

AVANCES DE DISEÑO DE PROTOTIPO DE EQUIPO DE TROZADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO PROVENIENTES DE LA EXPLOTACIÓN MINERA

*Pelizzoni, José Luis ; Fumagalli, Silvia Ana; Quarleri, Rodolfo;
Blanco, Esteban Raúl

*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora
Camino de Cintura y Juan XXIII - Lomas de Zamora (CP 1832).*

*joseluispelizzoni@yahoo.com.ar; requarleri@yahoo.com.ar; safumagalli@gmail.com;
erblanco963@yahoo.com.ar*

RESUMEN.

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 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 técnica de INTI-Caucho y funciona en terrenos cedidos por CEAMSE, donde llegan los neumáticos de desecho. En ésta 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, recuperando 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 provocando un problema creciente de contaminación ambiental.

La primera etapa de nuestro proyecto se basó en el análisis exhaustivo de la macroestructura de los NFU de minería y el estudio de las propiedades físico-químicas del acero que lo conforma (elemento de mayor resistencia del conjunto). 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.

El presente trabajo avanza sobre los criterios de diseño referidos al equipamiento necesario para proceder a la primera etapa (Trozado) de los NFU provenientes de la actividad minera (dimensiones, tecnología de corte, potencias requeridas, sistema de montaje). 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.

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

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los residuos que más caracteriza a las sociedades desarrolladas modernas, tan dependientes del automóvil, son los neumáticos fuera de uso (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.

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 la rehabilitación del vertedero 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. Dichos NFU, no solamente tienen un tamaño mucho mayor a los del parque automotor, (lo que dificulta su traslado y manipulación), sino que además, debido a las características de los vehículos que los utilizan presentan una gran resistencia. Es decir, en la construcción de dichos neumáticos encontramos grandes cantidades de aceros. [1]

1.1 Valorización material y energética de los neumáticos fuera de uso.

Actualmente, algunos países han desarrollado métodos de reciclado de NFU del parque automotor, que conducen a la valorización del material y su utilización energética. Entre ellas encontramos [2]:

- ✓ Recauchutado: Proceso mediante el cual se sustituye la banda de rodamiento del neumático y se lo utiliza nuevamente [3]. Éste requiere de una exigente selección de carcasas para renovar, ya que éstas deben estar libres de defectos de fabricación, sin daños no reparables, es decir, se deben descartar aquellas que no soporten otro ciclo de vida.
- ✓ Tratamientos mecánicos: Los NFU son comprimidos, cortados o fragmentados en piezas irregulares. Entre ellos se encuentran la fabricación de balas, troceado (*ripping*), trituración (*cutting*). Este proceso de trituración, previo a la molienda es indispensable para el uso posterior del material producido, por ejemplo, fabricación de canchas deportivas.

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. La utilización de este tipo de trituradoras es un paso previo a la molienda y también, se emplea en los vertederos o centros de recogida para disminuir el volumen de los neumáticos [4].

- ✓ 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 molienda húmeda. En la mayoría de los países, incluso en Argentina, se emplea la molienda a temperatura ambiente. La cual 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", donde los rollos contienen ranuras con bordes afilados que rompen el caucho. Son molinos clásicos constituidos por un rotor y el estator que lo rodea [5].

La primera fase consiste en trocear los neumáticos a un tamaño de 10x10 cm, aproximadamente. En la siguiente, se reduce el tamaño de los trozos a 2,5 cm, empleando máquinas en cascada que separan el acero (mediante imanes), las piedras y la tierra (mediante mesas densimétricas), y la fibra. Para la fabricación del polvo de goma (tamaños inferiores a 1,5 mm) el neumático troceado se hace pasar por un grupo de máquinas que realizan la molienda por fricción, la criba y la separación del resto de impurezas metálicas [6].

Estas instalaciones necesitan mucha potencia y tienen un fuerte desgaste de cuchillas de corte, cilindros y platos de garras, es decir, requieren mantenimiento continuo y son de costo elevado.

