

**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**

# **RECUPERACIÓN DE CAUCHO A PARTIR DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO**

**(CONSTITUCIÓN DE EMPRESA CON ALTA PRODUCCIÓN SOCIAL  
Y MEJORAS EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
Y DE VIDA DE LA POBLACIÓN)**

**ING. NIGME CADENAS**

**AGOSTO, 2014**

ÍNDICE	Página
INTRODUCCIÓN.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	6
ANTECEDENTE NACIONAL.....	7
BASES TEÓRICAS.....	7
Los neumáticos.....	7
Clasificación y composición de los neumáticos.....	8
Valorización de los neumáticos fuera de uso.....	9
Comercialización del polvo de caucho.....	12
Clasificación del mercado para comercializar el polvo o de caucho en función de la granulometría.....	14
Valorización del polvo de caucho en mezclas asfálticas.....	15
DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DEL MERCADO DE NFU EN VENEZUELA.....	16
Parque Automotor en circulación período 2000-2011.....	16
Proyección de NFU para el año 2015.....	17
DIAGRAMA DE PROCESO DE LA PLANTA DE TRITURACIÓN PROPUESTA .....	19
PROCEDIMIENTO DEL PROCESO DE MOLIENDA DE NFU.....	20
Sección I. Pre-trituración.....	21
Sección II. Granulado .....	21
Sección III. Molienda.....	22

Equipos Auxiliares .....	23
PROPUESTA DE UNA PLANTA DE TREITURACIÓN DE NFU.....	24
Algunas características del proceso .....	25
Capacidad de las Trituradoras y de los Molinos de Rodillos.....	26

## BIBLIOGRAFÍA

**RECUPERACIÓN DE CAUCHO A PARTIR DE  
NEUMÁTICOS FUERA DE USO  
(Constitución de empresa con Alta Producción Social y  
mejoras en la calidad ambiental y de vida de la población)**

## **INTRODUCCIÓN**

El enfoque del presente proyecto se dirige principalmente a tomar parte de los desechos sólidos que se generan en el país y convertirlos en un producto útil y capaz de generar ingresos y fuentes de empleo. Esos desechos son los neumáticos usados. Si bien es cierto que en principio los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato, su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades, puede contaminar gravemente el medio ambiente debido a la generación de gases producto de la combustión, ocasionando problemas para eliminarlos. No en vano, los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas duras (son resistentes al ozono, la luz y las bacterias), lo que les hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. Por las razones antes expuestas, se plantea la creación de una planta recuperadora de los materiales constituyentes de neumáticos usados.

En líneas generales el proceso de reciclaje consiste en la recolección de los neumáticos usados para posteriormente ser transformados mediante operaciones de trituración y molienda, obteniéndose además gránulos que varían desde 5 mm hasta polvos de 0,7 mm, acero y fibras textiles. Dependiendo de la granulometría obtenida, el caucho puede ser utilizado para la construcción de superficies deportivas, en asfaltos de carreteras, o en la industria cementera.

Puede afirmarse que en Venezuela se carece de alternativas para el tratamiento y reciclaje de neumáticos, acudiéndose solamente al reencauche para reutilizarlos. De lo contrario, los neumáticos desincorporados se desechan en cualquier parte, donde generalmente son abandonados o quemados en última instancia, aumentándose así la contaminación ambiental.

El proyecto plantea la visión de integrar aspectos técnicos, para promover una cadena de valorización económica y social, mediante la creación de empleos directos e indirectos, aunado a resolver la problemática ambiental que representa la disposición de neumáticos. También se incluye la recuperación de los metales presentes en los neumáticos, para contribuir aun más con la disminución de la contaminación ambiental e incrementar la rentabilidad del proyecto por su venta a acerías.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente no se tiene un sistema de tratamiento para neumáticos fuera de uso (NFU); el proceso de reciclado de los mismos en Venezuela es prácticamente inexistente. Se pueden conseguir en cualquier parte, en cuyas dimensiones normalmente se acumulan líquidos, que con el tiempo se producen gases tóxicos debido a la descomposición de los desechos, que contaminan el medio ambiente.

Los neumáticos usados son desechos que ocupan mucho espacio físico, son difíciles de compactar, recolectar y eliminar. Su composición incluye elementos peligrosos como el plomo, cromo, cadmio y otros metales pesados. Cuando se eliminan de manera inapropiada constituyen una amenaza para la salud y el medio ambiente.

### **1) Riesgo para la salud pública**

Los neumáticos son lugares ideales para los roedores y también lugares donde se reproducen los mosquitos que transmiten el dengue y la fiebre amarilla. La forma redonda y su impermeabilidad permiten que se acumulen agua con residuos durante largos períodos, lo que los convierten en lugares perfectos para el desarrollo de larvas y mosquitos. La propagación del dengue constituye un importante problema de salud pública internacional.

Además de la propagación de mosquitos y roedores, otro riesgo es la quema de neumáticos, que generan emisiones de compuestos químicos nocivos para la salud humana

tales como: monóxido de carbono, óxido de azufre, óxido de nitrógeno, hidrocarburos aromáticos polinucleares y contaminantes orgánicos persistentes.

