V:
PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE LOS COMPUESTOS QUIMICOS.
 (USADAS EN LA SIMULACIÓN)

Numero de Componentes = 19

Componente	Nombre Completo
ac estear	ácido esteárico
ac petro	aceite de petróleo (dodecano)
antioxi	antioxidante (p-fhenylenediamine)
azufre	azufre
caucho	caucho vulcanizado (estireno)
guan	guanidina (ciclohexiylamine)
Hydrogen	Hidrogeno
m-Xylene	meta- Xylene (Xileno a granel)
Na2S	Sulfuro de Sodio
negro de h	negro de humo (ceniza)
Nitrogen	Nitrógeno
oxido Zn	oxido de Zinc
Oxygen	Oxigeno
regen	regenerado (estireno)
sodio liq	sodio liquido
sodio met	sodio metálico
Sodium Hydroxid	Hidróxido de Sodio
tiazol	tiazol (dimethylformamide)
Water	Agua

NOTA: Las Propiedades indicadas*** han sido usadas en la simulación.

Componente (J/gmol)	PM (g/gmol)	Punt.Ebull (°C)	Punto.Fusión (C)	DHform
ac estear	284.50***	291.00***	65.00	-567140.00
ac petro	170.36***	216.33***	-9.58	-352130.00
antioxi	108.14***	267.05***	139.85	3100.00
azufre	32.00***	444.60***	120.00	0.00
caucho	350000.00***		200.00	
guan	99.17***	133.85***	-17.70	-147700.00
Hydrogen	2.01***	-252.71***	-259.20	0.00
m-Xylene	106.17***	139.12***	-47.85	-25360.00
Na2S	142.06***	1226.85***	883.85	-1387820.00
negro de h	200.00***	4000.00***	3500.00	0.00
Nitrogen	28.02***	-195.76***	-210.00	0.00
oxido Zn	65.37***	910.85***	419.58	0.00
Oxygen	32.00***	-182.84***	-218.79	0.00
regen	350000.00***		200.00	103470.00
sodio liq	23.00***	882.90***	97.82	0.00
sodio met	23.00***	882.90***	97.82	0.00
Sodium Hydroxid	40.01***	1556.85***	322.85	-425930.00
tiazol	73.10***	150.05***	-60.43	-239200.00
Water	18.02***	100.00***	0.00	-285830.00

Propiedades Críticas

Componente	Tc (C)	Pc (bar)	Zc	Omega
ac estear	474.85	12.00	0.2290	0.8114
ac petro	385.05***	18.20***	0.2400	0.5750
antioxi	522.85***	51.80***	0.2480	0.5386
azufre	-273.15	0.00	0.0000	0.0000
caucho				
guan	341.85***	42.00***	0.2960	0.3604
Hydrogen	-240.15	12.90	0.3030	-0.2160
m-Xylene	343.85***	35.41***	0.2590	0.3265
Na2S	-273.15	0.00	0.0000	0.0000

Componente	Tc (C)	Pc (bar)	Zc	Omega
negro de h	374.19	221.20	0.2350	0.3440
Nitrogen	-146.90	34.65	0.2900	0.0390
oxido Zn	2896.85	2904.00	0.3636	0.0459
Oxygen	-118.39	51.81	0.2880	0.0250
regen				
sodio liq	-273.15	0.00	0.0000	0.0000
sodio met	-273.15	0.00	0.0000	0.0000
Sodium Hydroxid	2546.85	250.00	0.2130	0.0000
tiazol	376.45***	44.20***	0.2140	0.3177
Water	374.19	221.20	0.2350	0.3440

RELACION DE LAS PROPIEDADES CON LA TEMPERATURA

Correl	Formula [T:temp, Tr=T/Tc, t=1-Tr, a,b,c,d,e:coefic.]
0	a
1	$a+bT+cT^2+dT^3+eT^4$
2	$\exp(a+b/T+\ln(T)+dT^e)$
3	$a/b^{(1+(1-T/c)^d)}$
4	$a(1-Tr)^{(b+cTr+dTr^2+eTr^3)}$
5	$a+b(c/T/\sinh(c/T))^2+d(e/T/\cosh(e/T))^2$
6	$a^2/t+b-2act-adt^2-c^2t^3/3-cdt^4/2-d^2t^5/5$
7	$\exp(a+b/T+\ln(T)+dT^2+e/T^2)$
8	$a+bt^{0.35}+ct^{(2/3)}+dt+et^{(4/3)}$
9	$10^{(a+b/(c+T))}$

