



El ambiente
es de todos

Minambiente

GUÍA DE MANEJO AMBIENTAL DEL FLUJO DE LLANTAS EN LA INDUSTRIA MINERA

Enfoque de
**Economía
Circular**

Marco de referencia aplicable al manejo interno de las llantas en la industria minera con diámetro superior a 24 pulgadas y sus alternativas de aprovechamiento en el ámbito de los modelos de la Estrategia Nacional de Economía Circular.



El ambiente
es de todos

Minambiente

REPUBLICA DE COLOMBIA

Iván Duque Márquez

Presidente de la República

Carlos Eduardo Correa E.

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Francisco José Cruz Prada

Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

Nicolás Galarza Sánchez

Viceministro de Ordenamiento Ambiental del Territorio

Andrea Corzo Álvarez

Directora de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana

Coordinación

Alex José Saer Saker

Equipo Técnico

Angélica Zafra Prieto

Carlos Jairo Ramírez Rodríguez

Instituciones colaboradoras

Asociación Colombiana de Minería – ACM

Corrección de estilo

María Emilia Botero Árias

Diseño y diagramación

José Roberto Arango R.

Catalogación de la publicación: Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

© Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Guía de manejo ambiental del flujo de llantas en la industria minera. Enfoque de economía circular / Zafra Prieto, Angélica. Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana coor.: Ramírez, Carlos Jairo ---- Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021.

60 p.: il.

ISBN: 978-958-5551-57-2

1. economía circular 2. guías ambientales 3. gestión integral de residuos 4. sostenibilidad ambiental 5. tecnologías limpias I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

CDD: 678.32

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

No comercializable - Distribución gratuita



Contenido

I. Presentación	6
II. Introducción	8
III. Antecedentes	8
IV. Metodología de aplicación de la guía	10
V. Diagnóstico ambiental, social y económico	12
VI. Normativa aplicable al sector incluido el uso y aprovechamiento de recursos naturales renovables	13
A. Disposiciones generales	13
B. Gestión ambiental de llantas usadas	14
VII. Proceso productivo de las llantas de vehículo minero	15
A. Flujo de llantas de vehículo minero	15
VIII. Mejores tecnologías disponibles para la gestión ambiental de las llantas usadas	24
A. Modelos de valorización de residuos	24
B. Modelos circulares	27
IX. Mejores prácticas ambientales para el sector	30
A. Modelos para extender la vida útil	30
B. Modelos de productos como servicios	50
C. Modelos de plataforma	50
X. Estrategias e instrumentos para la gestión ambiental en el marco de la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)	52
A. Metabolismo	52
B. Indicadores	53
C. Gestión de la información	56
D. Gestión de recursos	57
XI. Referencias Bibliográficas	58

Lista de tablas

Tabla IV 1.	Características generales de las llantas de vehículo minero	11
Tabla V 1.	Cantidades vs peso de llantas de vehículo minero que ingresaron a Colombia en 2019	12
Tabla VII 1.	Descripción de los rines de las llantas para la industria minera que ingresan a Colombia por partida arancelaria.	19
Tabla IX 1.	Efecto de la posición de las llantas en la magnitud del desgaste sufrido en cada tipo de equipo	33
Tabla IX 2.	Ajuste de presión con respecto a la temperatura ambiente durante el inflado	37
Tabla IX 3	Influencia del nivel de sobrecarga en la vida útil de las llantas	38
Tabla IX 4.	Relación entre el radio mínimo y la velocidad para curvas sin inclinación	40
Tabla X 1.	Características del indicador	55
Tabla X 2.	Formato de reporte anual de la gestión ambiental de llantas usadas generadas por la industria minera	56
Tabla X 3.	Balance anual de gestión ambiental de llantas de vehículo minero usadas	57

Lista de gráficos

Gráfico V 1.	Distribución de las unidades y toneladas de llantas para la industria minera según su peso por unidad que ingresaron a Colombia en 2019	12
Gráfico VII 1.	Llantas utilizadas en la industria minera en el flujo de llantas para Colombia 2020	17
Gráfico VII 1.	Unidades y pesos de llantas para la industria minera que ingresaron a Colombia en el año 2019, por país de origen	19
Gráfico IX 1.	Factores que afectan la vida útil de las llantas	32
Gráfico X 1.	Estimación de metabolismo de llantas en Colombia.	52
Gráfico X 2.	Evolución de la gestión de llantas usadas en la Unión Europea, 1996-2015	54

Lista de Ilustraciones

Ilustración VII 1.	Composición general de una llanta utilizada en la actividad minera, con diámetro superior a 24"	18
Ilustración VIII 1.	Generación de llantas usadas por la industria minera, 2017	24
Ilustración VIII 2.	Métodos de gestión ambiental de llantas usadas generadas por la industria minera para USA en 2017	26
Ilustración VIII 4.	Protección de laderas y bajantes usando llantas usadas	29
Ilustración VIII 5.	Protección de laderas y bajantes usando llantas usadas	29
Ilustración IX 1.	Influencia de la presión en el desgaste de la llanta	35
Ilustración IX 2.	Baja de rendimiento debido a un inflado insuficiente o excesivo (%) y riesgos potenciales asociados	36
Ilustración IX 3.	Posición de la carga	37
Ilustración IX 4.	Modificaciones en el equipo	38
Ilustración IX 5.	Ondulaciones en una vía	39
Ilustración IX 6.	Influencia de las pendientes	39
Ilustración IX 7.	Incidencia del perfil de la vía	40
Ilustración IX 8.	Radio de giro	40
Ilustración IX 9.	Convergencia	43
Ilustración IX 10.	Divergencia	43
Ilustración IX 11.	Consecuencias de un ajuste incorrecto de las suspensiones	45
Ilustración IX 12.	Ciclo de trabajo de una llanta	45
Ilustración IX 13.	Diagrama de energía de la llanta	46

Listas de siglas, acrónimos, abreviaturas y nomenclatura

ACM:	Asociación Colombiana de Minería
ANLA:	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
ENEC:	Estrategia Nacional de Economía Circular
MinAmbiente:	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
TDA:	Tire-Derived Aggregate
TKPH:	Tonelada-Kilómetro por Hora
TPMS:	Tyre Pressure Monitoring System
(Un.):	Unidades, V-15, X-40

I. Presentación

La presente guía de manejo ambiental es un instrumento técnico, facilitador, de carácter voluntario, para las llantas de vehículo minero usadas con diámetro superior a 24 pulgadas, exclusivamente. Con ella se responde a la necesidad de contar con un marco de referencia aplicable al manejo en las operaciones mineras de las llantas de vehículo minero usadas que cumplen con estas características y a las alternativas de aprovechamiento de éstas, en el ámbito de los modelos de la *Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)*, (2019).

En la guía se presentan los modelos y las mejores técnicas disponibles para el sector: modelos de valorización de residuos (en los que los subproductos de llantas son empleados en aplicaciones similares) y modelos circulares (aquellos que emplean las llantas usadas en aplicaciones diferentes), así como las mejores prácticas disponibles para el sector: modelos para extender la vida útil (rediseño de productos y procesos), modelos de productos y servicios (servicios que son ofrecidos para compartir productos entre usuarios) y modelos de plataforma (uso de tecnología de información y datos para optimizar sistemas).



II. Introducción

El objetivo de la guía es brindar una mayor claridad técnica y conceptual en cuanto a las alternativas que habrán de considerarse viables para efectos de la gestión ambiental y el aprovechamiento a que se refiere el artículo 23 de la Resolución 1326 de 2017. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible relacionado con las llantas de vehículo minero usadas con diámetro superior a 24 pulgadas.

Entre los aspectos abordados por la guía está el suministro de pautas que permitan definir lo que puede ser entendido como una adecuada gestión ambiental, identificando alternativas técnica y ambientalmente viables para el acopio y aprovechamiento de las llantas de vehículo minero usadas con diámetro superior a 24 pulgadas.

Para efectos de lo anterior, la guía no supe las normas aplicables, sino que contribuye con su correcta aplicación. En esta medida, la guía debe entenderse subordinada a lo que establezcan tales normas.

Igualmente, en la presente guía se proponen los formatos de reporte de llantas de vehículo minero usadas con diámetro superior a 24 pulgadas que, a la luz del artículo 23 de la Resolución 1326 de 2017. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, deben presentar a la autoridad ambiental los titulares mineros de las licencias ambientales o planes de manejo ambiental.

Finalmente, en esta guía se prevén las alternativas de aprovechamiento de las llantas de vehículo minero con diámetro superior a 24 pulgadas, que deberán estar ajustadas a la *Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)* (2019). Deberá tenerse en cuenta que, aunque en este documento se prevé un portafolio de alternativas para la gestión ambiental de estas llantas, la implementación en Colombia de las diferentes tecnologías aplicables a las llantas de vehículo minero usadas con diámetro superior a 24 pulgadas dependerá no solo de las condiciones de mercado, sino además de la disponibilidad sostenible de dichas tecnologías y del involucramiento de otros actores.

La guía inicia con los antecedentes y la metodología para su aplicación, así mismo presenta un diagnóstico ambiental, social y económico y la normativa aplicable a las llantas de vehículo minero usadas con diámetro superior a 24 pulgadas, incluido el uso y aprovechamiento de recursos naturales renovables. A continuación, se hace una descripción del proceso productivo. Por otro lado, se profundiza en las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para el sector, así como en las estrategias e instrumentos para la gestión ambiental en el marco de la *Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)*, (2019).

III. Antecedentes

En el año 2017, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente), una vez realizada la evaluación técnica de la implementación de los sistemas de recolección selectiva y

gestión ambiental de llantas usadas, evidenció la necesidad de avanzar en el fortalecimiento de dichos sistemas y en julio de 2017 expidió la Resolución 1326 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) "*Por la cual se establecen los sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se dictan otras disposiciones*", mediante la cual se derogó la Resolución 1457 de 2010. Los cambios más significativos en esta nueva normativa se relacionan con la jerarquía, las metas y el ámbito de aplicación y la inclusión de la evolución multicriterio de los sistemas posconsumo de llantas.

En el mes de septiembre de 2019 se suscribió el Acuerdo Sectorial (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Asociación Colombiana de Minería, 2019) entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente) y la Asociación Colombiana de Minería (ACM), mecanismo establecido para avanzar en la consecución de objetivos determinados en las políticas, lineamientos y estrategias nacionales, en el que de manera específica se incluyeron como líneas de acción las relacionadas con la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016 (Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), 2016) y la *Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)*, (2019) .

En ese escenario se identificó la necesidad de contar con una guía especial para el manejo ambiental de llantas de vehículo minero con diámetro superior a 24 pulgadas, dadas las particularidades y características propias de estas llantas de vehículo minero que por sus dimensiones requieren de un análisis diferenciado y específico sobre las condiciones aplicables para el manejo, transporte y acopio interno, que son diferentes a las que se implementan para otro tipos de llantas de menor diámetro reguladas por la Resolución 1326 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Esta guía permitirá la puesta en marcha de lo dispuesto en el artículo 23 de la resolución en comento, la cual será aplicada para cada proyecto minero, de manera individual y sobre la cual se hará seguimiento a partir de la licencia ambiental o plan de manejo ambiental que le hubiere sido conferido por la autoridad ambiental competente.

Para el sector de llantas, la *Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)* (2019), a mediano y largo plazo, busca contribuir y asegurar la sostenibilidad de los flujos de llantas, entre otras acciones, mediante la promoción y desarrollo de alternativas tecnológicas de aprovechamiento de llantas usadas que permitan: dinamizar nuevos mercados para subproductos -como por ejemplo el gránulo de caucho reciclado-, la consolidación de la información para la toma de decisiones y el desarrollo de instrumentos técnicos y económicos para dinamizar el mercado del reciclaje de llantas.

Con esta guía ambiental se pretenden establecer las condiciones aplicables a las llantas usadas de la industria minera con diámetro superior a 24 pulgadas, que por sus dimensiones no pueden homologarse al manejo de las llantas pequeñas. Adicionalmente, se buscan presentar las acciones para la gestión ambiental mediante las alternativas de aprovechamiento para las llantas usadas de la industria minera con diámetro superior a 24 pulgadas, bajo la óptica de la sostenibilidad y se buscan incorporará las metas para la selección progresiva de las distintas alternativas.

IV. Metodología de aplicación de la guía

Como se indicó previamente, en el proceso técnico de construcción de la guía general de llantas prevista en el marco de la *Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)* (2019), se evidenció la necesidad de la adopción de una guía específica aplicable a las llantas usadas en la industria minera (rin con diámetro superior a 24 pulgadas), dadas sus particularidades y características propias, ya que por sus dimensiones requieren de un análisis diferenciado y específico sobre las condiciones aplicables para el manejo, transporte, acopio interno y aprovechamiento, pues son diferentes a las que se implementan para otros tipos de llantas de menor diámetro.

Foto IV-1. Comparativo de la dimensión de una llanta usada en la industria minera vs. una persona



Fuente: Banco de imágenes Cerrejón, 2019

La imagen superior busca ilustrar la magnitud de una llanta usada en la industria minera frente a una persona; asimismo, en la tabla IV-1, se presentan algunas características generales para dimensionar el por qué este tipo de llantas requieren de un manejo particular en comparación con las llantas de equipo liviano.

Tabla IV-1. Características generales de las llantas de vehículo minero con diámetro superior a 24 pulgadas

Característica	Intervalos entre
Diámetros	25" a 63"
Altura	Hasta 4.0 m
Ancho	Hasta 1.50 m

Adicional a lo anterior, el artículo 23 de la Resolución 1326 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) establece, por una parte, el 1 de enero de 2021 como fecha a partir de la cual se hace exigible la gestión ambiental de la totalidad de las llantas usadas generadas en la industria minera con diámetro superior a 24 pulgadas, y por otra parte, el 6 de julio de 2017, como fecha de entrada en vigencia de esta resolución; momento a partir del cual se hace exigible la obligación de reportar anualmente a la autoridad ambiental lo relacionado con las cantidades de llantas utilizadas en la industria minera, su denominación y las actividades realizadas con estas llantas.

Las llantas generadas en la industria minera antes del 1 de enero de 2021 están sujetas a la gestión ambiental que la autoridad ambiental hubiese dispuesto para cada proyecto minero. De estar interesadas, las empresas mineras podrán informar a la autoridad ambiental competente sobre la decisión de acogerse a la guía para las llantas generadas antes del 1 de enero de 2021, con el fin de que la autoridad efectúe las correspondientes labores de seguimiento y control ambiental aplicables.

Adicionalmente esta guía brinda una mayor claridad técnica y conceptual en cuanto a las alternativas que habrán de considerarse viables para efectos de la gestión ambiental y aprovechamiento de las llantas de vehículo minero usadas con diámetro superior a 24 pulgadas, referidas en el artículo 23 *ibidem*.