- ✓ Tecnologías de Regeneración: Éstas 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 los componentes de caucho. El procedimiento es relativamente sencillo para el caucho natural, la dificultad radica cuando se aplica en cauchos sintéticos, particularmente SBR (caucho de estireno-butadieno) [5].

Los procesos de desvulcanización pueden emplear agentes químicos, agentes microbianos como el hongo "Resinicium bicolor" [7], calentamiento a altas temperaturas (sólo útil en el caucho natural) [8]; ultrasónico [9]: etc.

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: Entre ellas 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. [10]

1.2. Aplicaciones.

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: [2]

- ✓ Caucho, granulado o polvo
- ✓ Acero, utilizado en acerías
- ✓ Compuestos textiles, que actualmente no tienen aplicación específica.

El caucho es un compuesto utilizado en numerosas aplicaciones, bien de manera individual o combinado con otros materiales. Ejemplos de aplicaciones del caucho son: 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. [2]

1.3. Gestión de NFU en Argentina.

En Argentina existe una planta procesadora de NFU provenientes del parque automotor particular, transporte de pasajeros y de cargas. Ésta se encuentra instalada en el partido de San Martín (Buenos Aires) y pertenece a la firma REGOMAX. Actualmente cuenta con la asistencia y auditoría técnica de INTI-Caucho y funciona en terrenos cedidos por CEAMSE, donde llegan los neumáticos de desecho. 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, recuperando el acero y los restos de tela/nylon de la estructura.

1.4. Objetivos del trabajo.

La primera etapa de nuestra investigación se basó en el análisis exhaustivo de la macroestructura de los NFU de minería y el estudio de las propiedades físico-químicas del acero que lo conforma (elemento de mayor resistencia del conjunto). 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 [1].

El objetivo del presente trabajo es el diseño del equipamiento necesario para proceder a la primera etapa (Trozado) de los NFU provenientes de la actividad minera (dimensiones, tecnología de corte, potencias requeridas, sistema de montaje). 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.

La consideración de diseñar un equipo móvil, implica una limitación en su tamaño. Para ello se tuvieron en cuenta las dimensiones de un acoplado semirremolque, sobre el que se montaría el equipo de trozado.

2. MATERIALES

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. Los mismos provenían de Minera Alumbraera, en la provincia de Catamarca.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis del proceso de corte más adecuado:

En la bibliografía consultada se observó que los procesos de corte se realizan básicamente sobre metales, apareciendo ocasionalmente datos sobre otro tipo de materiales. Por este motivo, en nuestro estudio preliminar debimos analizar diversos tipos de corte a fin de seleccionar el modo más adecuado para caucho. Dentro de los éstos encontramos:

1. Corte por Seccionado:

H. Appold define la separación por seccionado, señalando que seccionar consiste en separar las distintas partes de una pieza sin producir viruta. [11]

En la Figura 2A se observa que el corte por seccionado tiene lugar por la acción de una cuña que incide directamente sobre el material sometido a corte y en la 2 B, se indica el “ángulo de la cuña (β)” también denominado “ángulo de filo”.

2. Cizallado:

Se denomina cizallado al corte en frío de un metal empleando un sistema de tijeras (cizalla); éste se realiza de manera Normal a la superficie [12].

En la Figura 3 vemos varios tipos de corte. El corte por cincel se corresponde con el “seccionado” de la Figura 2A; el corte por arranque de viruta es un corte por cuña y la operación de cizalla que es un corte tipo tijera.