ac. esteárico

Propiedad	Correl	a	b	c	d
LiqDen (g/l) ***	1	920.00	0.0000		
LiqCp (J/mol-K)***	0	1.92			
GasCp (J/mol-K)***	1	-14.47	171.7000E-2	-9.5920E-4	20.7800E-8
VapPress (mmHg)	9	7.00	1894.3000	-129.9000	
DHvap (J/kmol)	4	71872.16	0.3633		

Aceite de petróleo

Propiedad	Correl	a	b	c	d
LiqDen (g/l) ***	1	952.57	-0.6958		
LiqCp (J/mol-K)***	0	375.30			
GasCp (J/mol-K)***	1	-9.33	114.9000E-2	-6.3470E-4	13.5900E-8
VapPress (mmHg)	9	7.00	1639.2700	-91.3600	
DHvap (J/kmol) ***	4	73486.03	0.3802		

antioxidante

Propiedad	Correl	a	b	c	d
LiqDen (g/l) ***	1	1396.67	-0.8087		
LiqCp (J/mol-K)***	0	244.00			
GasCp (J/mol-K)***	1	-29.32	70.3078E-2	-5.7038E-4	17.9621E-8
VapPress (mmHg)	9	7.55	2078.3028	-94.9648	
DHvap (J/kmol) ***	4	88136.79	0.3995		

azufre

Propiedad	Correl	a	b	c	d
LiqDen (g/l) ***	1	2650.66	-0.5010		
LiqCp (J/mol-K)***	0	197.03			
GasCp (J/mol-K)***	1	27.41	36.9534E-2	-4.0963E-4	16.3819E-8
VapPress (mmHg)	9	8.31	15698.6705	10.5132	
DHvap (J/kmol)	4	0.00	0.0000		

caucho

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l) ***	1	934.00	0.0000			
LiqCp (J/mol-K) ***	0	1.74				
GasCp (J/mol-K) ***	1	-28.25	61.5900E-2	-4.0230E-4	9.9350E-8	
VapPress (mmHg)	9	7.14	1574.5100	-49.1100		
DHvap (J/kmol)	4	54750.76	0.3773			

guanidina

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l) ***	1	1113.44	-0.8412			
LiqCp (J/mol-K) ***	0	190.76				
GasCp (J/mol-K) ***	1	-72.79	89.7413E-2	-8.0615E-4	38.7808E-8	
VapPress (mmHg)	9	6.69	1229.4200	-84.4000		
DHvap (J/kmol) ***	4	56317.80	0.3827			

Hidrógeno

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l)	1	98.92	-1.3787			
LiqCp (J/mol-K) ***	0	23.60				
GasCp (J/mol-K) ***	1	27.14	0.9274E-2	-0.1381E-4	0.7645E-8	
VapPress (mmHg)	9	5.82	67.5078	2.5000		
DHvap (J/kmol)	4	1282.71	0.3259			

m-Xylene

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l) ***	1	1107.91	-0.8309			
LiqCp (J/mol-K) ***	0	182.67				
GasCp (J/mol-K) ***	1	-54.02	76.4462E-2	-6.0926E-4	21.7209E-8	
VapPress (mmHg)	9	7.35	1738.4864	-22.8723		
DHvap (J/kmol) ***	4	54973.88	0.3780			

Na2S

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l) ***	1	2650.66	-0.5010			
LiqCp (J/mol-K) ***	0	197.03				
GasCp (J/mol-K) ***	1	27.41	36.9534E-2	-4.0963E-4	16.3819E-8	
VapPress (mmHg)	9	8.31	15698.6705	10.5132		
DHvap (J/kmol)	4	0.00	0.0000			

negro de humo

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l) ***	1	1900.00	0.0000			
LiqCp (J/mol-K) ***	0	1.74				
GasCp (J/mol-K) ***	1	0.00	0.0000E-2	0.0000E-4	0.0000E-8	
VapPress (mmHg)	9	0.00	0.0000	0.0000		

