

# 80

Directores del capítulo  
*Louis D. Beliczky y John Fajen*

## Sumario

Perfil general <i>Louis S. Beliczky y John Fajen</i> . . . . .	80.2
Cultivo del árbol del caucho <i>Alan Echt</i> . . . . .	80.3
Fabricación de neumáticos <i>James S. Frederick</i> . . . . .	80.4
Otros productos industriales <i>Ray C. Woodcock</i> . . . . .	80.8
1,3-butadieno <i>Ronald L. Melnick</i> . . . . .	80.9
Controles de ingeniería <i>Ray C. Woodcock</i> . . . . .	80.10
Seguridad <i>James R. Townhill</i> . . . . .	80.13
Estudios epidemiológicos <i>Robert Harris</i> . . . . .	80.15
Dermatitis por contacto con caucho y alergia al látex <i>James S. Taylor y Yung Hian Leow</i> . . . . .	80.16
Ergonomía <i>William S. Marras</i> . . . . .	80.17
Cuestiones ambientales y de salud pública <i>Thomas Rhodarmer</i> . . . . .	80.17

## ● PERFIL GENERAL

Louis S. Beliczky y John Fajen

En la industria del caucho se utilizan básicamente dos tipos de caucho: el natural y el sintético. Este último, obtenido a través de diferentes polímeros, sirve para la fabricación de una gran variedad de productos (véase la Tabla 80.1). El caucho natural se

produce principalmente en el sudeste asiático, mientras que el sintético procede en su mayoría de países industrializados como Estados Unidos, Japón, Europa occidental y Europa oriental. Brasil es el único país en desarrollo que posee una industria importante de caucho sintético.

El 60 % del caucho sintético y el 75 % del caucho natural (Greek 1991) se destina a la fabricación de neumáticos y productos afines, que da empleo a casi medio millón de trabajadores en todo el mundo. Otras aplicaciones importantes del

Tabla 80.1 • Principales polímeros del caucho.

Tipo de caucho/ Elastómero	Producción (en miles de toneladas en 1993)	Propiedades	Usos comunes
Caucho natural	Tailandia 1.501 Indonesia 1.353 Malasia 923 India 426	Usos generales; no resistente al aceite, se hincha con los disolventes; no resistente al oxígeno, ozono y luz UV	Neumáticos, soportes elásticos, burletes, acoplamientos, soportes de puentes y para la construcción, calzado, mangueras, correas transportadoras, productos moldeados, revestimientos, rodillos, guantes, preservativos, dispositivos sanitarios, pegamentos, tejidos de fondo para alfombras, hilos, espuma
Polisopreno (IR)	EE.UU. 47 Europa occidental 15 Japón 52	Usos generales; caucho natural sintético, propiedades similares	Véase Caucho natural (párrafo anterior).
Estireno-butadieno (SBR)	EE.UU. 920 Europa occidental 1.117 Japón 620	Usos generales; sustituyó al caucho natural durante la segunda Guerra Mundial; baja resistencia al aceite y disolventes	Neumáticos (75 %), correas transportadoras, esponjas, productos moldeados, calzado, mangueras, recubrimientos de rodillos, pegamentos, productos impermeables, forros de alfombra de látex, productos de espuma
Polibutadieno (BR)	EE.UU. 465 Europa occidental 297 Japón 215 Europa oriental 62 (1996)	Baja resistencia al aceite y disolventes; no resistente a la intemperie, alta resiliencia, resistencia a la abrasión y flexibilidad a baja temperatura	Neumáticos, calzado, correas transportadoras, correas de transmisión, pelotas de juguete.
Butilo (IIR)	EE.UU. 130 Europa occidental 168 Europa oriental 90 Japón 83	Baja permeabilidad al gas; resistente a calor, ácidos y líquidos polares; no resistente al aceite y disolventes; resistencia moderada a la intemperie	Interior de tubos, cámaras de vulcanizado de neumáticos, calafateo y selladores, aislamiento de cables, aisladores vibracionales, revestimiento protector de estanques y membranas para tejados, correas transportadoras y mangueras para alta temperatura
Etilenpropileno/ Etilen- propileno- dieno	EE.UU. 261 Europa occidental 201 Japón 124	Flexibilidad a baja temperatura; resistente a la intemperie y al calor pero no al aceite, o a los disolventes; excelentes propiedades eléctricas	Recubrimientos de cables; desfibreadores y burletes extruidos; productos moldeados; juntas aislantes; recubrimientos para silos, tejados, estanques, zanjas y vertederos controlados
Policloropreno (CR) (neopreno)	EE.UU. 105 Europa occidental 102 Japón 74	Resistente al aceite, llamas, calor e intemperie	Recubrimientos de cables, mangueras, correas transportadoras, calzado, ropa impermeable, tejidos recubiertos y productos inflables, extruidos, pegamentos, soportes de puente y rail, revestimientos, juntas de esponja, productos de espuma de látex
Nitrilo (NBR)	EE.UU. 64 Europa occidental 108 Japón 70 Europa oriental 30	Resistente al aceite, disolventes y aceite vegetal; se hincha con disolventes polares como las cetonas	Sustancias taponadoras, recubrimientos y juntas para mangueras resistentes a combustibles, camisas de rodillos, correas transportadoras, suelas de zapatos, guantes, pegamentos, equipos de perforación para pozos petrolíferos
Silicona (MQ)	EE.UU. 95 Europa occidental 107 Japón 59 (1990)	Estable a temperaturas altas y bajas; resistente al aceite, disolventes e intemperie; fisiológica y químicamente inerte	Aislamiento de cables, burletes, pegamentos, juntas, productos moldeados y extruidos, mascarillas de gas y respiradores, tubos para alimentación y sanitarios, implantes quirúrgicos
Polisulfuros (OT)	EE.UU. 20 Europa occidental 0 Japón 3	Resistente al aceite, disolventes, bajas temperaturas e intemperie; baja permeabilidad al gas	Camisas de rodillos, revestimientos de mangueras, juntas, productos moldeados, taponadores, diafragmas para gasómetros, selladores de vidrio, aglomerante sólido de combustible para cohetes
Caucho reciclado	—	Cadenas poliméricas más cortas; mayor facilidad de procesamiento; menor tiempo de mezclado y menor consumo de energía; menor resistencia a la tracción y menor coste	Neumáticos, interior de tubos, felpudos, productos mecánicos, pegamentos, asfalto cauchutado

Fuente: Volúmenes de producción del Instituto de Investigación de Stanford.

Tabla 80.2 • Consumo mundial de caucho en 1993.

Región	Caucho sintético (1.000 toneladas)	Caucho natural (1.000 toneladas)
Norteamérica	2.749	999
Europa occidental	2.137	930
Asia y Oceanía	1.849	2.043
América Latina	575	260
Centroeuropa	215	65
Commonwealth de Estados Independientes	1.665	100
Oriente Próximo y África	124	162
China y Asia*	453	750
Total	9.767	5.309

\*Incluye China, Corea del Norte y Vietnam.

Fuente: Instituto Internacional de Fabricantes de Caucho Sintético 1994.

caucho son la fabricación de correas y manguitos para vehículos, guantes, preservativos y calzado de goma.

En los últimos tiempos, la industria del caucho ha experimentado un proceso de mundialización. Al tratarse de una industria que utiliza un gran volumen de mano de obra, se encuentra en expansión en los países en desarrollo. En la Tabla 80.2 se muestra el consumo mundial de caucho natural y sintético en 1993.

controlar de forma efectiva los riesgos asociados al uso de los productos químicos agrícolas.

El látex se obtiene practicando en la corteza del árbol del caucho una incisión en espiral en días alternos, aunque la frecuencia y el método pueden variar. El látex se recoge en vasos colgados del árbol, bajo la incisión, y a continuación se transfiere a cubos que se transportan a las estaciones de procesamiento. Por lo general, se añade amoníaco como conservante. El amoníaco rompe las partículas de caucho y produce un producto que forma dos fases con un 30 - 40 % de parte sólida. Este producto se concentra hasta obtener un 60 % de parte sólida, obteniéndose así un concentrado de látex amoniacal con un 1,6 % de amoníaco en peso. También existe un concentrado de látex con bajo contenido en amoníaco (0,15 - 0,25 %). Con el fin de evitar la coagulación y la contaminación, se añade a este concentrado un conservante secundario, como el pentaclo-rofenato sódico, el disulfuro de tetrametiluram, el dimetilditio-carbamato sódico o el óxido de zinc.

Los principales riesgos para los trabajadores de las plantaciones son la exposición a los elementos atmosféricos, las mordeduras de animales, las picaduras de insectos y los riesgos asociados al uso de las herramientas cortantes que se utilizan para hacer la incisión en el árbol. Las posibles heridas deben tratarse rápidamente para minimizar el riesgo de infección. Los riesgos atmosféricos y de plagas pueden reducirse con medidas preventivas y terapéuticas. En las plantaciones modernas se ha limitado la incidencia de enfermedades como la malaria o la gastroenteritis mediante la profilaxis, el control de los mosquitos y las medidas sanitarias.

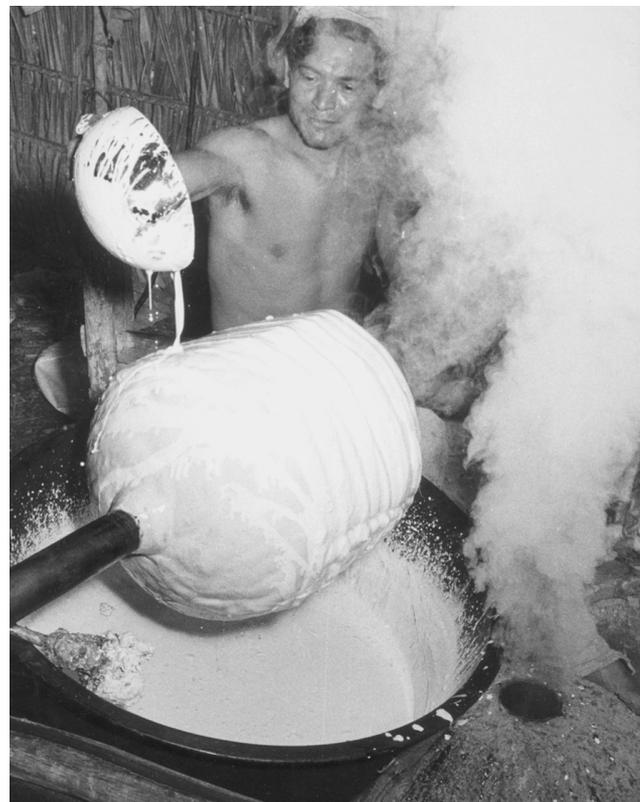
Figura 80.1 • Un trabajador del caucho coagula el látex recogido colocándolo sobre un palo y manteniéndolo sobre el humo que emana de un recipiente.

## ● CULTIVO DEL ÁRBOL DEL CAUCHO

Alan Echt

El caucho natural (*cis*-1,4-polisopreno) es un producto vegetal procesado que se obtiene de la savia de varios centenares de especies de árboles y plantas existentes en distintas partes del mundo, en especial en el África ecuatorial, el sudeste asiático y Sudamérica. La savia de aspecto lechoso o látex que se obtiene del árbol *Hevea brasiliensis* cubre más del 99 % del consumo mundial de caucho natural. Este producto también puede obtenerse del *Ficus elastica* y de otras plantas africanas que se cultivan en Costa del Marfil, Madagascar, Senegal y Sierra Leona. El trans-1,4-polisopreno natural, que se conoce como gutapercha o balata y se obtiene de árboles de Sudamérica e Indonesia, proporciona un caucho menos puro que el isómero *cis*. Otra fuente de caucho natural comercial es el arbusto *Parthenium argentatum* o guayule, que crece en regiones cálidas y áridas, como los Estados del suroeste de Estados Unidos.

El caucho procedente de la *Hevea* se cultiva en plantaciones de más de 100 acres pero también en pequeñas granjas de menos de 10. La productividad de los árboles del caucho comercial ha ido aumentando progresivamente desde el decenio de 1970, debido principalmente a la reforestación con árboles de crecimiento más rápido y mayor rendimiento, así como al uso de fertilizantes químicos y al control de las enfermedades del árbol del caucho. La adopción de medidas estrictas para controlar los riesgos de los herbicidas y pesticidas durante las operaciones de almacenamiento, mezclado y pulverización, el uso de ropa de protección adecuada y cremas barrera, la instalación de vestuarios, y una supervisión médica adecuada han permitido



El arbusto denominado guayule, planta nativa del sur de Texas y del centro y norte de México, contiene caucho natural en sus tallos y raíces, por lo que se recoge toda la planta.

El caucho extraído del guayule es prácticamente idéntico al de la Hevea, aunque con menor potencia clorofilica. Actualmente, el caucho extraído del guayule no representa una alternativa comercial viable al de la Hevea.

### Tipos de caucho natural

Entre los diferentes tipos de caucho natural que se producen actualmente se encuentran las planchas estriadas ahumadas, el caucho de especificación técnica, los crepés, el látex, el caucho natural epoxidizado y el caucho natural termoplástico. Tailandia es el principal proveedor de planchas estriadas ahumadas, con casi la mitad de la producción mundial de caucho natural. El caucho de especificación técnica (que debe su nombre al hecho de que su calidad, especialmente su pureza y elasticidad, se determina mediante especificaciones técnicas, en vez de las especificaciones visuales convencionales) o caucho natural en bloque fue introducido en Malasia a mediados del decenio de 1960 y representa casi el 40-45 % de la producción de caucho natural, siendo Indonesia, Malasia y Tailandia los principales proveedores de este tipo de caucho. En la actualidad, el caucho de crepé sólo representa una pequeña parte del mercado mundial de caucho natural. Ultimamente ha crecido el consumo mundial del látex de caucho natural, a causa principalmente de la mayor demanda de este tipo de productos como protección frente al virus del SIDA y a otros agentes patógenos transmitidos por la sangre. Los concentrados de látex se utilizan para la producción de pegamentos, tejidos de fondo de alfombras, espumas y productos como globos, guantes y preservativos. El caucho natural epoxidizado se obtiene tratando el caucho natural con perácidos y se utiliza como alternativa a algunos cauchos sintéticos. El caucho natural termoplástico, que se encuentra todavía en la fase inicial de desarrollo comercial, es resultado de la vulcanización dinámica parcial de mezclas de poliolefinas y caucho natural.

Figura 80.2 • Procesamiento del caucho en una plantación de Camerún oriental.