## 2) Riesgos para el Medio Ambiente.

La estructura, durabilidad y capacidad de conservación del calor de los neumáticos son una amenaza potencial para el medio ambiente. La eliminación no controlada de neumáticos ha tenido un importante costo para la salud pública, los animales y las plantas. Puede obstruir cursos de agua, arroyos y desagües pluviales.

Los neumáticos apilados son propensos a conservar el calor y tienen una estructura que facilita los incendios, ya sean intencionales o no que, una vez que comienzan son difíciles de controlar y apagar, y seguir por meses generando gases tóxicos contaminantes.

## OBJETIVO GENERAL

Implantar un proceso integral que asegure la recolección y recuperación del caucho proveniente de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU), reduciendo el impacto ambiental que estos producen.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar datos sobre la cantidad de neumáticos usados susceptibles a ser reciclados.
2. Revisar los requerimientos nacionales de caucho.
3. Establecer la capacidad de la planta.
4. Realizar el dimensionamiento de los equipos principales involucrados en el proceso de reciclaje de neumáticos usados.
5. Diagramar de forma cualitativa el proceso de producción.

## ANTECEDENTE NACIONAL

1. En vista de la necesidad existente de optimizar la red vial a nivel nacional, PDVSA Asfalto, S.A., se planteó el compromiso de contribuir al mejoramiento y la construcción de la infraestructura pública vial, a través de la producción y suministro de materiales de asfalto, derivados y demás elementos requeridos, necesarios para el asfaltado de las comunidades aledañas a las zonas operacionales de PDVSA, sus filiales o cualquier otra zona que determine el ejecutivo nacional, al menor costo y tiempo, con los altos niveles de calidad y el uso de tecnología avanzada, contando con el personal capacitado y comprometido. Se apoyó el **Proyecto especial de recuperación de caucho proveniente de los neumáticos fuera de uso (NFU)(2013)**: Este proyecto de nuevas tecnologías considera la construcción y puesta en marcha de la planta de molienda de caucho de neumáticos fuera de uso, con una capacidad nominal de 4.224 toneladas/año de polvo de caucho, 2.034 toneladas/año de acero, 1.552 toneladas/año de fibra textil y 15 toneladas/horas de asfalto modificado. El avance obtenido comprende: movimiento de tierra para la construcción del galpón de molienda 85%, procura de la planta de molienda y planta de asfalto modificado, procura de equipos livianos y de recolección.

## BASES TEÓRICAS

### Los Neumáticos.

La estructura del neumático está formada en la parte interior por láminas de caucho, una malla de acero y/o textil y una capa exterior de caucho macizo moldeado, que constituye la banda de rodadura. Esta banda es la que va en contacto con la superficie del camino, tiene una alta resistencia al desgaste y a través de su diseño proporciona las características de

tracción, frenado y adherencia. Durante su uso se produce un desgaste de la banda de rodadura, volviendo insegura la conducción, por lo que el neumático debe ser cambiado. Generalmente los fabricantes de neumáticos recomiendan como mínimo 3 mm de profundidad de dibujo o huella para garantizar la seguridad del vehículo. Con ese mismo objetivo, en algunos países existen normas de seguridad de tránsito que establecen la profundidad mínima de dibujo o huella en 1,6 mm. Esta es la razón por la cual existe un significativo mercado mundial de neumáticos usados, hacia aquellos países que no cuentan con este tipo de normas.

Los neumáticos generalmente tienen hilos que los refuerzan. Dependiendo de la orientación de estos hilos, se clasifican en diagonales o radiales. Los de tipo radial son el estándar para casi todos los automóviles modernos.

### **Clasificación y Composición de los neumáticos**

Según el estado del neumático después de su utilización, éstos se pueden clasificar en:

#### **a) Neumáticos reutilizables**

Renovados (pueden ser renovados y las especificaciones técnicas determinantes son fijadas por las empresas especializadas.

#### **b) Neumáticos no reutilizables.**

Dependiendo del uso y del vehículo, los neumáticos varían en tamaño y diseño, sin embargo la composición de los productos de los distintos fabricantes es muy similar. En los cuadros 1 y 2 se presenta un resumen de las principales características de los neumáticos usados en autos y camiones.



Cuadro 1. Composición de los neumáticos.

Composición de los Neumáticos	
Caucho	45-47%
Negro de carbón	21,5-22%
Acero	16,5-25%
Textil	5,5% (solo para autos)
Oxido de zinc	1-2%
Azufre	1%
Aditivos	5-7,5%

En el cuadro siguiente se indican los porcentajes de caucho molido, acero y fibra que pueden obtenerse de NFU de automóviles y camiones respectivamente.

Cuadro 2. Cantidad Porcentual de caucho, acero y fibra.