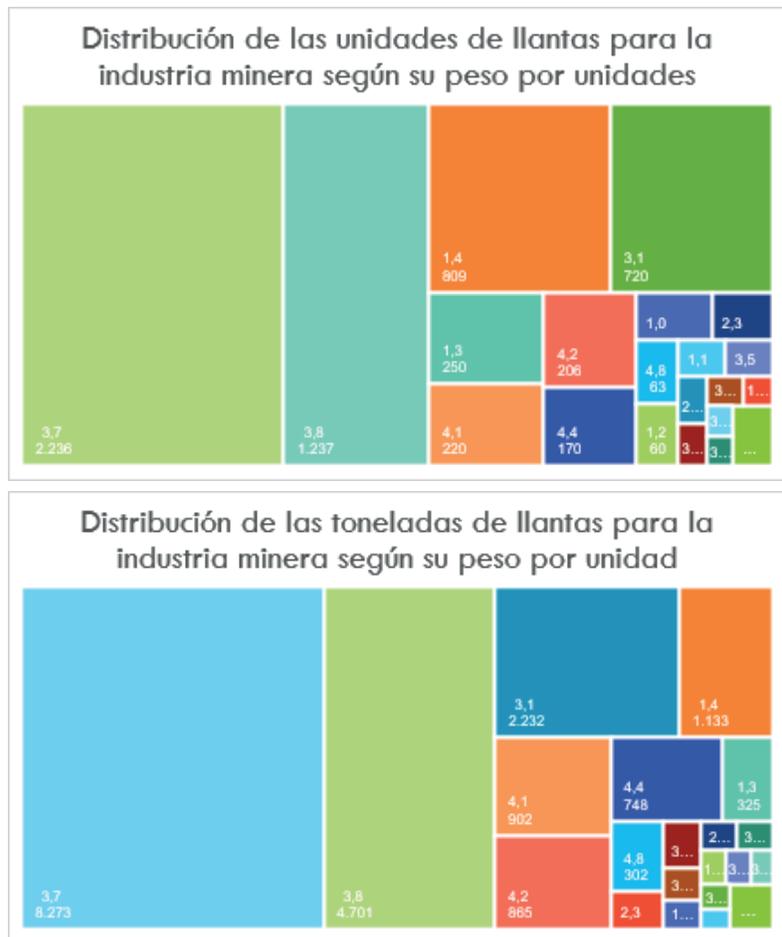
V. Diagnóstico ambiental, social y económico

Para el año 2019 ingresaron al país 6.404 unidades de llantas para la industria minera, que equivalen a 20.576 toneladas. Estas fueron importadas por 9 empresas.

Tabla V-1. Cantidades vs peso de llantas de vehículo minero que ingresaron a Colombia en 2019

Peso de una llanta (t)	Cantidad (Un.)	Peso total (t)
1,0	85	85
1,1	40	44
1,2	60	72
1,3	250	325
1,4	809	1.133
1,9	20	38
2,0	4	8
2,2	6	13
2,3	68	156
2,4	15	36
2,5	34	85
2,6	2	5
2,7	2	5
3,0	7	21
3,1	720	2.232
3,2	18	58
3,3	25	83
3,4	29	99
3,5	40	140
3,6	19	68
3,7	2.236	8.273
3,8	1.237	4.701
3,9	15	59
4,1	220	902
4,2	206	865
4,4	170	748
4,8	63	302
5,1	4	20
Total	6404	20.576

Gráfico V-1. Distribución de las unidades y toneladas de llantas para la industria minera según su peso por unidad que ingresaron a Colombia en 2019.



Fuente: Basado en registros BACEX del 2020 (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinComercio), 2020)

De las llantas que ingresaron al país, el mayor porcentaje tanto en unidades como en peso corresponden al intervalo de llantas entre las 3.7 y 3.8 toneladas. Este tipo de llantas corresponde a las de camión de rin de 57", que es empleado en la industria minera para usos múltiples tales como el cargue de material entre otros.

VI. Normativa aplicable al sector incluido el uso y aprovechamiento de recursos naturales renovables

A. Disposiciones generales

1. Constitución Política de Colombia

La Constitución Política (Asamblea Constituyente, 1991) consagra en los artículos 79 y 80 el derecho colectivo a gozar de un ambiente sano y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables a fin de garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución y prevenir los factores de deterioro ambiental.

2. Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente. Decreto - Ley 2811 de 1974

De acuerdo con lo dispuesto en el artículo 8 del Decreto - Ley 2811 de 1974 (Presidencia de la Republica de Colombia, 1974), se considera como un factor que deteriora el ambiente, la acumulación o disposición inadecuada de residuos. Así mismo, el artículo 34 del mencionado Decreto Ley, establece que *"En el manejo de residuos, basuras, desechos y desperdicios, se observarán las siguientes reglas: a) se utilizarán los mejores métodos, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento o disposición final de residuos, basuras, desperdicios y, en general, de desechos de cualquier clase b) la investigación científica y técnica se fomentará para: (...) 2) reintegrar al proceso natural y económico los desperdicios sólidos, líquidos y gaseosos, provenientes de industrias, actividades domésticas o de núcleos humanos en general (...)."*

El artículo 36 *ibidem*, señala que *"Para la disposición o procesamiento final de las basuras se utilizarán, preferiblemente, los medios que permitan: a) evitar el deterioro del ambiente y de la salud humana b) reutilizar sus componentes c) producir nuevos bienes (...)."*

Según el artículo 38 *ibidem*, *"Por razón del volumen o de la cantidad de los residuos o desechos, se podrá imponer a quien los produce la obligación de recolectarlos, tratarlos o disponer de ellos, señalándole los medios para cada caso".*

3. Ley 99 de 1993

Los numerales 2, 5, 10 y 14 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993 (Congreso de Colombia, 1993) establecen como funciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, respectivamente:

2. *Regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas del entorno o del patrimonio natural.*
5. *Establecer los criterios ambientales que deben ser incorporados en la formulación de las políticas sectoriales y en los procesos de planificación de los demás ministerios y entidades, previa su consulta con esos organismos.*
10. *Determinar las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general sobre medio ambiente a las que deberán sujetarse los centros urbanos y asentamientos humanos y en general todo servicio o actividad que pueda generar directa o indirectamente daños ambientales.*
14. *Definir y regular los instrumentos administrativos y mecanismos necesarios para la prevención y el control de los factores de deterioro ambiental, determinar los criterios de evaluación, seguimiento y manejo ambiental de las actividades económicas.*

B. Gestión ambiental de llantas usadas

1. Sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas

El entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, expidió la Resolución 1457 de 2010 “*Por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se adoptan otras disposiciones*” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2010).

Una vez realizada la evaluación técnica de la implementación de los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas, se evidenció la necesidad de avanzar en el fortalecimiento de dichos sistemas considerando, entre otros aspectos, el aumento en la generación de llantas usadas debido al crecimiento del parque automotor; la necesidad de involucrar otros tipos de llantas tales como las de motocicletas, bicicletas y llantas para uso fuera de carretera. Mediante la Resolución 1326 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) “*Por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se dictan otras disposiciones*”, se sustituyó integralmente la Resolución 1457 de 2010 y se reguló todo lo referente a tales sistemas.

2. Gestión ambiental de las llantas usadas generadas en la industria minera (rin superior a 24 pulgadas)

La mencionada Resolución No. 1326 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) estableció un manejo particular para las llantas usadas en vehículos de la industria minera

(con rin superior a 24 pulgadas) al indicar en el artículo 23 lo referente a la disposición y manejo de este tipo de llantas al interior del territorio nacional.

El artículo 23 de la resolución estableció que, a partir del 1 de enero de 2021, los titulares de las licencias ambientales o su instrumento equivalente deben gestionar ambientalmente la totalidad de las llantas utilizadas en el desarrollo de la actividad minera y además señala que se deben efectuar reportes anuales a la autoridad ambiental competente sobre las acciones desarrolladas para la gestión ambiental de las llantas usadas generadas en la industria minera.

“Artículo 23. De las llantas de los vehículos mineros. A partir del 1 de enero de 2021, los titulares de licencias ambientales o su instrumento equivalente de minería, deberán gestionar ambientalmente la totalidad de las llantas utilizadas en el desarrollo de la actividad minera y reportar a la autoridad ambiental competente, a más tardar el 31 de enero de cada año, las acciones realizadas en el año anterior en materia de gestión ambiental de llantas usadas.

Para efectos de lo dispuesto en el presente artículo, se entenderá como gestión ambiental de llantas usadas el reencauche y el aprovechamiento.

Parágrafo. A partir de la entrada en vigencia de la presente resolución, los titulares de licencias ambientales o su instrumento equivalente de minería deberán reportar a la autoridad ambiental competente a más tardar el 31 de enero de cada año, las cantidades de llantas utilizadas, su denominación y las actividades realizadas con las llantas usadas.” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)

Las autoridades ambientales competentes, deberán consolidar la información y reportarla a más tardar el 31 de marzo de cada año a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

VII. Proceso productivo de las llantas de vehículo minero

El proceso productivo sobre el cual se desarrolla la presente guía es el relacionado con las llantas usadas en la industria minera en Colombia. Para su descripción y análisis se parte del flujo total de llantas para Colombia y su relación con las llantas objeto de la presente guía.

A. Flujo de llantas de vehículo minero

El flujo de los materiales comprende la secuencia de las actividades de extracción de materias primas, transformación o fabricación de productos, uso o consumo y gestión ambiental de los residuos resultantes del consumo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019). Para el flujo actual (año 2020) de la totalidad de llantas en Colombia se han identificado cuatro grandes Fases:

- La primera de las fases es la de producción, la cual se divide en internacional y colombiana (esta última no aplica para llantas utilizadas en la actividad minera con diámetro superior a 24 pulgadas).
- La segunda, el consumo, incluye tanto el proceso de comercialización como el de uso propio del importador de las llantas.
- La tercera, la fase de generación, compuesta por actividades de generación de llanta usada, acopio temporal de llanta usada y recolección de llanta usada (esta última no aplicó para llantas utilizadas en la actividad minera con diámetro superior a 24 pulgadas).
- Por último, la fase de aprovechamiento y valorización, en la que se desarrollan las actividades de: almacenamiento; uso o transformación; generación y comercialización de subproductos y; la reincorporación a procesos productivos o la disposición final (esta etapa no aplicó para llantas usadas generadas en la industria minera con diámetro superior a 24 pulgadas).

Dado que la llanta utilizada en la industria minera con diámetro superior a 24 pulgadas no está presente en todas las fases del flujo, como lo presenta el gráfico VII-1, a continuación, se describen las etapas puntuales para ellas.

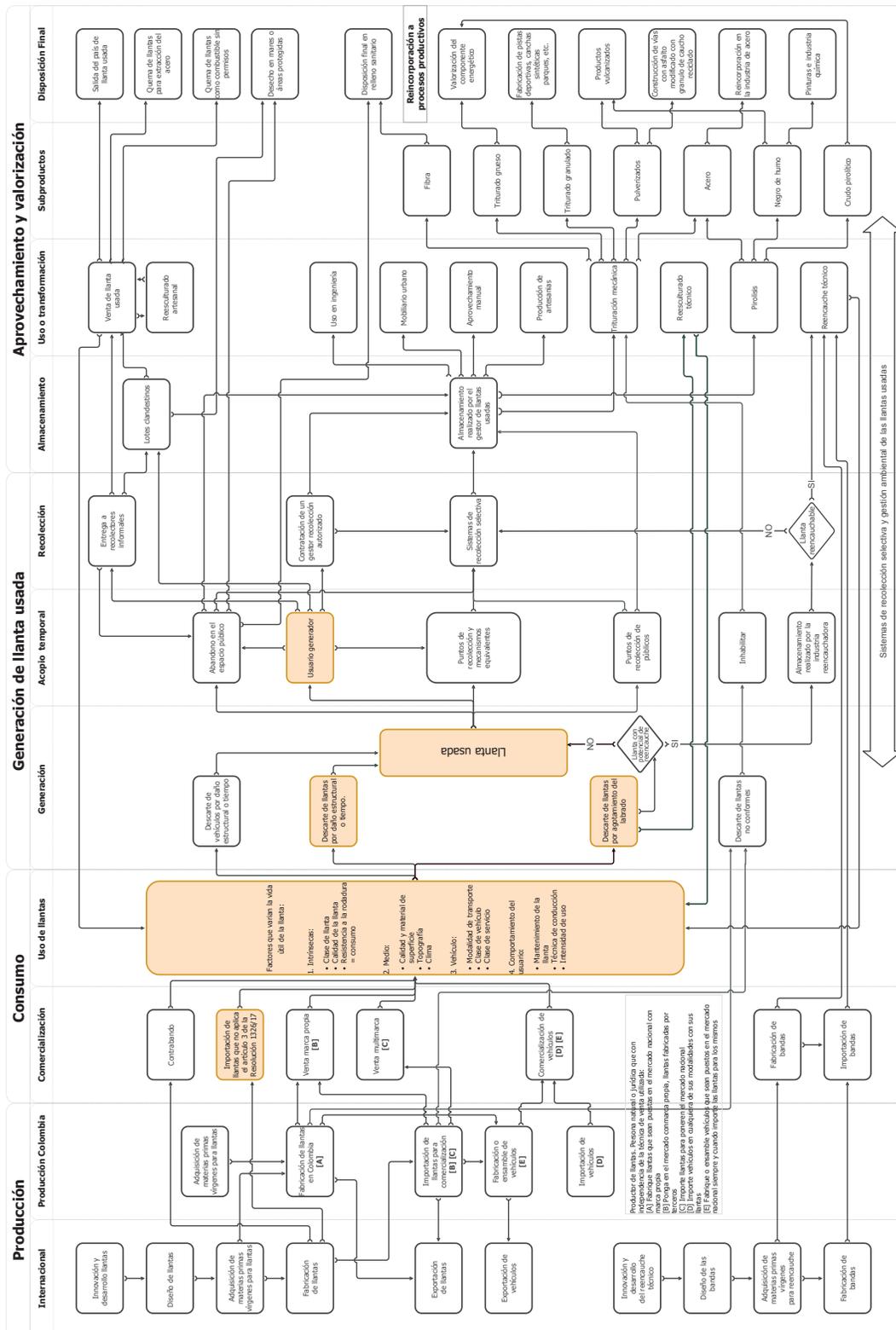
1. Fase I. Producción de la llanta minera con diámetro superior a 24 pulgadas

Esta fase se desarrolla en el ámbito internacional ya que en la actualidad no hay fabricación en Colombia de llantas para la industria minería con diámetro superior a 24 pulgadas. Las actividades que integran esta fase son:

- Innovación y desarrollo de llantas.
- Diseño de llantas.
- Adquisición de materias primas.
- Fabricación de llantas.

