

RECICLADO DE TERMOPLÁSTICOS Y ELASTÓMEROS

Dr. C. Eduardo Tomás Lincheta Mesa¹, Ing. Osmel Casanova Ramos²

1. *Universidad de Matanzas Sede-Camilo Cienfuegos. Vía Blanca Km 3, Matanzas, Cuba.*
eduardo.lincheta@umcc.cu
2. *Universidad de Matanzas Sede-Camilo Cienfuegos. Vía Blanca Km 3, Matanzas, Cuba.*
osmel.casanova@umcc.cu

RESUMEN

El desarrollo de sistemas para el reciclaje de las diferentes variedades de materiales plásticos, fundamentalmente los termoplásticos y los elastómeros, es de importancia creciente a nivel internacional, por todas las ventajas ambientales y económicas que proporciona a cualquier país, sin embargo para ello es fundamental en primer lugar la realización de acciones de formación profesional y de aplicaciones tecnológicas, que eleven la cultura general de la población y en específico de los profesionales del sector químico e industrial. Sobre esta base se presentan aspectos esenciales que se deben conocer sobre los procesos de reciclado de los materiales plásticos, los equipos e instalaciones que se aplican y posibles diseños que permitan ampliar el desarrollo local de tecnologías de reciclado, como es el caso de la TNFU-LIN2016 prevista para su aplicación fija y también móvil, como punto inicial de instalación de triturado de plásticos y neumáticos fuera de uso.

Palabras Claves: Reciclado, trituradoras, termoplásticos, elastómeros

Monografías



INTRODUCCIÓN

El uso de los derivados poliméricos, ya sean termoplásticos o elastómeros es una necesidad creciente en todo el mundo, por su gran variedad de aplicaciones en toda las esferas y ramas de la industria, donde a diario se le encuentran nuevas posibilidades de uso y como solución a diversas necesidades de la vida diaria en la sociedad; sin embargo, al mismo tiempo una vez usado se convierte en un desecho no degradable y un notable problema medio ambiental, si no se buscan vías para su reciclaje, es decir, convertirlos nuevamente en productos aprovechables de igual característica o convertidos en otros productos de utilidad.

En la actualidad se reciclan en España unas 250.000 toneladas de residuos plásticos al año. Proceden fundamentalmente del sector industrial y en menor medida de otros sectores como el agrícola, el comercial, el doméstico o el de la automoción. Se estima que los residuos de plástico de Estados Unidos en 2015 fue de 43,6 millones de toneladas, de las cuales (8,3%) fueron reciclados, (9,7%) fueron quemadas para producir energía y (82%), fueron a parar a vertederos, lo cual refleja, que hasta en los países de mayor desarrollo es muy elevado el potencial de reciclado que no se aprovecha y por tanto es una fuente considerable de posibilidades de ahorro que se sigue perdiendo, así de la misma forma una fuente que se incrementa de afectación ambiental, en la cual todos los habitantes del planeta han de contribuir a disminuir y trabajar en revertir esta situación, con el desarrollo de instalaciones que garanticen los procedimientos necesarios para el reciclado de los diferentes materiales posibles de reciclar, en específico de los plásticos.

Monografías

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años. Mundialmente se han desarrollado diferentes tecnologías para reciclarlos y darle un aprovechamiento después del término de su vida útil, sin embargo, en todos los casos el primer paso es lograr la trituración de los mismos, hasta dimensiones granulométricas de acuerdo con la finalidad de uso posterior.[8]



En las plantas de reciclado que se han desarrollado en diferentes países, por lo general reciben los neumáticos de desecho procedentes de autos, camiones, equipos agrícolas, motos y ciclos. El producto de salida de dichas plantas son gránulos de goma (60%) acero (35%) y fibra textil o sintética (5%) donde las trituradoras de mayor uso son del tipo de discos con separadores [9]. Cuba confronta un problema ascendente en este sentido, más de un millón de neumáticos quedan fuera de uso anualmente; sobre todo en las empresas de mayor uso de transportes, las cuales tienen en el mejor de los casos grandes almacenes llenos de estos desechos, pues cumplen la directiva medioambiental del CITMA, en la que los diferentes organismos no puede ni botar, ni quemar los neumáticos fuera de uso (NFU) y cuando ya se acaba el espacio con cubiertas en sus instalaciones, comienzan a cubrir patios y motivan a su vez violaciones; al dejarse al intemperie o llevarlos a vertederos, con las implicaciones que lo anterior provoca. Sobre la base, de esta gran necesidad de aprovechar los desechos de plástico y los NFU, no resuelta en el país, se ha introducido en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica, de la Universidad de Matanzas, la asignatura optativa: “Tecnología para el reciclado de los materiales plásticos” que se desarrolla en 4to año y al mismo tiempo se crean grupos científicos estudiantiles que investigan las posibilidades de diseños de diferentes instalaciones con ese fin, como es el caso de una máquina troceadora de neumáticos, hasta la dimensión propia de los que se usan en camiones, como punto de partida de una futura planta de reciclado, que pueda dar solución a este problema general y a su vez crear una fuente de riquezas con los mismos, una vez triturados, incluso en los lugares de almacenamiento, pues el diseño incluye la posibilidad de instalación fija y una variante móvil. Además de que la característica del diseño base de la trituradora (INTE LIN 2016), es que también pueda ser utilizada para la trituración de todo tipo de plásticos, como paso previo a su posible reciclaje y aprovechamiento en general.

DESARROLLO

Reciclado es un proceso que consiste básicamente en volver a utilizar materiales que fueron desechados y que aún son aptos para elaborar otros productos o volver a fabricar los mismos. Ejemplo de materiales reciclables son los metales, el vidrio, el plástico, el papel y otros. A diferencia del reciclado, la reutilización es toda operación en la que el envase concebido y diseñado para realizar un número mínimo de circuitos, rotaciones o usos a lo largo de su ciclo de



vida, es rellenado o reutilizado con el mismo fin para el que fue diseñado, por ejemplo las botellas de cerveza, ron vino, etc.

Son muchas las razones para reciclar: se ahorran recursos, se disminuye la contaminación, se alarga la vida de los materiales, aunque sea con diferentes usos, se logra ahorrar energía, se reduce el 80% del espacio que ocupan los desperdicios al convertirse en basura, y al mismo tiempo se genera empleo y riqueza. La mayor parte de los desechos son reutilizables y reciclables, el problema estriba en que al mezclarlos se convierten en basura; así que una de las soluciones al problema de la basura es no hacerla, separando los desechos para poder reciclar. Hay que tener en cuenta también que resulta prácticamente imposible que la basura desaparezca por sí sola; basta con saber el tiempo que necesitan algunos materiales para deteriorarse en la naturaleza: un tallo de bambú puede tardar en desaparecer de 1 a 3 años, pero los plásticos o las botellas de cristal pueden permanecer intactos de 500 a 1.000 años.

Debido a los diferentes pesos moleculares de sus largas cadenas de polímero, los plásticos poseen una baja entropía de mezclado. Por lo que cuando diferentes tipos de plástico se mezclan fundidos, tienden a separarse en capas por fases, como el aceite y el agua, de tal forma que los tipos de plásticos tienen que ser idénticos para mezclarse eficientemente. Las interfaces entre fases causan puntos estructurales débiles en el material que se obtiene, por lo que las mezclas de distintos polímeros no deben usarse para fabricar los mismos de origen, aunque en la actualidad son variados los usos que se dan de los plásticos triturados de diferentes tipos, es decir sin clasificar, en la fabricación de mezclas con cementos, sustancias epoxicas y lozas, en la producción de lozas o placas de jardín, ladrillos, moldes, relleno de caminos y otras variantes de uso en la rama de la construcción.