PRODUCTO	NFU/CAMIÓN	NFU /VEHÍCULOS
<b>Caucho Molido</b>	<b>70%</b>	<b>70%</b>
<b>Acero</b>	<b>27%</b>	<b>15%</b>
<b>Fibra</b>	<b>3%</b>	<b>15%</b>

### Valorización de los neumáticos fuera de uso (NFU)

Para valorizar los neumáticos usados se privilegian los procedimientos que permiten reciclar directamente los materiales y en consecuencia usar con moderación los recursos naturales. Se pueden citar:

#### a) Valorización material

Los neumáticos pueden ser reutilizados enteros, troceados, molidos, y valorizados en diversas aplicaciones. Puede destacarse su uso en arrecifes de los neumáticos enteros, como aislante térmico y acústico de los neumáticos triturados, o las aplicaciones en materiales

bituminosos. La utilización del polvo de neumático usado, en aplicaciones en la red vial a través de betunes modificados, puede seguir otras posibles vías:

- ✚ Vía húmeda, mediante la cual se fabrica un ligante betún-caucho de neumático reciclado.
- ✚ Vía seca, el triturado de neumático usado se emplea como sustituto de una fracción de los áridos utilizados para la fabricación del asfalto.
- ✚ Vía mixta, todavía en estudio, unifica las dos vías citadas.

#### b) **Valorización energética**

Los neumáticos se pueden utilizar enteros o triturados como combustible de sustitución en las cementeras, siempre que se respeten las disposiciones para la protección ambiental. También se pueden reutilizar en otras unidades de incineración, calderas industriales y centrales térmicas.

#### c) **Renovado**

Si los neumáticos están todavía en buen estado, pueden revestirse de una nueva superficie de rodadura.

#### d) **Reciclaje directo de materiales**

Valorización de los productos resultantes de la preparación de neumáticos fuera de uso. El negro de carbono, utilizado en caucho, pinturas, y en la fabricación de carbono activo. El polvo de neumático, utilizado en la fabricación de neumáticos nuevos, pero también en adhesivos a base de látex, y revestimientos “silenciosos”. Granulado de neumático, con posibles utilidades en la construcción ferroviaria, también para reducir emisiones sonoras.

#### e) **Reciclaje de neumáticos**

Los neumáticos usados es uno de los problemas de primer orden para el ambiente. Hoy en día, la industria del renovado ha logrado tener avances significativos en el proceso de

reciclaje de los neumáticos, logrando excelentes compuestos de hule que consiguen el mayor aprovechamiento de la carcasa o casco.

El reciclado de neumáticos usados consiste en una valorización mecánica, limpia y respetuosa con el medio ambiente. Esta valorización separa los tres componentes básicos del neumático; fibra textil, acero y caucho. El acero y caucho (en diferentes granulometrías) tienen diversas aplicaciones como en pavimentos de seguridad para niños, mezcla en betunes asfálticos para carreteras, en centros hípicos (para la comodidad de los caballos), como camisas que rellenan las vías de los tranvías, aislantes, relleno en campos de fútbol de césped artificial, incluso como relleno de sacos de boxeo.

**f) Reciclaje mecánico o físico.**

El reciclaje mecánico involucra cambio de tamaño y/o forma de los materiales, remoción de contaminantes, mezcla de aditivos si se desea y actividades similares que representen un cambio de apariencia en el material reciclado pero que no alteren (al menos a gran escala) su estructura química básica.

En el reciclaje mecánico, los productos resultantes son de alta calidad, limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación de los residuos de neumáticos. Este proceso normalmente 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.

Los tres mayores procesos empleados para producir polvo de caucho son:

- 1) la molienda mecánica a temperatura ambiente,
- 2) la molienda criogénica y
- 3) la molienda húmeda.




La molienda a temperatura ambiente 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. Previamente al molido es necesario separar el componente metálico para evitar daños al molino, lo que se hace normalmente con separadores magnéticos dispuestos sobre las cintas. Para eliminar la parte textil se suele emplear cintas o bandejas vibratorias que originan el apelmazamiento de las fibras, que después se separan por tamizado u otros dispositivos.

El proceso de molienda criogénica viene acompañado por un primer paso de enfriamiento de las piezas de caucho (menores de 7,62 mm) con nitrógeno líquido, congelándolas. Los trozos (shreds) congelados pasan por un molino de impacto (similar a un percutor o martillo) donde son molidos en elementos más finos, pasando a través de un tamiz de 1 mesh. El polvo obtenido se seca, se separa la fibra y el metal y se clasifica el polvo según los tamaños obtenidos.

En cuanto a la molienda húmeda consiste en una serie de ruedas de molienda con agua pulverizada inyectada continuamente para asegurar el enfriamiento del polvo. Después de este proceso se separa el agua del polvo y se seca.

### Comercialización del Polvo de Caucho





Los usos más factibles que se le pueden dar a este caucho triturado (estireno-butadieno, butadieno e isopropeno-isobuteno) son:

-  Materiales de embalaje, cajas de baterías, cintas transportadoras.
-  Neumáticos de bicicletas, industria y agricultura.
-  Como aditivos de betunes asfálticos en carreteras.







