

# CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE EQUIPO PROTOTIPO PARA EL TROZADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO PROVENIENTES DE LA EXPLOTACIÓN MINERA

José Luis Pelizzoni, Silvia Ana Fumagalli, Rodolfo Quarleri, Esteban Raúl Blanco  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora

Consideraciones de Diseño de Equipo Prototipo para el Trozado de Neumáticos fuera de uso provenientes de la explotación minera, Pellizzoni: recibido 7/04/2016; aceptado 20/06/2016

## Resumen

Los neumáticos fuera de uso utilizados por vehículos de gran porte en los yacimientos mineros de Argentina y otros países de Latinoamérica se descartan y acumulan en zonas aledañas a los lugares de explotación. Es decir, no se reciclan lo cual provoca un problema creciente de contaminación ambiental. Este texto se basa en un proyecto que partió del análisis exhaustivo de la macroestructura de los NFU (neumáticos fuera de uso) de minería y el estudio de las propiedades físico-químicas del acero que lo conforma. Los valores de dureza obtenida y la evidencia de tratamiento térmico en el estudio metalográfico del acero demostraron que éste es elástico. Todos estos aspectos resultan fundamentales en el diseño de trozado. Los criterios de

diseño referidos al equipamiento necesario para proceder a la etapa de trozado de los NFU provenientes de la actividad minera y la observación del requerimiento de un equipo que, en una primera instancia, debería tener la propiedad de ser móvil para poder ser trasladado a los diferentes lugares donde se acumulan este tipo de NFU, permitirían hacer una primera selección de los componentes del NFU y reducir considerablemente el volumen del material para ser trasladado hasta la planta de procesamiento final.

## Palabras claves:

Minería – Neumáticos fuera de uso (NFU) – Caucho – Reciclado – Medioambiente

## Abstract

The used tyres left by the commercial vehicles in the mining industry in Argentina and other Latin American countries are discarded and accumulated in some strip mining nearby areas. That is to say, they are not recycled, which causes a growing environmental pollution problem.

This text is based on a project which started on the exhaustive analysis of the structure of the off-the-road (OTR) used tyres left in the mining industry and the study of the physical and chemical properties of the steel involved in them.

The hardness values obtained and the evidence of the heat treatment in the metallographic study of the steel have shown that it presents elastic characteristics. All these aspects are fundamental in the cut-

up design.

This is necessary to define the design criteria relating to the cutting stages equipment for the mining activity tires.

In the first instance, the device should have the property of being mobile in order to be placed to different locations where such tires accumulate. This would make a first selection of the tire components and significantly reduce the volume of material to be moved to the final processing plant.

## Keywords:

Mining, Tires, OTR, Rubber, Recycling, Environment

## NFU ¿Qué son?

Los neumáticos fuera de uso (NFU) fueron y son motivo de preocupación, pues si bien se trata de un residuo no peligroso, presenta una alta capacidad calorífica que dificulta su extinción en caso de incendios y, además, no es degradable.

En Argentina existe una planta procesadora de NFU provenientes del parque automotor particular que se encuentra instalada en el partido de San Martín (Buenos Aires) y pertenece a la firma REGOMAX. Actualmente cuenta con la asistencia y auditoría



### Residuos no degradables

Uno de los residuos que más caracteriza a las sociedades desarrolladas modernas tan dependientes del automóvil son los NFU. Aunque se trata de un residuo no peligroso, presenta una alta capacidad calorífica, que dificulta su extinción en caso de incendios y no es degradable.

técnica de INTI-Caucho y funciona en terrenos cedidos por CEAMSE, donde llegan los neumáticos de desecho.

Es cierto que los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato, pero su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades puede contaminar gravemente el medioambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlos. No en vano los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras (son resistentes al ozono, la luz y las bacterias), lo que les hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo.

Su almacenamiento en el vertedero no permite recuperar ni energía ni materia y además, su forma, tamaño y flexibilidad limitan su rehabilitación al ser difícilmente compactables. Por otro lado, son refugio ideal de insectos y roedores, y acumulan gases y lixiviados.

Similarmente, los yacimientos mineros de Argentina y otros países de Latinoamérica utilizan neumáticos de gran porte que se descartan y acumulan en zonas cercanas a los lugares de explotación. No solamente tienen un tamaño mucho mayor a los del parque automotor (lo que dificulta su traslado y manipulación), sino que además, presentan una gran resistencia. Es decir, en la construcción de dichos neumáticos encontramos grandes cantidades de aceros.