De manera general, la composición básica de este tipo de llantas se puede describir así:

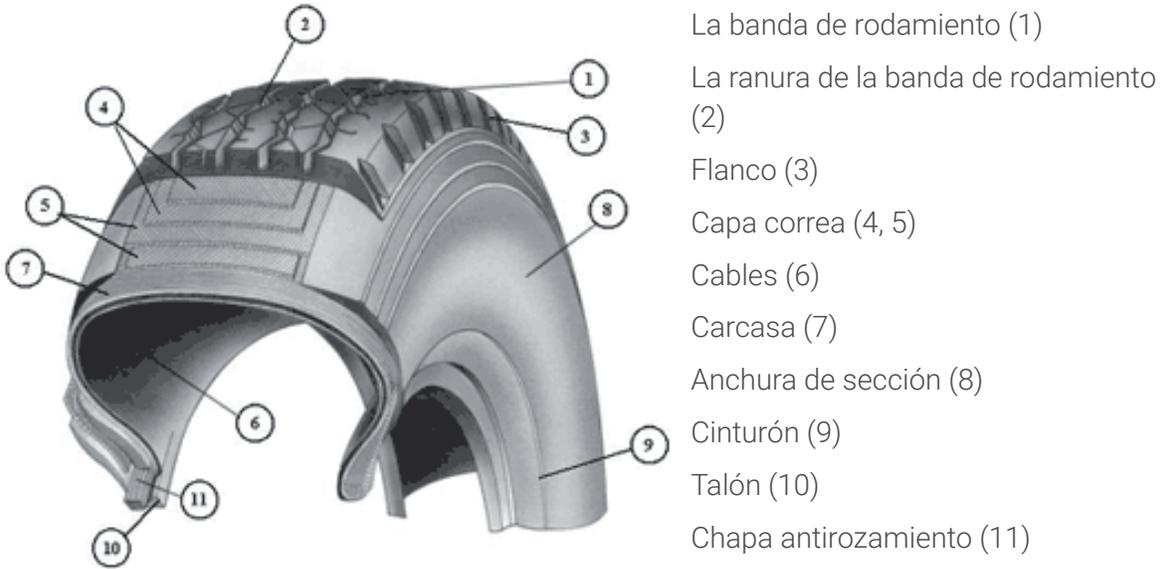
Gráfico VII-1. Llantas utilizadas en la industria minera en el flujo de llantas para Colombia 2020



Etapas puntuales en las que esta presente la llanta utilizada en la industria minera en el flujo de llantas para Colombia 2020

Fuente: La presente guía, 2020

Ilustración VII-1. Composición general de una llanta utilizada en la actividad minera, con diámetro superior a 24"



Fuente: Basilea, 2011 (Convenio de Basilea, 2011)

Es importante resaltar que aspectos tales como el diseño interno del refuerzo radial y el grosor de la carcasa varían en función del tamaño y vocación de uso.

2. Fase II. Consumo de llanta minera con diámetro superior a 24 pulgadas

El Estatuto del Consumidor, Ley 1480 de 2011 (Congreso de Colombia, 2011), define el consumidor o usuario como toda persona natural o jurídica que, como destinatario final, adquiera, disfrute o utilice un determinado producto, cualquiera que sea su naturaleza, para la satisfacción de una necesidad propia, privada, familiar o doméstica y empresarial, cuando no esté ligada intrínsecamente a su actividad económica; este es el caso de la industria minera que adquiere llantas mineras con diámetro superior a 24 pulgadas para sus vehículos en calidad de destinatario final.

a). Comercialización de llantas utilizadas en la industria minera con diámetro superior a 24 pulgadas

Las llantas a las que hace referencia la presente guía son en su totalidad importadas bajo las siguientes partidas arancelarias:

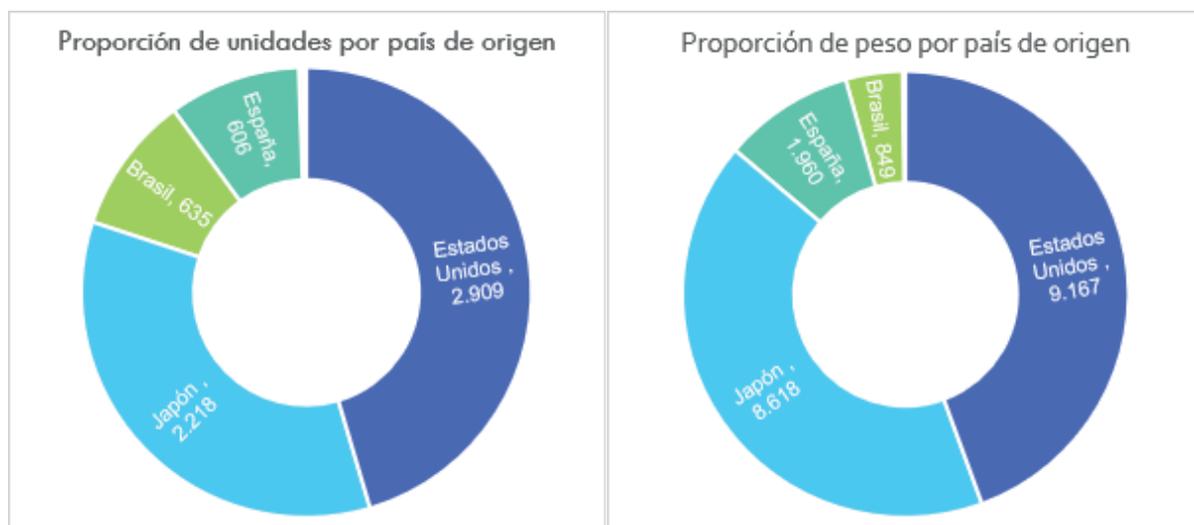
Tabla VII-1. Descripción de los rines de las llantas para la industria minera que ingresan a Colombia por partida arancelaria.

Partida	Descripción de la partida	Rines que ingresan
4011800010	Caucho y sus manufacturas	63
	Llantas (llantas neumáticas) nuevas de caucho.	57
	- De los tipos utilizados en vehículos y máquinas para la construcción, minería o mantenimiento industrial:	51
	-- Del tipo utilizado en máquinas para la minería, para llantas de diámetro interno superior a 88 cm	49
4011800090		31
	Caucho y sus manufacturas	45
	Llantas (llantas neumáticas) nuevas de caucho.	39
	- De los tipos utilizados en vehículos y máquinas para la construcción, minería o mantenimiento industrial:	35
	-- Los demás	33
4011900000		30
		29
4011900000	Caucho y sus manufacturas	32
	Llantas (llantas neumáticas) nuevas de caucho.	
	- Los demás	

Fuente: (La presente guía,2020)

Durante el año 2019 los países de origen de las llantas para la industria minera fueron: Brasil, China, España, Estados Unidos, Francia, Japón y Rumania. En su mayoría las unidades son originarias de Estados Unidos, pero en peso son más relevantes las originadas en Japón, es decir que, aunque son menos unidades pesan más.

Gráfico VII-1. Unidades y pesos de llantas para la industria minera que ingresaron a Colombia en el año 2019, por país de origen



Fuente: Basado en registros BACEX, 2020. (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinComercio), 2020)

b). **Uso de llantas de vehículo minero con diámetro superior a 24 pulgadas en la industria minera**

Las actividades propias de los procesos de gran minería a cielo abierto involucran el uso de maquinaria y equipos de alta exigencia, algunos de los cuales son de orugas y otros tantos de llantas. Dentro de los equipos mineros más comunes que usan llantas se destacan los siguientes:

Camiones volcadores: vehículos cuya capacidad de carga varía entre 190 y 320 toneladas, con rines que van desde las 57" hasta las 63".

Foto VII-1. Camión de acarreo



Fuente: Banco de imágenes Cerrejón, 2019 (Cerrejón, 2019)

Cargadores: utilizados para alimentar los camiones de acarreo, con rines que varían entre las 45" y las 57".

Foto VII-2. Cargador



Fuente: Banco de imágenes Cerrejón, 2019 (Cerrejón, 2019)

Tractores: cumplen diferentes funciones dentro de la operación tales como movimiento de cables, instalación de llantas, empuje de material y de elementos de gran peso, limpieza de áreas y arreglo de vías; sus rines varían de las 25" a las 35".

Foto VII-3. Tractor uso común



Fuente: Banco de imágenes Cerrejón, 2019 (Cerrejón, 2019)

Foto VII-4. Tractor manejador de llantas



Fuente: (Drummond, 2019)

Motoniveladoras: utilizadas para arreglo de vías y nivelación de áreas. Rines de hasta 25”.

Foto VII-5. Motoniveladora



Fuente: (Cerrejón, 2019)

Mototraillas: son utilizadas para arrancar y transportar el material. Rines de hasta 33”.

Foto VII-6. Mototralla



Fuente: (Cerrejón, 2019)

3. Fase III. Generación de la llanta usada con diámetro superior a 24 pulgadas

La generación de llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas se da por el descarte de éstas debido al daño estructural, al tiempo de uso de los vehículos y las propias llantas o por el agotamiento definitivo del labrado. Dichas llantas descartadas son llevadas al acopio temporal el cual está localizado en los predios de los títulos mineros.

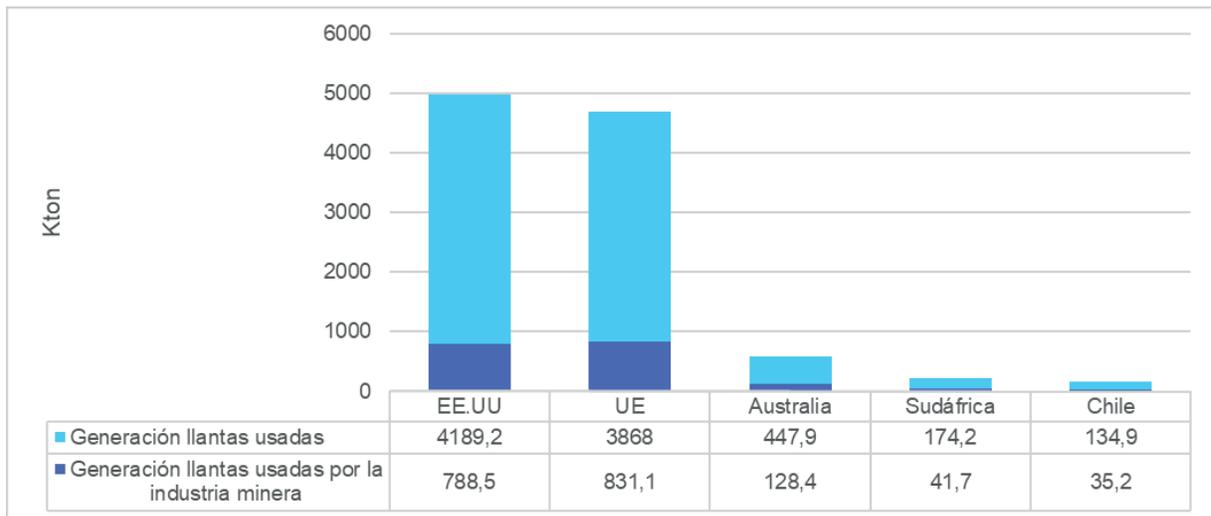
VIII. Mejores tecnologías disponibles para la gestión ambiental de las llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas

A. Modelos de valorización de residuos

Los modelos de valorización de residuos incluyen tecnología para el reciclaje, el aprovechamiento y tratamiento, lo que involucra sistemas de recolección y separación en la fuente, limpieza y procesamiento de materiales reciclados y su comercialización hacia nuevas aplicaciones (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019).

En el contexto internacional, la generación de llantas usadas representa un alto volumen de material; por ejemplo, en el año 2017 Estados Unidos generó aproximadamente 4189,2 kt y la Unión Europea en el mismo periodo generó 3868 kt. (Universidad Pontificia Bolivariana, 2018).

Ilustración VIII-1. Generación de llantas usadas por la industria minera, 2017



Fuente.: (Universidad Pontificia Bolivariana, 2018)

De la gráfica anterior se puede concluir que la fracción de llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas generadas por la industria minera es mínima, comparada con el total de las llantas

usadas generadas, dado que la mayoría corresponde a equipo liviano. En el ámbito internacional el uso y la gestión ambiental de las llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas generadas en la industria minera depende de las condiciones de acceso a las tecnologías existentes, al contexto de cada país de interés y a la normativa ambiental vigente en el derecho interno.

Existen algunos estados en EE. UU. que permiten el ingreso de llantas usadas de la industria minera a rellenos sanitarios tanto enteras como troceadas, aunque en muchos países está prohibido. (Universidad Pontificia Bolivariana, 2018).

A continuación, se describen los modelos de valorización a desarrollar con las llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas generadas en la industria minera.

1. Trituración mecánica

El Convenio de Basilea, 2011 definió la trituración como: *“cualquier proceso mecánico (incluidas las opciones criogénicas) mediante el cual las llantas son fragmentadas, desmenuzadas o cortadas en partes irregulares de cualquier dimensión de entre 20 a 400 mm. Por regla general, se entiende por “trituración primaria” el procesamiento de las llantas al final de su vida útil mediante trituración, compresión o fragmentación, mientras que paralelamente se mantiene en el material resultante una composición media general parecida a la de las llantas al final de su vida útil.”* (Convenio de Basilea, 2011)

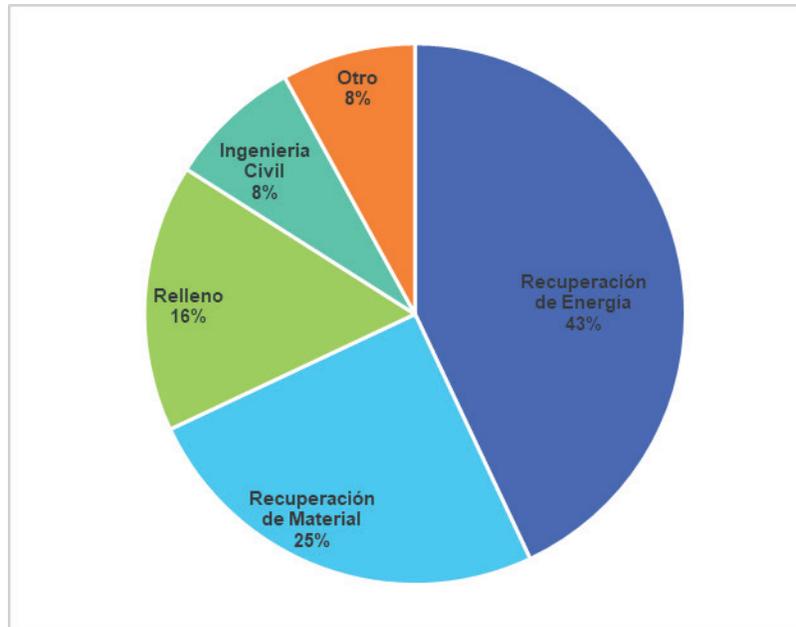
La recuperación del material troceado o granulado después de haber sido tratado mecánicamente para reducir su tamaño en forma granulada (conocido como TDA: *(Tire-Derived Aggregate)*) se usa para canchas deportivas, parques infantiles, productos de caucho moldeado y como cobertura de superficies.

Es también común el uso en formulaciones con asfalto, lo cual puede aumentar la vida útil del camino, carretera o autopista, así como una reducción considerable de ruido. Esta última aplicación es bastante común en países desarrollados como Estados Unidos, Canadá, Japón y en la Unión Europea.

Otro uso del material triturado de llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas generadas por la industria minera es la valorización energética (*energy recovery*) en procesos donde se da un aprovechamiento térmico a partir de procesos de pirólisis, gasificación y combustión. Entre estos procesos, el más usado es el de combustión, particularmente en hornos de producción de cemento como sustituto parcial de combustible tradicional, lo cual es conocido como coprocesamiento. Si bien el coprocesamiento en la industria del cemento es bastante habitual, también existen aplicaciones en centrales térmicas, acerías y calderas industriales.