Lo primero que se debe conocer y aprender para después pensar en los equipos e instalaciones para su reciclado, son las características fundamentales de los plásticos, las normas internacionales de identificación y sus usos más comunes:

Plástico proviene de la palabra griega *plastikos*, que significa susceptible de ser modelado o moldeado y Polímeros del griego *poly*: muchos, *meros*: parte o segmento. Los polímeros son materiales que están constituidos por muchas unidades llamadas monómeros, las cuales le



proveen a estas macromoléculas pesos moleculares enormes. Es importante saber que los términos polímeros y plásticos no son la misma cosa, los polímeros son la materia prima con que se preparan los plásticos. Los polímeros se clasifican de acuerdo con sus propiedades físicas y mecánicas en tres grandes grupos:

1. Termopolímeros: Pueden ser moldeados cuando son calentados. Ejemplo polipropileno, polietileno, poliestireno, etc.
2. Termorrígidos: Son materiales entrecruzados duros, no maleables y no flexibles. Ejemplo la fórmica, melamina, baquelita, etc
3. Elastómeros: Material Entrecruzado flexible y extendible. Ejemplo el caucho, las gomas, etc

Los plásticos se clasifican según sea su comportamiento, con la variación de la temperatura y los disolventes en TERMOESTABLES y TERMOPLÁSTICOS

· Termoestables (Termorrígidos)

A menudo, los polímeros termoestables se obtienen en forma de dos resinas líquidas. Una contiene los agentes de curado, endurecedores y plastificantes, la otra materiales de relleno y/o reforzantes que pueden ser orgánicos o inorgánicos.

Los termoestables, son originalmente blandos o pegajosos o bien se ablandan al calentarse por primera vez, aunque posteriormente se endurecen de modo permanente.

Son los plásticos que no reblandecen ni fluyen por mucho que se aumente la temperatura, por tanto sufren modificaciones irreversibles por el calor y no pueden fundirse de nuevo. Son duros y frágiles. Los termoestables no pueden ser recalentados y refundidos como los termoplásticos.

Esto es una desventaja pues los fragmentos producidos durante el proceso no se pueden reciclar, excepto en los casos donde una vez triturados se agreguen a otras mezclas aglutinantes como el cemento, el asfalto y para rellenos sanitarios en terrenos para deportes, etc. Ejemplos de polímeros termoestables son los fenólicos (usos en adhesivos, revestimientos eléctricos, etc) epóxicos (usos en moldeados eléctricos, matriz de laminados aeronáuticos, etc) poliésteres, poliuretanos (espumas aislantes, parachoques) y otras variantes.

· Termoplásticos

Son plásticos que cuando son sometidos al calor se reblandecen y fluyen por tanto son moldeables por el calor cuantas veces se quiera sin que sufran alteración química irreversible. Al



enfriarse vuelve a ser sólido. Tienen estructuras lineales o poco ramificadas. Son flexibles y resistentes. Son más fáciles de reciclar.

A nivel mundial se utilizan en la industria de embalaje y contenedores diferentes grupos de polímeros plásticos, donde cada uno de ellos posee propiedades específicas y se identifican por su Código de Identificación o PIC (siglas en inglés)

Código de identificación	Tipo de polímero	Propiedades	Aplicación	Uso después de reciclado	Temp. Fusión °C
	Tereftalato de polietileno (PET, PETE)	Claridad, dureza, resistencia, barrera a los gases y al vapor.	Botellas y frascos para bebidas, agua, productos alimenticios	Textiles para bolsas, lonas, cuerdas	250
	Polietileno de alta densidad (HDPE)	Dureza, resistencia, resistencia a la humedad, permeabilidad al gas.	Botellas de leche, agua, jugos. Tuberías, bolsas de compra y de alimentos	Bolsas industriales, botellas de detergente, champú, perfumes	130
	Policloruro de vinilo (PVC)	Versatilidad, facilidad de mezclado, dureza, resistencia.	Tuberías de agua, marcos de ventanas, tarjetas de crédito, etc.	Muebles de jardín, cercas o vallas, tuberías, suelos de baldosas, etc.	240
	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Facilidad de procesamiento, dureza, resistencia, flexibilidad, fácil de sellar, barrera al vapor.	Film adhesivo, bolsas para alimentos congelados, botellas exprimibles, tubería flexible	Bolsas para residuos, film usos agrícolas, tubos flexibles, vallado	120



	Polipropileno (PP)	Dureza, resistencia, resistencia al calor, productos químicos, grasa y aceite, versátil, barrera al vapor.	Envase para alimentos, vajilla y platos para microondas, tapas, piezas de autos, celulares, otros	Sillas, textiles, cajas múltiples para envases	173
	Poliestireno (PS)	Versatilidad, claridad, fácil de darle forma	Cajas para huevos; platos, vasos y bandejas desechables	Cubos de basura, aislamiento térmico, accesorios de oficina	240
	Otro (a menudo policarbonato o ABS)	Dependiente de los polímeros o combinación de polímeros	Discos compactos, cristales irrompibles, gabinetes de aparatos electrónicos	Triturados en mezclas para diversos usos	225

En los procesos de selección de los plásticos con vista a su reciclado, es fundamental buscar en el envase el código de clasificación, cuestión que en muchos países resulta una obligación de los productores, no obstante si no aparece, al saber la posible aplicación de origen, entonces se adopta su clasificación, de acuerdo con la mayor similitud a la tabla anterior. Como se observa en la tabla anterior, los plásticos con menor punto de fusión son los polietilenos de alta y baja densidad, lo cual motiva también que sean los más apropiados para su reciclado, ya que en el proceso de transformación se consume menos energía y por tanto, son más rentables en su costo de inversión y aporta mayores ganancias al productor.

Dentro de las corrientes de residuos, la fracción plástica es la que en los últimos años mayor cantidad de residuos genera. Cada vez son más los tipos de plásticos, los cuales pueden presentar unas propiedades muy diversas dependiendo de su estructura química, aditivos, cargas, siendo infinitas las combinaciones posibles. Su versatilidad en infinidad de aplicaciones y la capacidad de cubrir un amplio abanico de propiedades los hacen materiales muy apetecibles para su recuperación. Por ejemplo el polietileno es un polímero termoplástico que presenta un elevado



