



UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE LLANTAS Y NEUMÁTICOS USADOS GENERADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

## Resumen Ejecutivo

# Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumáticos usados generados por el parque automotor de Santa Fe de Bogotá

**E**l Distrito Capital ha venido adelantado proyectos que constituyen el componente ambiental de los programas relacionados con el Transporte Urbano. Uno de especial atención es el concerniente al manejo de las llantas usadas generadas por el Parque Automotor de Santa Fe de Bogotá, y sobre el cual la Unión Temporal OCADE LTDA CONTROL AMBIENTAL Y DESARROLLO EMPRESARIAL, de Colombia, SANIPLAN, de Brasil y AMBIENTAL S.A., de Argentina; en cumplimiento de los compromisos adquiridos con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), a través del contrato No. 9992042, desarrolló el proyecto "Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de Llantas y neumáticos usados generados por el parque automotor de Bogotá".

Este diagnóstico ambiental involucró la evaluación de la problemática del residuo y de los actores implicados, los usos actuales del residuo en la ciudad y la investigación sobre posibles aplicaciones de acuerdo con experiencias internacionales. Con base en ese panorama se establecieron cuatro alternativas de solución, sobre las cuales se realizó un estudio técnico y económico, que permitió seleccionar la mejor opción para el desarrollo de un diseño conceptual.

El diagnóstico ambiental parte de la cuantificación y caracterización del residuo. Al respecto se estableció la estimación de las llantas generadas anualmente y su proyección de acuerdo con las variables socioeconómicas que tienen influencia en el crecimiento del Parque Automotor del Distrito Capital. Para la cuantificación se consideró la información suministrada por la Secretaría de Tránsito y Transportes de Bogotá, en cuanto al número de vehículos por tipo, y los hábitos de uso y cambio de las llantas por parte de los usuarios, evaluación realizada mediante encuestas.

La Información suministrada sobre el parque automotor establece un estimado de 1,000,000 de vehículos de los cuales aproximadamente 91% corresponde a transporte particular y 9% a transporte público. Con base en la encuesta realizada, en una muestra representativa de ese universo de vehículos, se investigaron los hábitos de los usuarios de los vehículos en cuanto a sitios de cambio, periodicidad de cambio y otras características que motivan realizar su reemplazo. Esta información procesada permitió determinar un índice de generación de llanta usada (I<sub>GLL</sub>), por tipo de vehículo y



UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE LLANTAS Y NEUMÁTICOS USADOS GENERADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

determinar la totalidad del residuo generado. El Cuadro 1 permite observar los resultados de la información encontrada al respecto.

**Cuadro 1. Generación actual de llantas usadas por el parque automotor de Santa Fe de Bogotá por tipo de vehículo**

TIPO DE VEHÍCULO	A	B	C	D	E	F	G
	Número de vehículos	Llantas / Vehículo <sup>1</sup>	A x B	I <sub>GLL</sub> <sup>2</sup>	A x D	C x 0.03	E - F
Total llantas en uso			Llantas Generadas al año		Reencauche	Ajuste por Reencauche	
Automóvil R-13	637,637	4	2,550,548	1.72	1,096,735		1,096,735
Automóvil R-14	63,063	4	252,252	1.72	108,468		108,468
Camión	18,200	6	109,200	4.50	81,900	31,121	50,779
Camioneta	81,900	4	327,600	2.60	212,940		212,940
Campero	72,800	4	291,200	1.68	122,304		122,304
Motos	36,400	2	72,800	1.32	48,048		48,048
<b>SUB - TOTAL</b>	<b>910,000</b>		<b>3,603,600</b>		<b>1,670,395</b>	<b>31,121</b>	<b>1,639,274</b>
<b>PÚBLICO (9%)</b>	<b>Número</b>	<b>Llantas / Vehículo</b>	<b>Total llantas en uso</b>	<b>I<sub>GLL</sub></b>	<b>Llantas Generadas al año</b>	<b>Reencauche</b>	<b>Ajuste por Reencauche</b>
Taxi R-13	49,959	4	199,836	4.00	199,836		199,836
Taxi R-14	4,941	4	19,764	4.00	19,764		19,764
Bus	11,700	6	70,200	7.20	84,240	32,011	52,229
Buseta	9,900	4	39,600	4.00	39,600	15,048	24,552
Camioneta	5,400	4	21,600	2.80	15,120		15,120
Campero	3,600	4	14,400	2.00	7,200		7,200
Microbus / Colectivo	4,500	4	18,000	5.20	23,400		23,400
<b>SUB - TOTAL</b>	<b>90,000</b>		<b>383,400</b>		<b>389,160</b>	<b>47,059</b>	<b>342,101</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,000,000</b>		<b>3,987,000</b>		<b>2,059,555</b>	<b>78,180</b>	<b>1,981,375</b>

FUENTE: Unión Temporal OCADE LTDA / SANIPLAN / AMBIENTAL S.A.