### Procesos de producción

El látex obtenido del árbol puede comercializarse directamente en forma de concentrado o bien procesarse para obtener caucho seco (véanse las Figuras 80.1 y 80.2). Un método de fabricación del caucho de especificación técnica consiste en coagular el látex bruto con ácido y pasarlo después por las máquinas de cortado y por una serie de cilindros de crepado; a continuación, con una trituradora de martillos o un granulador, se convierte el producto en grumos de caucho que son tamizados, lavados, secados, empaquetados y acondicionados. Otro método de producción de caucho de especificación técnica consiste en añadir un agente disgregante antes de la coagulación, seguido de la trituración con cilindros de crepado.

Las planchas estriadas ahumadas se obtienen pasando el látex coagulado a través de una serie de cilindros, de los que salen planchas finas que se estampan con un patrón estriado para aumentar la superficie del material y mejorar su secado. Las planchas se tratan en un ahumador a 60 °C durante una semana y a continuación se clasifican visualmente y se acondicionan en balas.

Las fórmulas de las mezclas de los compuestos que se utilizan en los cauchos naturales son básicamente las mismas que las que se emplean para la mayoría de los cauchos sintéticos no saturados. La presencia de aceleradores, activadores, antioxidantes, materiales de relleno, agentes plastificantes o vulcanizantes depende de las propiedades que se deseen obtener del compuesto final.

Para minimizar los riesgos derivados del empleo de métodos de producción mecanizados (cilindros, centrifugadoras, etc.), es necesario establecer un riguroso control de seguridad durante la instalación, funcionamiento y mantenimiento de las máquinas. Cuando se procesen productos químicos, deberán tomarse las precauciones adecuadas. Asimismo, se dedicará especial atención al calzado y a los suelos de las áreas de trabajo para evitar resbalones, tropezones y caídas. Los trabajadores deberán recibir una formación sobre técnicas de seguridad en el trabajo. Además, será necesaria una estricta supervisión para evitar accidentes al aplicar calor durante el proceso de vulcanización del caucho.

## FABRICACION DE NEUMATICOS

*James S. Frederick*

### Proceso de fabricación

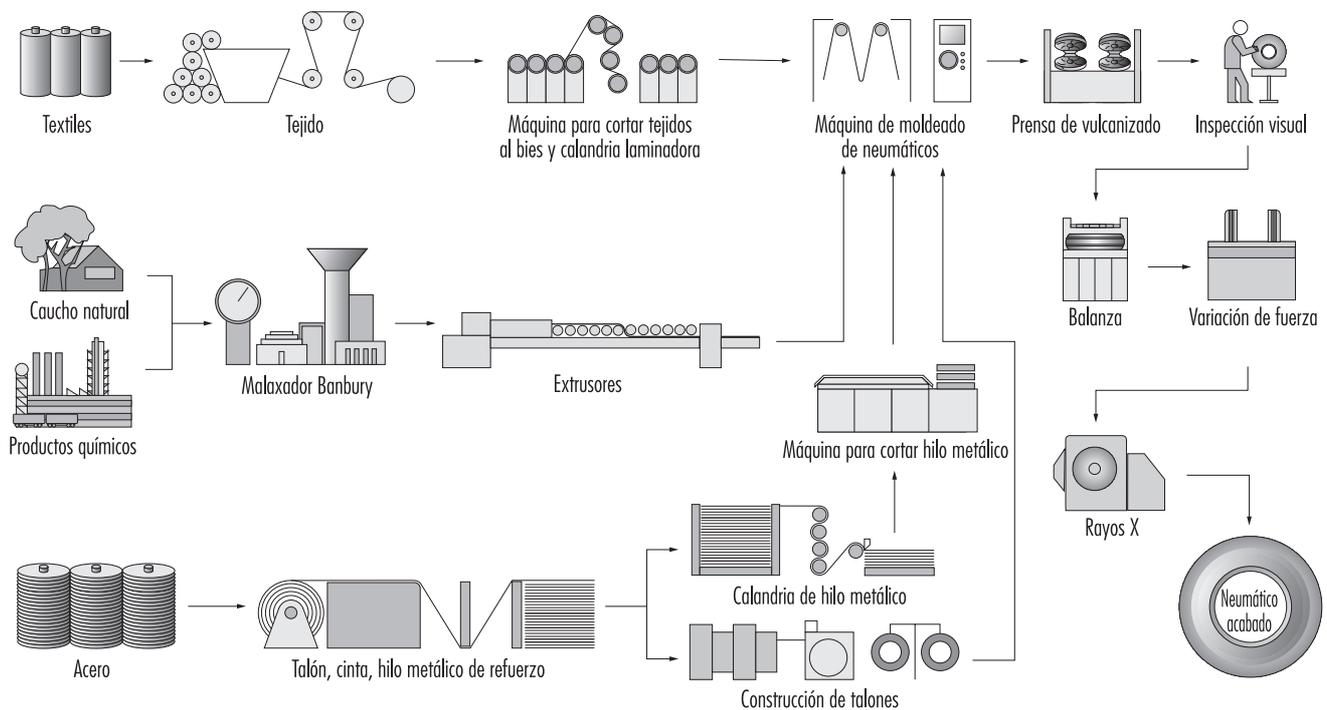
En la Figura 80.3 se ofrece un esquema del proceso de fabricación de neumáticos.

#### *Mezclado de compuestos y malaxador Banbury*

En el malaxador Banbury se introduce la mezcla de caucho, negro de humo y otros productos químicos para obtener un material de caucho homogéneo. El tiempo, el calor y las materias primas utilizadas son los factores decisivos en la composición del producto final. Por lo general, los ingredientes llegan a la planta en paquetes ya pesados o en cantidades a granel que son preparadas y pesadas allí por el técnico encargado del malaxador Banbury. Los ingredientes pesados se colocan en un transportador que los carga en el malaxador Banbury para iniciar el proceso de mezclado.

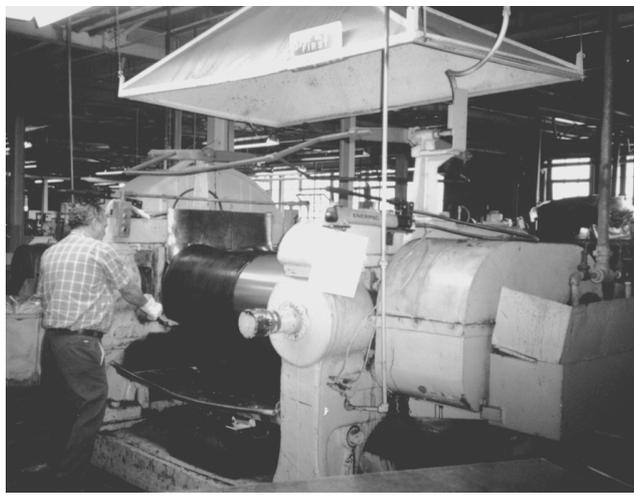
Para obtener el caucho para fabricar neumáticos se combinan cientos de componentes como, por ejemplo, activadores, antioxidantes, antiozonantes, ceras para facilitar la extensión del caucho, vulcanizadores, pigmentos, plastificantes, arcillas para refuerzo y resinas. La mayoría de estos elementos no están

Figura 80.3 • Proceso de fabricación de neumáticos.



regulados y pueden no haber pasado unas evaluaciones toxicológicas serias. En general, las mejoras introducidas en el control legal y en el control de ingeniería han reducido los riesgos laborales asociados a las materias primas para los operarios de este tipo de malaxadores Banbury. Sin embargo, persisten ciertos riesgos derivados de la naturaleza y el volumen de los componentes utilizados.

Figura 80.4 • Laminador antiguo con una barra de seguridad situada a una altura excesiva para que resulte efectiva. Sin embargo, el operario lleva guantes de gran tamaño que protegerían sus manos en caso de que quedaran atrapadas entre los cilindros.



Ray, C. Woodcock

### Masticación

El laminado del caucho comienza con el proceso de masticación. Una vez finalizado el ciclo de mezclado con el equipo Banbury, el caucho se coloca en un laminador. Este proceso transforma las placas de caucho en largas láminas al pasar a través de dos cilindros que giran en dirección opuesta y a diferentes velocidades.

Durante esta operación, los trabajadores están expuestos a los riesgos derivados del funcionamiento sin protección de los cilindros giratorios. Los laminadores más antiguos solían disponer de cables o barras que eran accionados por el operario si quedaba atrapado en el laminador (véase la Figura 80.4); los laminadores modernos disponen de barras a la altura de la rodilla que se activan automáticamente en caso de que un operario quede atrapado entre los cilindros (véase la Figura 80.5).

La mayoría de las instalaciones disponen de medidas de emergencia para los operarios que sufren accidentes en los laminadores. Estos trabajadores están expuestos al calor y al ruido, así como a las sustancias que se forman durante el calentamiento del caucho o que se desprenden de él (véase la campana de aspiración sobre un laminador en la Figura 80.6).

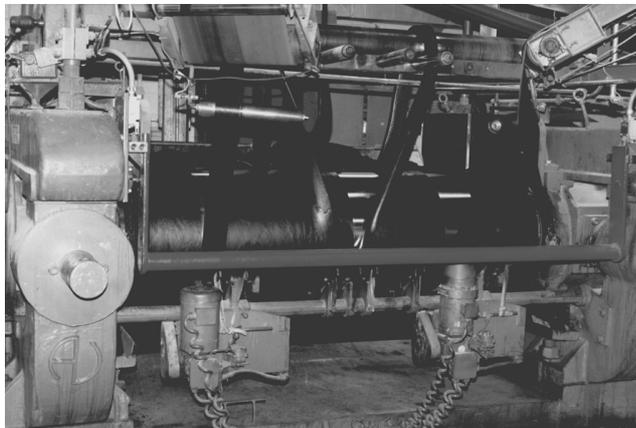
### Extrusores y calandrias

Las calandrias, que se utilizan para producir láminas y perfiles a partir de las planchas de caucho, constan de uno o varios (a menudo cuatro) cilindros a través de los cuales se fuerzan las planchas de caucho (véase la Figura 80.5).

La calandria realiza las funciones siguientes:

- formar, a partir de la mezcla de caucho, una lámina uniforme, de grosor y anchura definidos;
- aplicar un recubrimiento fino de caucho sobre un tejido (“recubrimiento” o “nivelado”),
- introducir el caucho en los intersticios del tejido mediante fricción (“friccionamiento”).

Figura 80.5 • Laminador de una línea de calandrias con una barra de seguridad a nivel del cuerpo que desconecta el equipo al ser accionada por el operario.



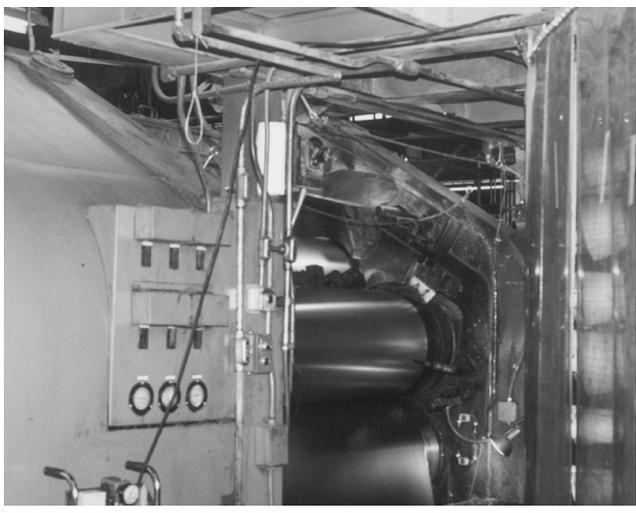
James S. Frederick

Las láminas de caucho que salen de la calandria se acondicionan en tambores con espaciadores denominados “separadores”, que evitan que se adhieran entre sí.

El extrusor produce piezas de caucho en forma de tubo forzando su paso a través de una matriz del tamaño adecuado. El extrusor consta de tolva, cilindro, émbolo y matriz, y para formar la parte hueca del interior del tubo se utiliza un eje. El extrusor moldea la sección larga y plana de la banda de rodadura de los neumáticos.

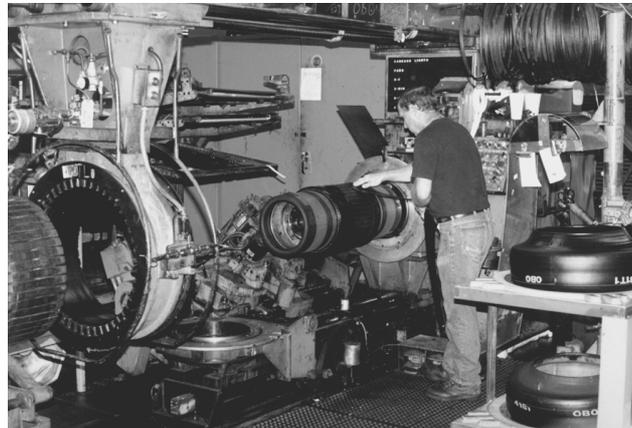
Los operarios de extrusores y calandrias están expuestos al talco y a los disolventes que se utilizan en el proceso. Además, al final de la operación de extrusión, tienen que realizar la tarea altamente repetitiva de colocar las bandas de rodadura en carros de varios pisos. Esta operación recibe a menudo el nombre de ‘encuadernar’ las bandas de rodadura, porque el carro parece un libro y las bandejas las páginas. Tanto el diseño del extrusor como el peso y el volumen de las bandas de rodadura influyen

Figura 80.6 • Laminador y secador con campana de aspiración y cables de seguridad.



James S. Frederick

Figura 80.7 • Operario montando un neumático en una máquina monofase.



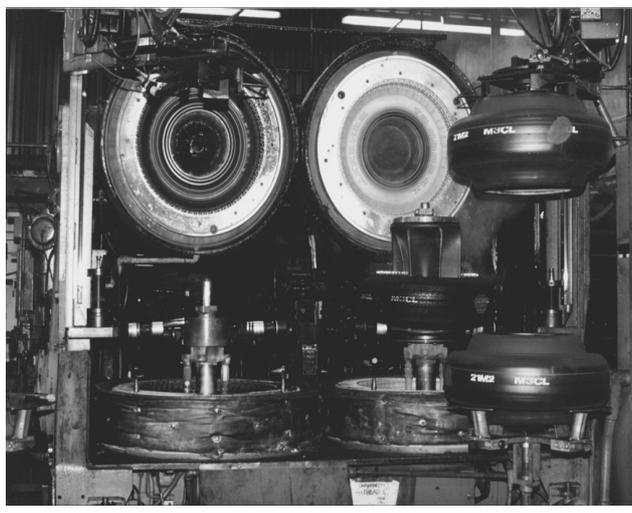
en el impacto ergonómico de esta operación. Para reducir dicho impacto se han realizado numerosas modificaciones e incluso se han automatizado algunas operaciones.