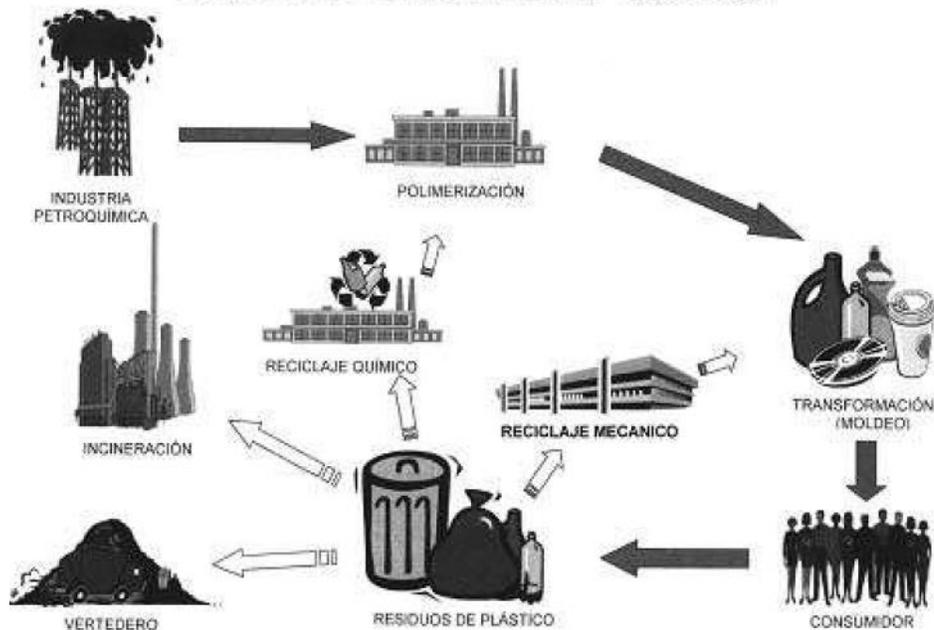
potencial de reciclado. Generalmente se aplica en mezclas con proporción de 70 a 80 % de Baja Densidad y el resto de Alta Densidad, con el que se alcanzan muy buenas propiedades de resistencia y vida útil, las piezas que se fabriquen, como son por ejemplo las alcantarillas y rejillas de desagüe, donde se sustituyen las de acero por reciclado de dicho material, topes en zonas de parqueo, pallet de carga, bancos, así como otras variadas aplicaciones, que dan aprovechamiento a múltiples desechos, como es el caso de las cubiertas de polietileno que se usan mucho en las áreas agrícolas, donde los granjeros están obligados a depositar todos los desechos en zonas habilitadas, para facilitar su recogida y reciclado, como puede apreciarse en las imágenes siguientes:

Depósitos de residuos en México y resultado del reciclado



. Como información general, el ciclo industrial del plástico, se puede apreciar en la imagen siguiente:

CICLO INDUSTRIAL DEL PLÁSTICO



El punto de partida en todos los casos de los desechos plásticos a reciclar, es la recolección y clasificación, aspecto en el cual muchos países desarrollados han tomado conciencia de su necesidad y por ello es una labor cotidiana en los hogares, que ayuda en gran medida y donde países como Alemania y España, entre otros, van a la vanguardia.

Monografías





MATERIALES DE DESECHOS PARA RECICLAR

Hay cuatro tipos de reciclaje de plásticos: primario, secundario, terciario y cuaternario.

Reciclado primario • Consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original.

Reciclaje secundario • En este tipo de reciclaje se convierte el plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original, producto de que los residuos están contaminados o no existen instalaciones de reciclado químico. No obstante se pueden fabricar muchos otros productos de variadas aplicaciones. (alcantarillas, registros sanitarios, bancos, topes de parqueos y otras) como se muestra a continuación:





APLICACIONES DEL RECIKLADO SECUNDARIO

Reciclaje terciario • Este tipo de reciclaje degrada el polímero a compuestos químicos básicos y combustibles. Es diferente a los dos primeros porque involucra además de un cambio físico un cambio químico. Por ejemplo, del calentamiento de los plásticos se obtiene gas que puede ser usado para producir electricidad, metano o amoníaco.

Reciclaje cuaternario • Consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir el plástico es usado como combustible para reciclar energía. Una desventaja que se debe considerar es la generación de contaminantes que van a la atmósfera y por tanto requiere la adopción de medidas de control y filtrado de las emanaciones.

Teniendo en cuenta los tipos de reciclado de los plásticos y como se pudo apreciar en la lámina del ciclo básico del plástico, tenemos dos sistemas tecnológicos fundamentales para su reciclado:

RECICLADO MECÁNICO Y RECICLADO QUÍMICO

Reciclado Mecánico. El reciclado mecánico es un proceso físico mediante el cual el plástico post-consumo o el industrial (scrap) es recuperado, permitiendo su posterior utilización.

Reciclado Químico

Se trata de diferentes procesos mediante los cuales las moléculas de los polímeros son craqueadas (rotas) dando origen nuevamente a materia prima básica que puede ser utilizada para fabricar nuevos plásticos. Algunos métodos de reciclado químico ofrecen la ventaja de no tener que separar tipos de resina plástica, es decir, que pueden tomar residuos plásticos mixtos reduciendo de esta manera los costos de recolección y clasificación. Dando origen a productos finales de muy buena calidad.

Pasos generales del reciclado mecánico (Puede ser modificado en pasos y equipos según el objetivo final del plástico reciclado)

Separación

Preparación en una cinta transportadora de los diferentes tipos de plásticos de acuerdo con la identificación o con el aspecto visual. En esta etapa también se separan rótulos de materiales diferentes, tapas de botellas y productos compuestos por más de un tipo de plástico. Por ser una etapa manual, la eficiencia depende directamente de la práctica de las personas que ejecutan esta tarea. Otro factor determinante de la calidad es la fuente de material a ser separado, dado que el que proviene de la recolección selectiva es más limpio comparado con el material proveniente de los basurales a cielo abierto

Molido

Después de haber sido separados, los diferentes tipos de plásticos son molidos y fragmentados para facilitar su uso posterior

Lavado

Después de triturado, el plástico pasa por una etapa de lavado para eliminar la suciedad. Es



preciso que el agua de lavado reciba un tratamiento para su reutilización o emisión como efluente.

Secado

En esta etapa se retira el exceso de agua por centrifugado y también con el paso por conductos impulsados por aire caliente a presión

Aglutinación

Además de completar el secado, el material es compactado, reduciéndose así el volumen, lo cual se realiza en máquina extrusora de diámetro grande donde se forma una masa plástica, o plasta en trozos, que caen en tina de agua, donde se solidifica. El aglutinador también se utiliza para la incorporación de aditivos, tales como cargas, pigmentos y lubricantes.

Corte de plastas y de desperdicios de las fábricas de igual material. Se realiza el corte en molinos que fragmentan la masa o plasta, de acuerdo con el tamaño deseado por los clientes, para facilitar el mezclado y el trabajo de las inyectoras o extrusoras, de fabricación de la pieza final.

Extrusión

La extrusora funde el material ya con las mezclas requeridas, según su uso y vuelve a la mezcla plástica homogénea. A la salida de la extrusora se encuentra el cabezal, del cual sale un “espagueti” continuo que es enfriado con agua. En seguida, el “espagueti” es picado en un granulador y transformado en pellet (granos plásticos). En otras variantes de la extrusora o inyectora pasa a moldes, de la nueva pieza a producir.

En el caso de que el resultado final del reciclado mecánico sea del tipo primario, antes del pelletizado, el sistema de reciclado incluye instalaciones de purificación, aunque para una calidad superior es el reciclado químico el indicado para convertir de nuevo el reciclado en material plástico virgen.