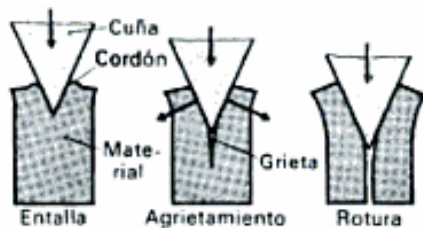


Figura 2A: Seccionar y cortar por arranque de viruta

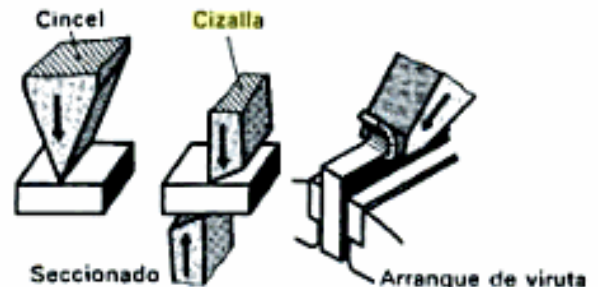


Figura 3: Cortes por cuña/cincel, cizalla y arranque de viruta

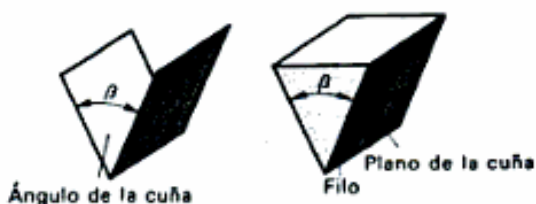


Figura 2B: Angulo y planos de cuña de corte

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 [13]. Consideramos que algo similar ocurrirá con el caucho.

En la Figura 4 (a) se muestra la geometría básica correspondiente a una herramienta de corte y en la 4 (b) se detallan los ángulos de la misma respecto al avance del material. De acuerdo a consideraciones técnicas, la suma de los ángulos de incidencia (α), el de filo (β) y el de ataque (γ) debe ser de 90° [14].

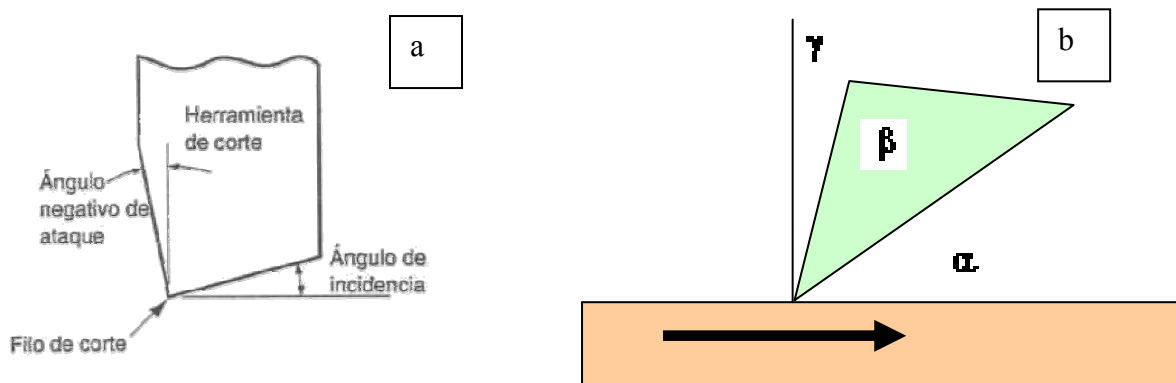


Figura 4: (a) Geometría básica de herramienta de corte por cizalla. (b) Detalle de los distintos ángulos

La experimentación permitió la elaboración de tablas de valores de dichos ángulos en función del material a cortar, en la Tabla 1 podemos observar algunos de estos valores [14].

Tabla 1: Valores de ángulos correspondientes a la herramienta de corte.

Material de la Pieza	Resistencia o dureza Kg/ mm ² o HB	Material de la Cuchilla					
		HSS			MD		
		α	γ	β	α	γ	β
Acero suave	45	6	20	64	5	12	73
Acero semiduro	60	6	18	66	5	10	75
Acero duro	80	6	16	68	5	8	77
Acero duro	90-110	6	10	74	5	6	79
Acero aleado	150	6	8	76	5	0	85
Acero fundido	50	6	15	69	5	10	75
Acero fundido duro	50-80	6	8	76	5	0	85
Fundición gris	180 HB	6	10	74	5	6	79
Fundición dura	220 HB	6	6	78	5	2	83
Cobre	60-80 HB	8	30	52	8	20	62
Latón	80-120 HB	8	12	70	8	10	72
Bronce	100 HB	8	12	70	8	12	70
Aluminio	20	10	30	50	10	20	60
Aluminio aleado	20-25	10	20	60	10	18	62
Aleación de magnesio	20	8	20	62	8	18	64
Goma dura	-	12	10	68	10	10	70
Porcelana	-	-	-	-	5	0	85

Nota: HSS corresponden a cuchillas de acero rápido (High Speed Steel) y MD de metal duro cerámico.