#### *Montaje de los componentes y moldeo*

El montaje de los neumáticos puede automatizarse en gran parte. La máquina de montaje de neumáticos consta de un tambor rotatorio donde se montan los componentes y de mecanismos que suministran al montador los componentes necesarios (talones, tejidos, flancos y bandas de rodadura) (véase la Figura 80.7). Una vez montado, el neumático recibe a menudo el nombre de “neumático verde”.

Los montadores de neumáticos y otros operarios de esta fase del proceso tienen que realizar una serie de operaciones repetitivas. Los componentes, a menudo suministrados en rollos muy pesados, se colocan en la zona de alimentación del equipo de montaje, lo que exige el levantamiento y manejo de esos

Figura 80.8 • Prensa de vulcanizado con ventilador de techo Bag-o-matic McNeal para neumáticos de vehículos ligeros y camionetas Akron, Ohio (EE.UU.).



James S. Frederick

Figura 80.9 • Un colector de polvo de una muela abrasiva recoge el polvo de caucho.



Roy C. Woodcock

pesados rollos en un espacio limitado. La naturaleza de la operación requiere asimismo que el montador realice en cada montaje una serie de movimientos similares o idénticos. Los montadores de neumáticos utilizan disolventes como el hexano para pegar la banda de rodadura y el tejido de caucho. Uno de los factores de riesgo es la exposición a los disolventes.

Una vez montado, el neumático verde se rocía con un disolvente o un material soluble en agua para evitar que se adhiera al molde de vulcanización. Los disolventes representan un riesgo potencial para los operarios que realizan el rociado y que manejan el material y la prensa de vulcanización. Actualmente, los materiales más utilizados para este fin son los solubles en agua.

### Vulcanización

El operario de la prensa de vulcanización coloca los neumáticos verdes en la prensa o en el cargador de la prensa. En Norteamérica existen prensas de vulcanización de distintas características, antigüedad y nivel de automatización (véase la Figura 80.8). En la prensa se utiliza vapor para calentar o vulcanizar el neumático verde. La vulcanización del caucho transforma un material pegajoso y flexible en otro no pegajoso, menos flexible y de larga duración.

Cuando se calienta el caucho durante la vulcanización o en fases anteriores del proceso, se forman N-nitrosaminas carcinogénicas. Por ello, debe controlarse cualquier nivel de exposición a las N-nitrosaminas e intentar limitar al máximo el riesgo de exposición. Además, los polvos, gases, vapores y humos que se utilizan o se producen cuando se calienta o vulcaniza el caucho contaminan el entorno de trabajo.

### Inspección y acabado

Después de la vulcanización y antes de que el neumático sea almacenado o expedido, se realizan las operaciones de acabado y de inspección. En la operación de acabado se recortan las rebabas de caucho del neumático procedentes de los orificios de

ventilación del molde de vulcanización. Además, a veces es necesario pulir los sobrantes de caucho en los flancos o en las inscripciones del neumático.

Uno de los principales riesgos a que están expuestos los trabajadores cuando manipulan un neumático vulcanizado son los movimientos repetitivos. Además, en las operaciones de acabado o pulido de los neumáticos, los trabajadores se ven expuestos al polvo de caucho o a partículas (véase la Figura 80.9), que pueden causar enfermedades respiratorias. Un riesgo adicional reside en los disolventes de la pintura protectora que a menudo se utiliza para proteger los flancos o las inscripciones del neumático.

Una vez acabado, el neumático está listo para ser almacenado o expedido a su destino.

### Problemas de salud y seguridad

Los problemas de salud y seguridad en las instalaciones de fabricación de neumáticos siempre han sido y siguen siendo de la mayor importancia. A menudo, el impacto de los accidentes graves puede encubrir enfermedades asociadas a las exposiciones en el puesto de trabajo. A causa de los prolongados períodos de latencia, algunas enfermedades no son evidentes hasta después de que el trabajador ha abandonado su trabajo. Ocurre que muchas enfermedades ocasionadas por exposiciones laborales en plantas de fabricación de neumáticos no llegan a relacionarse jamás con el trabajo realizado. Pero enfermedades como el cáncer siguen siendo frecuentes entre los trabajadores de plantas de caucho.

Se han realizado numerosos estudios científicos con trabajadores de fábricas de neumáticos. En algunos de ellos se ha identificado un incremento de la mortalidad por cáncer de vejiga, estómago, pulmón, hematopoyético o de otros tipos. Dicho incremento no suele atribuirse a un producto químico concreto, sino a exposiciones prolongadas a diferentes sustancias químicas y/o a una combinación simultánea de varias de ellas. A menudo se producen cambios en la formulación de los materiales utilizados en la fabricación de neumáticos. Estos cambios en el tipo y la cantidad de los componentes constituyen una dificultad adicional para la detección de los agentes causales.

Otro problema de los trabajadores de las plantas de fabricación de neumáticos son las enfermedades o irritaciones respiratorias (opresión en el pecho, disnea, reducción de la función pulmonar y otros síntomas respiratorios). El enfisema es una de las causas más comunes de jubilación anticipada. Estos problemas son más comunes en las áreas de vulcanización, procesamiento (premezclado, pesado, mezclado y calentamiento de materias primas) y acabado final (inspección). En las zonas de procesamiento y vulcanización las exposiciones químicas se deben a menudo a una gran cantidad de elementos a niveles de exposición relativamente bajos. Muchos de los componentes individuales a que están expuestos los trabajadores no están regulados por los organismos gubernamentales y en muchos casos ni siquiera se ha investigado adecuadamente su toxicidad o carcinogenicidad. En los Estados Unidos, los trabajadores de estas áreas de las fábricas de neumáticos no suelen estar obligados a utilizar protección respiratoria. Hasta el momento no ha sido identificada una causa evidente de estos problemas respiratorios.

Muchos trabajadores en este tipo de plantas sufren dermatitis de contacto, sin que muchas veces este hecho se haya podido relacionar con una sustancia en particular. Algunos de los productos químicos relacionados con la dermatitis han dejado de utilizarse en la fabricación de neumáticos en Norteamérica, pero muchos de los productos químicos sustitutivos no están evaluados completamente.

Otros problemas identificados en la fabricación de neumáticos son los trastornos crónicos o acumulativos, como la

Figura 80.10 • Un elevador por vacío coloca las bolsas en el transportador de carga de un malaxador Banbury, evitando el dolor de espalda causado por la manipulación manual.



Ray C. Woodcock

tenosinovitis, el síndrome del túnel carpiano, la sinovitis, la pérdida de audición por ruido y otros trastornos causados por movimientos, vibraciones o presiones repetitivos. El proceso de fabricación de neumáticos conlleva, intrínsecamente, que gran parte de los trabajadores de producción tengan que efectuar excesivas y múltiples manipulaciones de material y productos. En algunos países ya se han introducido y se siguen introduciendo numerosas mejoras para solucionar este problema. Muchas de ellas han sido iniciativa de los trabajadores o de comités conjuntos empresa-trabajadores. En algunos casos se han introducido controles de ingeniería para la manipulación de materiales y productos (véase la Figura 80.10).

Debido en parte a la reestructuración de las plantillas, en muchas plantas de fabricación de neumáticos la edad media de los trabajadores va en aumento. También hay cada vez más plantas de fabricación de este tipo que operan de forma continua. En muchas instalaciones se realizan turnos de 12 horas y/o turnos rotativos. Se está estudiando la posible relación entre turnos de trabajo ampliados, edad y trastornos acumulativos.

## ● OTROS PRODUCTOS INDUSTRIALES

Ray C. Woodcock

El caucho tiene numerosas aplicaciones y en su producción intervienen procesos similares a los descritos para la fabricación de neumáticos. Sin embargo, en la fabricación de los productos industriales del caucho distintos de los neumáticos se utiliza una mayor variedad de polímeros y productos químicos que les confiere las propiedades necesarias (véase la Tabla 80.1). Los compuestos se diseñan cuidadosamente para reducir riesgos como la dermatitis y las nitrosaminas tanto durante la fabricación como en los productos que se utilizan en contacto directo con el

cuerpo (material quirúrgico, respiradores, tetinas de biberones, etc.). A menudo se utilizan equipos de procesamiento de menor escala que en la fabricación de neumáticos y con un mayor recurso al mezclado de compuestos. Las cubiertas de tejido y las membranas para vertederos controlados se fabrican en las calandrias de mayor tamaño del mundo. Algunas empresas están especializadas en el mezclado de compuestos de caucho siguiendo las especificaciones de otras empresas, que después lo procesan para fabricar diferentes productos.

Los *productos reforzados*, como correas de transmisión, pastillas para frenos o calzado, se fabrican a partir de caucho tratado en calandrias o tejidos o cuerdas recubiertos en un tambor giratorio o en un molde estático. Normalmente, para darle la forma final, se somete a vulcanización en un molde a presión utilizando en algunos casos presión de vapor y una cámara de aire como para los neumáticos. En los productos industriales distintos de los neumáticos, se emplean polímeros sintéticos que no son tan pegajosos como el caucho natural, por lo que se utiliza más disolvente para limpiar y conferir adherencia a las capas compuestas. En algunos casos, no se requiere el proceso de masticación, el paso por las calandrias ni la aplicación de disolventes o adhesivos, sino que se pasa directamente del mezclador a un extrusor de émbolo cruzado para dar forma al producto.

Los *productos no reforzados* se tratan y vulcanizan mediante molde a presión o inyección. Después, se tratan por extrusión, se vulcanizan en una estufa de aire caliente y se les da forma en un molde de compresión a partir de un tocho precortado. El caucho para esponja se fabrica añadiendo al compuesto agentes que liberan gases al ser calentados.

Las *mangueras de caucho* se fabrican trenzando, tejiendo o enrollando cuerda o alambre reforzado sobre un tubo extruido ayudado por presión neumática o un mandril sólido, y extruyendo después encima un tubo de recubrimiento. A continuación, se coloca una cubierta de plomo extruido o un revestimiento cruzado de nylon sobre la manguera para el molde por compresión, que se elimina después de la vulcanización, o bien la manguera se coloca en la parte descubierta del vulcanizador con vapor a presión. Cada vez se está sustituyendo más el plomo por un revestimiento cruzado de nylon o plástico extruido. La manguera curva para automóviles se corta y se introduce en mandriles moldeadores para su vulcanización; en algunos casos se están utilizando robots para realizar este pesado trabajo manual. También existe un proceso en el que se emplean virutas de fibra como refuerzo y una matriz móvil en el extrusor para moldear la manguera.

Los *adhesivos* mezcla de caucho y disolvente se utilizan como recubrimiento de tejidos en una gran cantidad de productos. Entre los disolventes habituales se encuentran el tolueno, el acetato de etilo y el ciclohexano. En algunos casos, el tejido se sumerge en adhesivo fino y, en otros, se puede formar el caucho en capas de varias micras aplicando adhesivo de mayor espesor bajo el filo de una cuchilla por encima de un cilindro. La vulcanización se realiza en equipos de rotación continua o en estufas de aire caliente protegidas contra la explosión. En la actualidad se están desarrollando procesos de látex para sustituir a los adhesivos en el recubrimiento de tejidos.

Los adhesivos de caucho también se utilizan como pegamentos. Disolventes habituales para estos productos son el hexano, el heptano, la nafta y el 1,1,1-tricloroetano, aunque el hexano está siendo progresivamente sustituido por su toxicidad.

El *látex* es una suspensión muy alcalina de caucho natural o sintético en agua. Con él pueden moldearse guantes y globos o también puede esponjarse el compuesto de látex para fabricar tejidos de fondo para alfombras, extruirse en solución coagulante de ácido acético y lavarse para fabricar hilos o bien extender sobre los tejidos. El producto se seca y se vulcaniza en

### Vulcanización en baño de sales

El tratamiento en baño de sales es un método de vulcanizado líquido (MVL) dentro de los métodos habituales de vulcanización continua (VC) que se utilizan para la fabricación de productos como tubos, mangueras y burlletes. El empleo de sales permite disponer de unidades de vulcanización de duración relativamente corta, presenta buenas propiedades de intercambio de calor y puede utilizarse a altas temperaturas (entre 177 y 260 °C). Además, la sal no produce oxidación superficial y es fácil de limpiar con agua. La vulcanización en baño de sales consta, como mínimo, de cuatro fases: alimentación del caucho a través de un extrusor refrigerado (o al vacío), paso por el baño de sales, aclarado/enfriado y, finalmente, cortado y procesado según la especificación correspondiente. En la primera fase, el extruido se sumerge en sal molida o se pulveriza con ella. La sal molida es una mezcla eutéctica (fácilmente fusible) de sales de nitrato y nitrito, con un 53 % de nitrato potásico, un 40 % de nitrito sódico y un 7 % de nitrato sódico. Por lo general, el baño de sales se encuentra en un recinto cerrado con las puertas de acceso en un lateral y resistencias eléctricas en el otro.

La principal desventaja del baño de sales MVL es que forma nitrosaminas, sustancias supuestamente cancerígenas. Estas sustancias químicas se forman cuando un nitrógeno (N) y un oxígeno (O) de un compuesto "nitrosificante" se unen al grupo nitrógeno (N) del grupo amino del compuesto aminado. Las sales de nitrato y nitrito utilizadas en el baño de sales actúan como agentes nitrosificantes y se unen con las aminas del compuesto de caucho para formar nitrosaminas. Entre los compuestos de caucho precursores de la nitrosamina se encuentran las sulfenamidas, las sulfenamidas secundarias, los ditiocarbamatos, los tiuramos y las dietilhidroxilaminas. Algunos compuestos del caucho contienen una nitrosamina como la nitrosodifenilamina (NDPhA), que actúa como retardante, o la dinitrosopentametileno tetramina (DNPT), que actúa como agente insuflante.

una estufa. El látex de caucho natural se utiliza de forma generalizada para fabricar guantes y otros materiales sanitarios. Para conseguir una superficie antiadherente se empolvan los guantes con almidón de trigo o se tratan con una solución de cloro, pues sin este tratamiento podrían entrar en combustión espontánea si se almacenasen en grandes cantidades en un lugar caliente.

### Riesgos y precauciones

Entre los riesgos inherentes al procesamiento del caucho se encuentran la exposición a superficies calientes, el vapor a presión, los disolventes, los agentes adyuvantes del proceso, los humos de vulcanización y los ruidos. Entre los agentes productores de polvo se encuentran los estearatos, el talco, la mica y el almidón de trigo. Los polvos orgánicos son explosivos. Durante el proceso de acabado se originan numerosos riesgos debidos a las operaciones de troquelado, cortado, trituración, adición de disolventes para tinta de impresión y lavados alcalinos o ácidos para el tratamiento de las superficies.