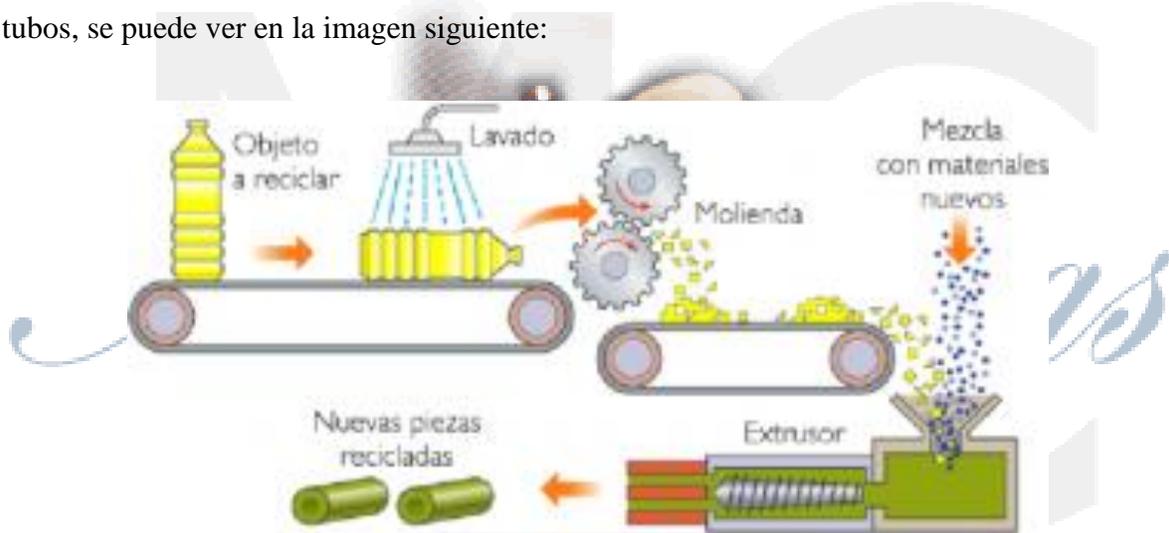
Pelletizadora.

Convencionalmente en el reciclado de plásticos por medio de las líneas de pelletizado el grano es cortado o formado una vez solidificado el plástico, sin embargo, hay otras variantes donde el grano es cortado aun cuando el plástico no ha solidificado completamente. Una vez cortado el



material plástico blando y en estado aun de fluidez, inmediatamente es solidificado con agua fría, con esto se evita la generación de polvo, se consigue un grano de forma regular y se facilita el empaque y transporte del mismo. El tamaño del grano se ajusta automáticamente de acuerdo con el volumen de extrusión y velocidad de corte, así como de acuerdo con las dimensiones del tamizado vibrador que ayuda a filtrar los granos y evitar que pasen partículas que contaminen el material reciclado. Finalmente los Pellets pasan al secador final, utilizado para secar los pellets o granos una vez pasaron por el tamiz y ya están en condiciones de ser embasados.

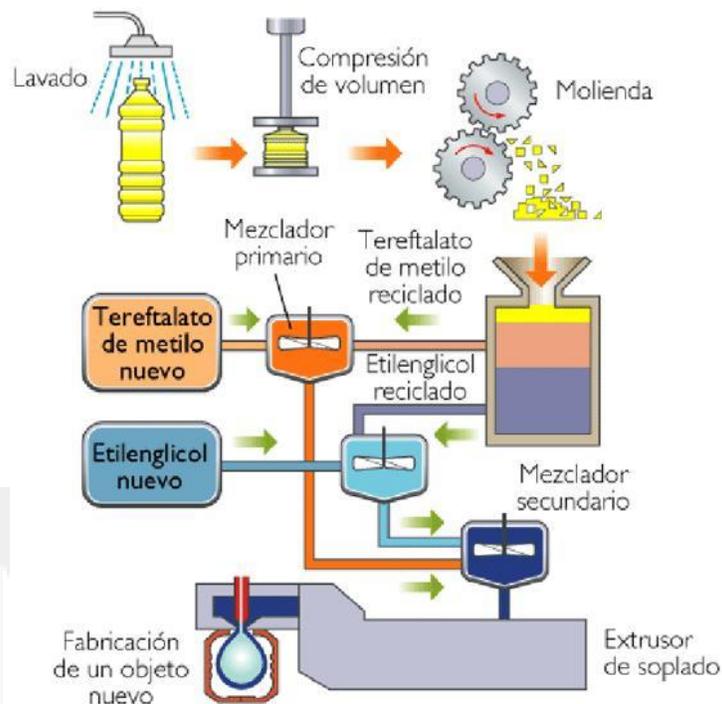
En un esquema simple del reciclado mecánico como el que se usa por ejemplo en la fabricación de tubos, se puede ver en la imagen siguiente:



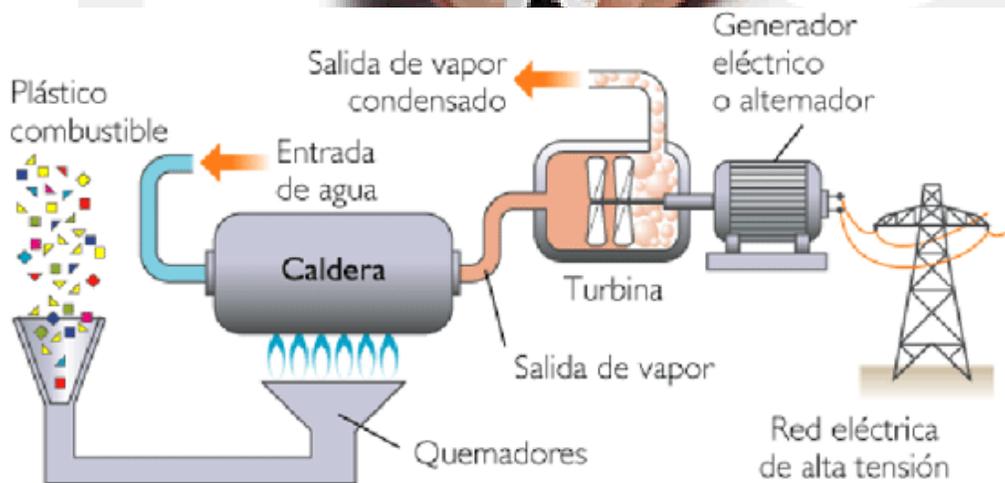
Otro esquema representativo del reciclado mecánico es el siguiente:

Monografías





Otra forma de aprovechamiento de los desechos de plásticos, una vez separados o clasificados para su uso como combustible y producción de energía, requiere solamente del molido al tamaño correspondiente y entonces se utilizan como se representa en el esquema simple siguiente:

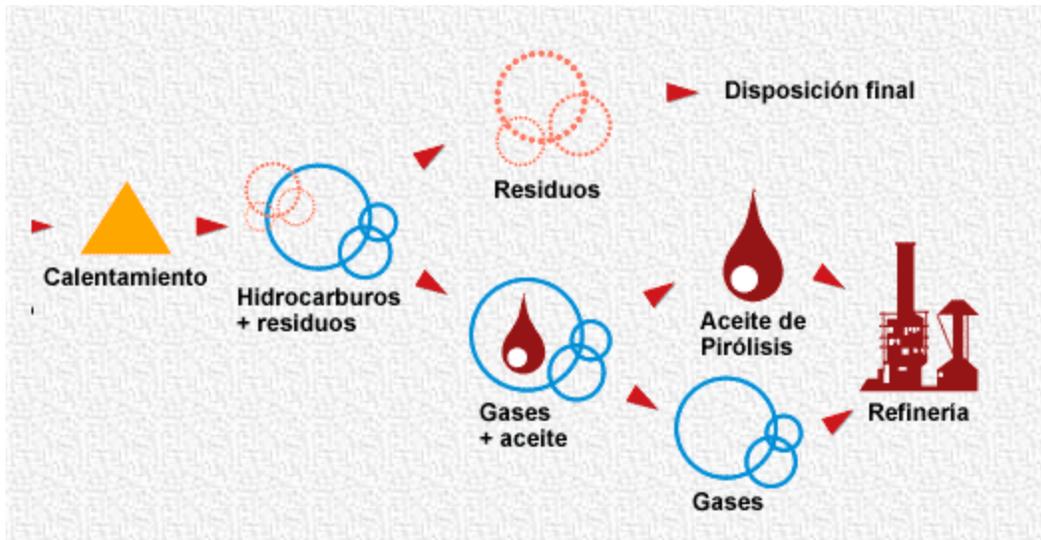


Principales procesos existentes para el Reciclado Químico:

-Pirólisis:



Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías. (Ver esquema)



Hidrogenación:

En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.