## ¿Cuáles son los métodos de reciclado?

Actualmente, algunos países han desarrollado métodos de reciclado de NFU del parque automotor que conducen a la valorización del material y su utilización energética:

- Recauchutado: proceso mediante el cual se

sustituye la banda de rodadura del neumático y se lo utiliza nuevamente. Este requiere de una exigente selección de carcasas para renovar ya que deben estar libres de defectos de fabricación, sin daños no reparables.

- Tratamientos mecánicos: los NFU son comprimidos, cortados o fragmentados en piezas irregulares. Entre ellos se encuentran la fabricación de balas, troceado (ripping) y trituración (cutting). Este proceso de trituración es indispensable para el uso posterior del material producido (fabricación de canchas deportivas, por ejemplo).

Este proceso se realiza a través de trituradoras formadas por dos o más ejes paralelos de cuchillas que giran a distintas velocidades para favorecer la incorporación del neumático. La separación de los ejes define el tamaño de los trozos conseguidos.

- Tecnologías de reducción de tamaño: algunos de los procesos más empleados para producir polvo de caucho son la molienda mecánica a temperatura ambiente, la molienda criogénica y la húmeda. En la mayoría de los países, incluso en Argentina, se emplea la molienda a temperatura ambiente que generalmente incluye las siguientes actividades: separación del metal, separación de la fibra, reducción a polvo grueso, reducción a polvo ultra fino, empaquetado y pesado. Luego de la separación del metal y la fibra, la molienda se suele llevar a cabo en un molino de dos rollos tipo "cracker" que contienen ranuras con bordes afilados que rompen el caucho. Son molinos clásicos constituidos por un rotor y el estator que lo rodea.
- Tecnologías de Regeneración: incluyen la desvulcanización, recuperación del caucho (reclaiming), modificación superficial, modificación biológica.

El objetivo original de la recuperación del caucho

vulcanizado es romper los entrecruzamientos para permitir reutilizar sus componentes. El procedimiento es relativamente sencillo para el caucho natural; la dificultad radica cuando se aplica en cauchos sintéticos, particularmente SBR (caucho de estireno-butadieno).

### **Desventajas**

La desventaja de estos procesos es que el caucho obtenido tiene propiedades físicas inferiores al original y, en el caso de los procesos químicos, los agentes desvulcanizantes empleados son más contaminantes que el NFU mismo.

Otras tecnologías: la más importante es la pirólisis o termólisis. En el proceso de pirólisis (calentamiento a temperatura moderada en ausencia de oxígeno) la parte orgánica volátil del neumático se descompone en gases y líquidos y los componentes inorgánicos, principalmente acero y negro de carbono no volátil, permanecen como residuo sólido. El inconveniente de este proceso radica en que los aceites obtenidos son contaminantes.

### **Aplicaciones del NFU reciclado**

La gestión más limpia y en la que deberían centrar sus esfuerzos las administraciones públicas es el reciclado de material. Las materias primas que se obtienen a través de los distintos tratamientos son principalmente:

- Caucho, granulado o polvo.
- Acero, utilizado en acerías.
- Compuestos textiles.

El caucho es un compuesto utilizado en numerosas aplicaciones, bien de manera individual o combinado con otros materiales, por ejemplo: incorporación en las mezclas bituminosas para pavimentos de carreteras, en pavimentos deportivos y de seguridad, en hierba artificial, como aislante acústico y antivibratorio, en pistas de atletismo, en la industria del calzado o industria automovilística. La fibra textil obtenida del reciclado tiene como principal salida el de formar parte del relleno de pavimentos.

### **NFU en Argentina**

En Argentina existe una planta procesadora de NFU proveniente del parque automotor particular, transporte de pasajeros y de cargas que se encuentra instalada en el Complejo Ambiental Norte III (terrenos cedidos por CEAMSE), partido de San Martín, Buenos Aires, perteneciente a la firma REGOMAX. Actualmente cuenta con la asistencia y auditoría técnica de INTI-Caucho. Aquí el tratamiento de los NFU se realiza en dos etapas: Trozado y Molido. Para ello se utiliza equipamiento importado. El

producto final es un polvo metal-nylon-caucho de granulometría fina. El caucho, una vez separado de los otros componentes, es utilizado por REGOMAX en la fabricación de pisos, pavimentos deportivos, canchas sintéticas y mezclas con asfalto para pavimentos que recupera el acero y los restos de tela/nylon de la estructura.