En las siguientes gráficas se presentan las principales tecnologías de gestión ambiental de llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas generadas por la industria minera en Estados Unidos para el año 2017.

Ilustración VIII-2. Métodos de gestión ambiental de llantas usadas generadas por la industria minera para USA en 2017



Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana – 2018 (Universidad Pontificia Bolivariana, 2018).

El reciclaje de caucho proveniente de llantas con diámetro superior a 24 pulgadas fue promovido en Colombia, hace unos años, por una de las empresas mineras presentes en el país; sin embargo, por temas de demanda del material y costos operativos, la planta fue desmantelada. En la actualidad, las plantas recicladoras de caucho se encuentran concentradas en el aprovechamiento de llantas de equipo liviano, especialmente provenientes del interior del país.

Si bien el número de llantas de diámetro superior a 24 pulgadas que se generan por año es significativamente menor al número de llantas del parque automotor, la entrada de este material en el mercado del aprovechamiento generará un aumento en la oferta actual. En línea con lo anterior, resulta evidente la necesidad de que en el marco de la *Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)* (2019), se fomente la disponibilidad y confiabilidad de las alternativas de aprovechamiento existentes, ampliando su capacidad para manejar y las llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas generadas por la actividad minera.

Adicional a esto, en el caso de Colombia, las operaciones mineras de gran escala que tienen presencia en el país y que generan llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas de manera permanente, se localizan al norte del país, en algunos casos a largas distancias de centros urbanos, en áreas provistas de sistemas viales escasos y en mal estado; esta situación limita la movilidad de vehículos pesados, aumenta la probabilidad de accidentes e incrementa los costos de transporte.

La movilización de llantas enteras con diámetro superior a 24 pulgadas a las plantas de aprovechamiento existentes en Colombia demanda el uso de vehículos tipo tractocamión

que, por el peso del material, limita la capacidad de llantas por viaje a aproximadamente 6 unidades.

La reducción del tamaño de la llanta para facilitar la movilización de éstas hacia los lugares de aprovechamiento se convierte entonces en una opción que requiere equipo especializado, de alta tecnología, con capacidad de cortar la resistente alma de acero que la conforma y que ofrezca los rendimientos esperados que permitan extraer el material a ser aprovechado. En casos extremos, el aseguramiento del flujo eléctrico para esta actividad de reducción se puede convertir también, en un reto a superar.

2. Pirólisis

La pirólisis es la descomposición térmica del caucho en ausencia de oxígeno, que lo descompone químicamente en gasóleo, gas y negro de humo (Convenio de Basilea, 2011). Existen varias plantas de pirólisis en el país, ubicadas en Yopal, Funza, Manizales, Mosquera y Cali. A la fecha ninguna reporta trabajo con llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas generadas por la industria minera, y aún afrontan retos para el manejo de subproductos tales como el negro de humo.

B. Modelos circulares

Los modelos circulares de residuos procuran la reutilización de productos y materiales para el cierre de su ciclo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019). El material es reutilizado en su misma aplicación o en un nuevo uso; a continuación, se describen los posibles modelos a desarrollar con las llantas de vehículo minero con rin superior a 24 pulgadas.

1. Uso en minería

En las operaciones mineras podrán utilizarse las llantas usadas en aplicaciones como se describen a continuación:

Utilización de las llantas usadas en los fondos o bases de botaderos de material estéril y retrolenado como mecanismo de protección de taludes, tal y como se autoriza en el párrafo del artículo 23 de la Resolución 1326 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) para los rellenos sanitarios¹. Dado que los botaderos y retrolenados de estéril, al igual que los rellenos sanitarios tienen como propósito la disposición de materiales, conforme a diseños específicos definidos a partir de las condiciones de permeabilidad y plasticidad del suelo y la estabilidad geotécnica del botadero, se considera que es viable su utilización para la protección de taludes.

1. PARÁGRAFO. La utilización de llantas usadas para protección de taludes y fondos en los rellenos sanitarios no se considera disposición final.

Manejo de las llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas generadas por la industria minera como sustituto de material estéril en la conformación de botaderos o retrolenados conforme a los diseños de estabilidad y geotecnia, lo cual además, bajo la visión de largo plazo de una operación minera, al momento del cierre de mina permite disminuir el déficit de estéril para el retrolenado al aumentar la cantidad de material disponible para el llenado de los tajos mineros; así mismo, minimiza la huella de carbono por la reducción de los costos energéticos asociados a las etapas logísticas de corte, triturado, transporte terrestre a las plantas de cogeneración o pirólisis ubicadas en zonas alejadas de los sitios de generación.

La implementación de las alternativas anteriormente mencionadas ha sido validada en países con vocación minera (Universidad Pontificia Bolivariana, 2018), los cuales han venido fortaleciendo su marco normativo y explorando alternativas para el manejo de las llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas generadas por la industria minera. Lo anterior, sin prohibir el aprovechamiento de llantas usadas en soluciones de ingeniería y como sustituto de material en áreas activas de avances mineros de botaderos y retrolenados.

2. Uso en ingeniería

Este modelo envuelve aplicaciones en ingeniería civil tales como: terraplenes, barreras de protección, parachoques, relleno de muros, aislamiento de caminos, drenajes de campos, humedales y como mecanismo para el control de la erosión y la escorrentía de aguas pluviales.

En las operaciones mineras podrán utilizarse las llantas usadas con diámetro superior a 24 pulgadas, en aplicaciones de ingeniería como se describen a continuación:

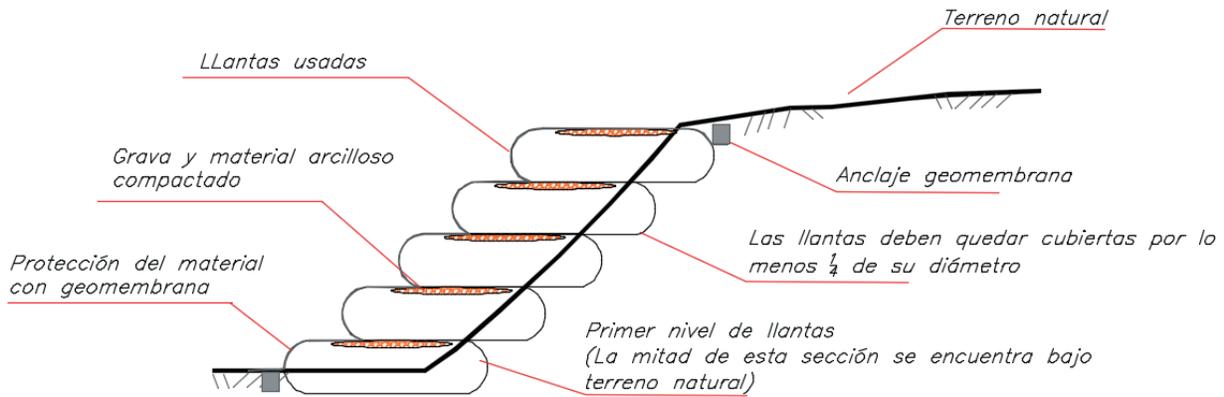
a). Aplicaciones ingenieriles en estabilidad de taludes

Muros de tierra: permiten la protección de laderas, obras de ingeniería o conformación de botaderos para ganar altura en lugares donde sea requerido para el diseño geotécnico y en la conformación de taludes.

b). Aplicaciones ingenieriles en control de erosión

Protección de laderas y bajantes usando llantas usadas como estructura de protección contra erosión. Su función es la protección de laderas, obras de ingeniería o conformación de botaderos para proteger materiales susceptibles a erosión.

Ilustración VIII-4. Protección de laderas y bajantes usando llantas usadas

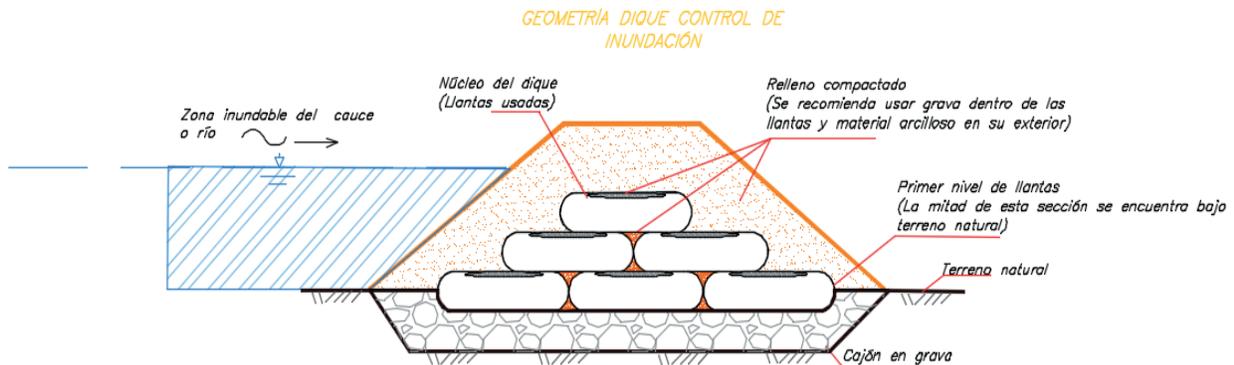


Fuente: La presente guía,2020

c). Aplicaciones ingenieriles en manejo de aguas

Protección de laderas y bajantes usando llantas usadas como estructura de protección contra erosión. Permite incorporar un sistema de aislamiento como núcleo relleno para prevenir procesos de tubificación en diques en relleno.

Ilustración VIII-5. Protección de laderas y bajantes usando llantas usadas



Fuente: La presente guía,2020

3. Reencauche técnico

Proceso mediante el cual se reemplaza la banda de rodamiento o el caucho de los costados de las llantas usadas con el objeto de prolongar su vida útil (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Mundialmente no se tienen por el momento casos de éxito en el reencauche de llantas con diámetro superior a 24 pulgadas dentro de la industria minera; lo anterior obedece a que los procesos evaluados han resultado altamente costosos y no competitivos frente a la prolongación de la vida útil de la llanta, en especial por los altos estándares de seguridad que deben cumplir y que, hasta el momento, no se garantizan de una manera costo eficiente a través de un proceso de reencauche.

IX. Mejores prácticas ambientales para el sector

A. Modelos para extender la vida útil

1. Selección de la llanta con diámetro superior a 24 pulgadas

Los fabricantes de llantas con diámetro superior a 24 pulgadas para uso en la industria minera, conocedores del impacto que sobre los gastos operacionales representa su producto, y con el ánimo de reducir la huella ambiental del proceso de producción, trabajan de manera permanente en la búsqueda de alternativas que permitan reducir el consumo de materiales vírgenes durante el proceso de fabricación de la llanta. Así mismo adelantan esfuerzos que les permitan a los consumidores de las llantas, prologar su vida útil y reducir otros gastos tales como el consumo de combustibles y, mejorar su desempeño ambiental al reducir de manera equivalente la generación de emisiones de CO₂ asociadas al consumo de combustibles fósiles.

Existen en el mercado productos de las referencias 46 / 90R57 V189 cuyo diseño se considera ecológico, dado que se ha comprobado una reducción del consumo de combustible de alrededor del 10% versus un diseño estándar, al igual que la referencia 53 / 80R63 V151 cuyo diseño demanda un consumo de caucho inferior en un 5% y puede alcanzar 25% más de vida útil.

Existen pocos fabricantes de llantas con diámetro superior a 24 pulgadas cuyos productos satisfagan las necesidades de una operación de gran minería; sin embargo, estos manejan un portafolio diverso de llantas conforme a las necesidades de cada operación, razón por la cual resulta fundamental seleccionar adecuadamente la llanta a emplear y para ello se tienen en cuenta los siguientes parámetros principalmente:

- Tamaño de los equipos
- Tonelada-Kilómetro por Hora (TKPH) real del sitio o mina
- Tonelada-Kilómetro por Hora (TKPH) de las distancias de ciclo
- Tiempo de ciclo

- Velocidades de uso
- Elevaciones o cambios de altura en el ciclo productivo
- Tipo de suelo
- Temperatura ambiente
- Calidad de vías y procesos de mantenimiento
- Modos de falla históricos en la llanta
- Disponibilidad de compuestos de caucho
- Diseño de la banda de rodamiento (grabado)

Con el propósito de brindar un mejor servicio al cliente, en lo relacionado con la selección adecuada de la llanta con diámetro superior a 24 pulgadas, es una práctica común que los proveedores dispongan de personal técnico en las operaciones mineras para realizar diferentes pruebas de adaptabilidad a algunos de sus diseños.

2. Factores operativos que influyen en la vida útil de las llantas con diámetro superior a 24 pulgadas utilizadas en la industria minera

Los productores establecen una vida útil en promedio para cada tipo de llanta fabricada; para la industria minera las llantas con diámetro superior a 24 pulgadas tienen un rango de duración de 4500 a 5000 horas utilizadas en camiones de 300 toneladas. Sin embargo, existen factores que pueden afectar el tiempo de uso seguro de estas llantas como consecuencia de daños producidos por impactos, sobrecarga, presiones inadecuadas, velocidad excesiva, entre otros.

De manera general, la principal causa de baja prematura de llantas con diámetro superior a 24 pulgadas está asociada a los impactos contra elementos extraños, estos impactos pueden producir la baja inmediata de la llanta o provocar daños progresivos en su estructura. Otra causa muy común es la separación de componentes de la llanta por calentamiento debido a velocidades excesivas, inflado deficiente, ciclos inadecuados y fuerzas mecánicas, entre otros factores.

En el siguiente diagrama causa-efecto se muestran los factores que afectan la vida útil de las llantas con diámetro superior a 24 pulgadas utilizadas en operaciones mineras:

Gráfico IX-1. Factores que afectan la vida útil de las llantas



Fuente: Michelin, 2012 (Michelin, 2012)

Sin bien en el diagrama anterior se especifican diversos factores, en esta guía nos ocuparemos de los que mayor incidencia tienen en la vida útil de estas llantas utilizadas en la industria minera, los cuales se relacionan a continuación:

1. Posición de la llanta en el equipo.
2. Presión de inflado.
3. Sobrecarga
4. Influencias del operador
5. Construcción y estado de las vías
6. Longitud del ciclo
7. Velocidad
8. Mantenimiento del equipo

a). Posición de la llanta con diámetro superior a 24 pulgadas en el equipo

Las llantas sufren desgastes de acuerdo con la operación del tipo de equipo que las utilice; no obstante, la magnitud de dicho desgaste varía considerablemente en función de la posición en que se encuentre instalada en cada equipo. Las llantas montadas en ejes motrices tienen por lo general una esperanza de vida útil un 25% inferior a aquella de las llantas montados en las ruedas portantes o directrices. Para las grúas horquillas, carretillas elevadoras y los apiladores, ocurre a menudo lo contrario debido a los reducidos radios de giro que se le exigen a la máquina. Es decir, en este tipo de máquinas, las llantas montadas en el eje direccional son en extremo solicitadas, exceptuando los casos en el que las máquinas operan en trayectos largos y rectilíneos (Michelin, 2012). En la siguiente tabla (REPTTELL EU, 2013), se muestra el efecto de la posición de las llantas en la magnitud del desgaste sufrido en cada tipo de equipo.