En cuanto a las precauciones que deben tomarse, se recomienda consultar los artículos "Controles de ingeniería" y "Seguridad" del presente capítulo.

Actualmente se encuentra en fase de desarrollo la vulcanización por microondas, láser y ultrasonido, con la intención de generar calor directamente dentro del caucho en lugar de transferir el calor de una forma ineficaz desde el exterior. La industria está intentando eliminar o encontrar alternativas menos peligrosas al plomo, los agentes empolvantes y los disolventes

Estas nitrosaminas son ligeramente cancerígenas, pero pueden "trans-nitrosificarse", es decir, transferir sus grupos nitrosos a otras aminas para formar más nitrosaminas cancerígenas. Entre las nitrosaminas detectadas en operaciones de baño de sales se encuentran la nitrosodimetilamina (NDMA), la nitrosopiperidina (NPIP), la nitrosomorfolina (NMOR), la nitrosodietilamina (NDEA) y la nitrosopirrolidina (NPYR).

En Estados Unidos, tanto la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) como la NIOSH consideran que la NDMA es un producto cancerígeno ocupacional, aunque ninguna de ellas ha fijado un límite de exposición. En Alemania existe una estricta normativa para la exposición profesional a las nitrosaminas: en la industria en general la exposición total a la nitrosamina no debe ser superior a 1 µg/m<sup>3</sup>. En determinados procesos, como la vulcanización del caucho, la exposición total a la nitrosamina no puede ser superior a 2,5 µg/m<sup>3</sup>.

En operaciones de VC es posible evitar la formación de nitrosaminas reformulando los compuestos de caucho o utilizando un método de VC distinto del baño de sales, como aire caliente con perlas de vidrio o vulcanizado con microondas. Estas opciones requieren todavía una fase de investigación y desarrollo para poder garantizar que el producto final dispone de las mismas propiedades que el producto de caucho anterior. Otra forma de reducir la exposición es proceder a la aspiración local. No sólo el baño de sales tiene que estar cerrado y ventilado correctamente, sino que también otras áreas a lo largo de la línea, como las zonas de corte o estampado del producto, requieren controles que garanticen que la exposición del trabajador se mantiene a niveles bajos.

**Beth Donovan Reh**

orgánicos volátiles, así como conseguir compuestos con propiedades mejores y más seguras durante su procesamiento y utilización.

## 1,3-BUTADIENO

**Ronald L. Melnick**

El 1,3-butadieno, gas incoloro que se obtiene como producto secundario de la fabricación del etileno, es muy utilizado como materia prima para la fabricación de caucho sintético (p. ej., caucho de estireno-butadieno (SBR) y caucho de polibutadieno) y de resinas termoplásticas.

### Efectos sobre la salud

*Estudios en animales.* El butadieno inhalado produce cáncer en diferentes lugares del organismo de las ratas y de los ratones. En las ratas expuestas al butadieno en dosis de 0, 1.000 u 8.000 ppm durante 2 años se observó un aumento de la incidencia tumoral y/o de la tendencia dosis-respuesta en el páncreas exocrino, los genitales y el cerebro en los machos y en las glándulas mamarias, la tiroidea, el útero y la glándula Zymbal en las hembras. Se han realizado estudios de inhalación de butadieno en ratones utilizando dosis entre 6,25 y 1.250 ppm. En los ratones resultó especialmente interesante la inducción de linfomas malignos y hemangiosarcomas de corazón. Se indujeron asimismo tumores malignos de pulmón a todas las concentraciones de exposición y

tumores en el hígado, el estómago, la glándula de Harder, los ovarios, las glándulas mamarias y la glándula prepucial. Entre los efectos no neoplásicos de la exposición al butadieno en ratones se encuentran la toxicidad de la médula espinal, la atrofia testicular, la atrofia de ovarios y la toxicidad de desarrollo.

El butadieno es genotóxico para las células de la médula espinal de los ratones, aunque no de las ratas, produciéndose un aumento del intercambio de cromátidas hermanas, de los micronúcleos y de las aberraciones cromosómicas. El butadieno es asimismo mutagénico a la *Salmonella typhimurium* en presencia de sistemas de activación metabólica. La actividad mutagénica del butadieno se ha atribuido a su metabolismo para dar productos intermedios epóxidos mutagénicos (y carcinogénicos).

*Estudios en personas.* Los estudios epidemiológicos realizados en personas han puesto de manifiesto un incremento de la mortalidad por cánceres linfático y hematopoyético asociado a exposiciones a butadieno en el trabajo. En la industria de producción de butadieno, se detectó un aumento de linfomas en trabajadores que habían comenzado a trabajar antes de 1946. En un estudio de caso sobre el control de los cánceres linfático y hematopoyético en ocho fábricas de SBR se identificó una estrecha relación entre la mortalidad por leucemia y la exposición al butadieno. Entre las características comunes de estos casos de leucemia se encontraba el hecho de que la mayoría de los pacientes habían comenzado a trabajar antes de 1960, habían trabajado en tres plantas y durante un mínimo de 10 años. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado el 1,3-butadieno como presunto agente cancerígeno para el hombre (IARC 1992).

Un estudio epidemiológico reciente ha aportado datos que confirman el incremento de la mortalidad por leucemia entre trabajadores de SBR expuestos al butadieno (Delzell y cols. 1996). Resulta especialmente significativa la correspondencia entre los linfomas inducidos en ratones expuestos al butadieno y los cánceres linfático y hematopoyético asociados a la exposición laboral al butadieno. Además, las estimaciones de riesgo de cáncer en el hombre obtenidas tomando como base los datos sobre los linfomas inducidos por butadieno en ratones son similares a las estimaciones de riesgo de leucemia determinadas a partir de los nuevos datos epidemiológicos.

### Riesgo industrial y medidas de control

A mediados del decenio de 1980, el US National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) realizó un estudio sobre la exposición en las industrias en que se produce y se utiliza el butadieno. Los valores obtenidos eran superiores a 10 ppm en el 4 % de las muestras e inferiores a 1 ppm en el 81 % de las mismas. Los riesgos no eran homogéneos dentro de cada categoría específica de trabajo y se obtuvieron desviaciones de hasta 370 ppm. La exposición al butadieno fue probablemente muy superior durante la segunda Guerra Mundial, momento en que la industria del caucho estaba en rápido crecimiento. Sin embargo, un muestreo limitado a las plantas de fabricación de neumáticos de caucho y mangueras arrojó resultados por debajo del límite de detección (0,005 ppm) (Fajen, Lunsford y Roberts 1993).

Las exposiciones al butadieno pueden reducirse comprobando que los componentes de los sistemas de circuito cerrado no estén gastados o incorrectamente conectados. Otras medidas para controlar riesgos potenciales pueden ser el uso de sistemas de circuito cerrado para el muestreo de cilindros, el uso de juntas mecánicas duales para controlar escapes de bombas con fugas, el uso de indicadores magnéticos para supervisar las operaciones de llenado de vagones y el uso de una campana de laboratorio para el vaciado de cilindros.

## CONTROLES DE INGENIERIA

Ray C. Woodcock

En la fabricación de neumáticos y otros productos de caucho los trabajadores están expuestos a numerosos productos químicos, como polvos, sólidos, aceites y polímeros utilizados en la mezcla de compuestos, polvos antiadherentes, neblinas, humos y vapores generados al calentar y vulcanizar los compuestos de caucho y disolventes utilizados para los adhesivos y agentes adyuvantes de proceso. En la mayoría de los casos todavía se desconocen sus efectos sobre la salud, excepto que suelen ser de naturaleza crónica y no aguda a los niveles típicos de exposición. Normalmente, los controles de ingeniería tienen por objetivo reducir de forma general el nivel de polvo, las emisiones del caucho calentado o los humos de vulcanización. Cuando el trabajador está expuesto a productos químicos, a disolventes o a agentes (ruido) localizados y reconocidos como dañinos, los esfuerzos de control pueden dirigirse de forma más específica, llegando en muchos casos a eliminar por completo la exposición.

En la fabricación del caucho tal vez la forma más efectiva de controlar los riesgos sea eliminar o sustituir los materiales nocivos. Así, por ejemplo, en el decenio de 1950 se detectó que la -naftilamina contenida como impureza en un antioxidante provocaba cáncer de vejiga, por lo que se prohibió su uso. El benceno era antiguamente un disolvente habitual, pero en el decenio de 1950 fue sustituido por la nafta, o gasolina blanca, con un contenido de benceno reducido (del 4-7 % a menos del 0,1 % de la mezcla). El heptano se ha utilizado para sustituir al hexano, obteniéndose rendimientos iguales o incluso superiores. En el vulcanizado de mangueras el revestimiento de plomo está siendo sustituido por otros materiales. En el diseño de los compuestos del caucho se está intentando reducir los efectos de la dermatitis debida a la manipulación de los productos, así como la formación de nitrosaminas durante la vulcanización. Los talcos utilizados como antiadherentes se seleccionan atendiendo a un bajo contenido en amianto y sílice.

### Mezclado de los compuestos del caucho

Se recurre a la aspiración localizada para controlar el polvo, la neblina y los humos que se producen durante la preparación y el mezclado de los compuestos del caucho y en los procesos de acabado, que comprenden el pulido y esmerilado de los productos del caucho (véase la Figura 80.11). Con prácticas operativas y diseños de ventilación adecuados, la exposición al polvo es, por lo general, inferior a 2 mg/m<sup>3</sup>. El mantenimiento efectivo de filtros, campanas y equipos mecánicos es un factor esencial del control de ingeniería. Los manuales sobre ventilación de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists y del Rubber and the Plastics Research Association of Great Britain (ACGIH 1995) incluyen diseños específicos de campanas.

Tradicionalmente, los productos químicos para el mezclado se vierten desde las tolvas a pequeñas bolsas colocadas sobre la balanza de pesada, que, a continuación, se sitúan en un transportador y se vierten en el mezclador o laminador. La exposición al polvo se controla mediante una campana de aspiración con ranuras situada detrás de la balanza (véase la Figura 80.12) y en algunos casos mediante campanas con ranuras junto a las tolvas de mezcla. El control del polvo en este proceso se mejora sustituyendo los polvos por partículas de mayor tamaño o gránulos, mezclando los ingredientes en una sola bolsa (a menudo termosellada) y suministrando los compuestos de forma automática desde la tolva de almacenamiento a la bolsa o directamente al mezclador. Las prácticas de trabajo del operario

Figura 80.11 • Una campana de aspiración controla los humos producidos durante el acabado de un tubo en una fábrica industrial de caucho en Italia.



también influyen considerablemente en el nivel de exposición al polvo.

El malaxador Banbury requiere una amplia y eficaz campana para apresar el polvo de la carga y los humos y la neblina de aceite procedentes de la mezcla de caucho caliente. Campanas bien diseñadas pueden verse afectadas por corrientes procedentes de los ventiladores de pie utilizados por el operario. Para transportar bolsas desde la carretilla al transportador de carga a veces se utilizan equipos eléctricos.

Figura 80.12 • Aspiración local en una estación de pesado de compuestos.



Los laminadores disponen de campanas de aspiración que recogen las emisiones de neblina aceite, vapores y humos procedentes del caucho caliente. En estas campanas, salvo que estén dotadas de un cerramiento adicional, la recogida de polvo resulta menos efectiva cuando se mezclan compuestos en el laminador o éste se empolva con polvos antiadherentes (véase la Figura 80.13). También estas campanas son sensibles a las corrientes procedentes de ventiladores de pie o al aire generado por una ventilación general mal direccionada. En ocasiones, se recurre a un sistema de empuje y arrastre que genera una cortina de aire delante del operario dirigida hacia la campana. A menudo, los laminadores se elevan para situar el estrechamiento entre cilindros fuera del alcance del operario y disponen de un cable o una barra delante del operario que interrumpe el funcionamiento del laminador en caso de emergencia. Los operarios utilizan guantes gruesos, que protegen los dedos si la mano queda atrapada en el estrechamiento entre cilindros.

Las placas de caucho procedentes de laminadores y calandrias se recubren para evitar que se adhieran entre sí. Esta operación se realiza a veces empolvando el caucho, aunque actualmente se suele hacer mediante inmersión en un baño de agua con un compuesto antiadherente (véase la Figura 80.14), lo que reduce considerablemente la exposición al polvo y mejora el mantenimiento.

El polvo y los humos se conducen a un precipitador de polvos o a colectores de polvo tipo cartucho. En las grandes instalaciones se dispone de un circuito de retorno de aire, en cuyo caso hay que disponer de equipos de detección de fugas que garanticen la eliminación de los contaminantes presentes en el aire. En algunos casos, los olores de ingredientes como la cola animal hacen desaconsejable la recirculación del aire. Debido a que el polvo de caucho es fácilmente combustible, es importante tener en cuenta la protección contra incendios y explosiones en las tuberías y en los colectores de polvo. Los polvos sulfúricos y explosivos, como el almidón de trigo, también exigen medidas especiales de seguridad contra incendios.

Figura 80.13 • Una cortina colocada alrededor de una campana de aspiración sobre un laminador ayuda a controlar el polvo.

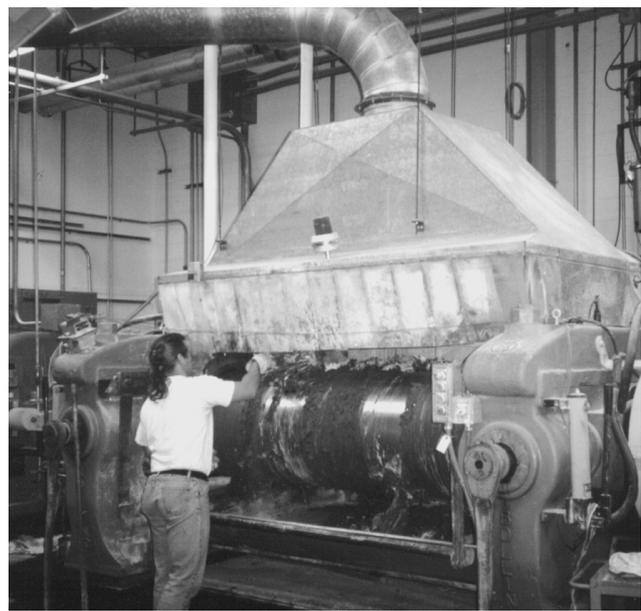


Figura 80.14 • Una plancha de caucho procedente de un laminador Banbury pasa por un baño de agua donde se le aplica un compuesto antiadherente.