Sin embargo, los neumáticos fuera de uso utilizados por vehículos de gran porte en los yacimientos mineros de Argentina y otros países de Latinoamérica se descartan y acumulan en zonas aledañas a los lugares de explotación. Es decir, no se reciclan lo cual provoca un problema creciente de contaminación ambiental.

Los valores de dureza obtenida a través del análisis exhaustivo de la macroestructura de los NFU de minería y el estudio de las propiedades físico-químicas del acero que lo conforma y la evidencia de tratamiento térmico en el estudio metalográfico del acero demostraron que es elástico.

Se avanzó sobre los criterios de diseño referidos al equipamiento necesario para proceder a la primera etapa (Trozado) de los NFU provenientes de la actividad minera (OTR: off the road), teniendo en cuenta el requerimiento de un equipo que, en una primera instancia, debería tener la propiedad de ser móvil para poder ser trasladado a los diferentes lugares donde se acumulan este tipo de NFU (esto permitiría hacer una primera selección de los componentes del NFU y reducir considerablemente el volumen del material para ser trasladado hasta la planta de procesamiento final).

Las muestras de neumáticos de minería fuera de uso fueron aportadas por la empresa NEUMATECH, empresa dedicada a la reparación de este tipo de neumáticos que provenían de la Minera Alumbra, en la provincia de Catamarca.

### **Constitución del neumático**

Los neumáticos del parque automotor y de carga son estructuras toroidales muy complejas elaboradas con más de 200 componentes; están compuestos básicamente por cauchos naturales y sintéticos, cargas reforzantes (negros de carbono y sílices), antioxidantes, metales, materiales textiles y otros ingredientes necesarios para el proceso de vulcanización del caucho. Sin embargo, las proporciones de estos componentes pueden diferir en función del fabricante y del tipo de neumático.

Los neumáticos gigantes poseen un mayor porcentaje de aceros que los del parque automotor, pues su estructura debe ser mucho más resistente.

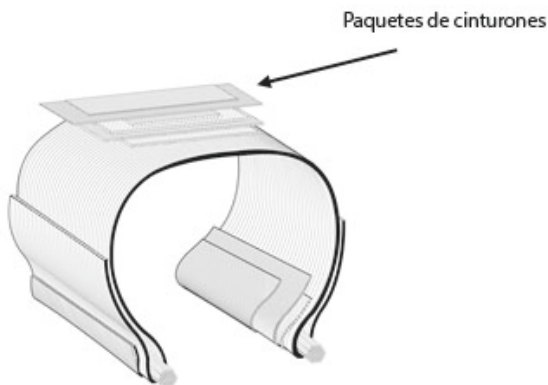
Se puede observar, en construcción creciente, la estructura interna de un neumático OTR, utilizada en retroexcavadoras, niveladoras, y otros vehículos



Pestaña, construida con un solo cable de acero



Cuerda de carcasa. Acero cubierto con caucho



Paquete de cinturones. Cinturones de alta elongación para evitar cortes y separaciones

La estructura de un neumático de minería es similar a la de los del parque automotor pero debido a que requieren de mayor resistencia, tienen mucho más acero. Por este motivo es que se hizo necesario establecer el tipo de acero que lo constituye y para ello se enviaron muestras a INTI y FI-UNLZ. El ensayo metalográfico realizado por INTI, destaca que en la observación microscópica de ambas muestras "longitudinales" presentan una microestructura fuertemente deformada por granos alargados

de ferrita y vainita. No se observan defectos superficiales de fabricación como pliegues o fisuras. Por otra parte, la microscopía realizada sobre una muestra de mismo origen en el laboratorio de Ensayo de Materiales de FI-UNLZ), en un corte "transversal" mostró la presencia de martensita fina. Esto indica que el acero habría sido sometido a un tratamiento térmico de temple y revenido. Finalmente, los ensayos de dureza en INTI muestran la dureza correspondiente a un acero elástico.