Tabla IX-1. Efecto de la posición de las llantas en la magnitud del desgaste sufrido en cada tipo de equipo

Equipo	Posición	Desgaste llanta
Volquete rígido/articulado	eje motriz	25%
Raspador)	eje motriz	50%
Cargador frontal	eje delantero	50%
Motoniveladora	eje tracción	40%

Fuente: (REPTTELL EU, 2013)

Por otra parte, en un par gemelo de llantas se presentan desgastes o daños en los flancos interiores y bordes exteriores debido a condiciones de operación que se relacionan a continuación:

- Daños en los flancos interiores por la inserción de cuerpos extraños.
- Desgaste o daños en los flancos interiores por fricción del dispositivo quita piedras con los flancos interiores, ocasionados por el descentramiento de dicho dispositivo.
- Desgaste por fricción de los flancos interiores, debido al inflado deficiente de una o de las dos llantas que conforman el par gemelo.

Desgaste “en cono”: bordes exteriores del par más desgastados que los bordes interiores. En casos extremos, este tipo de desgaste lleva a desmontar llantas completamente desgastadas en los hombros, cuando el estado de la banda de rodamiento permitiría aún mantenerlos en el vehículo (Michelin, 2012).

Foto IX-1. Desgaste en cono



Fuente: (Michelin, 2012)

b). La presión de inflado

Una de estas llantas contiene aire a presión que le permite soportar el 80% de la carga, por este motivo, es fundamental mantener la presión de trabajo dentro de los rangos recomendados por el fabricante; una presión insuficiente o excesiva, acelera el desgaste de la llanta ocasionado la degradación gradual de su estructura. La presión de inflado juega un rol importante en la duración y comportamiento de las llantas y del equipo para minería; su magnitud es definida técnicamente por el personal especializado, teniendo en cuenta las tablas de presión/carga especificadas por los fabricantes, así como diversos parámetros operacionales (carga, velocidad, tracción, resistencia a choques, temperatura ambiente, longitud de ciclo etc.).

Presión insuficiente: genera un aumento de las flexiones, elevando la temperatura de la goma, provocando baja en el rendimiento, aumento del consumo de combustible, aumento del riesgo de separación térmica. De igual manera aumenta el riesgo de cortes en el flanco al estar más expuestos, perjudica la estabilidad del equipo y causa deterioro de la zona baja o de apoyo (REPTTELL EU, 2013).

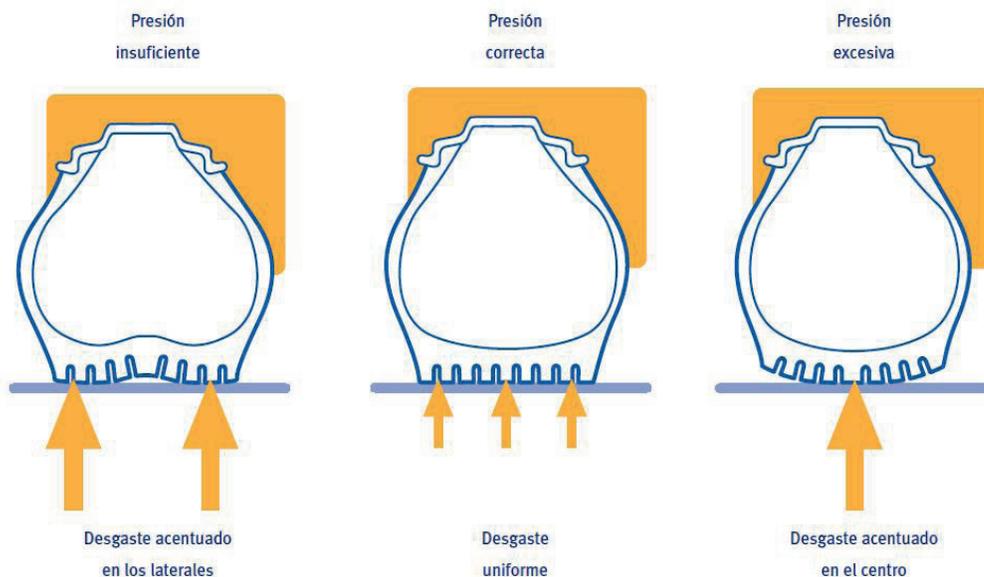
Así mismo, una presión insuficiente produce valores más elevados de compresión de la estructura de la llanta, un aumento del rozamiento de los elementos internos y (a igual velocidad y carga) sobrecalentamiento de toda la llanta. A causa de una llanta desinflada, el sobrecalentamiento puede alcanzar valores tales para provocar hasta un colapso completo de la estructura de la llanta provocando condiciones de grave peligro. La presión insuficiente produce a su vez un desgaste más rápido e irregular, ya que la distribución de la presión específica en el suelo, bajo el área de impresión de la banda de rodadura cambia. Una presión insuficiente modifica también la capacidad de la estructura de la llanta de oponerse a las fuerzas externas que tienden a alterar la trayectoria definida, haciendo que el control del vehículo sea más difícil. (Hinostroza, 2016)

Presión excesiva: una presión excesiva para las condiciones establecidas aumenta la sensibilidad contra las agresiones generando daños graves con impactos menores; disminuye la adherencia perjudicando la tracción y la capacidad de frenado con mayores posibilidades de patinazos, disminuye el rendimiento y a la vez endurece la operación (REPELL EU, 2013). De igual manera, una presión de inflado excesiva provoca un desgaste rápido e irregular, con mecanismos análogos al caso de la presión insuficiente, pero no produce sobrecalentamiento. El exceso de presión, además de ser fuente de un menor confort, puede influir en el control del vehículo modificando la capacidad de la llanta de absorber las asperezas de la vía y reduciendo la adherencia como producto de la reducción de la impresión en tierra de la banda de rodadura. (Hinostroza, 2016)

A título indicativo: (Paredes Sánchez, 2008)

- Un inflado insuficiente en un 10% reduce la duración de la llanta en un 10%
- Un inflado insuficiente en un 20% reduce la duración de la llanta en un 25%
- Un inflado insuficiente en un 30% reduce la duración de la llanta en un 50%

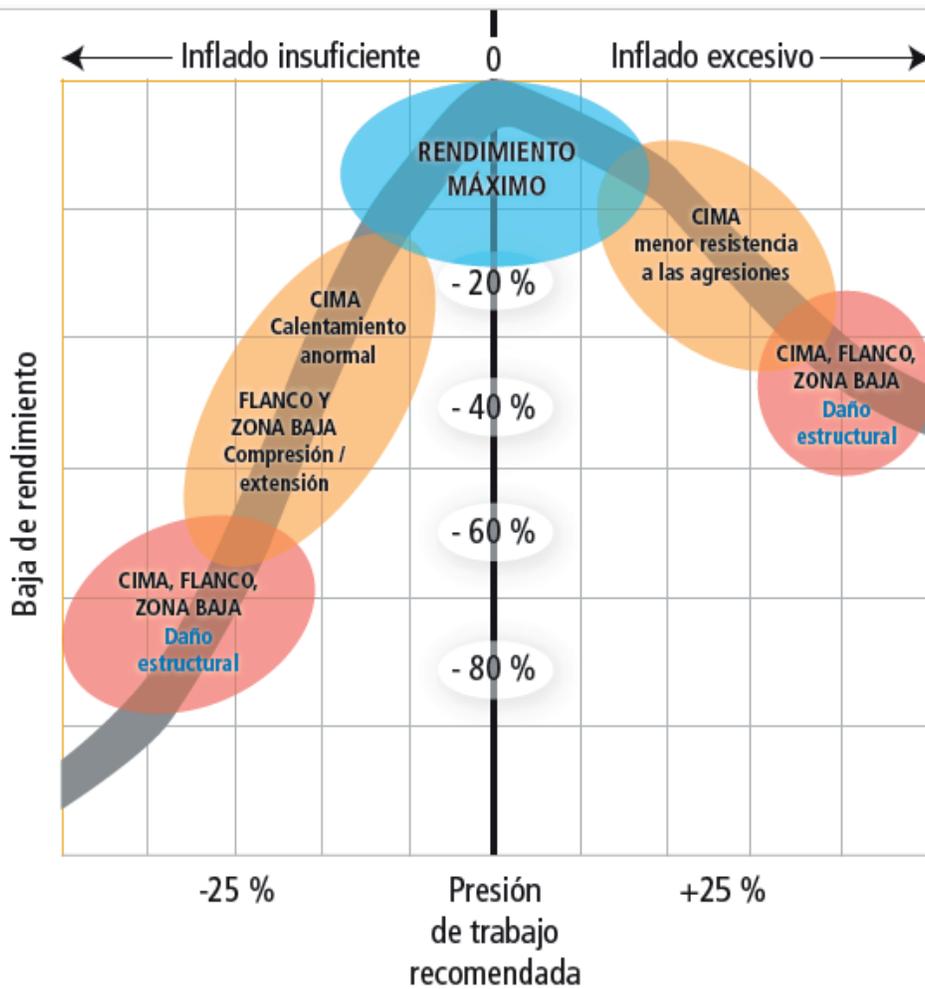
Ilustración IX-1. Influencia de la presión en el desgaste de la llanta



Fuente: (Hinostroza, 2016)

La siguiente gráfica representa la degradación del rendimiento de estas llantas en función de una presión de trabajo inadecuada. Se trata de tendencias medias observadas. Las presiones recomendadas por los constructores corresponden a condiciones estándar de utilización de los vehículos. Algunas condiciones particulares de utilización pueden llevar a establecer presiones distintas a las recomendadas (interpretarlas, adaptarlas en cierta forma) (Michelin, 2012).

Ilustración IX-2. Baja de rendimiento debido a un inflado insuficiente o excesivo (%) y riesgos potenciales asociados



Baja de rendimiento debido a un inflado insuficiente o excesivo (%) y riesgos potenciales asociados

Fuente: Michelin, 2012 (Michelin, 2012)

Un parámetro importante que se debe tener en cuenta en el proceso de inflado de estas llantas es la temperatura ambiente. “Las presiones de inflado recomendadas por los constructores y fabricantes corresponden a las condiciones ambientales de un clima templado. Cuando se somete una llanta inflada a variaciones considerables de temperatura, su presión de inflado varía: todo aumento de la temperatura ambiente conlleva un aumento de la presión y viceversa. Para limitar las deformaciones de la carcasa, la presión de trabajo siempre debe ser igual o ligeramente superior a la presión recomendada. Se debe entonces tomar muy en cuenta las variaciones de temperatura (diarias o estacionales), como se muestra a continuación (Michelin, 2012).

Tabla IX-2. Ajuste de presión con respecto a la temperatura ambiente durante el inflado

Temperatura ambiente durante el inflado	Porcentaje de aumento sobre la presión recomendada
+25°C y +29°C (77°F a 84°F)	4%
+30°C y +34°C (85°F a 93°F)	6%
+35°C y +39°C (94°F a 102°F)	8%
+40°C y +45°C (103°F a 113°F)	10%

Fuente: (Michelin, 2012)

c). Sobrecarga

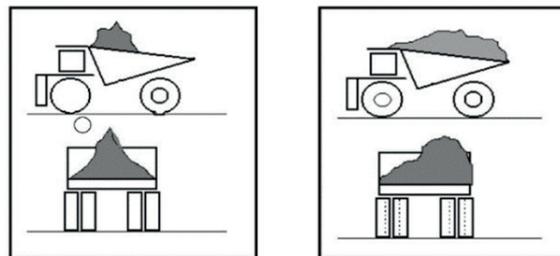
La sobrecarga es un factor determinante en la vida útil de las llantas con diámetro superior a 24 pulgadas, ya que genera un desgaste prematuro de la banda de rodadura y debilitamiento de los flancos de la llanta por el aumento de la temperatura interior de los mismos. La sobrecarga generalmente es provocada por el exceso de material cargado, la posición de la carga y las modificaciones del equipo, como se ilustra a continuación:

Foto IX-2. Exceso de material cargado



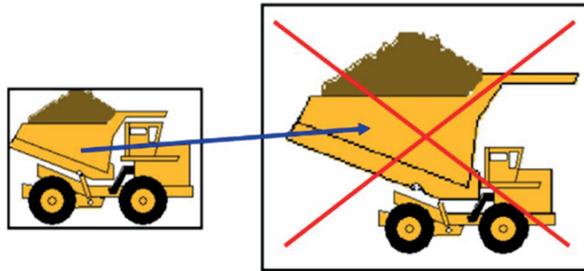
Fuente: Reptell, 2013 (REPTCELL EU, 2013)

Ilustración IX-3. Posición de la carga



Fuente: Reptell, 2013 (REPTCELL EU, 2013)

Ilustración IX-4. Modificaciones en el equipo



Fuente: Reptell, 2013 (REPTTELL EU, 2013)

En la siguiente tabla se muestra, a manera de ejemplo, la influencia del nivel de sobrecarga en la vida útil de estas llantas (Michelin, 2012).

Tabla IX-3 Influencia del nivel de sobrecarga en la vida útil de las llantas

Sobrecarga (%)	Reducción de la vida útil (%)
10	15
20	30
30	50

Fuente: Michelin, 2012 (Michelin, 2012)

d). Construcción y estado de las vías

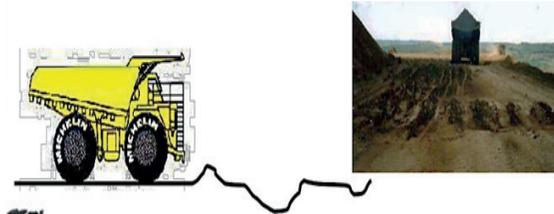
El trazado de las vías tiene una fuerte influencia sobre las condiciones térmicas y mecánicas de trabajo de las llantas con diámetro superior a 24 pulgadas; el largo y el ancho de las vías, la forma de las curvas y la inclinación de las pendientes tienen una importancia significativa en la sobrecarga puntual, así como en la tensión transversal o lateral de estas llantas favoreciendo la separación entre la banda de rodamiento y la carcasa de la llanta. Un mantenimiento regular de las vías, la limpieza de las áreas de carga y la retirada de cualquier obstáculo (rocas caídas durante el transporte, residuos, etc.) preservan las llantas de accidentes tales como choques, cortes, perforaciones, etc.

Se recomienda que las vías en las operaciones mineras tengan un ancho mínimo de 30 metros, con bermas de seguridad de hasta 2.4 metros de altura y hasta 6 metros de base; son construidas en roca (tipo areniscas) para que soporten el peso de los equipos de minería, cubiertas con capas de material aluvial para evitar que rocas filosas produzcan cortes en los flancos y en la banda de rodamiento de las llantas. Las vías deben estar dotadas con un sistema de drenaje para el manejo de las aguas lluvias.

A continuación, se muestran algunas condiciones particulares de diseño y estado de las vías, que inciden en el desempeño de las llantas utilizadas en las operaciones mineras.