La Tabla 1 nos muestra que las herramientas de acero rápido (HSS) serían las más adecuadas para el procesamiento de los NFU, ya que su naturaleza metálica junto a su geometría, las harían más aptas para absorber mejor los impactos que puedan aparecer en su recorrido de acción.

3.2. Análisis de los esfuerzos de corte

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 desgarro. Su resistencia de rotura es de 0,176 Kg/mm² [15]

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 [1]

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.

El esfuerzo de corte mediante una operación de cizallado se calcula mediante la expresión: [16]

$$P = \sigma \cdot s \cdot \frac{3}{4} \cdot 9,8 \quad (1)$$

Donde

P: esfuerzo de corte en plano Normal en Kgf

σ : Tensión máxima-Resistencia en Kgf/mm²

s: sección sometida al cizallamiento/corte en mm²

$\frac{3}{4}$: factor aplicable para secciones redondas

Teniendo en cuenta:

1. Los valores de σ para aceros bajos (simil SAE 1010) y altos en carbono (simil SAE 1060) son 40 y 70 kg/mm², respectivamente. Se puede estimar que la tensión máxima para un acero similar al de los NFU de minería es de 100 kg/mm².
2. Consideramos además, que estamos en presencia de un mazo de alambres (Figura 5):

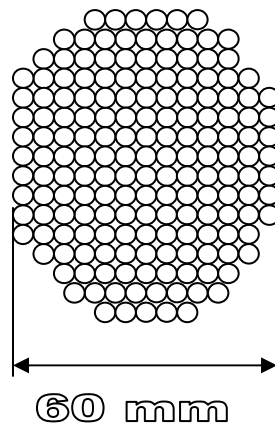


Figura 5: Esquema de la constitución del mazo de uno de los aceros del aro central de los NFU de minería.

3. Sabiendo que la sección se calcula mediante la expresión $s = \frac{\pi \cdot \Phi^2}{4}$, resulta $s = 2830 \text{ mm}^2$

$$\text{Reemplazando en (1)} \quad P = 21.220.500 \text{ N} \approx 212.250 \text{ Kg} \approx 213 \text{ Tn}$$

De acuerdo al esfuerzo así calculado, la potencia necesaria para lograr este corte sería de alrededor de 30HP.

Teniendo en cuenta que se deberían realizar varios cortes empleando la potencia calculada y habría que separar el mazo de alambres de cada trozo de NFU obtenido en el corte, se consideró más razonable retirar el mazo completo para su posterior reciclado.

Por lo anterior, se propone realizar el proceso de corte en dos etapas (Figura 6):

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/trozado de NFU: 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.