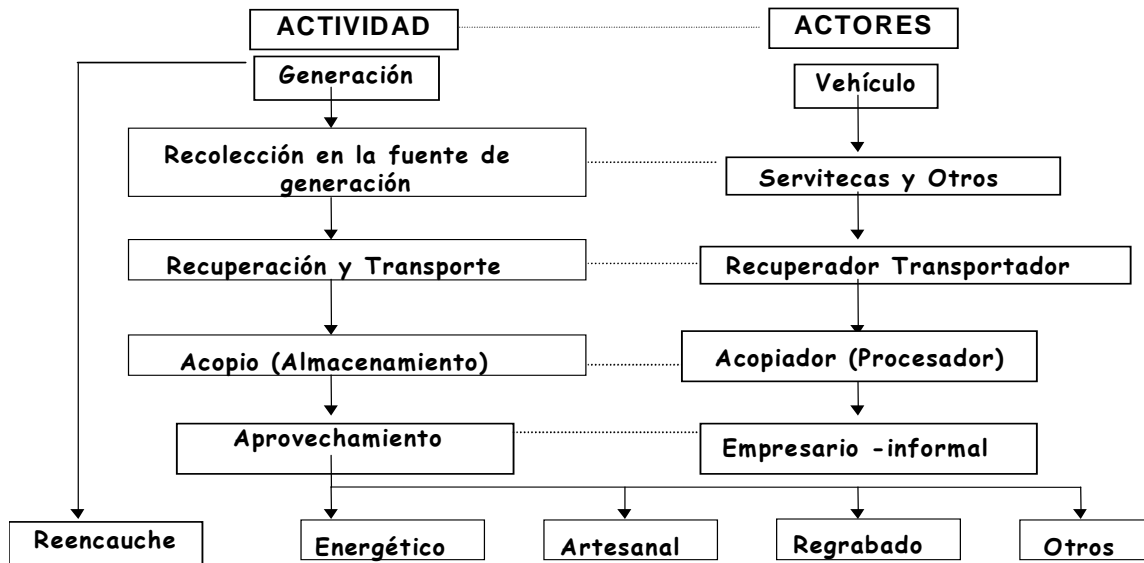
Las llantas usadas se recuperan en los sitios de cambio de las llantas, servitecas, talleres y estaciones de servicio, entre otros, desde donde se comienza a comercializar el residuo a través de los diferentes actores involucrados en la cadena de manejo. Posteriormente son compradas y transportadas hasta los sitios de acopio en volquetas, camiones, camionetas y en menor proporción vehículos de tracción animal. En los sitios de acopio se realiza la acumulación y comercialización del material para su aprovechamiento para todo tipo de compradores, incluido el reuso. La

<sup>1</sup> Resultado de la media estadística de la encuesta por tipo de vehículo

<sup>2</sup> Índice de generación de llantas usadas.

Ilustración 1 muestra la distribución de las actividades desarrolladas en la cadena de gestión del residuo.

**Ilustración 1. Cadena de manejo de las llantas usadas en Santa Fe de Bogotá**



Las tres primeras etapas constituyen una fase previa común para cualquier aprovechamiento que se realice con el residuo. En esa fase común descrita no se presentan implicaciones ambientales y sanitarias significativas y los mayores impactos están asociados con la estética o impacto visual y a la salud ocupacional.

La distribución del aprovechamiento de las llantas usadas se muestra en la Ilustración 2. Esta ilustración muestra que el mayor volumen de llantas usadas se utiliza para aprovechamiento energético fundamentalmente como combustible en los hornos de producción de panela en el noroccidente de Cundinamarca, actividad que genera impactos ambientales y de salud pública relacionados con las emisiones de COV's<sup>3</sup> y HAP's<sup>4</sup>, contaminantes carcinogénicos y mutagénicos, y otros que causan afecciones al sistema respiratorio y circulatorio. En el Cuadro 2 y el Cuadro 3 se muestran las implicaciones ambientales y ocupacionales ocasionadas por el manejo y utilización de las llantas usadas en el distrito capital.