Nitrógeno

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l)	1	1301.19	-6.1226			
LiqCp (J/mol-K) ***	0	88.80				
GasCp (J/mol-K) ***	1	31.15	-1.3570E-2	0.2680E-4	-1.1680E-8	
VapPress (mmHg)	9	6.49	255.6800	-6.6500		
DHvap (J/kmol)	4	7901.04	0.3584			

ZnO

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l) ***	1	7216.36	-0.9461			
LiqCp (J/mol-K) ***	0	34.67				
GasCp (J/mol-K) ***	1	20.79	0.0000E-2	0.0000E-4	0.0000E-8	
VapPress (mmHg)	9	9.20	6946.6000	0.0000		
DHvap (J/kmol)	4	170803.77	0.4206			

Oxigeno

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l)	1	1620.47	-5.2931			
LiqCp (J/mol-K)***	0	97.00				
GasCp (J/mol-K)***	1	28.11	-0.0003E-2	0.1746E-4	-1.0650E-8	
VapPress (mmHg)	9	6.69	319.0130	-6.5000		
DHvap (J/kmol)	4	9557.19	0.3638			

regenerado

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l)	*** 1	934.00	0.0000			
LiqCp (J/mol-K)***	0	1.74				
GasCp (J/mol-K)***	1	-28.25	61.5900E-2	-4.0230E-4	9.9350E-8	

sodio liquido

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l)	*** 1	971.00	0.0000			
LiqCp (J/mol-K)***	0	197.03				
GasCp (J/mol-K)***	1	27.41	36.9534E-2	-4.0963E-4	16.3819E-8	
VapPress (mmHg)	9	8.31	15698.6705	10.5132		
DHvap (J/kmol)	4	0.00	0.0000			

sodio metálico

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l)	*** 1	971.00	0.0000			
LiqCp (J/mol-K)***	0	197.03				
GasCp (J/mol-K)***	1	27.41	36.9534E-2	-4.0963E-4	16.3819E-8	
VapPress (mmHg)	9	8.31	15698.6705	10.5132		
DHvap (J/kmol)	4	0.00	0.0000			

Hidróxido de Sodio

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l)	*** 1	2043.02	-0.4349			
LiqCp (J/mol-K)***	0	87.18				
GasCp (J/mol-K)***	1	43.57	1.7649E-2	-0.0756E-4	0.1092E-8	
VapPress (mmHg)	9	5.75	5309.6304	-4.4060		
DHvap (J/kmol)	4	0.00	0.0000			

tiazol

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l)	*** 1	1218.96	-0.9206			
LiqCp (J/mol-K)***	0	150.40				
GasCp (J/mol-K)***	1	16.79	24.3393E-2	0.8980E-4	-17.1769E-8	
VapPress (mmHg)	9	7.16	1563.0333	-59.8047		
DHvap (J/kmol)	*** 4	56827.89	0.3807			

Water

Propiedad	Correl	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l)	*** 1	1103.38	-0.3645			
LiqCp (J/mol-K)***	0	75.24				
GasCp (J/mol-K)***	1	32.24	0.1924E-2	0.1055E-4	-0.3596E-8	
VapPress (mmHg)	9	8.14	1746.1500	-42.5500		
DHvap (J/kmol)	4	60335.24	0.4132			

ANEXO VI

Descripción de Equipos empleados en el Proceso de Desulfurización

A continuación se muestra los parámetros de diseño de los equipos y costos obtenidos al simular el proceso en el SuperPro Designer 4.7 (la letra cursiva denota los datos asumidos).