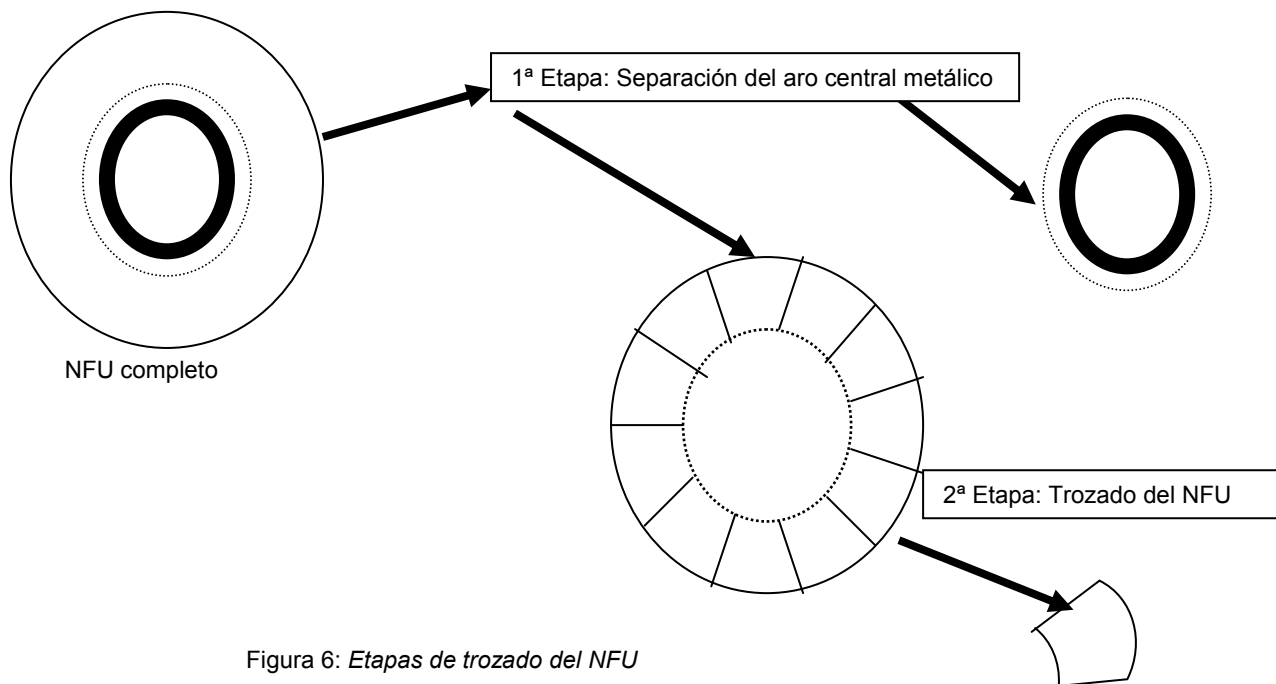


Figura 6: *Etapas de trozado del NFU*

3.3 Diseño de la herramienta de corte correspondiente a la primera etapa:

La herramienta requerida para el corte de la banda lateral del neumático no solo debe poseer una geometría específica para posibilitar el corte en sí, sino además, debe diseñarse de manera tal que utilice el mínimo esfuerzo cortante. Dicho esfuerzo combinado con la velocidad de corte, nos permitirá posteriormente determinar el valor de potencia necesaria.

Como herramienta se buscó algo que cumpla con los propósitos previamente descritos y que se encuentre fácilmente en el mercado local. Es así que se pensó en una cuchilla de diseño similar al de la Figura 7 (WASTE TYRE CUTTING BLADE) [17]:



(a)



(b)

FIGURA 7: (a) *Cuchilla típica para corte de NFU*

(b) *Cuchilla típica para corte de caucho*

La Figura 8 nos muestra una herramienta de corte, burst slitting, donde la cuchilla presenta un perfil similar al de las Figuras 2 y 7.

Si analizamos los ángulos de corte (Tabla 1), observamos que no hay diferencia apreciable para el corte de goma dura, si se emplea como material de la herramienta tanto el acero rápido como el metal duro.

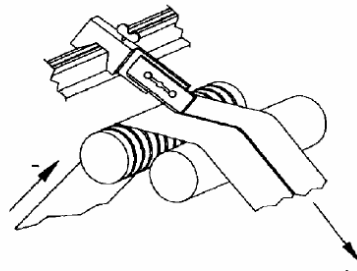


Figura 8: Corte por cuchilla (*burst slitting*)

Recordemos que el material a ser cortado no es solamente caucho sino que contiene además, una pequeña proporción de alambre de acero. Su presencia hace que el corte no tenga siempre la misma resistencia, existirá un esfuerzo máximo cuando se presentan los alambres en el camino de la cuchilla. Los impactos generados sobre la herramienta deben ser absorbidos elásticamente por la misma, a fin de evitar su deterioro prematuro.

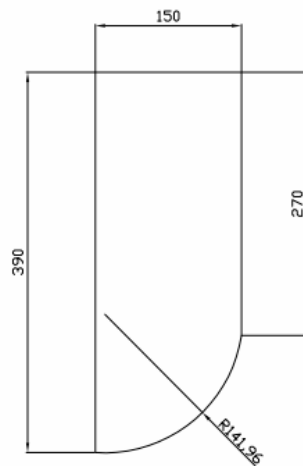
Lo expuesto anteriormente nos indica que la elección del material a emplear en la cuchilla es vital en el diseño de la misma.