Ray C. Woodcock

### Procesamiento del caucho

Sobre los émbolos de extrusión se suelen utilizar aspiradores locales para recoger la neblina y los vapores procedentes de la extrusión en caliente, que a continuación pueden enfriarse en un baño de agua para eliminar así las emisiones. Las campanas de aspiración también se utilizan en las fábricas en otros muchos puntos de emisión, como pulidores, tanques de inmersión y equipos de pruebas de laboratorio, donde resulta fácil apresar en la fuente los contaminantes atmosféricos.

El diseño de las estaciones de moldeo de neumáticos y otros productos dificulta, por lo general, la instalación de aspiradores localizados. Para mantener un nivel bajo de riesgo es importante guardar los disolventes en depósitos cerrados, respetar unas prácticas operativas cuidadosas y mantener un volumen de aire de dilución adecuado en el área de trabajo. Para reducir al mínimo el contacto de los productos con la piel se deben utilizar guantes y herramientas auxiliares.

Al abrir los vulcanizadores, se libera una gran cantidad de humo caliente. La parte más visible de la emisión es neblina de aceite, aunque la mezcla contiene otros muchos compuestos orgánicos. Actualmente, la ventilación de dilución es la medida de control más utilizada y a menudo se combina con campanas de aspiración o cerramientos de cortinas sobre el vulcanizador o los grupos de prensas. Esta ventilación requiere un gran volumen de aire por lo que, si no se aporta suficiente aire auxiliar, puede interrumpirse su funcionamiento y el de las campanas de aspiración conectadas entre edificios o secciones. Los trabajadores deben trabajar fuera de la campana o del cerramiento. En caso de que tengan que colocarse debajo de la propia campana, pueden disponerse ventiladores de corriente descendente encima del puesto de trabajo o introducirse por los laterales de los cerramientos aire que no vaya dirigido a la campana de aspiración. En Gran Bretaña, la exposición laboral a los humos de la vulcanización del caucho está limitada a  $0,6 \text{ mg/m}^3$  de material soluble en ciclohexano, nivel fácil de

conseguir con unas buenas prácticas y un diseño de ventilación adecuado.

En la fabricación y aplicación de adhesivo de caucho, los disolventes deben cumplir unos requisitos especiales de control de ingeniería. Los agitadores de mezclado deben estar cerrados y conectados a un sistema de recuperación de disolventes y, mediante la ventilación de dilución, se deben controlar los niveles de vapor en el área de trabajo. La máxima exposición para el operario se produce cuando limpia los agitadores. Durante la aplicación del adhesivo de caucho al tejido, la exposición depende de factores como la aspiración localizada en los puntos de emisión, el cierre de los depósitos, la ventilación general en el lugar de trabajo y una ventilación auxiliar dirigida de forma adecuada. Las estufas de secado disponen de aspiración directa y en algunos casos se introduce aire en ellas antes de la aspiración.

Los sistemas de recuperación de disolventes mediante adsorción por carbono son los dispositivos de limpieza de aire más habituales. El disolvente así recuperado se devuelve al proceso. La normativa de protección contra incendios exige que la concentración de vapor inflamable en la estufa se mantenga por debajo del 25 % del límite inferior de explosión (LIE), salvo que se disponga de controles automáticos de seguimiento continuo que garanticen que la concentración de vapor no excede el 50 % del LIE (NFPA 1995).

Al automatizar los procesos y los equipos se reduce la exposición del operario a los agentes físicos y a los contaminantes transportados por el aire, ya que puede situarse éste a mayor distancia, confinarse la fuente o reducir la generación del riesgo. Otra de las ventajas importantes de la automatización de los procesos y de la manipulación de materiales es la reducción del esfuerzo físico.

### Control de ruidos

Las exposiciones significativas a ruidos suelen proceder de equipos como trenzadoras y trituradoras de correa, salidas de aspiración de aire y fugas de aire comprimido o de vapor. Los cerramientos acústicos resultan efectivos para trenzadoras y trituradoras. En cuanto a las salidas de aspiración de aire, son muy útiles los silenciadores disponibles en el mercado. En algunos casos, las salidas confluyen en un colector común que realiza la evacuación total al lugar adecuado. El ruido emitido por las fugas de aire puede reducirse mejorando el mantenimiento, el cerramiento, el diseño o las buenas prácticas, con lo que se limita el ciclo de ruido.

### Prácticas operativas

Para evitar las dermatitis y las alergias al caucho es necesario evitar el contacto con los productos químicos del caucho y con los lotes de caucho en bruto. Si los controles de ingeniería son insuficientes, deben utilizarse guantes largos, o guantes normales con camisas de manga larga, para que los polvos y las planchas de caucho no entren en contacto con la piel. La ropa de trabajo no debe mezclarse con la de calle. Para eliminar de la piel posibles contaminantes residuales se recomienda ducharse al quitarse la ropa de trabajo.

Con el fin de reducir las exposiciones peligrosas en el lugar de trabajo puede ser necesario en algunos casos utilizar protectores para oídos y vías respiratorias. Sin embargo, según recomiendan las buenas prácticas, es conveniente dar siempre prioridad a la sustitución o la adopción de nuevas soluciones de ingeniería frente a estas opciones, para reducir las exposiciones peligrosas en el lugar de trabajo.

## ● SEGURIDAD

*James R. Townhill*

### Seguridad en los laminadores

Los laminadores y las calandrias se utilizan de forma generalizada en toda la industria del caucho. Los accidentes por atrapamiento entre los cilindros giratorios representan el principal peligro durante el funcionamiento de estas máquinas, aunque también existe un peligro potencial de accidente durante la reparación y el mantenimiento de éstas y otras máquinas utilizadas en la industria del caucho. En el presente artículo se analizan estos riesgos.

En 1973 en Estados Unidos, el National Joint Industrial Council for the Rubber Manufacturing Industry concluyó que la instalación de un mecanismo de seguridad que tenga que ser activado por el trabajador no puede considerarse una solución efectiva para evitar los accidentes por atrapamiento en la línea de estrechamiento entre cilindros. Esto es especialmente cierto en el caso de los laminadores de la industria del caucho. Por desgracia, se ha hecho poco por modificar la normativa. Actualmente, sólo existe un tipo de mecanismo de seguridad que no es activado por el propio operario: la barra de cuerpo, que es el único mecanismo automático de amplia aceptación que resulta efectivo para evitar los accidentes en los laminadores. Sin embargo, incluso la barra de cuerpo presenta limitaciones y no puede utilizarse en todos los casos, salvo que se realicen las modificaciones oportunas en el equipo y en las prácticas operativas.

El problema de la seguridad en los laminadores no es fácil de resolver, ya que en él intervienen factores como:

- la altura del laminador
- la estatura del operario
- el equipo auxiliar
- el modo de funcionamiento del laminador
- la adherencia o pegajosidad de la mezcla
- la distancia de parada.

La altura del laminador determina la colocación del operario en la zona de trabajo. En laminadores de menos de 1,27 m de altura, y si la estatura del operario es superior a 1,68 m, se tiende a trabajar demasiado alto en el laminador o demasiado cerca del estrechamiento entre cilindros, por lo que el mecanismo automático de seguridad dispone de un tiempo de reacción muy corto para interrumpir el funcionamiento del equipo.

La estatura del operario determina asimismo la distancia a la que éste tiene que acercarse al laminador para hacerle funcionar. En un mismo laminador pueden trabajar operarios de muy diferente estatura y en la mayoría de los casos no se realizan los ajustes necesarios en el mecanismo de seguridad de la máquina.

Los equipos auxiliares de transporte o de carga interfieren con frecuencia con los cables o las cuerdas de seguridad. A pesar de que la normativa lo prohíbe, a menudo se desplazan estas cuerdas o cables de seguridad para permitir el funcionamiento de los equipos auxiliares, llegando a darse el caso de que el operario esté trabajando en el laminador con el cable de seguridad por detrás de su cabeza.

Además de la altura del laminador y de los equipos auxiliares, existen otros factores que influyen en el funcionamiento de un laminador. Cuando no existe un cilindro de mezclado debajo del mezclador para distribuir el caucho de forma uniforme en el laminador, el operario tiene que mover manualmente el caucho de un lado a otro del laminador. El operario, además del riesgo de atrapamiento en el estrechamiento entre los cilindros del

laminador, está expuesto a un riesgo de sobreesfuerzo y de esguinces en las operaciones de mezclado y desplazamiento del caucho.

La viscosidad o pegajosidad de la mezcla representa un riesgo adicional. Si el caucho se adhiere al cilindro del laminador y el operario tiene que separarlo, la barra de seguridad de cuerpo se convierte en un peligro para la seguridad. Los operarios de laminadores con caucho caliente están obligados a llevar guantes y además utilizan cuchillas. La mezcla pegajosa puede adherirse a una cuchilla, a un guante o a la mano y arrastrarlo hacia el estrechamiento.

Tampoco será efectivo el mecanismo automático de seguridad si no es posible detener el laminador antes de que el cuerpo del operario llegue al estrechamiento. Deben comprobarse las distancias de parada semanalmente como mínimo y los frenos al comienzo de cada turno. Los frenos eléctricos dinámicos deben comprobarse de forma regular. Si el conmutador cero no está ajustado adecuadamente, el laminador se balanceará y se estropeará. En algunas situaciones son preferibles los frenos de disco. En el caso de los frenos eléctricos pueden surgir problemas si el operario activa el botón de parada del laminador y a continuación intenta una parada de emergencia del mismo. En algunos laminadores, la parada de emergencia no funciona si se ha activado antes el botón de parada.

Algunas medidas han mejorado la seguridad en los laminadores, y las que se indican a continuación, en especial, han reducido considerablemente el riesgo por atrapamiento en el estrechamiento entre los cilindros del laminador:

- utilizar una barra de seguridad al nivel de cuerpo en el frente de trabajo del laminador, pero sólo si ésta es ajustable en altura y distancia con respecto al operario;
- los frenos de un laminador pueden ser mecánicos o eléctricos, pero deben comprobarse después de cada turno. La distancia de parada se comprobará semanalmente y debe cumplir las recomendaciones de la American National Standards Institute (ANSI);
- si en los laminadores de mezclado se trabaja con una mezcla pegajosa caliente, el sistema de laminador único se sustituirá por uno doble. Esto reduce la exposición del operario y mejora el mezclado;
- si el operario tiene que desplazar la mezcla de un lado a otro del laminador, se añadirá un cilindro de mezclado para reducir la exposición del operario;
- se han revisado las prácticas actuales de trabajo en los laminadores para garantizar que el operario no trabaje demasiado cerca del estrechamiento entre cilindros. Esto incluye la instalación de pequeños laminadores de laboratorio, especialmente si la muestra debe pasar varias veces a través de los cilindros;
- en los laminadores se han añadido cargadores de mezcla. Esto ha eliminado la práctica de cargar los laminadores utilizando una carretilla elevadora y mejorado la efectividad de la barra de seguridad.

Actualmente, la tecnología permite mejorar la seguridad en los laminadores. En Canadá, por ejemplo, está prohibido manejar un laminador de caucho si no dispone de una barra de seguridad en el área de trabajo o en el frente del laminador. Los países que compran equipos usados a otros países deben ajustarlos para adecuarlos a las características de sus trabajadores.

### Seguridad en las calandrias

Las calandrias y el equipo auxiliar presentan diseños muy diferentes, lo que dificulta los estudios específicos de seguridad. Para un estudio más detallado se recomienda consultar el National Joint Industrial Council for the Rubber Manufacturing Industry (1959, 1967).

Por desgracia, cuando se traslada una calandria o cualquier otro equipo de una empresa a otra o de un país a otro no suele incluirse un registro de los accidentes ocurridos con el mismo. Esto da lugar a la supresión de mecanismos de protección y a la adopción de prácticas operativas que habían sido modificadas a causa de un accidente anterior, por lo que vuelven a repetirse accidentes que ya habían tenido lugar anteriormente. Otro problema es el idioma. Las máquinas con controles e instrucciones en un idioma extranjero hacen más difícil una práctica de seguridad.

Ha aumentado la velocidad de funcionamiento de las calandrias, pero su capacidad de frenado no siempre ha seguido el mismo ritmo de avance, lo que resulta especialmente cierto por lo que se refiere a los cilindros de estos equipos. Cuando éstos no puedan detenerse a la distancia recomendada, será necesario utilizar un mecanismo adicional para proteger al operario. En caso necesario, las calandrias deben disponer de un sensor que reduzca la velocidad de la máquina cuando una persona se acerque a los cilindros. Este mecanismo ha resultado muy efectivo para mantener a los empleados a cierta distancia de los cilindros durante el funcionamiento de la máquina.

El National Joint Industrial Council ha identificado otros puntos importantes que siguen siendo causa de accidentes:

- eliminación de atascos y ajustes de material;
- atrapamiento en el estrechamiento entre cilindros, especialmente al despegar las planchas de caucho;
- introducción del tocho,
- comunicación.

Un programa efectivo de interrupción (véase más adelante) ayuda mucho a reducir o eliminar los accidentes que se producen al eliminar atascos o ajustar el material mientras la máquina está en funcionamiento. Los sensores que reducen la velocidad de los cilindros cuando el operario se acerca a ellos pueden disuadirle de intentar ajustar el material.

Los accidentes por atrapamiento en el estrechamiento siguen siendo un problema, especialmente al despegar las planchas de caucho. La velocidad de despegue de las planchas de caucho debe poder ajustarse para permitir una puesta en marcha progresiva del cilindro y han de existir mecanismos de seguridad para casos de emergencia. Un mecanismo que reduzca la velocidad del cilindro cuando alguien se aproxima a él tenderá a disuadir al operario en su intento de ajustar un calce de separación o un tejido durante el despegue de las planchas de caucho. Los cilindros telescópicos constituyen una tentación especial, incluso para operarios con experiencia.

Los accidentes durante la introducción del tocho han aumentado al aumentar también la velocidad y la complejidad del tren de las calandrias y la cantidad de equipo auxiliar. Aquí resulta fundamental la existencia de un control de línea y una buena comunicación. El operario puede no estar en situación de ver a todo el equipo. Sin embargo, hay que tener en cuenta a todas las personas, y la comunicación entre ellas debe ser fluida.

La necesidad de una buena comunicación entre los miembros de un equipo es fundamental para un funcionamiento seguro. Los momentos críticos tienen lugar cuando se realizan los ajustes y cuando se pone en marcha la máquina al comienzo de un proceso o después de una interrupción debida a un problema.

Para resolver estos problemas son necesarios: un buen trabajo en equipo, cuyos miembros sean conscientes de los problemas operativos de las calandrias; un sistema de mantenimiento de los mecanismos de seguridad en condiciones operativas; y un sistema de supervisión de ambos.