- ✚ Conos para señalización de tráfico y pies de señales.
- ✚ Pavimentos en zonas deportivas o en zonas de juegos infantiles en donde por su elasticidad y resistencia reducen la fatiga y el riesgo de lesiones.
- ✚ Industria zapatera (suelas y tacones).
- ✚ Pistas de atletismos.
- ✚ Pistas de baloncestos y tenis.
- ✚ Tapetes para golf-tees.
- ✚ Superficies no deslizantes en cubiertas de barcos.
- ✚ Sub-base para pistas de carreras de caballos.
- ✚ Protección de zonas peatonales, alrededores de piscinas.
- ✚ Alfombrillas de coches, felpudos.
- ✚ Tuberías de drenaje.
- ✚ Tuberías porosas de irrigación.
- ✚ Aislantes y revestimiento de tuberías.
- ✚ Pavimentos estriados para suelos de edificios, aeropuertos, etc.
- ✚ Losetas y paneles acústicos y antivibraciones.
- ✚ Como aditivos en la fabricación de gomas.
- ✚ Compuesto impermeabilizantes para tejados, paredes, silos y balsas.
- ✚ Acolchado antichoques para maquinarias.
- ✚ Componentes sellantes y adhesivos.
- ✚ Pintura antideslizante texturizada.
- ✚ Ingrediente de relleno para moldes y extrusiones de goma y plástico.
- ✚ Guardabarros en coches y camiones.
- ✚ Zapatas de frenos.
- ✚ Equipamiento para minas y forro de abrasión.
- ✚ Mangueras de jardín.
- ✚ Zócalos (rodapiés) y base en suelos de madera.
- ✚ Macetas.

### **Clasificación del mercado comercializar el Polvo de Caucho en función de la granulometría**









De 5 a 2 mm

-  Superficies deportivas.
-  Circuitos de carreras para caballos y zonas destinadas a equitación.
-  Modificaciones en terrenos agrícolas.
-  Tapetes y alfombrillas.



De 2 a 0,85 mm

-  Conos para señalización de tráfico.
-  Pies de señales.
-  Ladrillos entrelazables.
-  Tapetes para golf-tees.
-  Pavimentos deportivos.
-  Asfalto carreteras (uso limitado).

De 0,85 a 0,60 mm

-  Asfalto carreteras.
-  Zapatas de frenos.
-  Productos moldeados <50% goma reciclada.
-  PVC, PE.
-  Guardabarros.
-  Revestimientos de suelos.
-  Sellador de grietas: arreglos de carreteras, barreras de agua.
-  Pintura antideslizante.

Menor de 0,60 mm

-  Neumáticos de nueva fabricación.
-  Asfalto carreteras.

- ✚ Mangueras.

### **Valorización del polvo de caucho en mezclas asfálticas**

De todo lo expuesto, se resaltarán una de las aplicaciones más importantes. Esta es la aplicación de los neumáticos usados triturados en la construcción de carreteras y en suelos para polideportivos, colegios, parques, etc., un uso que no tiene ningún riesgo de posible contaminación, siendo un procedimiento ecológico que permite utilizar la mayor parte de los neumáticos usados.

A continuación se listan las ventajas de la reutilización del caucho triturado en la construcción de carreteras:

- ✚ Ahorro en la cantidad de aglomerado asfáltico necesario. Como aditivo de betunes asfálticos en carreteras, en una proporción que puede alcanzar el 2,5% en capas de rodadura.
- ✚ Tiene una duración de 2 a 4 veces superior al asfalto convencional. El polvo de caucho absorbe los componentes más ligeros del betún, retardando o impidiendo su pérdida por volatilización.
- ✚ Aligera el peso de los tableros en los puentes.
- ✚ Tiene excelentes propiedades contra el deslizamiento de vehículos y contra la formación de hielo.
- ✚ La rugosidad de la banda de rodadura, le proporciona un excelente drenaje, de forma que se reduce el riesgo de que el neumático pierda contacto con la superficie debido al agua y las proyecciones de partículas de agua que reducen la visibilidad.
- ✚ Las superficies de las bandas de rodadura, preparadas con este asfalto, presentan un acabado mate, lo que significa una importante reducción en la reflexión de la luz de los automóviles.
- ✚ Se reduce el nivel del ruido del tráfico.

- ✚ Soporta mejor la intensidad del tráfico. Mayor resistencia mecánica del asfalto (70% mayor).
- ✚ Disminución del desgaste de los neumáticos de los vehículos que ruedan por ellas.
- ✚ Menor riesgo de agrietado porque se adaptan mejor a los cambios de temperatura.
- ✚ Mayor flexibilidad del pavimento.

### DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DEL MERCADO DE NFU EN VENEZUELA.

Para determinar el tamaño del mercado de neumáticos usados, se consultó las estadísticas del parque automotor en circulación en el período 2000-2011 y se hizo una proyección hasta el año en curso para el cual se estima la cantidad de neumáticos fuera de uso.

#### Parque automotor en circulación período 2000-2011

Cuadro 3. Parque Automotor en circulación Período 2000-2011

AÑOS	TIPO DE VEHÍCULOS (MILES)					
	TOTAL	PARTICULAR	ALQUILER1	CARGA	COLECTIVO 2	MOTOCICLETAS
2000	2492	1688	107	475	24	198
2001	2713	1883	113	486	24	207
2002	2921	2034	119	525	26	217
2003	3028	2112	125	539	27	225
2004	4236	3142	258	559	35	242
2005	3525	2399	260	586	35	245
2006	3852	2589	280	632	38	313
2007	4381	2940	304	760	41	336
2008	5219	3425	401	957	33	403
2009	5151	3487	334	908	48	374
2010	5293	3584	344	933	47	385
2011	5364	3635	349	946	50	384