Codigo de Equipo	Nombre del Equipo	Costo US\$
V-103	<p>Recipiente en donde se funde el Sodio Volumen = 1.68 L Diameter = 0.09 m <i>Temperatura de salida del Sodio = 110°C</i> <i>Calor Latente de Fusión = 27.40 kcal/kg Na</i> <i>Modo de Operación = Isotermico</i> <i>Consumo de Potencia = 0.20 Kw.</i> <i>% de Conversión en reacción = 100%</i> <i>Tiempo de residencia= 0.2h</i></p>	<p>500 Ref. Base de Datos Aduanas</p>
V-104	<p>Reactor de desulfurización (hidrogenador) Volumen = 151.07 L Diameter = 0.43 m <i>Temperatura de salida del fluido = 140°C</i> <i>Calor de reacción = -610.09 kcal/kg de Caucho</i> <i>Modo de Operación = Isotermico.</i> <i>Consumo de Potencia = 0.75 kw</i> <i>% de Conversión en reacción = 95%</i> <i>Tiempo de residencia= 0.17h</i></p>	<p>9000 Referencia SuperProDesigner Superior a la Fig. 13-90 del Perry</p>
V-105	<p>Reactor en donde reacciona el exceso Na Volumen = 179.00 L Diameter = 0.45 m <i>Temperatura de salida del fluido = 60°C</i> <i>Calor de reacción = -1463 kcal/kg de Na</i> <i>Modo de Operación = Isotermico</i> <i>Consumo de Potencia = 0.75 kw</i> <i>% de Conversión en reacción = 100%</i> <i>Tiempo de residencia= 0.2h</i></p>	<p>9500 Referencia SuperProDesigner Superior a la Fig. 13-90 del Perry</p>
V-102	<p>Tanque para el hinchamiento de la Miga Volumen = 2633.32 L Diameter = 1.04 m <i>Temperatura de salida del fluido = 114.73°C</i> <i>Modo de Operación = Adiabático</i> <i>Consumo de Potencia = 0.75 kw</i> <i>% de Conversión en reacción = 100%</i> <i>Tiempo de residencia= 3h</i></p>	<p>3400 Referencia. Fig. 13-56 del Perry</p>
V-101	<p>Tanque de Almacenamiento del Xileno Volumen = 10070.75 L Diameter = 1.62 m <i>Temperatura de Salida = 25°C</i> <i>Modo de Operación = Adiabatico</i></p>	<p>3000 Referencia Extrapolando la curva de la fig 13-59 del Perry</p>
V-108	<p>Tanque de Almacenamiento del Agua Volumen = 17607.78 L Diameter = 1.96 m <i>Temperatura de Salida = 40°C</i> <i>Modo de Operación = Adiabatico</i></p>	<p>4000 Referencia Figura 13-56 del Perry</p>

(continuación)

ANEXO VI
Descripción de Equipos empleados en el Proceso de Desulfurización

Codigo de Equipo	Nombre del Equipo	Costo US\$
GR-101	Trituradora Flujo Másico = 149.98 kg/h <i>Especificaciones de Potencia (kw/(kg/h))=0.05</i>	3800 Cotizacion enviada por el fabricante.
BC-101	Faja Transportadora Ancho Baja = 0.4 m Largo Baja = 6 m <i>Especificaciones de Carga ((M/h)/cm)=2</i> <i>Especificaciones de Potencia (watt/(kg/s))=36</i>	4000 Referencia Figura 13-76 del Perry
PC-101	Clarificador de placas inclinadas Area Horizontal (todas las placas) = 2.87m² <i>Densidad del Agua = 1000 kg/m³</i> <i>viscosidad del Agua = 1 cp</i> <i>Densidad de la fase Orgánica = 824.50 kg/m³</i> <i>Densidad caucho - Negro de Humo = 1200 kg/m³</i> <i>Tamaño de las partículas de solido = 0.843 mm</i> <i>Inclinación de Placas = 55°C</i> <i>Espacio entre placas = 10 cm</i> <i>Longitud = 1 m</i> <i>Ancho = 0.5 m</i>	25000 Referencia SuperPro Designer
C-101	Equipo de Destilación (usado) Numero de Etapas = 35 Numero de Etapas Teóricas = 27.94 Relación de Reflujo 0.210 Altura = 2.45 m Diámetro = 0.158m <i>Presión de Columna = 1.03 bar</i> <i>Temperatura del Condensador = 139°C</i> <i>Temperatura del Evaporador = 215°C</i> <i>Velocidad lineal del vapor = 3.00 m/s</i> <i>R/Rmin = 1.25</i> <i>Distancia entre etapas = 0.07m</i> <i>Eficiencia por Etapa = 80%</i> <i>Volatilidad relativa del Xileno = 7</i> <i>Volatilidad relativa del Acite de Petroleo = 1</i> <i>Se utiliza vapor de alta en el evaporador (242°C)</i> <i>Las volatilidades fueron calculadas con el método descrito en las pag 481- 489 del Traybar</i>	7000 Referencia Base de Datos Aduanas