Ondulaciones: generan importantes momentos de sobrecarga dinámica que después de un periodo de tiempo provocan separaciones internas de los componentes y fatiga de las carcasas de estas llantas (REPTTELL EU, 2013).

Ilustración IX-5. Ondulaciones en una vía



Fuente: Reptell, 2013 (REPTTELL EU, 2013)

Pendientes: generarán importantes esfuerzos en estas llantas, un equipo de transporte cargado, en una pendiente en bajada aumenta el esfuerzo de las llantas del eje delantero de manera proporcional a la pendiente (Michelin, 2012).

Ilustración IX-6. Influencia de las pendientes

RAMPAS CON PENDIENTES SUPERIORES A 6% SON PERJUDICIALES PARA LAS LLANTAS.

EJ. : UN 8% DE PENDIENTE EN LA RAMPA PUEDE GENERAR UNA SOBRECARGA DE 10% EN LAS LLANTAS

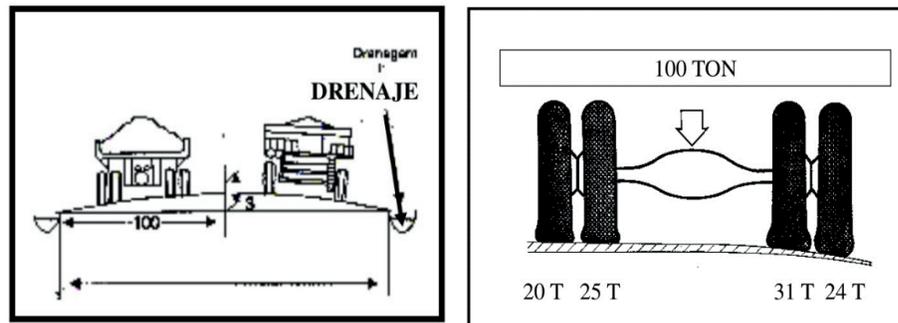
PENDIENTES EN SUBIDAS (SOLAMENTE PARA LLANTAS DE TRACCIÓN)

PENDIENTE.....	RENDIMIENTO
NINGUNA.....	100%
PENDIENTE DE 6%	90%
PENDIENTE DE 15%	70%

Fuente: Michelin, 2012 (Michelin, 2012)

Perfil de la vía: el perfil de una vía varía en función de la evolución de los trabajos, no obstante, en su planificación se deben considerar los efectos que éste tendrá sobre el desempeño de estas llantas, sin bien el desnivel transversal es una condición de diseño necesaria para la evacuación de las aguas lluvias, esta genera una distribución de carga no homogénea sobre las llantas, por tal motivo se debe tener un estricto control de esta variable, de tal manera que su magnitud no exceda un valor máximo de 3%. En las siguientes imágenes se muestra la incidencia del perfil de la vía en las llantas de equipos, en donde el desnivel transversal excesivo provoca sobrecarga y baja de rendimiento en las llantas en posición de la cota baja.

Ilustración IX-7. Incidencia del perfil de la vía



Fuente: Reptell, 2013 (REPTTELL EU, 2013)

Curvas: durante la construcción de las vías, se deben concebir correctamente las curvas, cuyos radios e inclinaciones (peralte) deberán estar en relación con las velocidades de los camiones (volquetes) cuando pasan por ellas. En el siguiente cuadro (Michelin, 2012) se muestra la relación entre el radio mínimo y la velocidad para curvas sin inclinación; información que se debe tener en cuenta en el diseño de las vías y al operar los equipos de minería. En la Ilustración IX-8 se puede apreciar el radio de giro en una curva con peralte del 10,5% y una curva sin peralte, tomadas a 45 km/h.

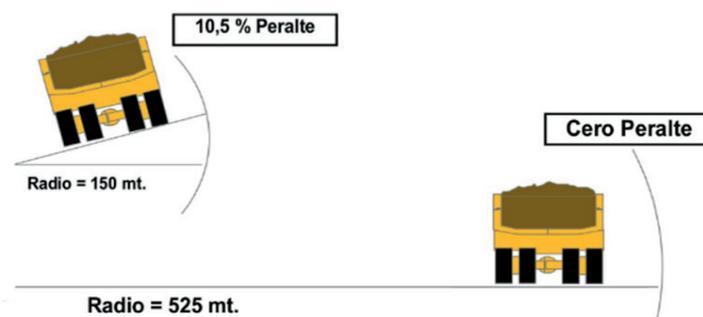
Tabla IX-4. Relación entre el radio mínimo y la velocidad para curvas sin inclinación

Radio mínimo	Velocidad máxima
15 m	8 km/h
25 m	10 km/h
50 m	15 km/h
75 m	20 km/h
100 m	25 km/h
200 m	30 km/h

Fuente: Michelin, 2012 (Michelin, 2012)

Ilustración IX-8. Radio de giro

45 Km/h en una curva con/sin peralte.



Fuente: Reptell, 2013 (REPTTELL EU, 2013)

Contar con un programa de mantenimiento es esencial para garantizar condiciones adecuadas de operación que permitan mantener una superficie de rodamiento estable en las diferentes áreas de la operación minera (rampas, botaderos, áreas de cargue, vías de acarreo, vías perimetrales) por donde circulen los equipos. Las actividades de mantenimiento también incluyen la detección y reparación de áreas que presenten ondulaciones o baches, condiciones que generan momentos de sobrecarga dinámica que causa daños en los flancos y en la banda de rodamiento de las llantas, disminuyendo el tiempo de vida útil de las mismas.

El mantenimiento de las vías de acarreo y de las vías perimetrales incluye las siguientes actividades:

- Limpieza de material derramado.
- Nivelación, eliminación baches y desniveles.
- Mantenimiento de drenajes.
- Acondicionamiento de peraltes y bermas.
- Riego de vías.
- El mantenimiento de las áreas de cargue y descargue incluyen las siguientes actividades:
 - Eliminación de derrames de material.
 - Nivelación del terreno.
 - Eliminación de ondulaciones y pozos de agua.

Influencias del operador

Un gran porcentaje de las bajas de llantas con diámetro superior a 24 pulgadas en las operaciones mineras se deben a cortes, daños por impacto y sobrecalentamiento asociados a la conducción inapropiada de los equipos para minería, situación que reduce considerablemente la vida útil de las llantas; gran parte de estos daños se puede prevenir con la implementación de un programa de entrenamiento y reentrenamiento continuo que garantice las competencias requeridas para los operadores de los equipos, permitiendo con esto la adopción de prácticas de operación seguras y productivas.

A continuación, se relacionan las condiciones que los operadores deben evitar durante la conducción de los equipos:

- Aceleraciones violentas
- Frenados bruscos y repetidos
- Velocidad excesiva en curvas
- Patinaje de las ruedas motrices
- Choques con material derramado en vías

- Ingreso al frente de carga en posición inadecuada
- La sobrecarga y estiba descentrada
- Tránsito por zonas con derrames, ondulaciones o pozos de agua
- Conducción cerca de las bermas
- Choque trasero con material al posicionarse para el cargue y descargue
- La posición inadecuada respecto al frente y al equipo de extracción
- El giro de la dirección con el equipo detenido
- El basculamiento o exceso de potencia al enfrentar el frente de cargue

f). Longitud del ciclo

Cuanto más largo sea el ciclo de trabajo (trabajo programado a realizar por el vehículo), mayor es la velocidad que pueden alcanzar los equipos, esta condición genera el aumento considerable de la temperatura la interior de estas llantas y desgastes de la banda de rodamiento por efecto del martilleo. De igual manera el aumento de velocidad durante el ciclo ocasionará en las llantas daños o cortes por impactos de mayor magnitud. Por otra parte, entre más largo sea el ciclo, mucho mayor será el tiempo de rodaje, situación que también generará el aumento considerable de la temperatura la interior de la llanta.

g.). Mantenimiento de los equipos

El mal estado mecánico de una máquina influye en el período de vida útil de las llantas que utiliza. Por ejemplo:

- Unos frenos defectuosos hacen que las ruedas se calienten de manera excesiva provocando un desgaste acelerado de las llantas.
- Un paralelismo incorrecto en el eje direccional de una máquina de transporte conlleva un desgaste anormal, acelerado y disperejo de los hombros internos y externos de las llantas.

Suspensiones mal ajustadas, juegos entre el aro (llanta, rin) y la maza (cubo), rótulas en mal estado, camber (ángulo de caída) no adecuado y rodamientos defectuosos, provocan desgastes irregulares que pueden limitar las prestaciones de la llanta e incluso tener que desecharlas tempranamente (Michelin, 2012).

Una llanta con diámetro superior a 24 pulgadas sufre los esfuerzos que le imponen el equipo en la que está montada y las vías que recorre. Al igual que el mantenimiento de las vías de circulación, el mantenimiento de los equipos tiene un impacto directo en las prestaciones de las llantas. La geometría de los ejes (paralelismo, camber o inclinación de la rueda), el ajuste y el estado de la suspensión son los principales parámetros. Dado que generalmente no se puede ajustar directamente el camber o inclinación de las ruedas en las máquinas de ingeniería civil, este capítulo está consagrado al ajuste del paralelismo y al de las suspensiones (Michelin, 2012).

(1). Paralelismo

Hace referencia al ángulo (visto desde arriba, en planta) que forman las ruedas de un mismo eje. Para optimizar su duración de vida, durante el rodaje, estas llantas deben permanecer tan paralelas como sea posible, ya sea con carga o sin ella (Michelin, 2012). Existen dos tipos de paralelismo como se explica a continuación:

Convergencia: cuando la distancia entre las partes anteriores de las ruedas en el eje es menor que aquella de las partes posteriores de las mismas (Michelin, 2012).

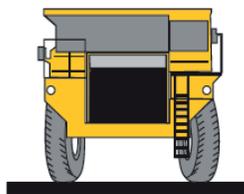
Ilustración IX-9. Convergencia



Fuente: Michelin, 2012 (Michelin, 2012)

Divergencia: el caso contrario. El valor de convergencia recomendado por el constructor está indicado en el manual de mantenimiento de cada máquina. No es necesariamente "0" dado que: las medidas de paralelismo se realizan con el vehículo detenido, preferentemente sin carga y si es posible, con las ruedas suspendidas; el valor de convergencia o divergencia puede ser el resultado de un compromiso entre el desgaste de la llanta y el comportamiento del vehículo, o entre el paralelismo sin carga y con carga (Michelin, 2012).

Ilustración IX-10. Divergencia



Fuente: Michelin, 2012 (Michelin, 2012)

La convergencia y la divergencia producen un desgaste irregular y acelerado de la llanta, sobre todo en los hombros: hombro exterior en caso de convergencia, hombro interior en caso de divergencia. Esto se llama desgaste "en cono", con la característica presencia de bordes afilados en el sentido transversal de la escultura o dibujo. Este desgaste se acelera aún más cuando

el suelo es adherente (rugoso) y abrasivo. Por esta razón, las tolerancias son menores para las máquinas que circulan en rutas que para aquellas que trabajan en pistas o suelos blandos (Michelin, 2012).

El paralelismo se ajusta sólo en los ejes de dirección ya que es fijo en un eje rígido. Generalmente, se ajusta el paralelismo modificando la longitud de las barras de dirección, habitualmente adaptadas para este efecto. El valor de convergencia recomendado por el fabricante está indicado en el manual de mantenimiento de cada máquina. En los vehículos de más de dos ejes como es el caso de algunas grúas o de algunas carretillas pórtico (*straddle carrier*), el paralelismo se ajusta verificando la correcta alineación de los ejes, los unos con respecto a los otros (Michelin, 2012).

(2). Suspensiones

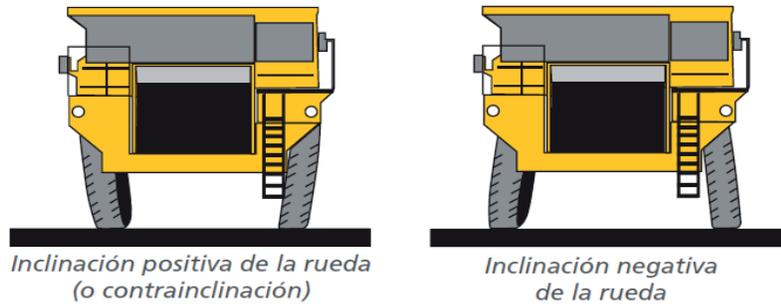
Entre las máquinas de ingeniería civil, sólo se debe tener en cuenta que los camiones volqueta o volquete (dumper) rígidos y articulados, las carretillas pórtico y las grúas tienen suspensiones. Se utilizan diferentes tecnologías para dar rigidez vertical a la suspensión: paquetes de resortes (a láminas, de hojas) o muelle de ballestas, resortes espirales, cilindros hidrollantas, etc. Sólo la suspensión a base de cilindros hidrollantas permite ajustar su rigidez mediante el control de la presión interna en el cilindro. Cualquier fuga de gas o aceite en este tipo de suspensión impacta en su prestación (Michelin, 2012).

(3). Ajuste de las suspensiones

El método varía según la marca y el tipo de máquina, para obtener indicaciones precisas se debe remitir al manual de mantenimiento del fabricante. El proceso generalmente incluye las siguientes etapas:

- Instalar cuñas (calzos) de seguridad, para evitar el movimiento accidental o inesperado de la máquina.
- Elevar el eje correspondiente para dejarlo con las ruedas suspendidas.
- Vaciar el gas a presión de los elementos de suspensión.
- Agregar aceite hasta el nivel definido por el constructor.
- Volver a poner a presión los elementos de suspensión hasta alcanzar el valor recomendado, agregando la cantidad de gas necesaria (en general, nitrógeno).
- Fijar la máquina en el suelo (Michelin, 2012).

Un ajuste inadecuado de las suspensiones puede provocar la sobrecarga de algunas llantas. Aunque visualmente el desgaste de las llantas parezca bastante parecido a aquel proveniente de un mal paralelismo, la diferencia se nota al tacto ya que no hay presencia de bordes afilados. Una inclinación incorrecta de la rueda (o un ajuste incorrecto de las suspensiones) reduce considerablemente la duración de las llantas. Sin embargo, la degradación de la llanta producto de un defecto de paralelismo puede ser aún peor (Michelin, 2012).