Alquiler 1: Puesto, Libre Y Vehículos Marginales

Colectivo 2: Público, de Personal, de Turismo y Escolares



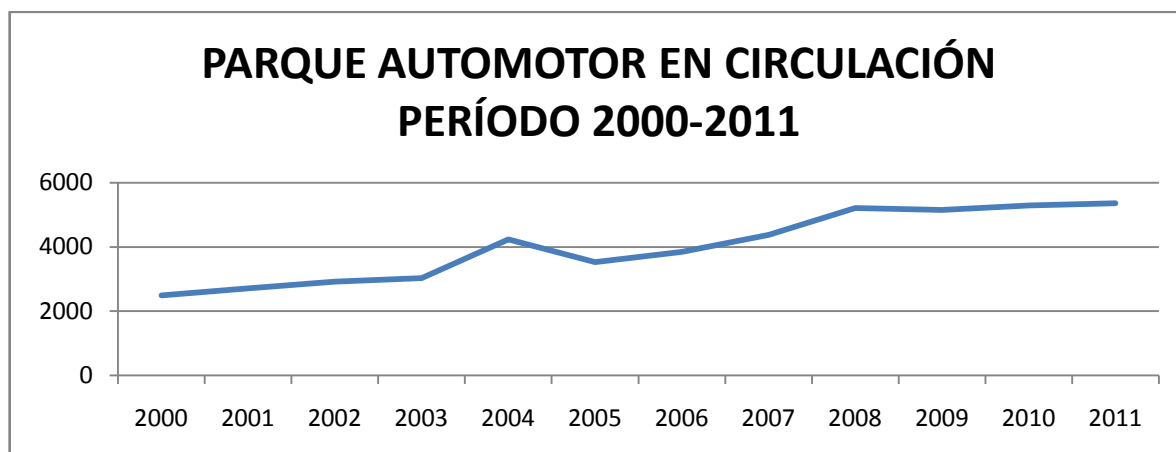


Figura 2. Parque Automotor en circulación Período 2000-2011

### Proyección de NFU para el año 2015

Utilizando el método de los mínimos cuadrados para hacer la proyección, se obtuvo los siguientes resultados:

Cuadro 4. Proyección del parque automotor en circulación período 2012-2015

AÑOS	TIPO DE VEHÍCULOS (MILES)					
	TOTAL	PARTICULAR	ALQUILER1	CARGA	COLECTIVO 2	MOTOCICLETAS
2012	5881	3949	426	1024	52	430
2013	6168	4134	454	1075	54	451
2014	6457	4320	481	1128	56	472
2015	6743	4505	508	1178	59	493

El parque automotor venezolano representado en unidades vehiculares, se transforman en toneladas anuales de neumáticos, permitiendo cuantificar, (en toneladas), las cantidades de neumáticos en el país durante dicho periodo; estos resultados se muestran en la tabla siguiente

Cuadro 5. Peso promedio y número de neumáticos para los distintos tipos de autos.

TIPO	Nro/ Neumáticos	PESO PROMEDIO (KG)
Particular	4	7,0
Alquiler	4	8,0
Carga	10	50,0
Colectivo	6	45,0

Motocicletas	2	4,0
--------------	---	-----

Cuadro 6. Cantidad en toneladas de neumáticos fuera de uso en Venezuela, para el 2015.