### Sistema de interrupción de las máquinas

El concepto de interrupción del funcionamiento de las máquinas no es nuevo. Aunque está generalmente aceptado en los programas de mantenimiento, poco se ha hecho para mejorar su introducción en el área operativa. Un primer paso es reconocer que hay riesgo. Una norma típica de interrupción de funcionamiento exige que “cuando se sospeche que un movimiento del equipo o una liberación de energía imprevistos pueden ocasionar una lesión a un trabajador, se interrumpirá el funcionamiento del equipo”. El concepto de interrupción no se refiere exclusivamente a la energía eléctrica, y tampoco es posible a veces cortar toda la energía; en algunos casos, basta con bloquear la posición de algunas piezas y, en otros, con desconectar y cerrar las tuberías, liberando la presión acumulada. Aunque en algunas industrias el concepto de interrupción está considerado como algo normal, en otras no ha sido aceptado a causa de su alto coste.

En las interrupciones resulta básico el control. Cuando una persona corre un peligro al realizar un movimiento, deben desactivarse las fuentes de energía y socorrer a la persona en cuestión. No es fácil identificar las situaciones que requieren una interrupción e, incluso una vez identificadas, no es sencillo modificar las prácticas operativas.

Otra de las claves, a menudo olvidada, de un programa de interrupción es la facilidad con que puede interrumpirse una máquina, una línea o toda la energía. Los equipos antiguos no se diseñaron o instalaron teniendo en cuenta esta posibilidad. Algunas máquinas instaladas disponen de un solo freno para un grupo de ellas. Otras disponen de varias fuentes de energía, lo que complica la interrupción de su funcionamiento. A esto hay que añadir que a menudo se modifican los frenos de los cuartos de control de máquinas o se añaden equipos nuevos, y la documentación de estos cambios no siempre se mantiene actualizada.

En la industria del caucho está generalmente aceptada la práctica de la interrupción del funcionamiento. Aunque el concepto de protección ante los peligros de un movimiento imprevisto no es nuevo, el uso generalizado de la interrupción sí lo es. En el pasado, el personal de mantenimiento aplicaba formas de protección diferentes, que debido a presiones de producción no siempre resultaban coherentes y, por tanto, eficaces. En algunos equipos industriales la práctica de un programa de interrupción es compleja y no siempre resulta fácilmente comprensible.

La prensa de moldeo de neumáticos es un ejemplo de falta de consenso sobre el momento y el método de interrupción. Si bien se admite la interrupción completa de una prensa para una reparación importante, no hay consenso, en cambio, sobre la interrupción de su funcionamiento en caso de cambio y limpieza de moldes, cambio de cámaras de aire o eliminación de atascos.

La máquina de fabricación de neumáticos es otro ejemplo. Muchos de los accidentes en esta área de trabajo no son sufridos por el personal de mantenimiento, sino por operarios y técnicos que realizan operaciones de ajuste, cambio de tambores, carga o descarga de mezclas, eliminación de atascos o limpieza de los equipos.

Es difícil disponer de un programa de interrupción adecuado cuando se trata de una operación compleja y tiene un alto coste en tiempo. Siempre que sea posible, los dispositivos de desconexión deben estar situados en el mismo equipo, lo que facilita su identificación y elimina o reduce la posibilidad de que algún operario se encuentre en la zona de peligro cuando se vuelve a conectar la energía del equipo. Aun cuando se hayan realizado cambios para facilitar su identificación, no puede considerarse nunca una interrupción como completa hasta que no se ha comprobado que se han utilizado los dispositivos de aislamiento de energía correctos. Cuando se utilicen cables

eléctricos, debería comprobarse después de la desconexión que realmente toda la energía ha sido desconectada.

En un programa efectivo de interrupción se deben cumplir las premisas siguientes:

- el diseño del equipo ha de facilitar una interrupción de todas las fuentes de energía;
- las fuentes de interrupción deben ser fácilmente identificables;
- deben identificarse las prácticas operativas que requieren una interrupción;
- todos los trabajadores afectados por una interrupción deben recibir formación en esta práctica;
- los trabajadores encargados de realizar la interrupción deben disponer de la formación adecuada y ser avisados cuando se va a producir la interrupción. El incumplimiento de estas medidas es inaceptable bajo cualquier circunstancia;
- el programa debe ser auditado de forma regular para garantizar su efectividad.

## ● ESTUDIOS EPIDEMIOLOGICOS

*Robert Harris*

En los decenios de 1920 y 1930, algunos estudios realizados en el Reino Unido demostraron que los trabajadores del caucho presentaban unas tasas de mortalidad más altas que la población general, y que ese incremento de la mortalidad era producido por el cáncer. Dado que en la fabricación de los productos del caucho se utilizan miles de materiales diferentes era difícil saber cuáles podían estar relacionados con el aumento de la mortalidad. Una seria preocupación por la salud de los trabajadores de la industria del caucho llevó al establecimiento de programas conjuntos entre empresas y sindicatos con el fin de investigar la salud laboral en la industria norteamericana del caucho. Dichos programas fueron puestos en práctica por las Universidades de Harvard y Carolina del Norte. Los programas de investigación se prolongaron durante el decenio de 1970 para, a continuación, ser sustituidos por programas, patrocinados conjuntamente por empresas y sindicatos, de mantenimiento y supervisión de la salud, basados, al menos en parte, en los resultados obtenidos en estas investigaciones.

El trabajo de investigación realizado por la Universidad de Harvard se centró básicamente en la mortalidad en la industria del caucho (Monson y Nakano 1976a, 1976b; Delzell y Monson 1981a, 1981b; Monson y Fine 1978) y en la morbilidad respiratoria entre los trabajadores de esta industria (Fine y Peters 1976a, 1976b, 1976c; Fine y cols. 1976). Los resultados de los trabajos de investigación fueron publicados por Peters y cols. en 1976.

El grupo de la Universidad de Carolina del Norte se centró en una investigación de tipo epidemiológico y medioambiental. Los estudios iniciales fueron básicamente de carácter descriptivo sobre la mortalidad y las condiciones de trabajo de los trabajadores del caucho (McMichael, Spirtas y Kupper 1974; McMichael y cols. 1975; Andjelkovich, Taulbee y Symons 1976; Gamble y Spirtas 1976; Williams y cols. 1980; Van Ert y cols. 1980). Sin embargo, el centro de la investigación lo constituyeron los estudios analíticos sobre la relación entre riesgo laboral y enfermedad (McMichael y cols. 1976a; McMichael y cols. 1976b; McMichael, Andjelkovich y Tyroler 1976; Lednar y cols. 1977; Blum y cols. 1979; Goldsmith, Smith y McMichael 1980; Wolf y cols. 1981; Checkoway y cols. 1981; Symons y cols. 1982; Delzell, Andjelkovich y Tyroler 1982; Arp, Wolf y Checkoway 1983; Checkoway y cols. 1984; Andjelkovich y cols. 1988). Especialmente interesantes fueron los resultados obtenidos al estudiar

la relación entre la exposición a vapores de disolventes de hidrocarburos y el cáncer (McMichael y cols. 1975; McMichael y cols. 1976b; Wolf y cols. 1981; Arp, Wolf y Checkoway 1983; Checkoway y cols. 1984) y la relación entre la exposición a partículas transportadas por el aire y las enfermedades pulmonares (McMichael, Andjelkovich y Tyroler 1976; Lednar y cols. 1977).

En la Universidad de Carolina del Norte, los estudios analíticos iniciales sobre la leucemia entre los trabajadores del caucho pusieron de manifiesto la existencia de una tasa más elevada de presencia entre los trabajadores con un historial de trabajo con disolventes (McMichael y cols. 1975). La exposición al benceno, disolvente antiguamente habitual en la industria del caucho, fue reconocida rápidamente como causa de la leucemia. Sin embargo, un análisis más detallado demostró que los casos de leucemia eran, por lo general, de tipo linfocítico, mientras que la exposición al benceno se había relacionado normalmente con la de tipo mieloblástico (Wolf y cols. 1981). Se sospechó entonces que en este proceso podía intervenir tal vez otro agente distinto del benceno. Una investigación detallada del empleo de los disolventes y de las fuentes de suministro en una conocida empresa demostró que los disolventes extraídos del carbón, incluido el benceno y el xileno, estaban mucho más relacionados con la leucemia linfocítica que los extraídos del petróleo (Arp, Wolf y Checkoway 1983). Los disolventes extraídos del carbón están, por lo general, contaminados con hidrocarburos aromáticos polinucleares, incluidos los compuestos que se ha demostrado que causan leucemia linfocítica en animales de experimentación. Otros análisis de este estudio pusieron de manifiesto que la leucemia linfocítica estaba mucho más relacionada con la exposición al disulfuro de carbono y al tetracloruro de carbono que con la exposición del benceno (Checkoway y cols. 1984). La exposición al benceno es peligrosa y debe ser eliminada o minimizada al máximo en el puesto de trabajo. Sin embargo, concluir que suprimiendo el uso del benceno en los procesos del caucho se eliminará el exceso de leucemia, especialmente la de tipo linfocítico, entre los trabajadores de esta industria quizá no sea correcto.

Estudios realizados por la Universidad de Carolina del Norte sobre trabajadores del caucho jubilados por incapacidad demostró que los que tenían un historial de trabajo en tareas de vulcanización, preparación de la vulcanización, acabado e inspección tenían más tendencia a padecer enfermedades pulmonares invalidantes, como el enfisema, que los trabajadores de otras áreas (Lednar y cols. 1977). Las áreas de trabajo mencionadas presentan una exposición a polvos y humos que pueden ser inhalados. En estos estudios se encontró que en las personas fumadoras se duplicaba, por lo general, el riesgo de invalidación por enfermedad pulmonar, incluso en las tareas con polvo que ya de por sí estaban relacionadas con la invalidez.

Por esta época se realizaron asimismo estudios epidemiológicos en la industria del caucho en Europa y Asia (Fox, Lindars y Owen 1974; Fox y Collier 1976; Nutt 1976; Parkes y cols. 1982; Sorahan y cols. 1986; Sorahan y cols. 1989; Kilpikari y cols. 1982; Kilpikari 1982; Bernardinelli, Marco y Tinelli 1987; Negri y cols. 1989; Norseth, Anderson y Giltvedt 1983; Szeszenia-Daborowaska y cols. 1991; Solionova y Smulevich 1991; Gustavsson, Hogstedt y Holmberg 1986; Wang y cols. 1984; Zhang y cols. 1989), que se prolongaron después de haberse concluido los de las Universidades de Harvard y Carolina del Norte (Estados Unidos) y que pusieron de manifiesto un incremento de la mortalidad por cáncer en distintos puntos y algunos de ellos específicamente por cáncer de pulmón (Fox, Lindars y Owen 1974; Fox y Collier 1976; Sorahan y cols. 1989; Szeszenia-Daborowaska y cols. 1991; Solionova y Smulevich 1991; Gustavsson, Hogstedt y Holmberg 1986; Wang y cols. 1984), relacionados en algunos casos con trabajos de vulcanización.

Este resultado se vio confirmado por algunos estudios en Estados Unidos (Monson y Nakano 1976a; Monson y Fine 1978), aunque no por otros (Delzell, Andjelkovich y Tyroler 1982; Andjelkovich y cols. 1988).

En Alemania se estudió una cohorte de trabajadores de la industria alemana del caucho (Weiland y cols. 1996) que presentaba una mortalidad debida a todo tipo de causas y a cualquier tipo de cáncer muy elevada. Se identificó una tasa estadísticamente significativa de mortalidad por cáncer de pulmón y pleura. Sin embargo, la mortalidad por leucemia entre los trabajadores alemanes de la industria del caucho era estadísticamente poco significativa.

En un estudio de caso de cáncer linfático y de cáncer hematopoyético en ocho fábricas de caucho de estireno-butadieno (SBR) se observó una importante relación entre la mortalidad por leucemia y la exposición al butadieno. El IARC ha incluido el 1,3-butadieno entre las posibles sustancias cancerígenas para el hombre (IARC 1992). En un estudio epidemiológico más reciente se han obtenido datos que confirman una mayor tasa de mortalidad por leucemia entre los trabajadores SBR expuestos al butadieno (Delzell y cols. 1996).

Con el paso de los años, los estudios epidemiológicos entre los trabajadores de la industria del caucho han permitido identificar los riesgos en el puesto de trabajo y mejorar así su control. Se están realizando notables progresos tanto en las técnicas de investigación como en las bases de datos. El área de investigación epidemiológica profesional que actualmente requiere más atención es el de la valoración de las exposiciones pasadas de los sujetos en estudio. Aunque todavía quedan sin resolver cuestiones de relaciones causales, el continuo progreso epidemiológico conducirá seguramente a una mejora continua del control de las exposiciones en la industria del caucho y, por tanto, a una mejora continua de la salud de los trabajadores de esta industria.

*Reconocimiento:* me gustaría reconocer aquí los esfuerzos del pionero Peter Bommarito, ex presidente de la United Rubber Workers Union, primer responsable de la investigación causal sobre la salud de los trabajadores del caucho realizada en EE.UU. en los decenios de 1970 y 1980.

## ● DERMATITIS POR CONTACTO CON CAUCHO Y ALERGIA AL LÁTEX

*James S. Taylor y Yung Hian Leow*

### **Dermatitis por contacto**

Entre los trabajadores que están en contacto directo con el caucho y con los cientos de productos químicos utilizados en esta industria se han registrado frecuentes reacciones adversas en la piel. Entre estas reacciones se encuentran dermatitis irritativa de contacto, dermatitis alérgica de contacto, urticaria de contacto (erupciones), agravamiento de enfermedades preexistentes de la piel y otros trastornos menos habituales de la piel como foliculitis, xerosis (piel seca), miliaria y despigmentación debidos a ciertos derivados del fenol.

La dermatitis irritativa de contacto es la reacción más frecuente y está causada por una exposición intensa a productos químicos fuertes o por una exposición acumulada a productos irritantes más débiles, como los utilizados en trabajos con líquidos o disolventes. La dermatitis alérgica de contacto es un tipo de reacción alérgica retardada causada por productos químicos como aceleradores, vulcanizadores, antioxidantes y antiozonantes que se añaden durante la fabricación del caucho. Estos productos suelen estar presentes en el producto final y pueden causar dermatitis de contacto tanto a los usuarios

de los productos finales como a los trabajadores del caucho, y en especial en los operarios de malaxadores Banbury, calandrias y extrusores, así como en los montadores.

Algunos trabajadores sufren dermatitis de contacto por realizar tareas que no permiten el empleo de ropa de protección frente a los productos químicos (PPQ). Algunos trabajadores desarrollan alergia a la propia ropa PPQ, y en especial a los guantes de goma. Una prueba de parche válida para detectar el alérgeno es la que se utiliza para diferenciar la dermatitis alérgica por contacto de la irritativa. Es importante recordar que el primer tipo de dermatitis puede coexistir con el segundo así como con otros trastornos de la piel.