Detalle de la muestra de alambre tomada de zona pestaña



Inclusión metalográfica

### El corte más adecuado

Se analizaron distintos tipos de corte:

1. Corte por Seccionado:

Consiste en separar las distintas partes de una pieza sin producir viruta.

2. Cizallado:

Se denomina cizallado al corte en frío de un metal empleando un sistema de tijeras (cizalla); se realiza de manera Normal a la superficie.

El corte por cincel se corresponde con el "seccio-

nado”; el corte por arranque de viruta es un corte por cuña y la operación de cizalla que es un corte tipo tijera.

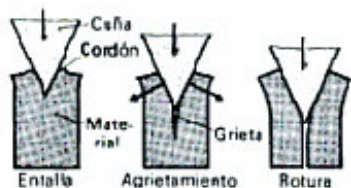


Figura 3-127. Seccionar y cortar por arranque de viruta.

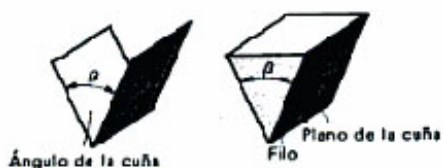
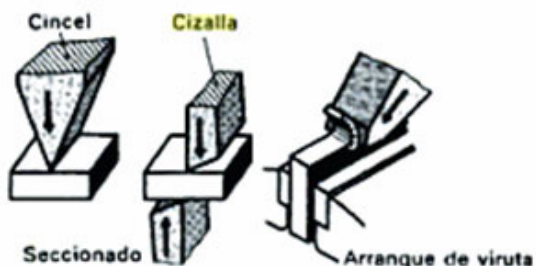


Figura 3-128. Ángulo y planos en la cuña de corte.

Ángulo y planos de cuña de corte.



Cortes por cuña/cincel, cizalla y arranque de viruta.

El corte por arranque de viruta en los metales ocurre cuando el filo de la herramienta ocasiona la deformación elástica de la parte de metal que se convertirá en viruta.

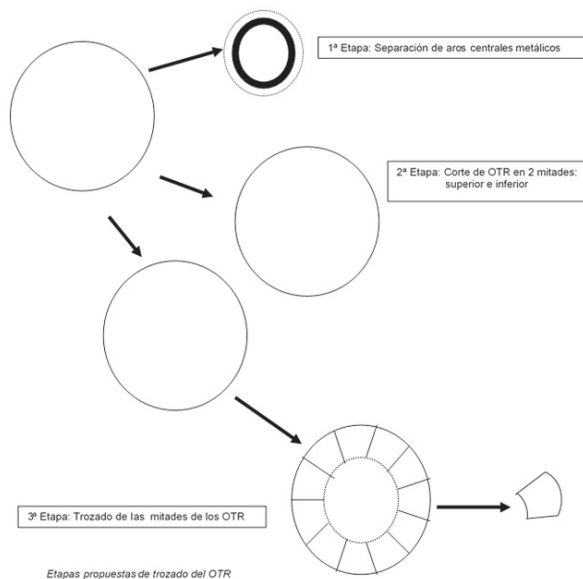
Durante este proceso de deformación se producen grandes tensiones y una vez que el material supera la tensión de fluencia tiene lugar la separación de la capa debido a la deformación plástica. Consideramos que algo similar ocurriría con el caucho.

El caucho (copolímero estireno-butadieno) es un tipo de elastómero, es decir, posee la propiedad mecánica de poder sufrir mucha más deformación elástica bajo estrés que la mayoría de los materiales y aun así regresar a su tamaño previo sin deformación permanente. Por este motivo, presenta una buena resistencia a la abrasión y al impacto, y moderadas resistencias a la flexión y al desgarrar. Por otro lado, el análisis de la macroestructura del NFU de minería demostró que el caucho contiene pequeñas cantidades de metal y nylon y además

que, en su zona central, tiene un aro formado por un mazo de alambres de gran resistencia.

Es así que los cálculos de esfuerzo que se presentan a continuación se realizan considerando un corte transversal por cizallado teniendo en cuenta, fundamentalmente, la zona que ofrece mayor resistencia, es decir, el mazo de alambres.

Para reducir el equipo de potencia y por ende los costos, se propone efectuar la operación en tres etapas:



1ª Etapa: Corte de banda lateral: En esta operación se efectuaría un corte perimetral del aro separando así la parte metálica principal. Esta operación evitaría, además, la fragmentación del componente metálico favoreciendo su reciclaje en fundiciones.