<sup>3</sup> COV's = Compuestos Orgánicos Volátiles

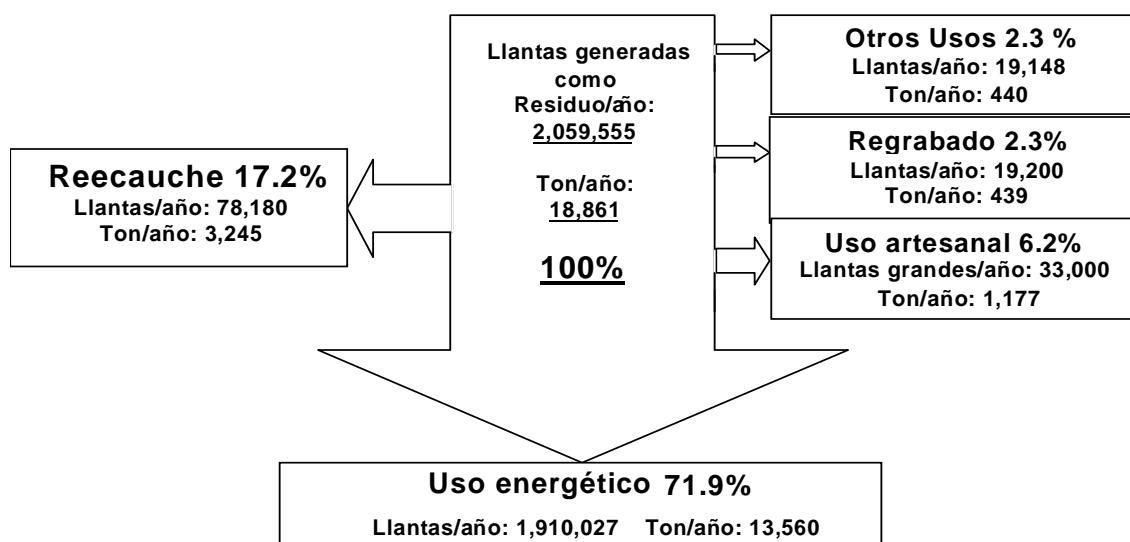
<sup>4</sup> HAP's = Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares



UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE LLANTAS Y NEUMÁTICOS USADOS GENERADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

**Ilustración 2. Distribución del aprovechamiento de las llantas usadas en la cadena de gestión (% en Ton).**



**Cuadro 2. Implicaciones ambientales en el manejo y aprovechamiento de las llantas usadas en Santa Fe de Bogotá.**

Etapa de la cadena		Implicaciones	
Recuperación		Implicaciones menores.	
Transporte		Emisión de vehículos.	
Acopio		Visual. Espacio público.	
Aprovechamiento	Artisanal	No existe.	
	Regrabado	No existe.	
	Energético	Aire	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, COVs, Contaminantes carcinogénicos y mutagénicos.
		Agua	S.S. Depositados en el agua, escorrentía de cenizas y escoria a las aguas.
		Suelo	Cenizas y escoria en sitios no autorizados.
		Biótico	Plantas y animales de la zona de influencia.
	Paisaje	Deterioro del entorno.	
Reencauche	No hay implicaciones ambientales representativas.		

FUENTE: Unión Temporal OCADE LTDA / SANIPLAN / AMBIENTAL S.A.



UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE LLANTAS Y NEUMÁTICOS USADOS GENERADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

**Cuadro 3. Implicaciones ocupacionales de la utilización o aprovechamiento de llantas usadas en Santa Fe de Bogotá**

ACTIVIDAD	RECUPERACIÓN	TRANSPORTE	ACOPIO
CARGA ESTÁTICA / POSTURA	MUSCULAR/CERVICALES	MUSCULAR/CERVICALES	MUSCULAR/CERVICALES
HERRAMIENTAS/ MECÁNICO	ACCIDENTES MAL ESTADO HERRAMIENTAS O INADECUADAS	-----	-----
ALMACENAMIENTO LLANTA	INCENDIOS	INCENDIOS	INCENDIOS

**APROVECHAMIENTO**

APROVECHAMIENTO	ACTIVIDAD	REGRABADO	ARTESANAL	ENERGÉTICO
	PARTÍCULAS/HUMOS	SISTEMA RESPIRATORIO	SISTEMA RESPIRATORIO	SISTEMA RESPIRATORIO IRRITACIÓN, ENFERMEDADES SISTEMA NERVIOSO, CANCER
	MECANICO/ HERRAMIENTA	ACCIDENTES	ACCIDENTES	ACCIDENTES
	ELECTRICO / INSTALACIÓN ELECTRICA	ELECTROCUCIÓN	ELECTROCUCIÓN	-----
	ALMACENAMIENTO LOCATIVO	INCENDIO	INCENDIO	-----
	RUIDO	-----	-----	ALTERACIÓN AUDITIVA DOLOR CABEZA , ESTRÉS
	TEMPERATURA	-----	-----	DESHIDRATACIÓN, FATIGA
	CARGA ESTÁTICA/POSTURA	-----	-----	MUSCULAR/CERVICAL
	FÍSICO/TRASVASE CALIENTE	-----	-----	QUEMADURAS

FUENTE: Unión Temporal OCADE LTDA / SANIPLAN / AMBIENTAL S.A.