La dermatitis puede evitarse realizando el mezclado de los productos químicos de forma automática, instalando sistemas de aspiración, sustituyendo los alérgenos de contacto conocidos por productos químicos alternativos y optimizando la manipulación de los materiales para reducir el contacto con la piel.

### **Alergia al látex del caucho natural (LCN)**

La alergia LCN es una reacción alérgica inmediata del tipo I con mediación de inmunoglobulina E, causada, en la mayoría de los casos, por proteínas LCN presentes en el material sanitario y no sanitario a base de látex. La gama de síntomas clínicos va desde la urticaria por contacto, la urticaria generalizada, la rinitis alérgica (inflamación de la mucosa nasal), la conjuntivitis alérgica, el angioedema (hinchamiento grave) y el asma hasta la anafilaxis (reacción alérgica grave que puede poner en peligro la vida del paciente). Los individuos con mayor riesgo son los pacientes con espina bífida, los trabajadores del sector sanitario y otros trabajadores con exposición LCN significativa. Los factores que favorecen esta reacción son los eczemas en las manos, la rinitis alérgica, la conjuntivitis alérgica o el asma en personas que llevan guantes con frecuencia, cuyas mucosas están expuestas al LCN o que han sufrido procesos quirúrgicos múltiples. En la US Food and Drug Administration se han registrado quince fallecimientos debidos a la exposición a LCN durante los reconocimientos con enemas de bario. Así la ruta de la exposición a las proteínas LCN es importante e incluye el contacto directo de la piel intacta o inflamada y la exposición de las mucosas, incluida la inhalación, a polvos de guantes que contengan LCN, especialmente en instalaciones sanitarias y quirófanos. Puede decirse que en todo el mundo la alergia LCN constituye un problema grave en los ámbitos sanitario, de salud laboral, de salud pública y normativo, con una incidencia que sigue aumentando de forma clara desde mediados del decenio de 1980.

El diagnóstico de la alergia LCN está especialmente recomendado si existen antecedentes de angioedema de labios al soplar globos y/o de picor, quemazón, urticaria o anafilaxis cuando la persona lleva guantes, se somete a procesos quirúrgicos, sanitarios u odontológicos o después de una exposición a preservativos o a otros productos LCN. El diagnóstico puede confirmarse con una prueba positiva de uso de guantes LCN, una prueba positiva intracutánea al LCN o un análisis de sangre positivo RAST (prueba radioalergosorbente) de alergia al látex. Se han observado reacciones alérgicas graves durante estas pruebas, por lo que al realizarlas debe tenerse disponible epinefrina y un equipo de reanimación que no contenga LCN.

La alergia al LCN puede estar relacionada con reacciones alérgicas a la fruta, especialmente plátanos, castañas y aguacates. Todavía no es posible realizar una hiposensibilización al LCN, por lo que de momento resulta fundamental evitar y sustituir el LCN. Para la prevención y el control de la alergia al LCN los trabajadores y pacientes afectados evitarán utilizar látex en centros sanitarios. Debería disponerse de guantes sintéticos sin LCN y en muchos casos los demás colaboradores deberían llevar guantes con bajo contenido en alérgenos LCN que no afecten a

los que tengan alergia al LCN, con el fin de minimizar los síntomas y reducir la inducción de alergias LCN. Es necesaria una continua cooperación entre gobiernos, industrias y profesionales sanitarios para controlar la alergia al látex, como se describe en el capítulo *Instalaciones sanitarias*.

## ● ERGONOMIA

*William S. Marras*

La ergonomía es la ciencia que estudia la relación entre el trabajador y su entorno de trabajo. Esta ciencia no sólo comprende el estudio del riesgo para el sistema óseo y muscular debido al tipo de trabajo, sino también una consideración de los procesos cognitivos del trabajo que pueden ser causa de errores humanos.

En la industria del caucho y los neumáticos se han identificado las tareas que provocan un riesgo mayor de sufrir determinados tipos de trastornos en el sistema óseo y muscular, observándose un predominio de las lesiones de espalda. Un muestreo realizado en la industria del caucho y los neumáticos sobre las tareas de manipulación de materiales ha demostrado que las tareas de alto riesgo presentan un índice de lesiones en la parte inferior de la espalda que es aproximadamente un 50 % más alto que el observado en la industria en general. Un estudio de esas tareas revela que los problemas suelen surgir en los trabajos que requieren el transporte manual de los productos de caucho, como en las operaciones de procesamiento del caucho (malaxadores Banbury), de montaje, de acabado y de transporte de los neumáticos, tanto en la fábrica como en el almacén. Las lesiones de muñeca, como el síndrome del túnel carpiano y la tenosinovitis parecen ser también un problema común en las fábricas de neumáticos. Un estudio de las operaciones de fabricación de neumáticos sugiere que deberían observarse también problemas en los hombros. Sin embargo, los registros de lesiones tienden a subestimar el riesgo de las lesiones de hombro debido a una falta de sensibilización hacia este problema. Finalmente, parecen existir algunos problemas del proceso cognitivo dentro de la industria del neumático, que resultan más evidentes en las tareas de inspección y que a menudo se ven agravados por una escasa iluminación.

Algunos factores de riesgo relacionados con el puesto de trabajo parecen ser responsables de estos problemas a nivel de sistema óseo y muscular en la industria del caucho, como posturas estáticas e incómodas de espalda, hombros y muñecas, movimientos rápidos de muñecas y espalda, manejo de grandes pesos y grandes tensiones del tronco al manejar piezas voluminosas de caucho. Un estudio de los factores asociados a los problemas de la parte inferior de la espalda indica que en la industria del neumático los trabajadores mueven pesos superiores a otros sectores y, además, esas cargas se manejan a distancias del cuerpo superiores a la media. A esto hay que sumar que esas tensiones y pesos se imponen al cuerpo durante movimientos asimétricos del tronco, por ejemplo, en posición curvada. La duración de la aplicación de la fuerza en este tipo de trabajo también es problemática. A menudo, en una operación de fabricación de neumáticos se requieren aplicaciones de fuerza prolongadas en las que la fuerza del trabajador va disminuyendo con el tiempo. Finalmente, la temperatura en los puestos de trabajo de la industria del caucho suele ser alta y, además, los puestos de trabajo están expuestos a la suciedad y al polvo. El calor tiende a aumentar la demanda calorífica de la tarea, incrementando así la demanda de energía. Las resinas y el polvo del puesto de trabajo aumentan la probabilidad de que los trabajadores tengan que llevar guantes para realizar su trabajo,

lo que incrementa la tensión de los músculos del antebrazo que controlan los dedos. Además, cuando los trabajadores llevan guantes, realizan un mayor esfuerzo para sujetar las piezas, pues no perciben fácilmente cuándo un objeto está a punto de resbalar de las manos. Entre las soluciones a estos problemas ergonómicos se encuentra la reorganización del puesto de trabajo (p. ej., levantando o bajando el objeto o desplazando el puesto de trabajo para suprimir grandes torsiones o curvaturas laterales del tronco, lo que puede conseguirse reorientando el origen y destino de las tareas de elevación, pasando de giros de 180° a giros de 90°). A menudo es necesario realizar cambios más importantes, que pueden ir desde la instalación de puestos de trabajo ajustables, por ejemplo con mesas de altura variable, hasta la incorporación de mecanismos elevadores, como ascensores o grúas, o incluso la automatización total del puesto. Lógicamente, algunas de estas soluciones conllevan un alto coste. Por tanto, la clave para un diseño ergonómico adecuado es hacer exclusivamente los cambios necesarios y determinar el efecto del cambio en términos de modificación del riesgo a nivel del sistema óseo y muscular. Afortunadamente, existen en el mercado nuevos métodos que permiten cuantificar la dimensión del riesgo asociado con un determinado diseño del puesto de trabajo. Así, por ejemplo, existe un modelo que estudia el riesgo de trastornos ocupacionales de la parte inferior de la espalda en función de las exigencias del trabajo (Marras y cols. 1993; 1995). Se han desarrollado asimismo modelos que analizan la carga sobre la columna vertebral debida a actividades dinámicas del tronco (Marras y Sommerich 1991; Granata y Marras 1993). Cada vez existen más modelos en el mercado para estudiar el diseño del puesto de trabajo en la industria y el nivel de exposición.

## ● CUESTIONES AMBIENTALES Y DE SALUD PUBLICA

*Thomas Rhodarmer*

Todos los productos del caucho se fabrican a partir de un "compuesto de caucho", que, a su vez, está formado por un polímero de caucho (natural o sintético) y otras sustancias como material de relleno, plastificantes, antioxidantes, agentes adyuvantes, activadores aceleradores o agentes de vulcanización. Muchos de los ingredientes químicos están clasificados como sustancias peligrosas o tóxicas e incluso algunos como cancerígenos. La manipulación y procesamiento de estos productos químicos presentan problemas ambientales y de seguridad.

### Residuos peligrosos

Los sistemas de ventilación y los colectores de polvo son indispensables para los trabajadores que manipulan y pesan los productos químicos y para los encargados de mezclar y procesar el compuesto de caucho sin vulcanizar. En ocasiones, deben llevar además equipos de protección. El material recogido en los colectores de polvo debe ser examinado para determinar si se trata de un residuo peligroso, es decir reactivo, corrosivo o inflamable, o si contiene sustancias químicas consideradas peligrosas.

Los residuos peligrosos, después de quedar registrados en un informe, deben ser enviados para su eliminación a un vertedero adecuado. Los residuos no peligrosos pueden enviarse a un vertedero controlado local o a uno industrial, según la normativa ambiental vigente.

### Contaminación atmosférica

Durante el proceso de fabricación, algunos productos de caucho requieren la aplicación de adhesivo de caucho. Los adhesivos de caucho se fabrican mezclando el compuesto de caucho sin vulcanizar con un disolvente. Los disolventes utilizados para este proceso se clasifican normalmente como compuestos orgánicos volátiles (COV). Los procesos que utilizan COV deben disponer de algún tipo de equipo de control de emisiones, como un sistema de recuperación de disolventes o un oxidante térmico, que es un sistema de incineración que destruye los COV mediante combustión y que requiere normalmente un combustible adicional, como el gas natural. Si no se dispone de este tipo de control de emisiones, los COV pueden llegar a causar problemas de salud en la fábrica y en la comunidad. Si los COV son fotoquímicamente reactivos, afectarán a la capa de ozono.

Al vulcanizar piezas de caucho y abrir el depósito, se escapan emisiones en forma de humo, vapor o ambos. Los vapores del proceso de vulcanización pueden arrastrar a la atmósfera sustancias químicas sin reaccionar, plastificantes, lubricantes y otros materiales, lo que obliga a realizar controles de emisiones.

### Contaminación del suelo y del agua

El almacenamiento y el manejo de los COV debe realizarse con extremo cuidado. Antes, los COV se almacenaban en tanques subterráneos, donde a veces se producían fugas y derramamientos que contaminaban el suelo y las aguas subterráneas, lo que obligaba a costosas reparaciones. La mejor opción de almacenamiento son los tanques sobre el nivel del suelo con un buen confinamiento secundario para prevenir los derramamientos.

### Caucho residual

En todos los procesos de fabricación se producen desechos, tanto durante el proceso como en el acabado del producto. Parte de esos desechos pueden ser reciclados para el mismo proceso o para otros procesos diferentes. Sin embargo, una vez que el caucho está vulcanizado, ya no puede ser reciclado y todos los desechos del proceso de vulcanización y de acabado se convierten en material residual. La eliminación de los productos residuales del caucho se ha convertido en un problema mundial.

En todos los hogares y empresas del mundo se utiliza algún tipo de producto de caucho. La mayor parte de estos productos están clasificados como material no peligroso y, por lo tanto, sus residuos tampoco son peligrosos. Sin embargo, la eliminación después de su vida útil de productos de caucho como los neumáticos, las mangueras y otros productos tubulares ocasiona un problema ambiental. En efecto, no pueden ser enterrados en un vertedero controlado porque sus zonas huecas atrapan aire y hacen que el producto emerja a la superficie al cabo de cierto tiempo. La trituración de estos productos resuelve este problema, pero requiere equipos especiales y resulta muy costosa.

La combustión sin llama de los neumáticos puede generar una gran cantidad de humo irritante que contiene numerosas sustancias químicas y partículas tóxicas.

### Incineración de los residuos de caucho

Una de las opciones para eliminar los desechos de caucho y los residuos del proceso de fabricación es la incineración. En principio, parece también la mejor solución para deshacerse de los numerosos productos de caucho "obsoletos" que existen

actualmente en el mundo. Algunas empresas de fabricación de caucho utilizan la incineración para eliminar los desechos de caucho y los residuos de caucho vulcanizado y no vulcanizado. En teoría, el caucho, al quemarse, genera un vapor que podría reutilizarse en la fábrica. Pero, por desgracia, esto no resulta tan sencillo en la práctica. El incinerador debe disponer de un control de las emisiones de aire y probablemente necesitaría depuradores para eliminar las sustancias contaminantes como el cloro. Las emisiones de cloro, por lo general, proceden de los productos y residuos en combustión que contienen polímeros de cloropreno. Los depuradores generan una descarga ácida que tal vez debería neutralizarse antes de proceder a la descarga.

Casi todos los compuestos de caucho contienen algún tipo de agentes de relleno, como negro de humo, arcillas, carbonatos cálcicos o compuestos hidratados de sílice. La combustión de estos compuestos produce cenizas equivalentes a la cantidad de agentes de relleno presentes en el compuesto de caucho. Las cenizas se recogen en depuradores húmedos o secos. En ambos casos, es necesario analizar el contenido en metales pesados antes de su eliminación. Los depuradores húmedos probablemente generarán unas aguas residuales con un contenido de 10 a 50 ppm de zinc, que al ser vertidas a un sistema de alcantarillado darán problemas en la planta de tratamiento y obligarán a instalar un sistema de eliminación del zinc. Este sistema de tratamiento produce un lodo de zinc que debe transportarse a un lugar adecuado para su eliminación.

Los depuradores secos generan unas cenizas que deben recogerse para su eliminación. Tanto las cenizas húmedas como las secas son difíciles de manejar, y su eliminación puede ser problemática dado que la mayoría de los vertederos controlados no aceptan este tipo de residuos. Ambos tipos de cenizas pueden ser muy alcalinas si los compuestos de caucho que entran en combustión presentan un alto contenido de carbonato cálcico.