Ilustración IX-11. Consecuencias de un ajuste incorrecto de las suspensiones

Fuente: Michelin, 2012 (Michelin, 2012)

Un correcto reglaje de los ángulos de la dirección, de la suspensión y la corrección de holguras optimizan y mejoran el rendimiento final de las llantas. Un desajuste en la suspensión puede penalizar considerablemente la vida de las llantas ya que origina un reparto de cargas desigual. La presencia de bota piedras, deflectores de tolva y balde contribuyen a prevenir daños. (Paredes Sánchez, 2008)

(4). Velocidad excesiva

La velocidad excesiva produce la elevación anormal de la temperatura interior de la llanta hasta el sobrecalentamiento de sus componentes, causando un deterioro irreversible de su estructura; éste es uno de los factores determinantes en el deterioro térmico y daños mecánicos en las llantas. (Michelin, 2012)

Como se mencionó anteriormente, el funcionamiento térmico de la llanta es fundamental dado que es el factor clave que explica una gran parte de los daños. Para comprender la causa se debe recordar el ciclo de trabajo de una llanta (Michelin, 2012):

Ilustración IX-12. Ciclo de trabajo de una llanta

Fuente: Michelin, 2012 (Michelin, 2012)

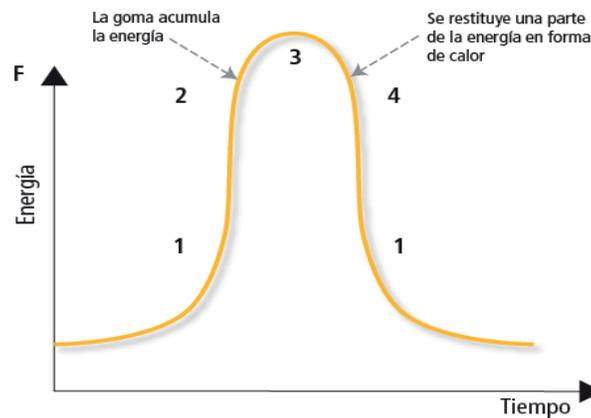
Posición 1: llanta sin esfuerzo de carga.

Posición 2: a medida que la llanta gira, los flancos se aplastan causando el calentamiento de sus componentes internos.

Posición 3: en el punto de contacto con el suelo, la intensidad del calentamiento es máxima; ésta disminuye después de manera gradual (posición 4) hasta regresar a la posición inicial (posición 1).

Si se repite este ciclo de manera demasiado rápida, se excede la temperatura óptima de funcionamiento de la llanta, lo que conlleva una degradación irreversible de sus componentes.

Ilustración IX-13. Diagrama de energía de la llanta



Fuente: Michelin, 2012 (Michelin, 2012)

El resultado de un calentamiento excesivo es normalmente una separación de los componentes de las llantas (entre la banda de rodadura y la carcasa), provocado por una o varias de las causas descritas anteriormente. Las consecuencias de tales separaciones pueden ser peligrosas, por esto, cuando aparecen se debe proceder a un examen profundo de la llanta para comprender sus causas y solucionarlas (Michelin, 2012).

3. Acopio de llantas nuevas

El acopio de las llantas nuevas se hace de conformidad con las recomendaciones de los proveedores de las llantas de vehículo minero con diámetro superior a 24 pulgadas importadas.

Para el almacenamiento en exteriores se deben tener en cuenta las siguientes condiciones:

- La duración máxima del almacenamiento dependerá de la necesidad de rotación para el uso de la llanta.
- El suelo debe estar limpio y bien drenado, sin grandes asperezas que puedan dañar las llantas.

- Las llantas se deben almacenar en un terreno plano, apoyadas de tal manera que no puedan caer ni rodar.
- Ningún almacenamiento de llantas debe realizarse cerca de productos inflamables o de sustancias contaminantes (aceite, grasa, hidrocarburos, entre otros).
- El área de almacenamiento debe ubicarse lejos de los repuestos de soldadura eléctrica, cargadores de baterías y en general de toda fuente de producción de ozono (centrales eléctricas, transformadores, entre otros).
- El área de almacenamiento de llantas nuevas debe estar señalizada.
- En una línea de llantas únicamente se deben ubicar llantas que correspondan preferiblemente a la misma dimensión.

4. Verificación de presión de inflado en llantas con diámetro superior a 24 pulgadas

Cuando llegue un equipo con una llanta con evidencia de recalentamiento (olor a caucho quemado o botando humo), el camión debe ser inspeccionado por una persona competente y si éste lo considera peligroso, el equipo debe ser ubicado en un área segura, alejado de personas y otros equipos, hasta que la temperatura de la llanta se normalice, se debe establecer un perímetro de seguridad alrededor del equipo.

Antes de ingresar al área de inflado, el mecánico de mantenimiento de llantas u operador de llantas debe verificar que las condiciones estructurales de las llantas se encuentren dentro de los parámetros normales de funcionamiento, verificando que no existan cortes y/o fallas de reparación que expongan cuerdas de la carcasa.

La verificación de presión debe ser realizada teniendo en cuenta el sentido de giro de las manecillas del reloj.

Llantas que presenten una presión por debajo del 80% de su presión normal de funcionamiento no deben ser ajustadas, deben ser desarmadas e inspeccionadas íntegramente antes de ser reutilizadas e infladas.

5. Reparación de llantas para operaciones fuera de carretera - llantas OTR

Para llantas OTR (siglas en inglés de: *off-the-road*) existen 2 tipos de reparaciones, las convencionales (para lesiones menores) y las denominadas extra dimensionadas (para lesiones mayores), estas últimas hacen referencia a las llantas que presentan heridas por fuera de los estándares normales definidos en las tablas de parches de los fabricantes. En las reparaciones convencionales el proceso consiste en la eliminación total de las cuerdas de acero en la zona dañada, creando una ventana en la zona más flexible, entre el retorno hasta el borde del hombro. En reparaciones extra dimensionadas se da la vuelta al talón hasta la terminación del retorno, en su reemplazo se instalan nuevos cinturones de acero cubiertos por

un protector para evitar la oxidación de la zona reparada, por lo tanto, dicha zona tiene la misma flexibilidad que el material original. Estos trabajos deben ser realizados por técnicos certificados.

Todas las llantas deben ser lavadas y desarmadas para ser inspeccionadas por el personal técnico especialista en reparaciones con el objetivo de determinar si las llantas deben ser reparadas preventiva o correctivamente antes de ser trasladadas a otro lugar.

6. Manejo de llantas usadas, al interior de las instalaciones mineras

Las llantas se consideran usadas cuando cumplen su vida útil o en menor grado, porque se detectan fallas en las mismas. En el área de acopio temporal de llantas usadas dentro de las instalaciones de la mina, se recomienda implementar la señalización adecuada que les permita a los conductores que se acerquen al área, ver con suficiente antelación la presencia de la llanta o la ejecución de las labores de desmonte.

a). Transporte interno de las llantas usadas

El transporte interno de las llantas usadas dentro de la mina podrá realizarse en las tolvas de los equipos para minería o en camabajas siguiendo los lineamientos o estándares de cada operador minero para la manipulación de llantas usadas.

(1). Equipos para utilizar

Se recomienda la utilización de equipos tipo tractor frontal, tractor articulado con pinza o montacarga, cargador o grúa equipada con brazo manipulador para el desmonte de la llanta usada. Como medida de precaución adicional, se sugiere que los operadores de los equipos encargados del desmonte mantengan una comunicación permanente.

Foto IX-3. Sistema de transporte de llantas



Fuente: La presente guía, 2020

(2). Movilización de las llantas

Entre los ítems más relevantes que se deben cumplir están:

- Transitar de acuerdo con las velocidades permitidas en las vías y cumplir con la distancia de seguimiento entre camiones.
- Informarse y confirmar el sitio de descargue de las llantas asignado e identificar la ruta aprobada para el desplazamiento.

b). Acopio interno de las llantas usadas

Es importante resaltar, que dada la dimensión de las llantas utilizadas en las operaciones mineras las recomendaciones dadas en el anexo I de la Resolución 1326 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) no son aplicables, ya que almacenar dicho material en contenedores o bodegas resulta riesgoso en términos de manipulación, e inviabile por la capacidad de almacenamiento que demandaría grandes áreas. Adicionalmente las disposiciones de dicho anexo no son aplicables dado que en las instalaciones mineras no se realiza almacenamiento sino acopio temporal de las llantas usadas.

En razón a lo anterior, para el caso de las llantas utilizadas en la industria minera, en la presente guía se incorporan las recomendaciones técnicas para llevar a cabo el acopio temporal de las llantas usadas.

Las llantas utilizadas en la industria minera por sus características de tamaño y peso exigen consideraciones especiales, dado el potencial que tienen de acumular agua y facilitar la proliferación de vectores, así como, el potencial de incendios que se pueden presentar en áreas manejadas inapropiadamente.

A continuación, se presentan algunas recomendaciones generales para los sitios de acopio de este material.

(1). Selección del lugar de acopio

Dentro de los criterios a considerar al momento de seleccionar el lugar de acopio de las llantas usadas están:

- Respetar las rondas de protección de cuerpos de agua superficiales y acuíferos, conforme a la normativa vigente.
- Seleccionar un lugar alejado de zonas boscosas y de lugares de acopio de materiales comburentes, para mitigar los posibles impactos ante un eventual incendio. El área de almacenamiento debe ser lo suficientemente grande como para permitir el funcionamiento de las máquinas de manipulación sin riesgo de golpear o frotar contra las llantas almacenadas o los equipos para emergencias.

(2). Señalización del área y medidas de protección

Para el área que se seleccione para el acopio de las llantas usadas se deben considerar como mínimo los siguientes aspectos:

- Anunciar con una distancia no menor a 100 m, la existencia del punto de acopio.
- Adoptar medidas preventivas ante incendios, tales como:
 - Garantizar un espacio entre los grupos de llantas, de al menos 3 metros de ancho, y más ancho si el diámetro de las llantas lo requiere.
 - Considerar los sistemas de protección contra incendios de acuerdo con una evaluación de riesgos.
 - Si hay líneas eléctricas cercanas, se deben hacer las debidas protecciones a los postes con los respectivos avisos.
 - Para el control de vectores, dada la complejidad de cubrir el área, se deberán realizar jornadas de fumigación periódicas, las cuales podrán ser complementadas con la aplicación de cal inerte.

(3). Medidas de manejo para el acopio

Existen unas recomendaciones básicas de seguridad para las personas y el equipo empleado en la manipulación y almacenamiento de este material:

- Realizar el apilamiento empleando equipos apropiados para esta labor.
- Organizar las llantas de mayor a menor diámetro.
- Para facilitar la manipulación, las llantas usadas deben apilarse horizontalmente sin superar más de 4 metros de altura o 4 veces su anchura.

B. Modelos de productos como servicios

Los modelos de productos como servicios son aquellos en los que se comercializan servicios en lugar de productos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019), el ejemplo de este modelo en el que se relacionan llantas, es el uso compartido de sistemas de transporte conocido como “carsharing” en el que es posible el alquiler de un vehículo (automóvil, moto, bicicleta o patineta) durante un tiempo en un área delimitada, como si se tratara de un transporte público. . No existen antecedentes de la comercialización del servicio para el uso de llantas con rin superior a 24”, así como de vehículos de este tipo. Sin embargo, no se puede descartar que se presenten proyectos que busquen implementar esta alternativa, para lo cual deberán analizar la relación costo-beneficio de su implementación, las implicaciones en temas de seguridad de los trabajadores, las distancias existentes entre las operaciones y los beneficios ambientales en la potencial disminución en la generación de llanta usada.

C. Modelos de plataforma

Los modelos de plataforma son el uso de tecnología de información y datos para optimizar sistemas. Para las llantas para uso en operaciones mineras, con rin superior a 24”, son conocidos

el sistema de control de presión de llantas TPMS (siglas en inglés de Tyre Pressure Monitoring System) y sistemas de monitoreo de desempeño de la llanta.

1. Sistemas de control de presión de llantas

Son muchas las opciones de dispositivos de control de presión de llantas (TPMS) disponibles en el mercado; se dividen en dos categorías: directos e indirectos.

TPMS directo: sus sensores miden la presión en cada llanta e informan de forma inmediata y en muchos casos de forma remota las variaciones presentadas en lo que concierne al aire o gas del interior de las llantas. Algunos de estos pueden informar parámetros adicionales como temperatura e inclinación. (Muñoz, 2018)

TPMS indirecto: parte de la diferencia en el tamaño, su sensor monitorea la velocidad de rotación de las llantas, no mide la presión física, cuando la llanta se encuentra con un diámetro menor y a mayor velocidad es porque no se encuentra inflada correctamente. (Muñoz, 2018)

2. Sistemas de monitoreo de desempeño de la llanta

Estos sistemas han sido desarrollados por las empresas fabricantes de llantas para la industria minera y se ofrecen como parte integral en un servicio de posventa de las llantas. Su objetivo principal es mejorar el desempeño de las llantas mediante la captura de mediciones de distintos factores operativos que influyen en la vida útil de las llantas (véase IX.A.2).

La llanta es entonces constantemente monitoreada por técnicos en campo ya sea de forma visual, o acompañados por herramientas especiales de toma de parámetros. Los datos recolectados son sistematizados y manejados por sistemas aplicativos (*software*) que permiten descargar los datos en informes que muestran el desempeño de la llanta.

El análisis de esta información permite agilizar la toma de decisiones para medidas de manejo y optimización de las llantas. Adicional a esto, el consolidado de la información es clave para hacer mejoras en el diseño de las llantas dadas las características de la industria minera.

X. Estrategias e instrumentos para la gestión ambiental en el marco de la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)

A. Metabolismo

La *Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)*, (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019), plantea que “*el metabolismo analiza el balance entre la extracción de materias primas, uso de agua y energía y la importación de recursos frente al consumo y la exportación. Es la base para entender la sostenibilidad ambiental de un país a partir del uso, sobreuso o escasez de recursos. A su vez, es el análisis de materiales y recursos el que provee una indicación sobre la dimensión y escala de la actividad económica*”

Gráfico X-1. Estimación de metabolismo de llantas en Colombia.



Fuente: Adaptación para el flujo de llantas basado en la estimación del metabolismo de la economía colombiana (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019 pág. 32)

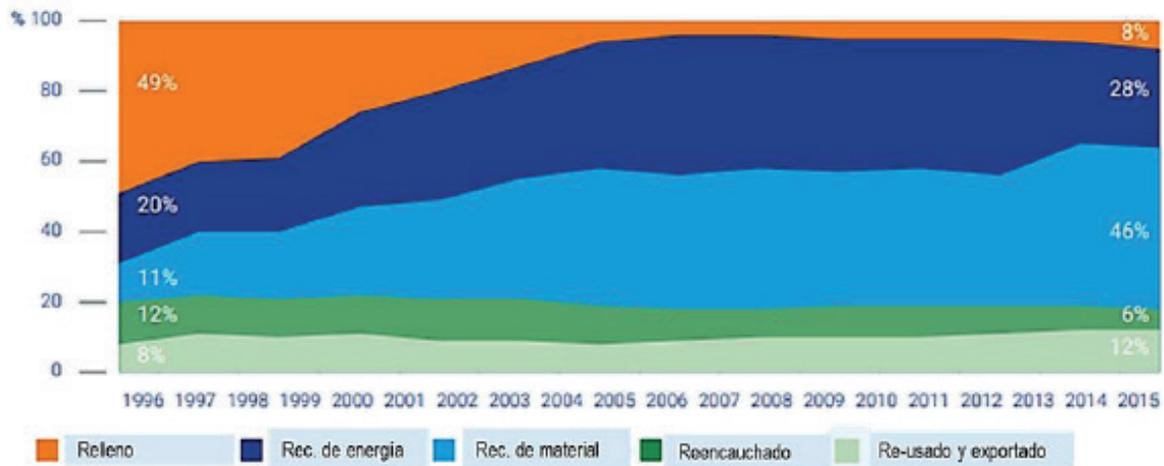
En el gráfico 11-1 se presenta la estimación del metabolismo de llantas en colombiana, en el se representa el balance la entradas y salidas de llantas, y se cierra con la estimación de las acciones no representan valor, como lo es la disposición domestica de llantas en rellenos sanitarios, espacio público, la quema no controlada y el desecho en áreas protegidas y mares. No se cuenta con una estimación cuantitativa del balance para llantas; sin embargo, las llantas utilizadas en la industria minera aportaron el año 2019 entradas representadas las importaciones estimadas en 20 mil toneladas correspondientes a 6.404 unidades entradas representadas las importaciones estimadas en 20 mil toneladas correspondientes a 6.404 unidades (véase Tabla V-1. Cantidades vs peso de llantas de vehículo minero que ingresaron a Colombia en 2019). Estas unidades son exclusivas de consumo interno, por lo que no existen salidas representadas en exportaciones.