El Cuadro 4 muestra un resumen de los costos e ingresos encontrados de acuerdo a los análisis económicos adelantados para los diferentes sectores de la cadena de gestión, asociados al manejo de la llanta usada en toda la cadena de gestión excluido el reencauche.



UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE LLANTAS Y NEUMÁTICOS USADOS GENERADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

**Cuadro 4. Márgenes operacionales de la llanta usada en cada una de las etapas de gestión**

Etapas de la cadena		Margen operacional (miles \$)
Recolección en la fuente de generación	Artesanal y Energético	243,774
	Regrabado	93,650
	<i>Subtotal</i>	337,424
Transporte	Artesanal y Energético	810,193
	Regrabado	53,850
	<i>Subtotal</i>	864,043
Acopio	Artesanal y Energético	427,822
	Regrabado	23,492
	<i>Subtotal</i>	451,314
<b>Aprovechamiento Artesanal</b>		<b>110,055</b>
<b>Transporte Aprovechamiento Energético</b>		<b>1,653,579</b>
<b>TOTAL</b>		<b>3,416,415</b>

FUENTE: Unión Temporal OCADE LTDA / SANIPLAN / AMBIENTAL S.A.

Teniendo en cuenta el uso actual del residuo y los diferentes usos reconocidos con éxito a nivel internacional se plantearon cuatro alternativas aplicadas a nuestro medio cuyo fin fue buscar la mejor manera de aprovechar el residuo teniendo en cuenta sus diferentes propiedades.

Las alternativas estudiadas fueron:

1. El Aprovechamiento energético y materia prima para hornos en la industria cementera, con fundamento en el uso de la llanta usada como combustible alternativo al carbón en función de su potencial calorífico. Tiene además la posibilidad de sustituir un porcentaje del hierro utilizado en el proceso, por el contenido de acero en la llanta.
2. El Aprovechamiento energético en termoeléctricas, utilizando el poder calorífico de la llanta usada para generar energía eléctrica. Para las termoeléctricas del área de influencia de Santa Fe de Bogotá, se requiere utilizar la llanta pulverizada sin metal ni textil en lugar del carbón, a tamaños de malla 200 para asegurar la combustión total y la utilización de la infraestructura existente. Sobre esta condición especial no existen experiencias documentadas a nivel internacional, lo cual confiere incertidumbre a la alternativa desde el punto de vista técnico para su aplicación.

Es de destacar que en los estudios económicos de las alternativas en función del aprovechamiento energético se determinó que no era viable su implementación, especialmente por los costos tan



UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

---

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE LLANTAS Y NEUMÁTICOS USADOS GENERADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

---

bajos del carbón en nuestro medio y la utilización de hidroeléctricas para generación con costos mínimos en comparación con los combustibles.

3. La utilización de la llanta usada como Materia prima para producción de pavimento asfáltico fundamentada en el reconocido éxito de su aplicación en países como Canadá, Estados Unidos y España, entre otros, con base en la adición de caucho pulverizado (malla 80/ malla 40) durante la fabricación de pavimento asfáltico. El caucho de llanta pulverizado le proporciona al pavimento características de flexibilidad y elasticidad que aumentan su vida útil por lo menos en un 50% a un costo efectivo menor que el pavimento convencional. Su aplicación en la malla vial del Distrito, generaría ahorros importantes en el desarrollo de éstos programas. Como es una tecnología nueva sin desarrollo en país, se requiere de la implantación de estudios piloto y su validación para las condiciones locales.

4. Suministro de materias primas para usuarios del caucho, entre los cuales está el la fabricación del asfalto especificada anteriormente; el mercado internacional y el mercado potencial nacional del caucho pulverizado como materia prima en diferentes procesos, entre ellos los moldeados de caucho y los pisos y alfombras. Hacia el futuro dependiendo de los costos de los combustibles utilizados a la fecha, se podrá suministrar la llanta fragmentada como combustible alternativo o como materia prima para las empresas cementeras y de generación eléctrica.

En el Cuadro 5 y el Cuadro 6 se presenta el resumen de los principales elementos estudiados constitutivos de la factibilidad técnica y económica de las alternativas, de acuerdo con los análisis realizados.





UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE BATERÍAS USADAS GENERADAS POR EL MANTENIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

**Cuadro 5. Alternativas de aprovechamiento de llantas usadas**

Nombre		Alternativa 1 <i>Aprovechamiento energético y materias primas en fábricas de Cementos</i>	Alternativa 2 <i>Aprovechamiento energético en calderas de termoeléctricas</i>	Alternativa 3 <i>Materias primas para producción de pavimento asfáltico en Santa Fe de Bogotá</i>	Alternativa 4 <i>Trituración para generar materias primas para productos de caucho</i>
Descripción		Llanta fragmentada como combustible alterno al carbón y materia prima (hierro) en los hornos de producción de cemento.	Llanta pulverizada como combustible alterno al carbón en las termoeléctricas	Llanta pulverizada como aditivo en el ligante asfáltico para mejorar sus propiedades plásticas y de adherencia.	Utilización de caucho de llantas pulverizado como producto para la industria del caucho y obras civiles.
Materia prima para el aprovechamiento		Llanta fragmentada de tamaño 8" x 8" con textil y acero.	Caucho de llanta tamaño malla 200 sin textil ni acero.	Caucho de llanta tamaño malla 80 sin textil o acero	Llanta entera.
Producto final		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energía</li> <li>- Cemento con materia prima de la llanta (hierro)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Textil</li> <li>- Acero</li> <li>- Energía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Textil</li> <li>- Acero</li> <li>- Asfalto con caucho de llanta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caucho tamaño malla 80</li> <li>- Textil</li> <li>- Acero</li> </ul>
Tecnología		Existente, con uso intensivo a nivel mundial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tecnología conocida y utilizada en diferentes compañías a nivel mundial.</li> <li>- No existe experiencias reconocidas para la granulometría requerida - Se debe desarrollar investigación</li> </ul>	Con amplio uso en E. U, Canadá y Europa. Sin embargo se debe desarrollar previamente la investigación con pilotos para establecer las condiciones locales.	Existente y de fácil implementación, con uso intensivo a nivel mundial. Todas las alternativas requieren de esta etapa en la utilización de la llanta.
Inversión Inicial (USD x 10 <sup>3</sup> )		1,422	4,114	4,468	4,068
Viabilidad económica <sup>5</sup>	Costo unitario actual	USD0.87/MBTU	USD0.87/MBTU	USD 21.1/ton Pavimento	USD693/ton caucho malla 80
	Costo unitario alternativa	USD1.90/MBTU <sup>6</sup> (USD1.27/MBTU)	USD5.75/MBTU (USD3.85/MBTU)	USD 14.1/ton Pavimento	USD238/ton caucho malla 80 (CIF USA) (USD159.5/ton caucho malla 80 (CIF USA))
	Diferencia Unitaria	-USD1.03/MBTU = -USD/ton(31.59 - 6.78 <sub>hierro</sub> ) = -USD24.81/ton llanta (-USD0.40/MBTU = -USD/ton(12.24 - 6.78 <sub>hierro</sub> ) = -USD5.46/ton llanta)	-USD4.88/MBTU = -USD196.8/ton caucho (-USD2.98/MBTU = -USD120.1/ton caucho)	USD7/ton Pavimento	Aprox: USD455/ton caucho (Aprox USD533.5/ton caucho)
	Total (Miles USD)	-444/año (-98/año)	-2,632/año (-1,606/año)	16,384/año	6,085/año (7,135/año)

FUENTE: Unión Temporal OCADE LTDA./SANIPLAN/AMBIENTAL S.A.

<sup>5</sup> Los valores que aparecen entre paréntesis corresponden el cálculo del costo económico unitario.

<sup>6</sup> Considerando el transporte de la llanta en vehículos de la propia cementera por carga de compensación (50% de los costos de transporte del cemento en vehículos de 35ton a un costo de \$40,000/ton).