Sabemos que en el mercado también se utiliza en cuchillas el acero SAE 5160. Es un acero al cromo - manganeso de buena templabilidad utilizado para resortes espirales y planos, barras de torsión y piezas de construcción elásticas así como cuchillas. Su resistencia a la tracción es de 106-165 Kg/mm². Sabiendo además que los cortadores corrientes de alambre están diseñados para cortar materiales con una resistencia de rotura 65 kg/mm² y 85 kg/mm² [18]; concluimos que este acero sería el que mejor se adecuaría a nuestros requerimientos.

De acuerdo a lo previamente expuesto proponemos como herramienta típica para el corte de la primera etapa la esquematizada en la Figura 9.

ESPESOR:
10MM

MATERIAL:
SAE
5160
Temple
y
revenido
en
aceite



Ángulos de perfil de la cuchilla:

Alfa: 12°

Beta: 68°

Gamma: 10°

Figura 9: Perfil de cuchilla para la primera etapa (medidas en mm)

3.4. Diseño de la herramienta de corte correspondiente a la segunda etapa:

La operación de trozado tiene características similares a la operación de cizallado y desgranamiento.

El cizallado empleado en el corte de metales se realiza a temperatura ambiente (en frío) empleando dos cuchillas, una móvil y otra fija. La operación se hace sin desprendimiento de viruta, y la separación, en dos partes, se realiza mediante un plano normal a la superficie a separar. [16]

En este sistema, la cuchilla u hoja móvil avanza con un cierto ángulo de inclinación respecto a la otra cuchilla u hoja fija. Esto da como resultado un corte oblicuo entre 9° y 14° para el caso de metales [16]

Asimismo, existen varios tipos de montajes según la orientación de las cuchillas (Figura 10):

a. Cizallas de cuchillas paralelas

- b. Cizallas de oblicuidad constante (inclinación constante)
c. Cizallas de inclinación variable

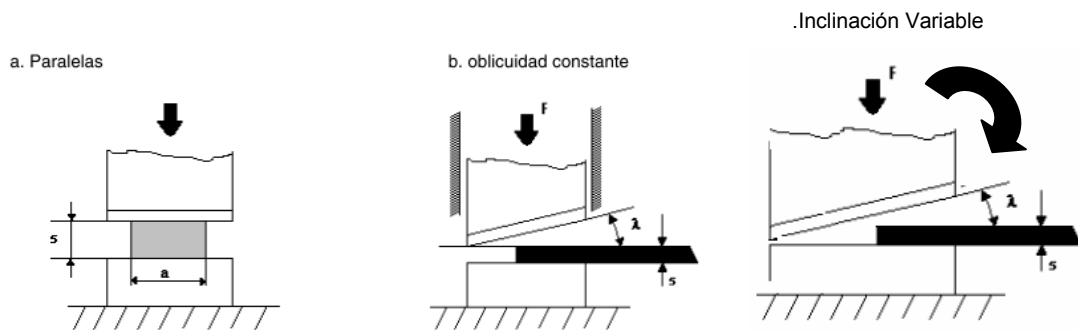


Figura 10: Cizallas de cuchillas paralelas (a); de ángulo constante (b) y de ángulo variable (c)

La sección de corte es menor en el caso de cuchillas de oblicuidad constante por lo que se requieren máquinas cizalladoras menos potentes para el mismo grosor "s" y ancho "a" de chapa. En este caso, el esfuerzo del corte a la tracción (σ_T) es igual a $0,8 \sigma_R$, donde σ_R es la resistencia a la rotura. En las cuchillas de oblicuidad constante se recomienda un ángulo de inclinación $\lambda = 10^\circ$.

Sin embargo, analizando el proceso de trozado del neumático podemos observar que guarda similitud con el proceso de cizallado de ángulo variable. En esta operación específica, se verifica que desde una máxima apertura o ángulo, la cizalla se cierra como una tijera. Es de hacer notar que la cuchilla de la cizalla superior no es recta, sino que posee una conformación con dientes convexos (Figura 11).