(continuación)

ANEXO VI
Descripción de Equipos empleados en el Proceso de Desulfurización

Codigo de Equipo	Nombre del Equipo	Costo US\$
EV-101	Evaporador Area por Efecto = 23.66 m² <i>Numero de Efectos = 2</i> <i>Coefficiente de Transferencia Efectiva por Efecto = 2409.22 kcal/m²-h-°C</i> <i>Cantidad de Agua evaporada = 89%</i> <i>Tipo de Alimentación = contracorriente</i> <i>Calor de Dilución = No considerado</i> <i>Temperatura del Vapor en 1er efecto = 150°C</i> <i>Temperatura del licor en el ultimo efecto = 149°C</i> <i>Se utiliza vapor de alta (242°C)</i> <i>Area de intercambio recubierta de Niquel de acuerdo a lo citado en la pag. 504 del Kern</i> <i>Las temperaturas fueron deducidas de la fig 14.38 del Kern asumiendo una solucion concentrada de 40% en sodio.</i>	45000 Referencia Fig. 14.27 del Perry
SLDR-101	Secador de Lodos Capacidad de Evaporación = 4.35 kg/h Cantidad de aire a la entrada = 38.871 kg/hr a 25°C <i>Porcentaje de Sólidos en lodo seco = 99.99%</i> <i>Temperatura de Lodo Seco = 60°C</i> <i>Temperatura del Aire de Salida = 115°C</i> <i>Calor latente del Agua = 569.38 kcal/kg</i> <i>Calor Perdido = 8%</i> <i>Hum. entrada del aire = 0.008 kg H₂O/ kg Aire seco</i> <i>Hum. salida del aire = 0.120 kg H₂O/ kg Aire seco</i> <i>Se utiliza vapor de alta (242°C)</i>	8000 Referencia SuperPro Designer
HX-101	Intercambiador de Calor de Placas Area = 0.16 m² <i>Flujo de entrada = 93.312 kg/hr</i> <i>Temperatura de Ingreso = 149°C</i> <i>Temperatura de Salida = 40°C</i> <i>Eficiencia = 100%</i> <i>Coefficiente de Transferencia de calor = 1290.66 kcal/m²-h-°C</i>	900 Referencia Base de Datos Aduanas
PM-101	Bomba Power = 1.94 E-03 kW <i>Eficiencia = 70%</i> <i>Incremento de Presión = 4 bar</i> <i>Flujo = 12.2 l/h</i>	150 Referencia Base de Datos Aduanas Escapa a la escala de la fig 13-40 del Perry.
PM-102	Bomba Power = 0.25 kW <i>Eficiencia = 70%</i> <i>Incremento de Presión = 8 bar</i> <i>Flujo = 792.2 l/h</i>	400 Referencia Base de Datos Aduanas Escapa a la escala de la fig 13-40 del Perry.
PM-103	Bomba Power = 2.38 E-03 kW <i>Eficiencia = 70%</i> <i>Incremento de Presión = 8 bar</i> <i>Flujo = 7.5 l/h</i>	200 Referencia Base de Datos Aduanas Escapa a la escala de la fig 13-40 del Perry.

(continuación)

ANEXO VI
Descripción de Equipos empleados en el Proceso de Desulfurización

Codigo de Equipo	Nombre del Equipo	Costo US\$
PM-104	Bomba Power = 2.48 E-03 kW <i>Eficiencia = 70%</i> <i>Incremento de Presión = 0.1 bar</i> <i>Flujo = 625.2 l/h</i>	200 Referencia Base de Datos Aduanas Escapa a la escala de la fig 13-40 del Perry.
PM-105	Bomba Power = 0.11 kW <i>Eficiencia = 70%</i> <i>Incremento de Presión = 4 bar</i> <i>Flujo = 666.8 l/h</i>	350 Referencia Base de Datos Aduanas Escapa a la escala de la fig 13-40 del Perry.
PM-106	Bomba Power = 4.48 E-03 kW <i>Eficiencia = 70%</i> <i>Incremento de Presión = 0.1 bar</i> <i>Flujo = 112.9 l/h</i>	250 Referencia Base de Datos Aduanas Escapa a la escala de la fig 13-40 del Perry.
PM-107	Bomba Power = 0.04 kW <i>Eficiencia = 70%</i> <i>Incremento de Presión = 8 bar</i> <i>Flujo = 113.7 l/h</i>	300 Referencia Base de Datos Aduanas Escapa a la escala de la fig 13-40 del Perry.
G-101	Compresor Power = 0.29KW <i>Incremento de Presión = 8 bar</i> <i>Temperatura de Salida = 40°C</i> <i>Flujo de hidrogeno = 0.186 kg/h</i> <i>Compresión Politropica</i> <i>Eficiencia Global = 70%</i>	3000 Referencia Base de Datos Aduanas Escapa a la escala de las fig 13-44 a la 13-46 del Perry