Finalmente, la cantidad de vapor generada sería inferior a la necesaria para el funcionamiento de una fábrica de caucho. En la actualidad, la cantidad total de desechos de caucho es excesiva y se están realizando esfuerzos para reducirla, lo que a su vez disminuiría el suministro necesario de combustible. El coste de mantenimiento de un incinerador diseñado para quemar desechos y productos de caucho es también muy alto.

Si se optimizaran todos estos costes, la incineración de los residuos de caucho podría ser un método rentable de eliminación.

### Conclusión

Tal vez la mejor solución para los problemas ambientales y de salud relacionados con la fabricación de productos de caucho sería disponer de un buen control de ingeniería para producir y mezclar los productos químicos en polvo utilizados en los compuestos del caucho, así como de programas de reciclado para todos los desechos y productos de caucho vulcanizados y sin vulcanizar. Los productos químicos en polvo recogidos mediante sistemas adecuados podrían añadirse de nuevo a los compuestos de caucho, con los controles de ingeniería adecuados, lo que suprimiría el vertedero de estos productos.

El control de los problemas ambientales y de salud en la industria del caucho aunque es viable, no resulta fácil ni económico y habría que sumar su coste al de los propios productos de caucho.

## Referencias

- Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). 1992. 1,3-Butadiene. En *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Occupational Exposures to Mists and Vapours from Strong Inorganic Acids and Other Industrial Chemicals*. Lyon: IARC.
- Andjelkovich, D, H Abdelghany, RM Mathew, S Blum. 1988. Lung cancer case-control study in a rubber manufacturing plant. *Am J Ind Med* 14:559-574.
- Andjelkovich, D, JD Taulbee, MJ Symons. 1976. Mortality experience in a cohort of rubber workers, 1964-1973. *J Occup Med* 18:386-394.
- Arp, EW, PH Wolf, H Checkoway. 1983. Lymphocytic leukemia and exposures to benzene and other solvents in the rubber industry. *J Occup Med* 25:598-602.
- Bernardinelli, L, RD Marco, C Tinelli. 1987. Cancer mortality in an Italian rubber factory. *Br J Ind Med* 44:187-191.
- Blum, S, EW Arp, AH Smith, HA Tyroler. 1979. Stomach cancer among rubber workers: An epidemiologic investigation. En *Dusts and Disease*. Park Forest, Illinois: SOEH, Pathotox Publishers.
- Checkoway, H, AH Smith, AJ McMichael, FS Jones, RR Monson, HA Tyroler. 1981. A case-control study of bladder cancer in the U.S. tire industry. *Br J Ind Med* 38:240-246.
- Checkoway, H, T Wilcosky, P Wolf, H Tyroler. 1984. An evaluation of the associations of leukemia and rubber industry solvent exposures. *Am J Ind Med* 5:239-249.
- Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH). 1995. *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice*, 22 ed. Cincinnati: Ohio: ACGIH.
- Delzell, E, D Andjelkovich, HA Tyroler. 1982. A case-control study of employment experience and lung cancer among rubber workers. *Am J Ind Med* 3:393-404.
- Delzell, E, N Sathiakumar, M Hovinga, M Macaluso, J Julian, R Larson, P Cole, DCF Muir. 1996. A follow-up study of synthetic rubber workers. *Toxicology* 113:182-189.
- Delzell, E, RR Monson. 1981a. Mortality among rubber workers. III. Cause-specific mortality 1940-1978. *J Occup Med* 23:677-684.
- . 1981b. Mortality among rubber workers. IV. General mortality patterns. *J Occup Med* 23:850-856.
- Fajen, J, RA Lunsford, DR Roberts. 1993. Industrial exposure to 1,3-butadiene in monomer, polymer and end-user industries. En *Butadiene and Styrene: Assessment of Health Hazards*, dirigido por M Sorsa, K Peltonen, H Vainio y K Hemminki. Lyon: IARC Scientific Publications.
- Fine, LJ, JM Peters, WA Burgess, LJ DiBerardinis. 1976. Studies of respiratory morbidity in rubber workers. IV. Respiratory morbidity in talc workers. *Arch Environ Health* 31:195-200.
- Fine, LJ, JM Peters. 1976a. Respiratory morbidity in rubber workers. I. Prevalence of respiratory symptoms and disease in curing workers. *Arch Environ Health* 31:5-9.
- . 1976b. Respiratory morbidity in rubber workers. II. Pulmonary function in curing workers. *Arch Environ Health* 31:10-14.
- . 1976c. Studies of respiratory morbidity in rubber workers. III. Respiratory morbidity in processing workers. *Arch Environ Health* 31:136-140.
- Fox, AJ, DC Lindars, R Owen. 1974. A survey of occupational cancer in the rubber and cablemaking industries: Results of a five-year analysis, 1967-71. *Br J Ind Med* 31:140-151.
- Fox, AJ, PF Collier. 1976. A survey of occupational cancer in the rubber and cablemaking industries: Analysis of deaths occurring in 1972-74. *Br J Ind Med* 33:249-264.
- Gamble, JF, R Spirtas. 1976. Job classification and utilization of complete work histories in occupational epidemiology. *J Occup Med* 18:399-404.
- Goldsmith, D, AH Smith, AJ McMichael. 1980. A case-control study of prostate cancer within a cohort of rubber and tire workers. *J Occup Med* 22:533-541.
- Granata, KP, WS Marras. 1993. An EMG-assisted model of loads on the lumbar spine during asymmetric trunk extensions. *J Biomech* 26:1429-1438.
- Greek, BF. 1991. Rubber demand is expected to grow after 1991. *C & EN* (13 mayo): 37-54.
- Gustavsson, P, C Hogstedt, B Holmberg. 1986. Mortality and incidence of cancer among Swedish rubber workers. *Scand J Work Environ Health* 12:538-544.
- Instituto Internacional de Fabricantes de Caucho Sintético (IISRP). 1994. *Worldwide Rubber Statistics*. Houston, Texas: Instituto Internacional de Fabricantes de Caucho Sintético.
- Kilpikari, I, E Pukkala, M Lehtonen, M Hakama. 1982. Cancer incidence among Finnish rubber workers. *Int Arch Occup Environ Health* 51:65-71.
- Kilpikari, I. 1982. Mortality among male rubber workers in Finland. *Arch Environ Health* 37:295-299.
- Lednar, WM, HA Tyroler, AJ McMichael, CM Shy. 1977. The occupational determinants of chronic disabling pulmonary disease in rubber workers. *J Occup Med* 19:263-268.
- Marras, WS, CM Sommerich. 1991. A three dimensional motion model of loads on the lumbar spine, Part I: Model structure. *Hum Factors* 33:123-137.
- Marras, WS, SA Lavender, S Leurgans, F Fathallah, WG Allread, SA Ferguson, S Rajulu. 1995. Biomechanical risk factors for occupationally related low back disorder risk. *Ergonomics* 35:377-410.
- Marras, WS, SA Lavender, S Leurgans, S Rajulu, WG Allread, F Fathallah, SA Ferguson. 1993. The role of dynamic three dimensional trunk motion in occupationally-related low back disorders: The effects of workplace factors, trunk position and trunk motion characteristics on injury. *Spine* 18:617-628.
- McMichael, AJ, DA Andjelkovich, HA Tyroler. 1976. Cancer mortality among rubber workers: An epidemiologic study. *Ann NY Acad Sci* 271:125-137.
- McMichael, AJ, R Spirtas, JF Gamble, PM Tousey. 1976a. Mortality among rubber workers: Relationship to specific jobs. *J Occup Med* 18:178-185.
- McMichael, AJ, R Spirtas, LL Kupper, JF Gamble. 1975. Solvent exposures and leukemia among rubber workers: An epidemiologic study. *J Occup Med* 17:234-239.
- McMichael, AJ, R Spirtas, LL Kupper. 1974. An epidemiologic study of mortality within a cohort of rubber workers, 1964-72. *J Occup Med* 16:458-464.
- McMichael, AJ, WS Gerber, JF Gamble, WM Lednar. 1976b. Chronic respiratory symptoms and job type within the rubber industry. *J Occup Med* 18:611-617.
- Monson, RR, KK Nakano. 1976a. Mortality among rubber workers. I. White male union employees in Akron, Ohio. *Am J Epidemiol* 103:284-296.
- . 1976b. Mortality among rubber workers. II. Other employees. *Am J Epidemiol* 103:297-303.
- Monson, RR, LJ Fine. 1978. Cancer mortality and morbidity among rubber workers. *J Natl Cancer Inst* 61:1047-1053.
- National Fire Protection Association (NFPA). 1995. *Standard for Ovens and Furnaces*. NFPA 86. Quincy, Massachusetts: NFPA.
- National Joint Industrial Council for the Rubber Manufacturing Industry. 1959. *Running Nip Accidents*. Londres: National Joint Industrial Council for the Rubber Manufacturing Industry.
- . 1967. *Safe Working of Calenders*. Londres: National Joint Industrial Council for the Rubber Manufacturing Industry.
- Negri, E, G Piolatto, E Pira, A Decarli, J Kaldor, C LaVecchia. 1989. Cancer mortality in a northern Italian cohort of rubber workers. *Br J Ind Med* 46:624-628.
- Norseth, T, A Anderson, J Giltvedt. 1983. Cancer incidence in the rubber industry in Norway. *Scand J Work Environ Health* 9:69-71.
- Nutt, A. 1976. Measurement of some potentially hazardous materials in the atmosphere of rubber factories. *Environ Health Persp* 17:117-123.
- Parkes, HG, CA Veys, JAH Waterhouse, A Peters. 1982. Cancer mortality in the British rubber industry. *Br J Ind Med* 39:209-220.
- Peters, JM, RR Monson, WA Burgess, LJ Fine. 1976. Occupational disease in the rubber industry. *Environ Health Persp* 17:31-34.
- Solionova, LG, VB Smulevich. 1991. Mortality and cancer incidence in a cohort of rubber workers in Moscow. *Scand J Work Environ Health* 19:96-101.
- Sorahan, R, HG Parkes, CA Veys, JAH Waterhouse, JK Straughan, A Nutt. 1989. Mortality in the British rubber industry 1946-85. *Br J Ind Med* 46:1-11.
- Sorahan, R, HG Parkes, CA Veys, JAH Waterhouse. 1986. Cancer mortality in the British rubber industry 1946-80. *Br J Ind Med* 43:363-373.
- Szeszenia-Daborowaska, N, U Wilezynska, T Kaczmarek, W Szymczak. 1991. Cancer mortality among male workers in the Polish rubber industry. *Polish Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 4:149-157.
- Van Ert, MD, EW Arp, RL Harris, MJ Symons, TM Williams. 1980. Worker exposures to chemical agents in the manufacture of rubber tires: Solvent vapor studies. *Am Ind Hyg Assoc J* 41:212-219.
- Wang, HW, XJ You, YH Qu, WF Wang, DA Wang, YM Long, JA Ni. 1984. Investigation of cancer epidemiology and study of carcinogenic agents in the Shanghai rubber industry. *Cancer Res* 44:3101-3105.
- Weiland, SK, KA Mundt, U Keil, B Kraemer, T Birk, M Person, AM Bucher, K Straif, J Schumann, L Chambless. 1996. Cancer mortality among workers in the German rubber industry. *Occup Environ Med* 53:289-298.
- Williams, TM, RL Harris, EW Arp, MJ Symons, MD Van Ert. 1980. Worker exposure to chemical agents in the manufacture of rubber tires and tubes: Particulates. *Am Ind Hyg Assoc J* 41:204-211.
- Wolf, PH, D Andjelkovich, A Smith, H Tyroler. 1981. A case-control study of leukemia in the U.S. rubber industry. *J Occup Med* 23:103-108.
- Zhang, ZF, SZ Yu, WX Li, BCK Choi. 1989. Smoking, occupational exposure to rubber and lung cancer. *Br J Ind Med* 46:12-15.

## Otras lecturas recomendadas

- Auchter, JF, R Mulach, S Mori. 1992. *CEH Marketing Research Report: Natural Rubber*. Menlo Park, California: SRI International.
- Bhowmick, AK, MM Hall, HA Benarey (dirs.). 1994. *Rubber Products Manufacturing Technology*. Nueva York: Marcel Dekker, Inc.
- British Rubber Manufacturers' Association (BRMA). 1990. *Toxicity and Safe Handling of Rubber Chemicals: Code of Practice*, 3ª edición. Birmingham: BRMA.

- Burgess, WA. 1995. Rubber products. In *Recognition of Health Hazards in Industry*, 3ª ed. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Dunlop Co. Ltd. 1983. Caucho, cultivo. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 3ª ed., Vol. 2. Ginebra: OIT.
- Feinman, SE. 1987. Sensitivity to rubber chemicals. *Journal of Toxicology—Cutaneous and Ocular Toxicology* 6:117–153.
- Fenoglio, S, G Meo, A Bonzanino. 1968. *Manufacturing Risks in the Rubber Industry and Their Prevention I: Some Technical Aspects*. Turín, Italia: Universidad de Turín, Instituto de Medicina Clínica General y Terapia Médica.
- Fink JN. 1995. Latex allergy. *Immunology and Allergy Clinics of North America* 15:1–175.
- International Federation of Chemical, Energy and General Workers' Unions (ICEF). 1990. *Change and Concentration in the World Rubber Industry*. Bruselas: ICEF.
- McKinnery, WN, Jr, WA Heitbrink. 1984. *Control of Air Contaminants in Tire Manufacturing*. Research Report DHHS (NIOSH), Núms. 84-111. Cincinnati, Ohio: NIOSH.
- Morton, M (dir.). 1987. *Rubber Technology*, 3ª edición. Nueva York: Van Nostrand Reinhold.
- Reisch, MS. 1993. Rubber: Slow growth ahead. *C & EN* (10 May): 24–33.
- Slater, JE. 1994. Latex allergy. *J Allergy Clin Immunol* 94:139–149.
- Symons, MJ, DA Andjelkovich, R Spirtas, DR Herman. 1982. Brain and central nervous system cancer mortality in U.S. rubber workers. *Ann NY Acad Sci* 381:146–159.
- Taylor, JS, P Praditsuwan. 1996. Latex allergy: Review of 44 cases including outcome and frequent association with allergic hand eczema. *Archives of Dermatology* 132:265–271.
- Taylor, JS. 1986. Rubber. En *Contact Dermatitis*, 3ª de., dirigido por AA Fisher. Filadelfia: Lea & Febiger.
- UK Health and Safety Commission (HSC). 1994. *Control of Fume at Extruders, Calendars and Vulcanising Operations*. Londres: HSC Rubber Industry Advisory Committee/Health and Safety Executive.
- . 1996. *Dust and Fume Control in Rubber Mixing and Milling*. Londres: HSC Rubber Industry Advisory Committee/Health and Safety Executive.