Durante esta operación característica, al principio se presiona una sección del neumático, hasta que se verifica un efecto de cuña que favorece el corte por desgarramiento.

Esta geometría dentada es adecuada para el corte de papel (periódicos, libros, revistas, sacos de papel, bolsas de plástico), también es aplicable al corte de metales y sería la de mayor efectividad para el corte de caucho.

Es de hacer notar que en el mercado se encuentran cuchillas dentadas de varias geometrías, el acero de las mismas es tratado térmicamente, por ejemplo, calidad AISI-D2 / AISI-S1.

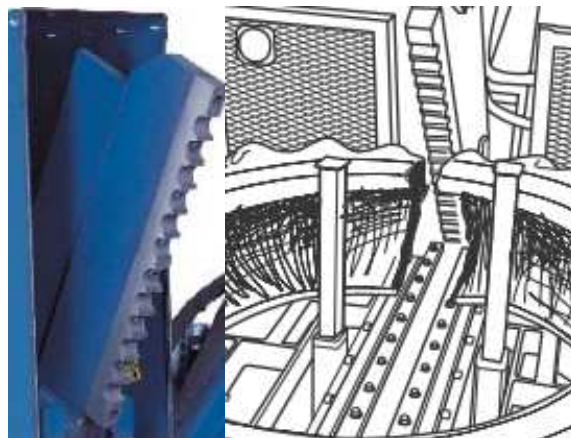


Figura 11: (a) Detalle máquina TC-55 Tire cutter www.tssissg.com
(b) Detalle de operación máquina TC-25 www.tssissg.com

Se propone a continuación la herramienta de corte con dentado convexo adoptando como material el acero SAE 5160. (Figura 12 - medidas en mm)

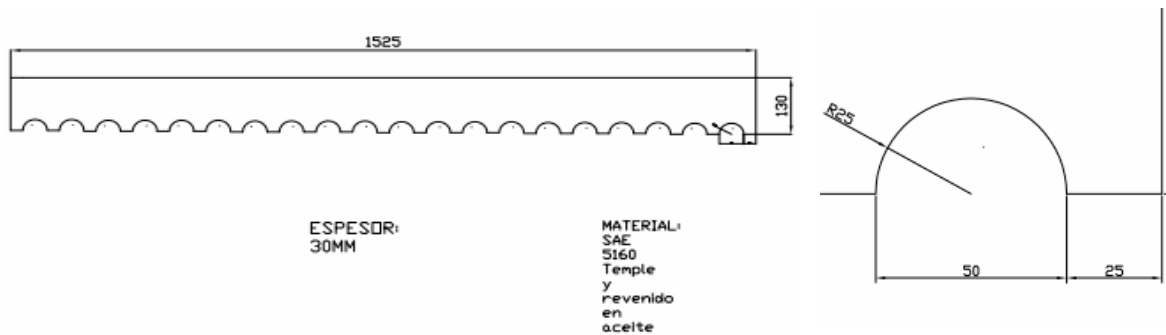


Figura 12: (a) Perfil de cuchilla para la primera etapa
(b) Detalle diente convexo

3.5. Potencia necesaria

Las herramientas anteriormente definidas requieren de una potencia, combinación del esfuerzo necesario y su rapidez de acción a fin de realizar las operaciones de corte del aro y el trozado. El caucho posee una resistencia a la tracción entre 1 y 20 MPa, dependiendo de su grado de vulcanización. Este valor equivale a 2 kgf/mm^2 , valor inferior en 35 veces al del acero componente de los alambres incluidos dentro de los NFU. Para la determinación de la potencia consideraremos el material que más resistencia ofrezca, en este caso, los alambres de acero.

3.5.1. Potencia Primer Etapa

En esta 1er etapa, la herramienta efectuaría un corte en profundidad sobre el lateral del NFU de minería, que se movería con una cierta velocidad angular sobre una plataforma giratoria. La potencia de corte requerida para ello sería de 3 HP.

3.5.2. Potencia Segunda Etapa

En este caso, se simplifica el cálculo considerando una cuchilla recta en lugar de dentada. Teniendo en cuenta que la operación la realizará una cuchilla doble, la potencia necesaria sería de 13 HP.