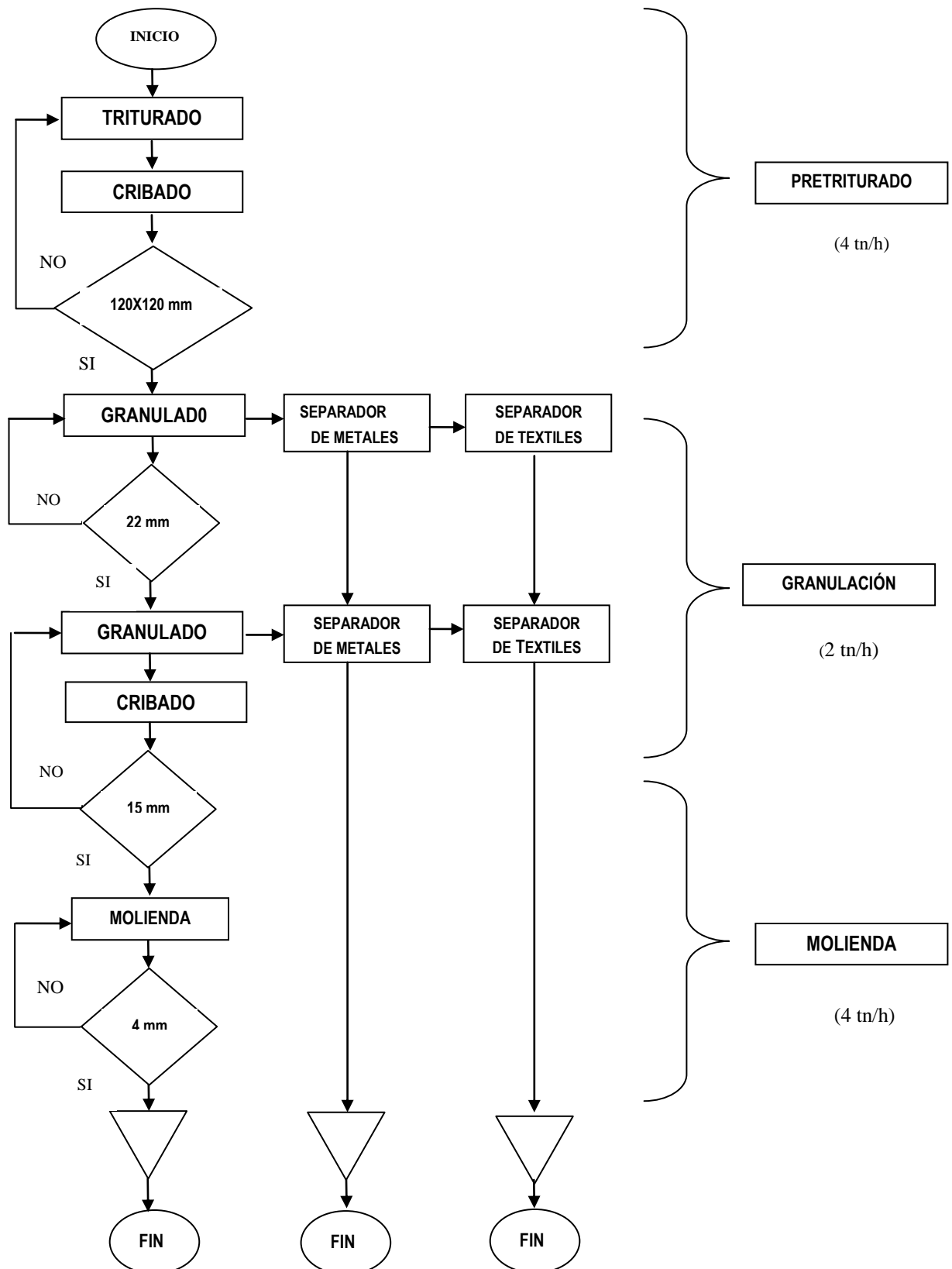
AÑO 2015			
TIPO	CANTIDAD	PESO KG/CAUCHO	TOTAL (TM )
PARTICULAR	4.505.000	7,00	126.140
ALQUILER1	508.000	8,00	16.256
CARGA	1.178.000	50,00	589.000
COLECTIVO 2	59.000	45,00	15.930
MOTOCICLETAS	493.000	4,00	3.944
TOTAL			751.270

Cuadro 7. Porcentaje de distribución del parque automotor venezolano para el año 2009. Cámara de Fabricantes Venezolanos de Productos Automotores (FAVENPA).

Región	Estados	Distribución
Zona central	Apure, Aragua, Barinas, Carabobo, Cojedes, Guárico y Portuguesa	21.36%
Zona oriental	Amazonas, Anzoátegui, Bolívar, Sucre, Delta Amacuro, Monagas y Nueva Esparta	12.17 %
Zona occidental	Falcón, Lara, Mérida, Táchira, Trujillo, Yaracuy y Zulia.	28.44%
Zona metropolitana	Distrito Capital, Miranda y Vargas.	38.03%

Lo que quiere decir que para el año 2015 se puede contar con aproximadamente 213.661 TM de neumáticos fuera de uso solamente en la región centro occidental.

## DIAGRAMA DE PROCESO DE LA PLANTA DE TRITURACIÓN PROPUESTA



## PROCEDIMIENTO DEL PROCESO DE MOLIENDA DE NFU

Un proceso básico de reciclaje se describe a continuación en cada una de sus etapas:

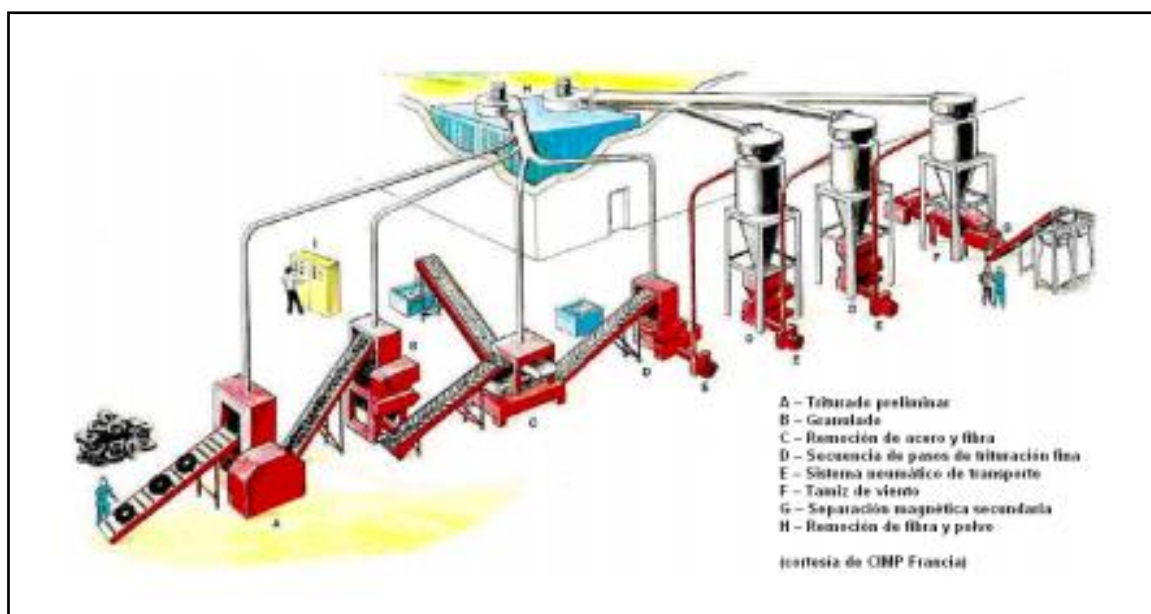


Figura 1. Proceso productivo del reciclaje de caucho por molienda mecánica

1. Los neumáticos se procesan para obtener trozos hasta de 50 mm en una trituradora
2. Luego los trozos pasan a un granulador, que reducen su tamaño hasta 10 mm
3. El acero se remueven por medios magnéticos y la fibra se elimina mediante la combinación de zarandas vibratorias y tamices de viento.
4. Luego mediante sucesivos molidos se reducen hasta 2 mm.

El proceso se divide en tres partes:

- ✚ Pretrituración
- ✚ Granulación
- ✚ Molienda

### ***Sección i. Pre-trituración:***

La sección de pre-triturado comprende una cortadora rotativa que opera eficientemente y una criba de disco con retorno del grano grueso. La cortadora rotativa, es muy potente y está específicamente diseñada para el troceado de neumáticos usados. Se caracteriza por su construcción extremadamente robusta, y fiabilidad en el ámbito del troceado de neumáticos. Se pueden cambiar los árboles porta cuchillas al completo, con lo que se logra que los tiempos de inactividad de la máquina sean muy breves.

Los neumáticos son conducidos a la tolva del módulo de corte, donde se trocean. El material troceado es aportado a una criba de disco por medio de una cinta transportadora. Los trozos superiores a 120x120mm son retenidos y retornados de nuevo a la cortadora rotativa; los trozos más pequeños son conducidos a un vaciadero por otra cinta transportadora. Desde aquí, son transportados a la sección de granulado.

## ***SECCIÓN II. GRANULADO***

Una cargadora sobre ruedas lleva los trozos de neumáticos con un tamaño equivalente a la palma de la mano, a un silo automático. Los trozos de neumáticos ya cortados son llevados del silo a través de una abertura a la sección de granulación y molienda. Esta sección consta principalmente, de dos eficientes granuladores y dos segmentos de corte paralelos. El primer granulador está equipado con una criba cuyo tamaño de perforación es de 22mm. El segundo granulador tiene una criba con un tamaño de perforación de 15mm.

El primer granulador es más grande y más potente que el segundo, ya que éste hace la mayor parte del trabajo y se le aporta mayor cantidad de metal que al segundo.

Los granuladores también están específicamente diseñados para la granulación de neumáticos. La pieza central del granulador, es el eje del rotor, conformado por diferentes piezas individuales. El resultado es un esbelto rotor, cuya energía de rotación puede frenarse en caso de averías. Los soportes individuales del rotor se accionan en un eje y se atornillan entre sí. Las cuchillas están atornilladas a los soportes del rotor. Si se produce una avería, los

soportes del rotor pueden reemplazarse sin tener que desmontar todo el eje. Otras ventajas son, entre otras, un embrague deslizante para separar el motor/eje y los cojinetes esféricos ubicados fuera de la cámara de corte. El módulo de corte se pliega hidráulicamente garantizando la rápida accesibilidad a las cuchillas con total seguridad.

El material alimenta la máquina a través de la tolva que cuenta con una abertura superior. A continuación pasa a ser triturado mediante cuchillas rotativas y dos líneas de cuchillas estáticas.

Tras el proceso de triturado, el material es seleccionado por la criba, ya que si éste cuenta con un tamaño menor que la perforación de la criba cae, pero si por el contrario el tamaño implica mayor grosor estas partículas serán de nuevo remitidas mediante las cuchillas del rotor a las cuchillas estáticas. A partir de este momento, se iniciaría de nuevo el proceso de triturado, el cual será repetido hasta que el material cuente con el tamaño requerido por los orificios de la criba.

### ***SECCIÓN III. MOLIENDA***

Tras la segunda granulación y otra fase de separación de metales, el material es transportado a una cribadora, donde los materiales que tienen un tamaño inferior a los 4mm son retenidas para su descarga en el molino. El resto es transportado a un molino cortador dotado de una criba con agujeros de 4mm para su molienda.

Para la protección del medio ambiente, los granuladores y los molinos de corte están dotados de sistemas de extracción con una capacidad de aspirado de 5.000 m<sup>3</sup>/h. Con ello se garantiza un entorno casi exento de polvo y, al mismo tiempo, se refrigeran los componentes de la instalación. El sistema de filtrado se suministra en forma de cápsula a presión. Con este sistema de aspiración de polvo, se obtiene aire puro acorde con las prescripciones del Acta Alemana de Limpieza del Aire.