Gasificación:

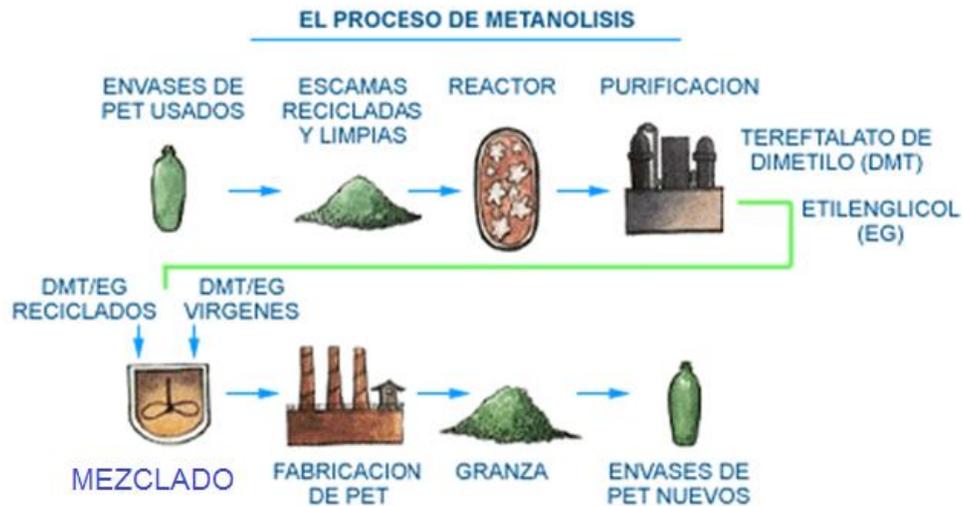
Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtienen los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.

Quimiólisis:

Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos.



Metanólisis:



Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (el PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen. Varios productores de polietilentereftalato están intentando de desarrollar este proceso para utilizarlo en las botellas de bebidas carbonadas. Las experiencias llevadas a cabo por empresas como [Hoechst-Celanese](#), [DuPont](#) e [Eastman](#) han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET.

Estos procesos tienen diferentes costos y características. Algunos, como la chemolysis y la metanólisis, requieren residuos plásticos separados por tipo de resina. En cambio la pirólisis permite utilizar residuos plásticos mixtos.

De lo analizado anteriormente respecto a las diferentes tecnologías existentes y otras que se siguen desarrollando en la actualidad, para seguir elevando la eficiencia y la disminución de costos en las mismas, está claro que en países en desarrollo las mayores posibilidades de contribuir en este empeño del reciclado del plástico y del diseño de componentes con ese fin, es en las instalaciones que conforman la tecnología del reciclado mecánico y su sistema estructural de funcionamiento; de lo cual y a manera de ejemplo, en función del espacio disponible en la Monografía, se presenta



un resumen del procedimiento seguido para el desarrollo de la TRITURADORA DE PLÁSTICOS Y NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) PARA INSTALACIÓN FIJA Y MÓVIL: TNFU - LIN 2016

El punto de partida de cualquier sistema de trituración, es el estudio de las fuerzas actuantes en los rotores de corte, lo que a manera de ejemplo se describen algunos datos del realizado experimentalmente para la TNFU – LIN2016, donde se desarrolló dispositivo de corte con un área de troceado similar a la de los discos de corte de la troceadora de primer paso, el que se muestra en las imágenes siguientes:



En el diseño experimental se adoptó como variable independiente el NFU, los que se consideran en 6 niveles (de acuerdo con sus características físicas) efectuándose la corrida experimental con tres réplicas, en cada caso.

Se consideran como niveles de experimento, los siguientes:

1. A – Goma de calzo anti vibratorio
2. B- Goma con cuerda de rayón.
3. C- Goma con cuerda de nylon.
4. D- Goma con cuerda de acero de 0,5 mm
5. A+C Se unen la goma de calzo con la cuerda de nylon



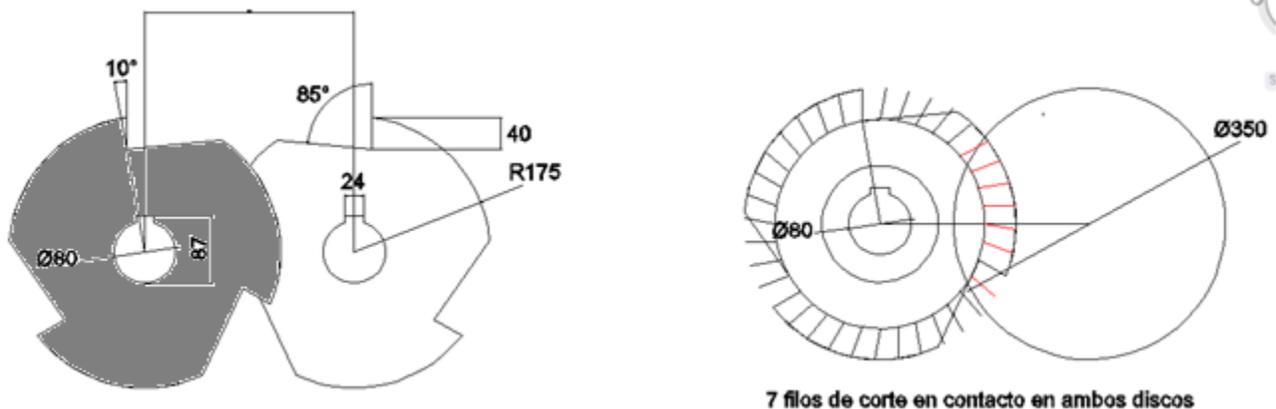
6. E- Goma con cuerda de acero de 0,8 mm

Efectuada la corrida experimental y promediado los resultados de las tres réplicas y conociendo el área del pistón de corte (1452,2 mm²), el resultado obtenido, después de procesarlo con ayuda del Excel y con la resta de la fuerza del resorte es el siguiente:

NIVELES	FUERZA EN N	PRESIÓN MPa (N/mm ²)
A	2000	1,38
B	3000	2,06
C	3500	2,41
D	4000	2,75
A + C	5500	3,78
E	7000	4,82

Como el diseño de la troceadora TNFU - LIN 2016 (ANEXO 1) está prevista para dimensiones de neumáticos de diámetros máximos aproximados a 1020 mm y espesor de 300 mm, de uso común en camiones, donde se incluyen los de cuerdas de acero, se selecciona para el cálculo del rotor, su potencia y los cálculos que se continuarán realizando, el mayor valor de fuerza de corte obtenido de 7000 N