**Cuadro 6. Ventajas y desventajas de las alternativas**

Item		Alternativa 1 Aprovechamiento energético y materias primas en fábricas de Cementos	Alternativa 2 Aprovechamiento energético en calderas de termoeléctricas	Alternativa 3 Materias primas para producción de pavimento asfáltico en Santa Fe de Bogotá	Alternativa 4 Trituración para generar materias primas para productos de caucho	Situación actual/ hornilla panelera (85% en peso llanta)
Económico	Ventajas	V/r agregado al residuo	V/r agregado al residuo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución de costos asociados a los programas de pavimentación en la ciudad</li> <li>V/r agregado al residuo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generación de ingresos por su exportación o utilización en nuevos mercados</li> <li>V/r agregado al residuo</li> </ul>	Algunos sectores de la industria Panelera utilizan la llanta como combustible con costos del orden de \$220/kg de llanta en el trapiche, equivalente a un 18% de valor de venta de la panela.
	Desventajas	Costo de inversión alto sin rentabilidad	Altos costos de inversión sin rentabilidad	Costos asociados a estudio piloto	Ninguna	
Social	Ventajas	Generación de Empleo Directo: 19	Generación de Empleo Directo: 15	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calidad de vida en la ciudad por mejores vías</li> <li>Generación de Empleo Directo: 50</li> </ul>	Generación de Empleo Directo: 50	Existen aproximadamente 430 personas que laboran informalmente en toda la cadena de manejo de la cadena hasta el aprovechamiento con una ocupación entre el 10% y el 50% en esas labores.
	Desventajas	Pérdida gradual entre el 10% y el 50% de la ocupación de los trabajadores informales de la cadena de manejo de la llanta usada	Pérdida gradual entre el 10% y el 50% de la ocupación de los trabajadores informales de la cadena de manejo de la llanta usada	Pérdida gradual entre el 10% y el 50% de la ocupación de los trabajadores informales de la cadena de manejo de la llanta usada	Pérdida gradual entre el 10% y el 50% de la ocupación de los trabajadores informales de la cadena de manejo de la llanta usada	<p>Los transportadores de la panela que venden la llanta a los trapiches la transportan como carga de compensación a su regreso de la ciudad de Bogotá</p> <p>Los trapiches que utilizan la llanta lo realizan en combinación con el bagazo. CORPOICA adelanta proceso de tecnificación de los hornos para utilizar solamente bagazo.</p>

FUENTE: Unión Temporal OCADE LTDA./SANIPLAN/AMBIENTAL S.A.

### Cuadro 6. Continuación

Item		Alternativa 1 Aprovechamiento energético y materias primas en fábricas de Cements	Alternativa 2 Aprovechamiento energético en calderas de termoeléctricas	Alternativa 3 Materias primas para producción de pavimento asfáltico en Santa Fe de Bogotá	Alternativa 4 Trituración para generar materias primas para productos de caucho	Situación actual/ hornilla panelera ( 85% en peso llanta)
Ambiental	Ventajas	Todos los componentes de la llanta quedan dentro del cemento- No quedan residuos de la llanta  La empresa cementera estudiada tiene sistemas de control de emisiones que garantizan los niveles permisibles de emisión de acuerdo a la reglamentación vigente	La empresa cuenta con equipos de control que garantizan los niveles de vertimientos, emisión y manejo de residuos sólidos (escoria y cenizas)	No existe posibilidad de emisión de compuestos peligrosos	No existe posibilidad de emisión de compuestos peligrosos	Grandes impactos ambientales y de salud pública. Los registros de salud señalan que el 50% de las 10 primeras causas de consulta en la región panelera tienen relación con efectos posibles por la combustión incompleta de la llanta en los trapiches
	Desventajas	Ante eventuales fallas en el sistema de combustión y/o de control de emisiones se pueden generar compuestos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quedan residuos de la llanta a disponer (emisiones de azufre en combustión y fibra en la fragmentación).</li> <li>- Ante eventuales fallas en el sistema de combustión y/o de control de emisiones se pueden generar compuestos peligrosos</li> </ul>	Se deben disponer residuos de la llanta (fibra) en la fragmentación.	Se deben disponer residuos de la llanta (fibra) en la fragmentación	
Actividades previas por el Distrito y la Secretaría Distrital de Ambiente para iniciar controles		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión para reglamentación de leyes</li> <li>- Resoluciones complementarias para montaje de programa</li> <li>- Fortalecimiento institucional para vigilancia y control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión para reglamentación de leyes</li> <li>- Resoluciones complementarias para montaje de programa</li> <li>- Fortalecimiento institucional para vigilancia y control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión para reglamentación de leyes</li> <li>- Resoluciones complementarias para montaje de programa</li> <li>- Fortalecimiento institucional para vigilancia y control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión para reglamentación de leyes</li> <li>- Resoluciones complementarias para montaje de programa</li> <li>- Fortalecimiento institucional para vigilancia y control</li> </ul>	

FUENTE: Unión Temporal OCADE LTDA./SANIPLAN/AMBIENTAL S.A.



UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE BATERÍAS USADAS GENERADAS POR EL MANTENIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

Con base en una priorización de las alternativas entre las cuales se consideraron los aspectos económicos, tecnológicos, sociales y ambientales se estableció que la alternativa de suministro de materias primas es la mejor opción y sobre tal opción se trabajó el diseño conceptual objeto del estudio realizado. En el Cuadro 7 se resume la priorización de las alternativas.

**Cuadro 7. Resumen priorización de alternativas.**

Parámetro	Máximo puntaje probable	Puntaje Alternativa I (horno de cemento)	Puntaje Alternativa II (Temoeléctrica)	Puntaje Alternativa III (Pavimento Asfáltico)	Puntaje Alternativa IV (Materias primas productos de caucho)
Económico cuantificable	25	15	3	13	11
Económico no cuantificable	20	5	5	15	20
Social	20	8	7	17	17
Ambiental	20	15	10	13	18
Tecnológico	15	9	4	5	15
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>52</b>	<b>29</b>	<b>63</b>	<b>81</b>

FUENTE: Unión Temporal OCADE LTDA./SANIPLAN/AMBIENTAL S.A.

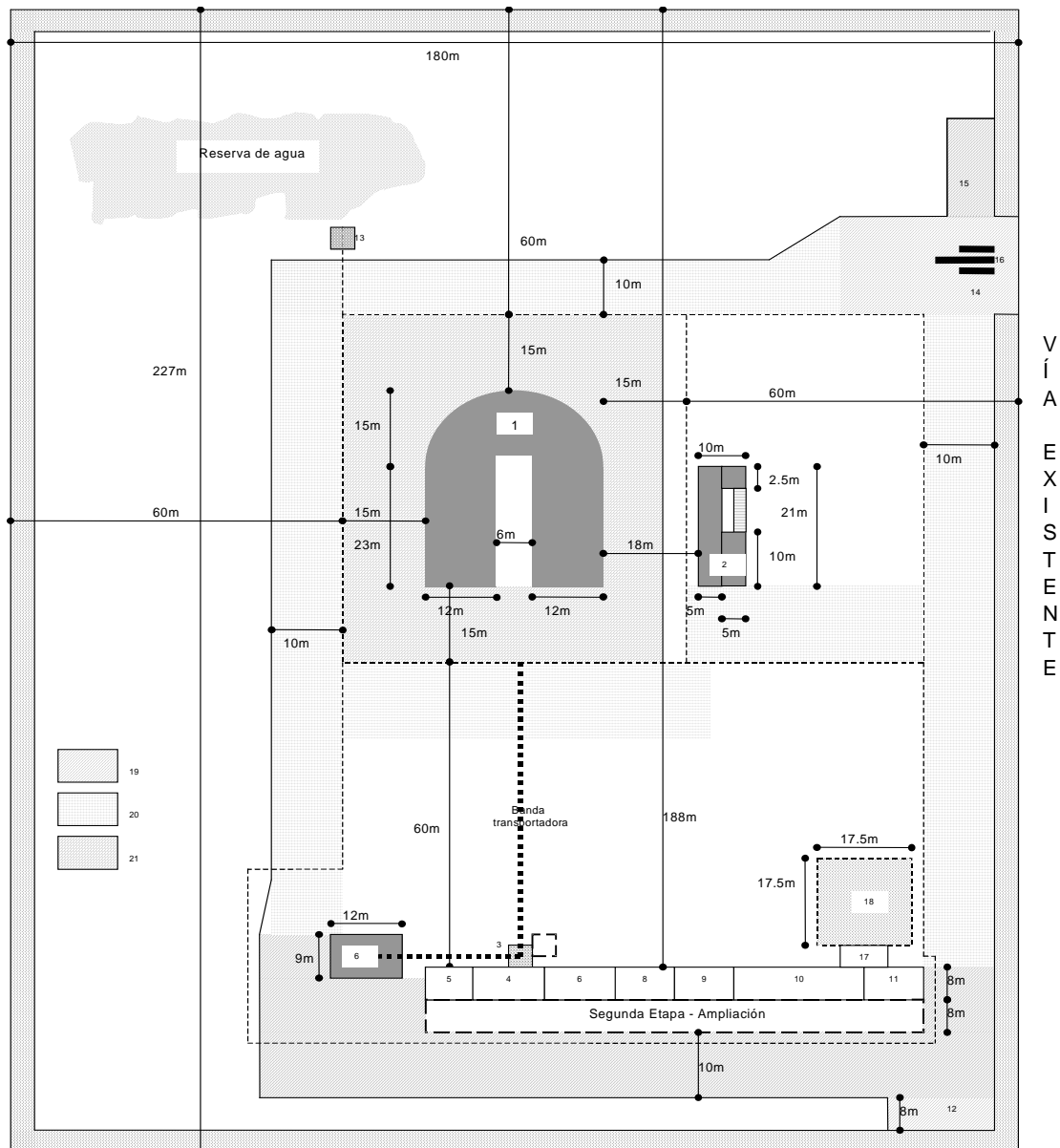
El diseño conceptual recoge criterios internacionales definidos para el acopio de la llanta usada y la unidad de molienda de la llanta que se incorporan en una unidad integral tal como se muestra en la Ilustración 3. El diseño conceptual de la alternativa seleccionada considera tres escenarios que permitieron en su evaluación seleccionar el más recomendable desde el punto de vista económico y financiero, con la obtención de los mejores dividendos y de un producto final de buena calidad.