El material es aspirado del molino y aportado a otro silo, donde es transportado dosificadamente por un canal de evacuación y depositado en un tambor magnético, para

separar de nuevo las partes de acero más pequeñas del flujo de material. La cribadora instalada sobre amortiguadores de caucho anti-vibraciones separa el flujo de material en 3 fracciones: textil-granulado 0,25-4mm,  $> 0,25$ ). Otro elevador transporta el granulado a otra cribadora para separar el granulado con la fracción final. Desde aquí cada fracción será conducida a las mesas de selección para extraer los minerales del granulado. El siguiente estadio será la separación de los textiles que permitirá extraer la pelusa del granulado. Finalmente el producto será procesado por una criba vibrante y embolsado.

Tanto la granuladora como también la sección de limpieza están equipadas con un eficiente sistema de extracción de polvo, cuya función es aspirar las secciones en las cuales se produce polvo y filtrar el aire.

	<b>Aprox. 4mm</b>
<b>Tamaño del granulado:</b>	
<b>Entrada:</b>	<b>Aprox. 2t/h</b>
-	-

#### **Equipos auxiliares del proceso**

- ❖ Filtro de manga
- ❖ Equipo neumático
- ❖ Distribuidor por rueda celular en modelo a prueba de presión
- ❖ Ventilador radial
- ❖ Separador magnético sobre cinta
- ❖ Sistema de extracción de polvo como filtro redondo

### **PROPUESTA DE UNA PLANTA DE TRITURACIÓN DE NFU (DE 1 mm a 4 mm).**

La planta, tiene como finalidad la recuperación de granulado de caucho proveniente de los neumáticos de camiones para su reutilización y conversión en un material de mayor calidad. La planta que se detalla a continuación consiste en las siguientes máquinas.

1. Troceadora 75kW
2. Cinta transportadora intermedia I
3. Cribadora de discos
4. Cinta transportadora intermedia II
5. Retornador de granulado retenido
6. Cinta transportadora intermedia III
7. Separador magnético sobre cinta
8. Cinta transportadora ascendente
9. Granuladora
10. Mando eléctrico, Armario distribuidor







Los materiales se introducen en la Trituradora a través de su tolva, una vez procesados por ésta máquina, el material triturado se lleva hasta una cribadora mediante una cinta transportadora. En la criba el material vuelve a ser triturado y seleccionado, el que ya posee el tamaño adecuado pasa a la cinta transportadora que lo pasará por una cinta con separador magnético para eliminar restos indeseados, mientras que por otro lado, el material salido de la criba que aun no tiene el tamaño adecuado, sale por otra cinta hasta la trituradora para volver a ser procesado. Una vez hayan pasado por el separador magnético, llega a la granuladora para terminar el procesado del material.

### Algunas características del proceso

- ✚ El molido resulta seguro y económico
- ✚ El molido genera ruido, polvo y emisiones de gases
- ✚ Es de alto consumo energético (120 – 125 kwh/tm)
- ✚ Para garantizar la salud y seguridad de los trabajadores, el equipo debe contar con sistemas de ventilación apropiados, protección contra incendios y cortes para casos de emergencia.

- ✚ Uso obligatorio de botas de seguridad, guantes, cascos de seguridad y protección ocular y auditiva.
- ✚ El caucho molido deberá protegerse de la luz solar.

### **Capacidad de las Trituradoras y de los Molinos de Rodillos**

La capacidad real de una trituradora y los molinos de rodillos depende del diámetro de los rodillos, irregularidades y dureza de la alimentación y puede variar entre el 25 y 75% del valor teórico.

donde:  $Q$  = capacidad en  $\text{cm}^3/\text{min}$ .

$d$  = distancia entre rodillos, cm.

$L$  = longitud de los rodillos, cm.

$s$  = velocidad líneal, cm/min.

## BIBLIOGRAFIA

- ✚ VENESCOPIO. Venezuela en cifras. Consultado el 25/06/2014  
<http://www.venescopio.org.ve/estadisticasbasicasdevenezuela/parque-automotor-en-circulacion-segun-tipo>
- ✚ Ferrer Hermías (2012). Informe del Comisario. Ejercicio anual finalizado el 31 de Diciembre de 2013. Consultado el 25/06/2014.  
<http://www.pdvsa.com/interface.sp/database/fichero/free/8014/1629.PDF>
- ✚ María Isabel García Pedro González. PDVSA – Intevep. Recuperación de Caucho a partir de neumáticos fuera de uso para mejoramiento de asfaltos  
[http://www.inveas.org.ve/data/documentos\\_inveas/boletines/T.05.%20Garc%C3%ADa%20y%20Gonz%C3%A1lez.%20Recuperaci%C3%B3n%20de%20caucho%20para%20mejoram.pdf](http://www.inveas.org.ve/data/documentos_inveas/boletines/T.05.%20Garc%C3%ADa%20y%20Gonz%C3%A1lez.%20Recuperaci%C3%B3n%20de%20caucho%20para%20mejoram.pdf)

**RECUPERACIÓN DE CAUCHO A PARTIR DE  
NEUMÁTICOS FUERA DE USO  
(*CONSTITUCIÓN DE EMPRESA CON ALTA PRODUCCIÓN SOCIAL Y  
MEJORAS EN LA CALIDAD AMBIENTAL Y DE VIDA DE LA POBLACIÓN*)**

**Ing. Nigme Cadenas**

**nigmecadenas@gmail.com**

**Venezuela**

**2015**