Otro aspecto indispensable a tener en cuenta en la continuidad del diseño de la troceadora, es el número de filos de corte del rotor en contacto simultáneo, para lo cual se hace uso como herramienta del AUTOCAD y se tiene en cuenta que los filos en el rotor están girados 10 grados uno respecto al continuo, lo cual se refleja como esquema a escala real a continuación:



En atención a los que refleja el dibujo se comprueba que son 7 los fillos en contacto simultáneo con el neumático que se troza en cada rotor, por tanto la suma de las fuerzas de corte que se debe tener en cuenta para el torque del árbol rotor, será:

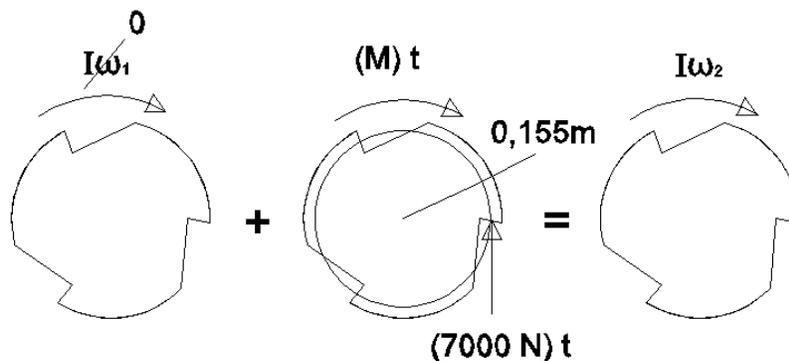
$$7000 \text{ N} \times 7 \text{ fillos} = 49000 \text{ N}$$

Para la determinación de potencia necesaria en los rotores de corte, a partir de la geometría de las cuchillas de disco, separadores y árbol de transmisión, capaz de vencer la fuerza de corte, definida anteriormente y continuar su movimiento de giro a 35rpm, se aplica el método de impulso y cantidad de movimiento, el que se relaciona mucho mejor con lo que se debe conocer y en este caso, se considera que a partir del arranque del sistema, a los 45 segundos se logre estabilizar el movimiento de corte, venciendo la inercia del conjunto.

Para mejor interpretación del método de cálculo se presenta el esquema siguiente:

ECUACIÓN BASE: $I \omega_1 + (\Sigma M_O) t = I \omega_2$

Se tiene en cuenta en el esquema, que se parte del arranque por lo que la velocidad de giro inicial es 0



Primeramente se calcula el momento de inercia del conjunto del rotor con respecto a su eje de giro, con la aplicación de las ecuaciones siguientes:

Momento de Inercia respecto al eje de giro: $I = 0.5 \text{ m}^2$

Masa del elemento $m = \rho V$

Se considera para todo el conjunto la densidad del acero $\rho = 7900 \text{ kg/m}^3$

Para el volumen de cada elemento, se considera el espesor de disco y separadores de 40mm (0,04m) y para los extremos del árbol de transmisión, una longitud de 300mm y diámetro 80mm.

Con lo anterior, la ecuación general del momento de inercia del conjunto será:

$$I_{\text{ROTOR}} = I_{16 \text{ DISCOS}} + I_{17 \text{ SEPARADORES}} + I_{\text{EXTREMOS ÁRBOL}}$$

Sustituyendo los valores de cálculo, el resultado del momento de inercia del conjunto es.

$$I_{\text{ROTOR}} = 7,448 \text{ kg m}^2 + 0,266 \text{ kg m}^2 + (9,528 \times 10^{-3}) = 7,723 \text{ kg m}^2$$

Las 35 rpm se llevan a rad/s con la ecuación $\omega = (3.1416 * 35)/30 = 3,665 \text{ rad/s}$

Despejando y sustituyendo en la ecuación base, de impulso y cantidad de movimiento, se obtiene el resultado siguiente:



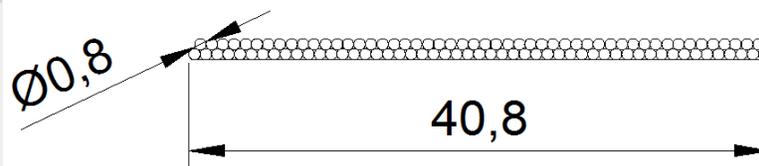
$$M = \frac{7,723 \text{ kg m}^2 * 3,665 \text{ rad/s}}{45 \text{ s}} + (49000 \text{ N} * 0,155 \text{ m}) = 7595,6 \text{ Nm}$$

Con este resultado del momento de torque necesario para la función de corte del rotor, se determina la potencia requerida, en cada rotor para una velocidad de giro de 35rpm, como sigue:

$$\text{Potencia} = 7595,6 \text{ Nm} * 3,665 \text{ rad/s} = 27837,87 \text{ Watt} \approx 28 \text{ kW}$$

Como forma de comprobación o validación del experimento realizado, en relación con el valor máximo de fuerza de corte utilizado en los cálculos, que fue referido al valor obtenido con el NFU, que en su composición tiene malla de alambre de acero de diámetro 0,8mm, se procede al análisis siguiente:

El alambre de acero de uso común por los fabricantes de neumáticos tienen una tensión admisible a tracción de 30 a 40 Kgf/mm² y a cortante de 18 a 24 Kgf/mm², por lo que se toma un valor medio de 21 kgf/mm² (205,93 N/mm²) y el área de corte 0,8 x 40,8mm, como se refleja en el esquema que se presenta a continuación:



Lo cual se corresponde con los discos de corte de la TNFU – LIN2016 en esta primera variante que se diseña, donde el área de tronzada transversal a los alambres será de 2,64mm², por lo que al multiplicar dicha área por el valor medio admisible a cortante del alambre (205,93 N/mm²) aporta un resultado de 6721,5 N, el cual se corresponde y valida el valor experimental obtenido para el NFU más resistente al corte, que alcanzó en el experimento un valor de 7000 N

Ya con estos valores obtenidos y teniendo en cuenta que los rotores a mover son dos, de forma simultánea a partir de la transmisión diseñada (Anexo 1) se propone que el motor reductor a usar, como fuente principal, reúna las características que siguen:

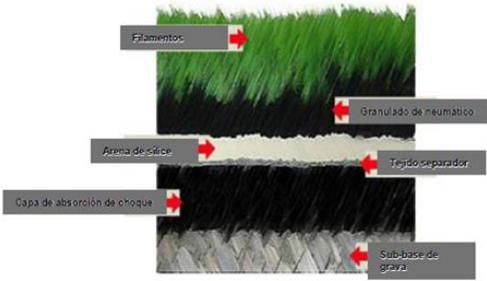
MOTOR	REDUCTOR
Potencia: 60kW	Relación: 50 : 1 <u>Valores de salida</u>



RPM: 1765 Momento de torque: 0,325 kNm	RPM: 35,3 Momento de torque: 16kNm
---	---------------------------------------