B. Indicadores

Tal como se plantea en la *Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)* (2019), la transición hacia una economía circular involucra un cambio cultural en empresas, consumidores y demás actores involucrados; así mismo, la adopción de nuevos modelos económicos requiere, en términos generales, desaprender, adquirir nuevas capacidades técnicas y sociales y realizar ajustes a las políticas e instrumentos normativos que permitan promover la eficiencia en el uso de recursos, y la reutilización y el reciclaje de materiales, agua y energía. El proceso de incorporación de las llantas de diámetro superior a 24" utilizadas en la industria minera a un modelo de circularidad en Colombia, representa una serie de retos que deben superarse para garantizar un proceso exitoso y sostenible en el tiempo, tal como lo han venido haciendo otros países de vocación minera que han emprendido este camino con anterioridad.

La Universidad Pontificia Bolivariana realizó en el año 2018, el estudio denominado "Ejercicio de vigilancia tecnológica para el aprovechamiento de llantas de minería fuera de uso", por medio del cual se efectuó un análisis del proceso de gestión ambiental de llantas utilizadas en la industria minera en lugares como Estados Unidos, la Unión Europea, Chile, Australia y Sudáfrica; en este estudio se encontró que en los países analizados, las alternativas de aprovechamiento que pudiesen sustituir las prácticas de confinamiento (en depósitos de estéril y vertederos), se adoptaron de manera progresiva y simultánea al desarrollo de capacidades, transformación cultural y armonización del marco legal. El caso de la gestión ambiental de llantas en la Unión Europea se ilustra en la siguiente gráfica.

Gráfico X-2. Evolución de la gestión de llantas usadas en la Unión Europea, 1996-2015



Recuperación Fuente: (Universidad Pontificia Bolivariana, 2018)

Tal como puede observarse, el proceso de implementación de alternativas de reciclaje y valorización energética se dio de manera progresiva permitiendo gestionar las llantas al interior de las operaciones mineras, en diferentes tipos de usos.

En línea con lo anterior, en la medida en que las condiciones de transición hacia una economía circular para las llantas con diámetro superior a 24" se vayan consolidando, los titulares mineros tendrán que ir haciendo ajustes en las alternativas de aprovechamiento mediante el reciclaje o la valorización energética, de tal manera que la entrada de este nuevo material al mercado actual de aprovechamiento de llantas no genere un aumento acelerado de la oferta de subproductos y en el sentido de restar capacidad de comercialización a los gestores de aprovechamiento de llantas usadas.

Para poder hacer la verificación del avance en la implementación del plan de transición de cada titular minero es necesario establecer un mínimo de indicadores de la gestión ambiental de las llantas usadas en unidades y toneladas dentro de los cuales se tiene:

- Aprovechamiento de llantas usadas mediante actividades mineras aprobadas por plan de manejo ambiental ó licencia ambiental.
- Aprovechamiento de llantas usadas mediante actividades de ingeniería tales como la utilización de llantas usadas en construcción de taludes, jarillones y tuberías, entre otros.
- Aprovechamiento de llantas usadas mediante trituración mecánica. (Fibra- acero - caucho)
- Aprovechamiento de llantas usadas mediante el pirólisis.
- Aprovechamiento de llantas usadas mediante coprocesamiento
- Aprovechamiento de llantas usadas mediante otras opciones que ambiental y tecnológicamente sean viables.

Tabla X-1. Características del indicador

Concepto	Descripción	Campo para diligenciar
Características del indicador	En este apartado se presentan las características generales del conjunto de datos que se intercambian, como son: alcance temático, cobertura geográfica, clasificaciones estadísticas, población objetivo, entre otros aspectos.	
Nombre del indicador	Es la expresión verbal, precisa y concreta que identifica el indicador.	Toneladas y unidades de llantas gestionadas ambientalmente por tipo de aprovechamiento realizado
Descripción del indicador	Incluya la descripción del indicador. Recuerde que en la descripción se identifican los principales aspectos por los cuales se definió el indicador. Este campo debe responder a las preguntas ¿"qué mide" el indicador? y ¿"cómo" lo mide? (breve descripción de la metodología de cálculo del indicador).	Establece las unidades y el peso en toneladas de llantas que se han aprovechado por cada una de las opciones establecidas por la industria minera.
Cálculo del indicador	Fórmula que se aplica para obtener el indicador.	Es la sumatoria las unidades y las toneladas en peso para cada una de las opciones de aprovechamiento establecidas por la industria minera.
Unidad de medida	Unidad en que se miden los valores de los indicadores.	Unidades y toneladas
Fuente de la información	Fuente o fuentes proveedoras de los datos empleados para calcular el indicador.	Industria minera soportada en certificados de gestión expedidos por los encargados de ejecutar las actividades de aprovechamiento.
Nomenclaturas y clasificaciones estadísticas	Relacione las clasificaciones, codificaciones o nomenclaturas utilizadas para la producción del indicador, indicando la versión empleada.	Clasificación Europea de Residuos para Estadísticas CER STAT Rev. 4 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2017)
Alcance temático	Principales sectores o temas cubiertos por el conjunto de datos estadísticos.	Industrial minera
Población objetivo	Población objetivo del proyecto generador del conjunto de datos. Conjunto de elementos definidos en un espacio y en un tiempo sobre los que se desea información.	Expediente minero bajo el cual hace control y seguimiento ambiental la autoridad ambiental competente.
Cobertura geográfica	Es la extensión territorial sobre la cual se ejecuta una operación estadística. Como ejemplo se pueden mencionar: cobertura nacional, regional o departamental.	Departamento
Periodo de referencia	El período de tiempo o punto del tiempo al que se refiere la observación que está siendo medida.	Mensual
Periodo base	El período de tiempo utilizado como la base de un número índice, o al que se refiere una serie constante.	Anual
Difusión	Presente los aspectos asociados con la difusión y disponibilidad de resultados del indicador	
Serie histórica disponible	Especifique los periodos de tiempo (e.j.: años) en que el indicador se encuentra disponible.	A partir del año 2022 se encontrará disponible la información del 2021
Frecuencia de difusión	Frecuencia con la que se difunden los datos o indicadores que se intercambian (por ejemplo: mensual, trimestral, anual).	Anual
Medios de difusión	Medios de difusión (internet, correo electrónico, etc.), formatos físicos (impreso, medios ópticos, archivos electrónicos), en que se ponen a disposición de los usuarios los indicadores que se intercambian o difunden.	Informe anual
Comentarios adicionales	Información adicional relacionada con los datos, o metadatos.	

Fuente: La presente guía,2020

C. Gestión de la información

La gestión ambiental realizada para el aprovechamiento de las llantas usadas de diámetro interno superior a 24", será reportada con corte anual a más tardar el 31 de enero de cada año (artículo 23, de la Resolución 1326 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)), haciendo uso de los siguientes formatos:

Tabla X-2. Formato de reporte anual de la gestión ambiental de llantas usadas generadas por la industria minera

Mes reportado ¹	Unidades de llantas usadas generadas (Un.) ²										Peso total (kg) ³	Llantas gestionadas por el titular minero (Un.) ⁴	Gestión ambiental realizada por el titular minero ⁵	Llantas gestionadas por terceros (Un.) ⁶	Gestión ambiental realizada por terceros ⁷	Certificado de aprovechamiento ⁸	
	R24	R25	R29	R32	R33	R39	R45	R49	R51	R57							Total
Enero	25	20	15	12	45	0	0	0	0	80	1970	98.500	85	uso en minería	112	trituration mecánica	
..																	
Diciembre																	

Fuente: La presente guía, 2020

Descripción de la tabla X-2:

1. Mes reportado: anualmente se debe presentar la información mensual de la gestión ambiental realizada.
2. Unidades de llantas usadas generadas: discriminar por los diferentes tipos de rines (R24, R25, R29, R32, R33, 339, R45, R49, R51, R57) y la sumatoria total de unidades.
3. Peso total (kg): reportar el peso total en kilogramos de las unidades reportadas.

Llantas gestionadas por el titular minero (Un.): unidades gestionadas directamente por el titular minero.

Gestión ambiental realizada por el titular minero: en caso de que se hayan adoptado diferentes alternativas de gestión ambiental para un mismo mes de reporte, será necesario detallar la cantidad de llantas por método de aprovechamiento.

Llantas gestionadas por terceros (Un.): referenciar las unidades certificadas.

Gestión ambiental realizada por terceros: en caso de que se hayan adoptado diferentes alternativas de gestión ambiental para un mismo mes de reporte, será necesario detallar la cantidad de llantas por cada una de las alternativas de aprovechamiento.

Certificado de aprovechamiento: referenciar el número de identificación del certificado de aprovechamiento expedido por el gestor registrado ante la autoridad ambiental competente, el cual debe estar adjunto al formato.

Tabla X-3. Balance anual de gestión ambiental de llantas de vehículo minero usadas

Periodo del balance (año) ¹	Llantas usadas generadas (Un.) ²										Peso total (Kg) ³	Llantas gestionadas en el periodo del balance (Un.) ⁴	Llantas no gestionadas en el periodo del balance (Un.) ⁵	Fecha límite de gestión ⁶	Propuesta de gestión ⁷
	R24	R25	R29	R32	R33	R39	R45	R49	R51	R57					
2020	150	50	80	80	120	0	0	0	0	0	350	415.000	700	31 de marzo del 2021	

Fuente: La presente guía, 2020

Descripción de la tabla X-3

1. Periodo del balance: cada año se debe presentar el consolidado anual de la gestión ambiental realizada.
2. Llantas usadas generadas (Un.): discriminar por los diferentes tipos de rines (R24, R25, R29, R32, R33, R39, R45, R49, R51, R57) y la suma total de unidades.
3. Peso total (kg): reportar el peso total en kilogramos de las unidades reportadas.
4. Llantas gestionadas en el periodo del balance (Un.): presentar el total anual de llantas gestionadas.
5. Llantas no gestionadas en el periodo del balance (Un.): establecer las unidades pendientes de ser gestionadas.
6. Fecha límite de gestión: tiempo estimado para gestionar las llantas no gestionadas en el periodo del balance.
7. Propuesta de gestión: establecer las propuestas de alternativas de gestión ambiental de las unidades pendientes de gestión.

Los formatos y los datos presentados anteriormente son de referencia, los usuarios generadores podrán hacer modificaciones en su presentación, manteniendo como mínimo la información relacionada en estos formatos.

D. Gestión de recursos

Gestionar los recursos disponibles por la industria minera (humanos, financieros y materiales) necesarios para lograr la gestión ambiental de las llantas usadas requiere un análisis de las alternativas de aprovechamiento para su puesta en marcha. Las oportunidades más claras en el corto y en el mediano plazo para realizar el aprovechamiento de llantas usadas de diámetro superior a 24", son en su orden: los usos ingenieriles; usos en minería, valorización energética y; el reciclaje de caucho; sin embargo, es necesario el trabajo articulado del sector público y privado para fomentar otras acciones que motiven, por ejemplo, a las empresas cementeras a hacer coprocesamiento, o a los constructores de la malla vial a emplear caucho como sustituto en las mezclas asfálticas.

Referencias Bibliográficas

- Constitución Política de Colombia [Const.] (1991). Bogotá D.C. (Colombia): Asamblea Nacional Constituyente. Gaceta Oficial No. 116 de 20 de julio de 1991
- Cerrejón. (2019). Imágenes [Imagen]. En *Banco de Imágenes*.
- Congreso de Colombia. (1993). *Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones*. [Ley 99 de 1993]. Ley99/93. DONo. 41.146.
- Congreso de Colombia. (2011). *Por medio de la cual se expide el Estatuto del Consumidor y se dictan otras disposiciones*. [Ley 1480 de 2011]
- Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES]. (2016). Departamento Nacional de Planeación; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio; Ministerio de Educación Nacional; Ministerio de Minas y Energía; Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico; Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas; Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios; Unidad de Planeación Minero Energética. *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos*. [CONPES 3874 de 2016].
- Convenio de Basilea. (2011). *Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho*. Cartagena, [Colombia].
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017). Guía para la elaboración de la Cuenta Ambiental y Económica de Flujos de Materiales - Cuenta de Residuos. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/PES-CSA-GU.pdf.
- Drummond. (2019). *Operación Minera Drummond Ltda*.
- Hinostroza, John Blanco. (2016). *Incremento de la vida útil de neumáticos para reducir costos de operación en camiones Caterpillar 797f en toromocho - Chinalco Perú*. (Trabajo de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú). Huancayo [Perú].

- Michelin. (2012). *Guía de utilización y mantenimiento de los neumáticos para ingeniería civil, 855 200 507 RCS Clermont-Ferrand - Esp (2012-01) - referencia: 0506848*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). Por la cual se establecen los Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones. [Resolución 1457 de 2010].
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones. [Resolución 1326 de 2017].
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Asociación Colombiana de Minería. (2019). Acuerdo Sectorial. Pacto por la sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2019). *Estrategia nacional de economía circular : cierre de ciclos de materiales, innovación, tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*. Bogotá D.C. [Colombia].
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [MinComercio]. (2020). Banco de Datos de Comercio Exterior (BACEX). <https://www.mincit.gov.co/estudios-economicos/estadisticas-e-informes/banco-de-datos-de-comercio-externor-bacex-y-servic>.
- Muñoz, Sebastian. (2018). Neumarket. ¿Qué es el TPMS o control de presión de neumáticos?. <https://www.neumarket.com/blog/tpms-control-presion-neumaticos/>.
- Paredes Sánchez, César Homero. (2008). *Eficiencia en tiempo de vida de neumáticos con relación a rotación de posiciones uno y dos en volquetes Komatsu 930 E-3*. (Trabajo de grado, Universidad Nacional de Ingeniería).
- Presidencia de la Republica de Colombia. (1974). Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente. [Decreto - Ley 2811 de 1974]. DO 34.243.
- Reptell EU. (2013). *Manual de Usuario REPTCELL ADM*. Santa Marta, Magdalena [Colombia]
- Universidad Pontificia Bolivariana. (2018). *Ejercicio de vigilancia tecnológica para el aprovechamiento de neumáticos de minería fuera de uso (NMFU) del Grupo PRODECO*.

GUÍA DE MANEJO AMBIENTAL DEL FLUJO DE LLANTAS EN LA INDUSTRIA MINERA

Enfoque de **Economía Circular**



Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Bogotá, D.C. 2021