Nota.- Todos los equipos son de Acero al Carbon con excepción del Evaporador que emplea en los tubos una aleación de Níquel.

ANEXO VII

Límites Máximos Permisibles para efluentes según nuestra Legislación.

La Ley General de Aguas establece los siguientes límites para aguas de zonas de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial:

Parámetro	Límite
DBO ₅ mg/l (5 días a 20°C)	10
Oxígeno Disuelto mg/l	4
Cobre mg/m ³ (96 horas)	5
Sulfuros mg/m ³	2
Material Extractable en Hexano mg/l	0.2

La Reglamento de Desagües Industriales señala que los efluentes descargados a la red de alcantarillado no deben exceder los siguientes límites:

Parámetro	Límite
Temperatura	35°C
Líquidos Grasos	0.1 g/l
Rango de pH	5 – 8.5
Sustancias Inflamables (punto de ignición superior a 98°C)	1 g/l
DBO ₅	1000 ppm
Sólidos sedimentables	8.5 ml/l/h

A N E X O VIII
Metodología y Equipos para Monitoreo de Efluentes Líquidos

Parámetros	Norma EPA	Métodos	Equipos	Unid.
Caudal		Volumétrico y flotante	Caudalímetro Correntómetro	m ³ /h
Temperatura	170.1	Termométrico	Termómetro	°C
PH	150.1	Electrométrico	Medidor pH	-
Sólidos Totales en Suspensión	160.2	Suspensión secada a 103 – 105°C	Balanza Analítica	mg/l
Oxígeno Disuelto	360.1 360.2	Electrodo Membrana Modificado Wlnider	Oxímetro Laboratorio	mg/l
DBO ₅	405.1	DBO ₅ (5 días y 20°C)	Incubadora	mg/l
Sulfuros	376.1	Volumétrico Colorímetro	Laboratorio Espectrofotómetro	mg/l
Aceites y Grasas	1664	Gravimétrico-Extracción	Pera de Extracción	mg/l

Nota.- Se pueden utilizar los Estándares APHA o métodos equivalentes a las normas EPA.

Metodología para medir los Estándares de Calidad del Aire.

Contaminantes	Método de Análisis
Dióxido de Azufre	Fluorescencia UV (método automático)
Material Particulado con diámetro ≤ 10 micrómetros	Separación inercial Filtración (gravimetría)
Monóxido de Carbono	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (método automático)
Dióxido de Nitrógeno	Quimiluminiscencia (método automático)
Sulfuro de Hidrógeno	Fluorescencia UV (método automático)

Nota.- El método de Análisis puede ser un equivalente aprobado.

ANEXO IX

**COSTO DE LOS SERVICIOS AUXILIARES SEGÚN SIMULADOR
PROCESO DE DESULFURIZACION.**

Consumo de Energía Eléctrica (0,1160 US\$/kw-h)

Codigo	Nombre del Equipo	Cant. Anual Kw-h	US\$/año
BC-101	Faja Transportadora	1188	138
G-101	Compresor	2297	266
GR-101	Trituradora	59392	6889
PM-101	Bomba	15	2
PM-102	Bomba	1980	230
PM-103	Bomba	19	2
PM-104	Bomba	20	2
PM-105	Bomba	871	101
PM-106	Bomba	35	4
PM-107	Bomba	317	37
V-102	Tanque Mezcla Hinc.Miga	5940	689
V-103	Tanque fusión del Na	1584	184
V-104	Reactor Desulfurizador	5940	689
V-105	Reactor elimna el exc Na.	5940	689
Consumo Total Energía Eléctrica:		85538	9922