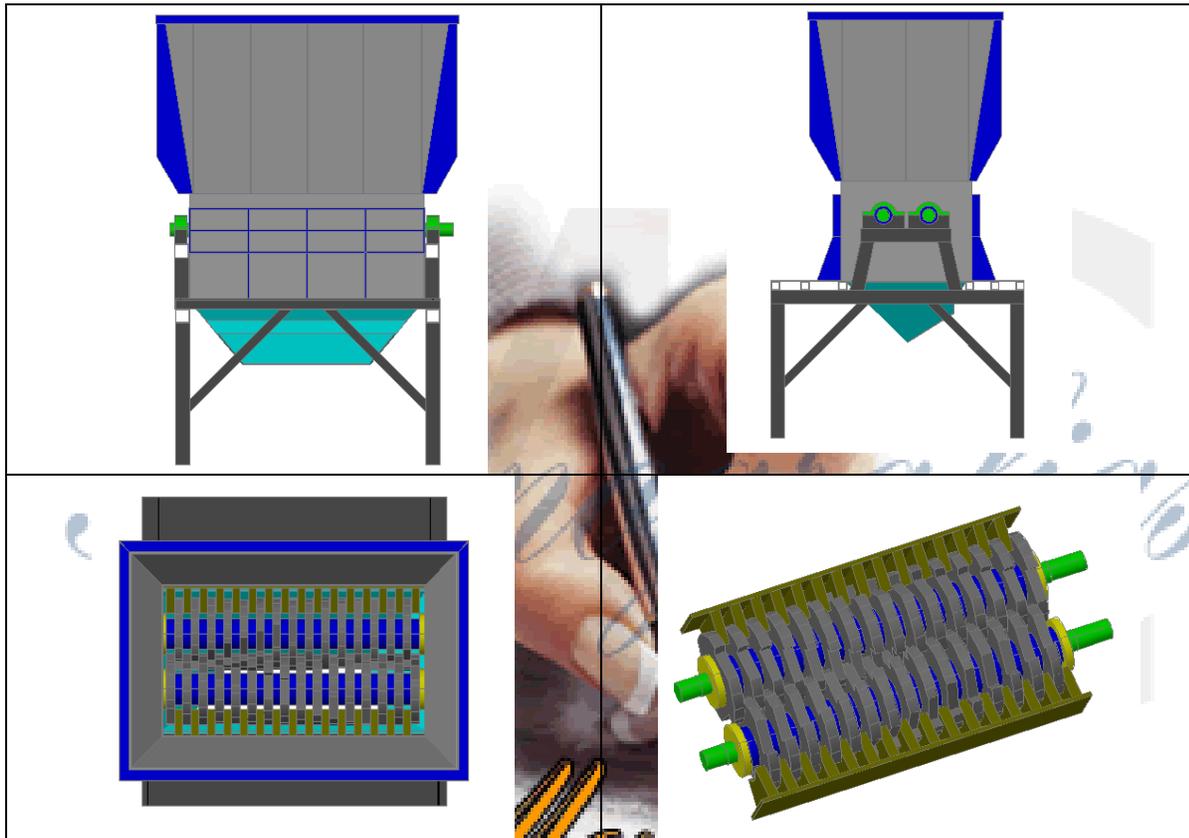
Nota: El momento de torque a la salida del reductor, se distribuye de acuerdo con la transmisión de diseño para los dos rotores.

.En Cuba pasan a desechos más de un millón de neumáticos anualmente, los cuales llenan muchos almacenes y patios a la intemperie, de un gran número de Empresas; las que cumplen la regulación del CITMA que como protección ambiental establece que los NFU no se pueden quemar, ni botar y otras que violan esta regulación, al no tener espacio para seguir acumulando estos tipos de desechos, que enteros ocupan mucho espacio y por tanto los depositan en vertederos sin control; sin embargo son múltiples los usos que internacionalmente se le dan a los NFU, desde troceado de 100mm (muy utilizado como combustible en cementeras en USA) en rellenos de caminos y carreteras, hasta las medidas mínimas de triturado, las que se aplican en diversos usos, desde mezclas asfálticas, pinturas de conservación, en mezclas de terrenos deportivos, etc. Lo cual se ejemplifica en las imágenes siguientes:

	
<p>NFU granulado para la fabricación de pavimentos bituminosos</p>	
	<p style="text-align: center;">PISTAS DE ATLETISMO</p> 
<p>RELLENO PARA CÉSPED ARTIFICIAL</p>	



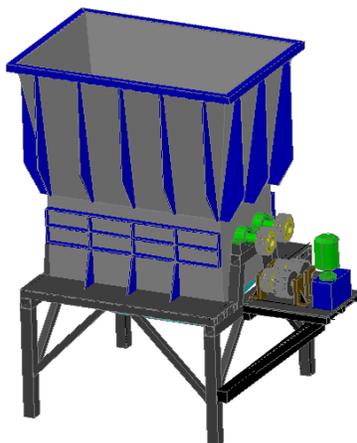
La trituradora de doble rotor TNFU – LIN 2016 permite su instalación de forma fija, como sistema inicial de triturado y con la posibilidad de cuchillas de discos intercambiables, que permiten en su aplicación con diferentes espesores garantizar desde el troceado inicial en tamaños de 100mm, hasta el triturado en dimensiones hasta 2mm, según el sistema de tamizado que se le adapte.



VISTAS FRONTAL, LATERAL Y SUPERIOR DEL MODELO DE TRITURADORA, CON LA VISTA ISOMÉTRICA DE SUS ROTORES

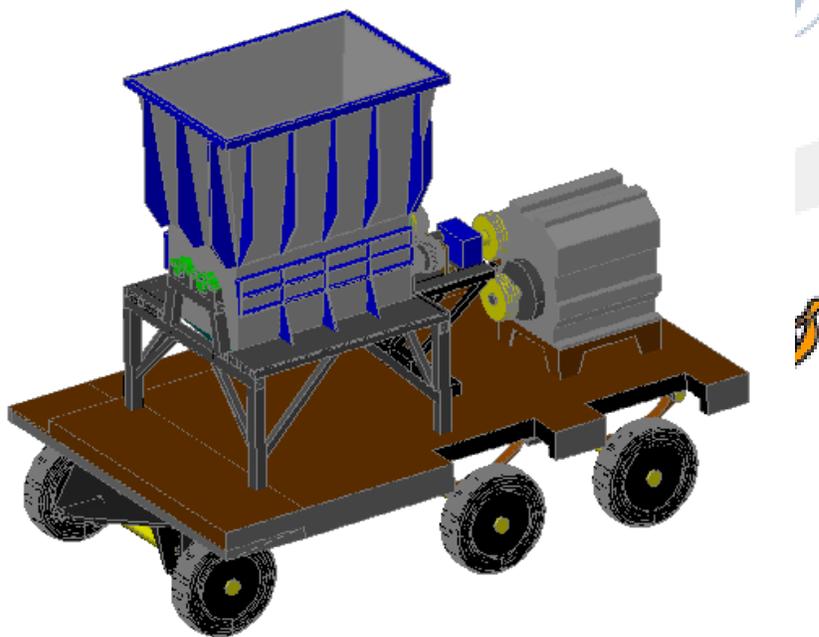
Trabajando sin tamiz o criba puede procesar altas cantidades de material (1200kg/h a 1500kg/h)
El sistema de transmisión, en instalación fija, puede ser con dos moto-reductores acoplados a cada árbol rotor o con sistema con una sola fuente motriz como se representa a continuación:





La posibilidad de llevar la trituradora al lugar donde se almacenan los neumáticos o variantes de plásticos a triturar, los cuales ocupan gran espacio en muchas empresas del país, es una variante de utilidad, que en primer lugar libera más del 75 % del espacio ocupado y a su vez disminuye en gran medida los gastos por transportación, del producto ya triturado, hacia los lugares destinados para su reciclaje, ya sea en el país o como fuente de exportación.