CONCLUSIONES.

De acuerdo a la información reunida y analizada hasta el momento, 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. Se emplearía como herramienta la diseñada en la Figura 9 de acero SAE 5160, empleando una potencia de 3 HP. Esta operación permitiría separar la mayor parte del componente metálico del neumático favoreciendo su posterior reciclaje y además, evitaría emplear una potencia 10 veces superior a la mencionada si se realizara un corte transversal.
2. Se trozaría el resto del NFU en fracciones pequeñas a fin de favorecer su movilización y posterior triturado. Para ello se emplearía la herramienta de corte descrita en la Figura 12, con dentado convexo y de acero SAE 5160. La potencia requerida en esta operación sería de 13 HP.

Se prevé continuar con el desarrollo de la ingeniería del equipo prototipo "completo" para el trozado in situ de NFU proveniente de la explotación minera.

Se buscarán además, los capitales necesarios para el desarrollo y puesta en marcha de este equipo.

REFERENCIAS.

- [1] Pelizzoni, José Luis.; Potarsky, Karina; Rehak, Liliana, Fumagalli, Silvia Ana; Blanco, Esteban Raúl (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.
- [2] Cano Serrano, Encarnación, Cerezo García, Lidia; Urbina Fraile, Marina (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
- [3] Calatayud Monreal A. Conocimiento y Tecnología del Neumático Renovado. *INSA TURBO, Industrias del Neumático S.A.-GRUPO SOLEDAD*. España.
- [4] Tomás Raz R. (2004). Panorámica General sobre la utilización de NFU en carreteras. *Jornada sobre utilización de neumáticos fuera de uso en carreteras*. España.
- [5] Myhre M, MacKillop DA. (2002) Rubber recycling. *Rubber Chemistry and Technology*.75 (3):429-474.
- [6] Mesalles, A. (2000) Fabricación de granulado de caucho de NFU por molienda mecánica. *Seminario sobre Innovación en el Aprovechamiento de NFU*. España.
- [7] Bredberg K; Andersson BE; Landfors E, Holst O. (2002) Microbial detoxification of waste rubber material by wood-rotting fungi. *Bioresour Technol.*; 83(3):221-224.
- [8] Tripathy AR, Williams DE, Farris RJ. (2004) Rubber plasticizers from degraded. *Polym Eng Sci.*; 44(7):1338-1350.
- [9] Feng WL, Isayev AI. (2006) Recycling of tire-curing bladder by ultrasonic devulcanization. *Polym Eng Sci.*; 46(1):8-18.
- [10] Laresgoiti MF, Caballero BM, de Marco I, Torres A, Cabrero MA, Chomon MJ. (2004) Characterization of the liquid products obtained in tyre pyrolysis. *J Anal Appl Pyrolysis.*; 71(2):917-934.
- [11] Appold, H; Feiler, K; Reinhard, A; Schmidt, P. (Edición Digital desde 2005). *Tecnología de los metales*, Editorial Reverté. Impresión en España.
- [12] Pezzano, Pascual (1984), *Resistencia de Materiales*; pag 33. Editorial Alsina. Buenos Aires.
- [13] Berna , Xavier Saluela; Alberro, Amelia Nápoles. (Octubre 2000) *Tecnología mecánica*. Ediciones de la Universidad Politecnica de Catalunya, SL 1ra edición
- [14] Pezzano, Pascual (1984), *Tecnología mecánica* Tomo I. Buenos Aires. Edición 9ª. Editorial Alsina.
- [15] Flinn Richard; Trojan Paul. (1991) *Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones*, 3ra Edición. Editorial McGraw Hill. Impreso en México
- [16] Pezzano, Pascual (1984), *Tecnología mecánica* Tomo II. Buenos Aires. Edición 9ª. Editorial Alsina..
- [17] <http://www.circular-blade.com/6m8zqf/pl2lq3.html>
- [18] http://pdf.directindustry.com/pdf/simpedil/simpedil-general-catalogue/62486-314831-_2.html

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al Ingeniero Salvador Sorbello por sus destacados aportes técnicos.