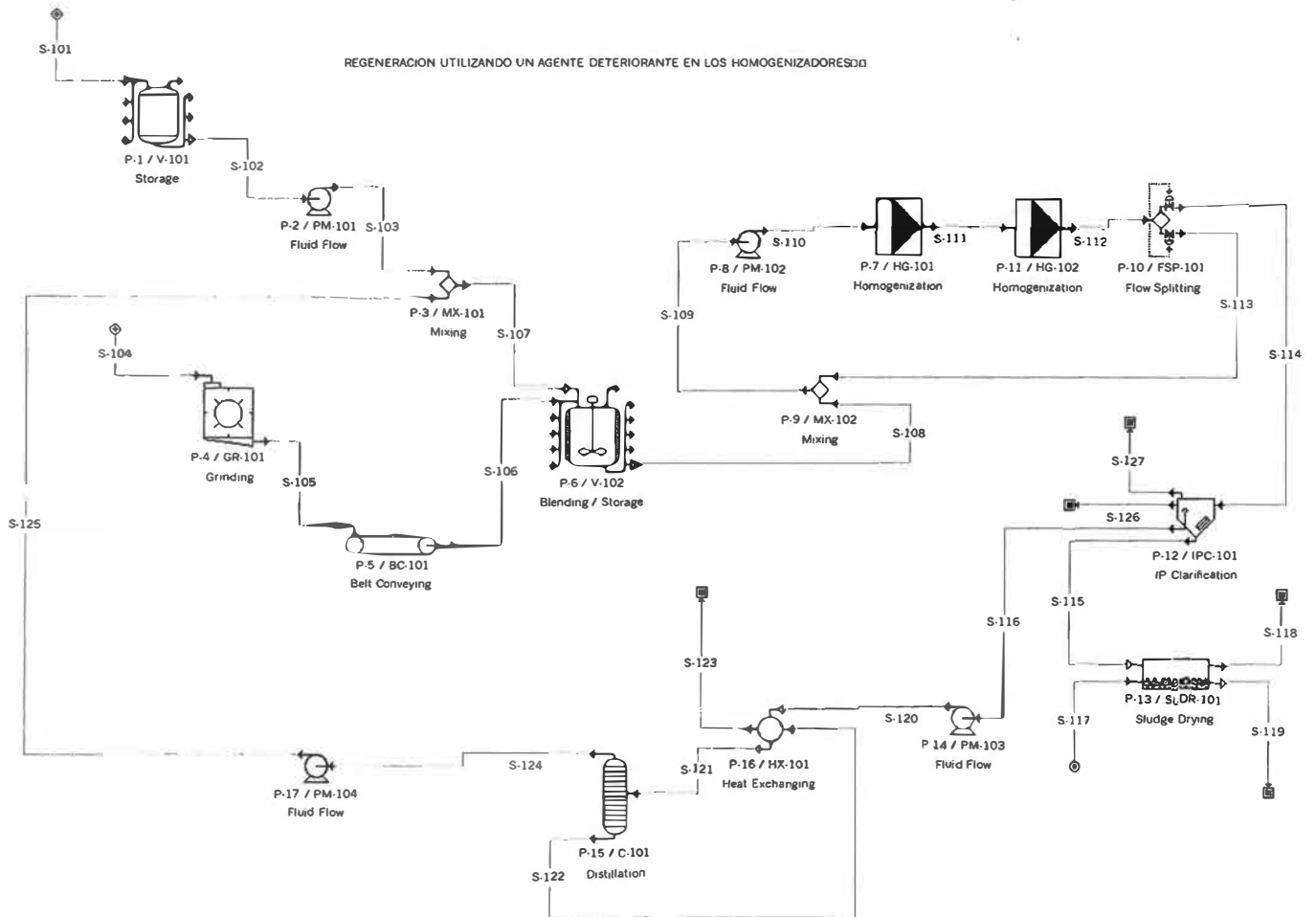
Consumo de Vapor de Alta Presión (Alta Presión)

Codigo	Nombre del Equipo	Consumo Anual (Kg)	US\$/año
V-103	Tanque fusión del Na	24935	192
C-101	Destilación (evaporador)	1142856	8800
EV-101	Evaporador	894054	6884
SLDR-101	Secador de Lodos	58306	449
Consumo Total de Vapor:		2120151	16325