TNFU – LIN 2016 – Móvil



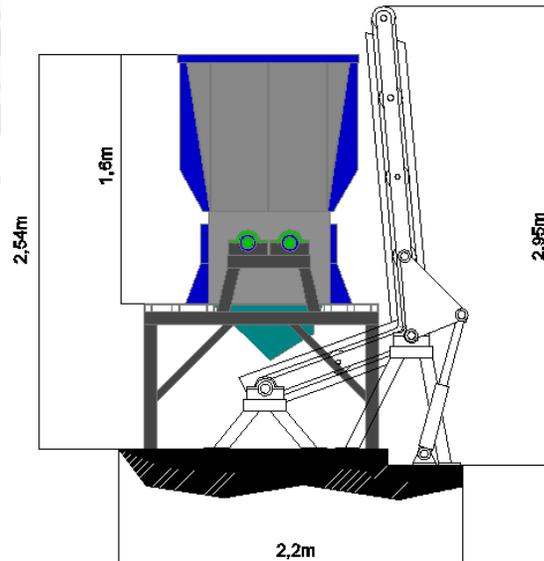
Motor Diesel para tractor
Con potencia en el rango de 60 a 70 kW,
por ejemplo:

**MOTOR PARA TRACTOR DIESEL
4JR3T85**

FABRICADO EN CHINA
Potencia/Velocidad (kW/r/min): 62,5/2400
Máx. Torsión/Velocidad (Nm/r/min):
324/1800
Consumo promedio (g/kW.h) \leq 235
Acoplado a REDUCTOR de 50:1 se logra
salida en máximo torque de: 16200Nm y 36
r/min



**ESQUEMA del sistema transportador de productos triturados de laTNFU – LIN 2016-
Móvil, en posición de traslado.**

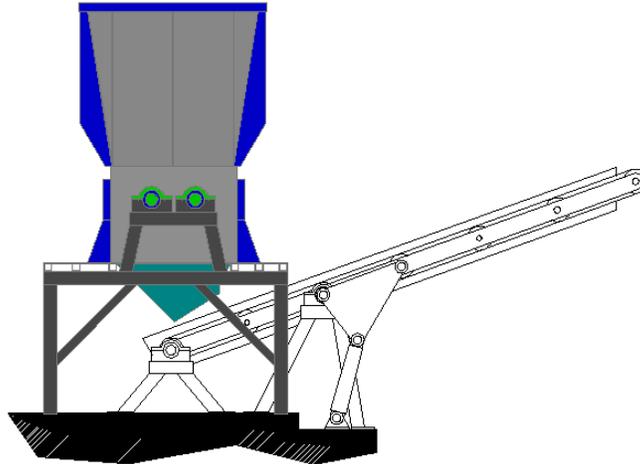


El transportador de productos cortados es con articulación, para facilitar su desplazamiento angular, como se representa, para su traslado a la zona de corte, lo cual se logra mediante arrastre del conjunto, por medio automotor, ya sea camioneta o camión.

El funcionamiento del transportador y de los cilindros de empuje, es a partir de bomba y motor hidráulico, cuya fuente motriz es del mismo motor de combustión instalado.

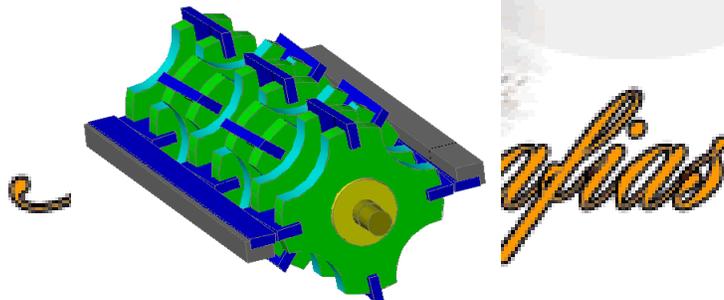
**ESQUEMA del sistema transportador de productos triturados de laTNFU – LIN 2016-
Móvil, en posición de trabajo.**





En el caso de la aplicación fija, el transportador de productos triturados, no requiere de articulación. El material que se tritura o trocea, en el caso de los NFU, se transporta de forma directa a los contenedores o depósitos que se utilicen con ese fin, los que quedan listos para su traslado y uso posterior.

El proyecto de diseños para el reciclado incluye variantes de instalaciones completas, de preparación del material a reciclar y modelos de rotores de cuchillas rectangulares para el triturado en el rango de 10 a 1mm de tamaño promedio, según la criba que se le adapte, como se representa a continuación:



Rotor de cuchillas rectangulares



Instalación de corte, lavado y secado, fase inicial para el reciclado de termoplásticos

SITUACIÓN COMÚN EN MUCHAS EMPRESAS CONSUMIDORAS DE NEUMÁTICOS EN EL PAÍS, CUANDO SE CONVIERTE EN NFU



INVERTIR EN INSTALACIONES PARA EL RECICLADO DE TERMOPLÁSTICOS Y ELASTÓMEROS, ES VITAL PARA EL CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE Y UNA FUENTE DE RIQUEZAS INFINITA, AL APROVECHAR DESECHOS NO DEGRADABLES EN MÚLTIPLES APLICACIONES Y EN DIFERENTES RAMAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIALES; DONDE LO PRIMERO QUE SE DEBE LOGRAR ES: RECOLECCIÓN, CLASIFICACIÓN Y TRITURADO.

COSTO TOTAL APROXIMADO PARA LA FABRICACIÓN DE LA TNFU – LIN 2016, INCLUIDO MOTOR DE COMBUSTIÓN Y TRANSPORTADOR: **27850 CUC (24368.75 USD)**

CONCLUSIONES

1. Queda demostrado que las posibilidades del desarrollo de instalaciones para el reciclado mecánico, como punto de partida del aprovechamiento de desechos de termoplásticos y elastómeros, existen en países en desarrollo como Cuba.
2. Invertir en sistemas de reciclado, es ganancia y futuro en todos los países, de aquí la prioridad que se le deben dar a inversiones en este sentido.
3. La troceadora de plásticos y neumáticos TNFU – LIN2016 es un diseño realizable y de bajo costo, en comparación con los efectos económicos que puede aportar, tanto como instalación fija, como móvil.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ASTM Standard D624-00 Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers**
2. **Casanova R. et al. Estudio para determinar la fuerza de corte necesaria en el troceado de neumáticos fuera de uso (NFU) Jornada Científica Estudiantil, Universidad de Matanzas, Cuba 2016**
3. **INEN 889 Norma Ecuatoriana. Caucho. Determinación de la compresión residual**
4. **Neumáticos fuera de uso Proyecto Europeo ECO- INNOVACIÓN FICHAS TÉCNICAS Diciembre 2013. PDF España www.signus.es**
5. **Norma ASTM D412-87, Standard Test Method for Rubber Property in tensión. Annual Book of ASTM Standard, Vol 09-01. Whashington Government Printing.**
6. **Norma ASTM D945-92 Standard Test method for Rubber Property in compression or shear, Annual book of ASTM Standards, Vol 09-01, Washington Government Printing.**
7. **Pelizzoni, José Luis ; Fumagalli, Silvia Ana; Quarleri, Rodolfo; Blanco, Esteban Raúl. Avances de diseño de prototipo de equipo de trozado de neumáticos fuera de uso, provenientes de la explotación minera. PDF Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina, Internet 2015**
8. **Proyecto ejecutivo de aprovechamiento de neumáticos fuera de uso. Yanset y ANSA. Mexicalli Nov. 2014 <http://www.etrma.org>**
9. **Sistema de reciclaje de residuos especiales. Máquina trituradora de llantas. 2015 www.gercons.com**