2ª Etapa: Corte de OTR en 2 mitades: Este procedimiento también realizado de manera perimetral, permitiría obtener dos mitades, las cuales facilitarían la última etapa de reducción del OTR.

3er Etapa: Corte/trozado del OTR: Este procedimiento permitiría obtener fracciones pequeñas de caucho/acero/nylon, lo cual favorecería su movilización y posterior triturado en las plantas diseñadas a tal fin.

### Procesamiento de los NFU: tecnología adecuada

La tecnología más adecuada y factible de ser utilizada para procesar los NFU de minería in situ empleando una unidad móvil tendría las siguientes características:

1. Se separaría en forma completa el mazo central de alambres realizando un corte perimetral. Esta operación permitiría separar la mayor parte del componente metálico del neumático que favorece su posterior reciclaje y además, evita emplear una

potencia superior si se realizara un corte transversal.

2. Se cortaría el OTR sin los aros metálicos en dos mitades utilizando un proceso similar al corte perimetral del aro metálico. Esto facilitaría el posterior trozado.

3. Se trozaría el resto del OTR en fracciones a fin de favorecer su movilización y posterior triturado. Para ello se emplearía la herramienta de corte mediante una operación tipo cizalla.

4. El material a utilizar en las herramientas de corte se propone acero SAE 5160, disponible en el mercado argentino, templado y revenido.

Se prevé continuar con el desarrollo de la ingeniería del equipo prototipo para el trozado in situ de NFU proveniente de la explotación minera (OTR). Se buscarán, además, los capitales necesarios para el desarrollo y realización de pruebas de corte en un equipo prototipo.

### **Bibliografía sugerida**

Cano Serrano, E., Cerezo García, L.; Urbina Fraile, M. (junio 2008) “*Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso. Actualización Círculo de innovación en materiales, tecnología aeroespacial y nanotecnología*”. Universidad Carlos III de Madrid, España  
Myhre M, MacKillop DA. (2002) Rubber recycling. *Rubber Chemistry and Technology*.75 (3):429-474.

Pelizzoni, J.L.; Potarsky, K.; Rehak, L., Fumagalli, S. A.; Blanco, E.R. (2012) “*Diseño e ingeniería prototipo de equipo de trozado de neumáticos fuera de uso provenientes de la explotación minera*”. FI-UNLZ- V-COINI – 2012, Buenos Aires. Argentina.

Tomás Raz R. (2004). *Panorámica General sobre la utilización de NFU en carreteras*. Jornada sobre utilización de neumáticos fuera de uso en carreteras. España.

Tripathy AR, Williams DE, Farris RJ. (2004) *Rubber plasticizers from degraded*. *Polym Eng Sci*.; 44(7):1338-1350.

### **José Luis Pelizzoni**

Maestrando en Ciencia Tecnológica y Sociedad, Universidad Nacional de Quilmes (UNQUI).  
Ingeniero Mecánico, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora (FI - UNLZ).  
Profesor Adjunto en la cátedra Automatización Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora (FI - UNLZ).

E- mail: joseluispelizzoni@yahoo.com.ar

### **Silvia Ana Fumagalli**

Licenciada y Doctora en Ciencias Químicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA).  
Profesora Adjunta de la cátedra de Química Básica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora (FI -UNLZ).

E-mail safumagalli@gmail.com

### **Rodolfo Quarleri**

Especialista en Docencia Universitaria, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta.  
Ingeniero Mecánico, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Buenos Aires.  
Vice Decano, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora (FI – UNLZ), a cargo de la Secretaría Académica.  
Consejero Superior por el Claustro Docente.  
Profesor Titular Ordinario de Estabilidad III, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora (FI – UNLZ).  
Profesor Titular Ordinario de Máquinas y Equipos Hidráulicos y Neumáticos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora (FI – UNLZ).

E-mail: requarleri@yahoo.com.ar

### **Esteban Raúl Blanco**

Doctorando de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora (FI-UNLZ).  
Magister en Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMar del Plata).  
Ingeniero Electricista, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP).  
Profesor Titular Ordinario en Física II, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora (FI - UNLZ).

E-mail: erblanco963@yahoo.com.ar