Agua de Enfriamiento (0.1 US\$ /1000 kg)

Codigo	Nombre del Equipo	Consumo Anual (Kg)	US\$/año
V-104	Reactor Desulfurizador	70289446	7029
V-105	Reactor eliman e exc. Na	46857354	4686
G-101	Compresor	242107	24
C-101	Destilación (condensador)	79767864	7977
HX-101	Intercambiador de Calor	16086955	1609
Consumo Total de H₂O enfriamiento:		213243726	21324

ANEXO X



Resultados de la Simulación:

Requerimientos de Materia Prima

Insumos	Kg/hr	Kg/año	US\$/kg	US\$/año
Caucho Vulcanizado*	149.98	1187841.60	0.12	137721
Xileno granel	10.30	81576.00	0.52	42012
Costo Total de Materia Prima:				179732

Servicios Auxiliares.

Rubro	Consumo Anual	US\$/año
Energía Electrica	106238 kw-h	12324
Vapor de alta presión	630063 kg	4851
Aqua de Enfriamiento	1547076285 kg	154708
Costo total por Servicios		171883

Mano de Obra Directa: 18 137 horas hombre al año.

ANEXO X**REGENERACIÓN UTILIZANDO UN AGENTE DETERIORANTE EN LOS
HOMOGENIZADORES.****Detalle de Equipo Nuevo:**

En la sección de homogenización se tiene:

01 bomba centrífuga (PM-102) que consume 3.303 KW (eficiencia 70%) y trabaja con flujo de 38.2 m³/h. Con un precio de adquisición ascendente a US\$ 645 (Fig. 13-40 del Perry).

Al suponer que la suspensión de miga de caucho sufre las mismas cambios que un flujo de leche entera en el proceso de homogenización, el simulador determino que se requieren 04 Homogenizadores (HG-101) y 04 Homogenizadores (HG-102), los cuales trabajan con un flujo 19.10 m³/h. Cada unidad esta valorizada en US\$ 12 600 si se consideran los precios determinados por el SuperPro Designer.

Nota.-

En esta sección se recicla el 98% de la suspensión.

ANEXO XI

ULTIMA IMPORTACIÓN REGISTRADA DE CAUCHO REGENERADO

1	IDENTIFICACION	1.1 Aduana Código MARITIMA DEL CALLAO 118	1.2 Declarante Código AG. DE ADUANA PONCE S.A. 9092	2	REGISTRO DE ADUANA
1.3 Tipo Doc. 4		R.U.C. 20100652596	1.4 Consignatario o Importador COMERCIAL CONTE SRL		Declaración 120011 Fecha Numerac. 01/10/1998 CANAL: NARANJA DESPACHO: NORMAL
1.5 Dirección del Consignatario o Importador AV. SEPARADORA INDUSTRIAL 1591 URB. INDUSTRIAL SAN FRANCISCO ,ATE,LIMA,LIMA					
3	TRANSACCION	3.1 Moneda de Transacción Código 249	3.2 Forma de Pago Código 0	3.3 Plazo Cred. 0	
3.4 Entidad Financiera Interviniente Código 099099			3.5 Fecha Carta Crédito	3.6 Exon. C.I.	
4	TRANSPORTE	4.1 Número de Manifiesto 118 1998 2216	4.2 Modo Transp. Cod. 1	4.3 Empresa Transporte Cod. PORTUARIA TAYLOR S.A. 1443	4.4 Fecha de llegada 23/09/1998
4.5 Empresa de Trans. Transito Reembarque		4.6 Matrícula Nave Trans		4.7 Aduana Salida Código	

5	DESCRIPCION DE LA MERCANCIA			TOTAL ITEMS			
Item	5.5 Subpartid Nac. DV	5.2 Nombre Comercial		5.3 Característica		5.4 P. Orige	
1	4003000000	CAUCHO REGENERADO.		CAUCHO REGENERADO.			
Item	5.5 Marca Comerc.	5.6 Modelo	5.7 Aro/Año	5.8 EM	5.9 Cantidad	5.10 Unid	5.11 FOB U.US\$
1	RECCOL	SM		30	1,000.00	KB	0.20