Los tres escenarios considerados son:

1. *Escenario uno (1)*: Planta de producción de caucho de llanta pulverizado a malla 40 con destino al mercado de exportación y un empresario como operador del total de la unidad productiva.
2. *Escenario dos (2)*: Planta de producción de caucho de llanta pulverizado, 50% a malla 40 con destino al mercado de exportación, y 50% a malla 80 para ser utilizado en la fabricación de pavimento asfáltico, con un porcentaje de utilización en el ligante entre el 5 - 6%, (mínimo recomendado). Un empresario es el encargado de operar la totalidad de la unidad.
3. *Escenario tres (3)*: Planta de producción de caucho de llanta pulverizado a malla 40 con destino al mercado de exportación. Se considera que la zona de acopio este operada por el productor/fabricante de llantas y la zona de molienda por un empresario.

Las cantidades de residuo a procesar y los productos finales a producir en cada año del proyecto que sirven de base al estudio se muestran en el Cuadro 8. Proyección de las toneladas de llantas a procesar y de los productos finales a ser obtenidos para los escenarios de demanda establecidos.

### Ilustración 3 Diagrama de diseño del área física para el Acopio y molienda de las llantas enteras





UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE BATERÍAS USADAS GENERADAS POR EL MANTENIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

---

## CONVENCIONES DEL DIAGRAMA DE DISEÑO DEL ÁREA FÍSICA PARA EL ACOPIO Y MOLIENDA DE LAS LLANTAS ENTERAS ACOPIO GENERAL DE LA LLANTA USADA

1. Manejo de llanta grande (remoción de laterales)
2. Fragmentación
3. Trituración
4. Depósito de caucho triturado
5. Depósito de caucho fragmentado
6. Primera separación de acero y textil
7. Pulverizadores
8. Segunda separación de acero, clasificación y empaque
9. Almacenamiento caucho pulverizado malla 40 a malla 80
10. Mantenimiento y en el segundo nivel administración
11. Parqueadero
12. Sistema de succión para red contra incendios (LA RED VA CONECTADA AL SISTEMA DE SUCCIÓN - LÍNEA PUNTEADA)
13. Báscula
14. Parqueaderos
15. Entrada
16. Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas
17. Campo de infiltración
18. Vía pavimentada
19. Vía en afirmado
20. Placa de concreto

### Cuadro 8. Proyección de las toneladas de llantas a procesar y de los productos finales a ser obtenidos para los escenarios de demanda establecidos

Año	Toneladas de llantas generadas ton/año	Peso de llantas que son aprovechadas. Entran a la unidad ton/año	Peso de llantas que entran a fragmentación sin aros y laterales ton/año	Peso de llantas que entran a trituración ton/año	Primera separación magnética ton/año de acero retirado (Eficiencia 98%)	Separación textil - textil retirado ton/año (Eficiencia 100%)	Peso de caucho a 1/2" con trazas de acero que entra a pulverización ton/año	Segunda separación magnética ton/año de acero remanente retirado	Pulverización producto final <sup>7</sup>		
									Escenario uno (1) y tres (3) - 100% Caucho malla 40 ton/año	Escenario dos (2) - 50% caucho malla 40 y 50% caucho malla 80	
										Caucho malla 40 ton/año	Caucho malla 80 ton/año
1	15,947	3,186	3,060	3,060	542	172	2,346	11	2,288	1,117	1,170
2	16,126	6,372	6,120	6,120	1,084	345	4,691	22	4,576	2,235	2,341
3	16,313	8,960	8,606	8,606	1,525	485	6,597	31	6,434	3,142	3,292
4	16,509	12,743	12,240	12,240	2,169	689	9,382	44	9,151	4,469	4,682
5	16,715	15,332	14,726	14,726	2,609	829	11,288	53	11,010	5,377	5,633
6	16,932	16,932	16,263	16,263	2,882	916	12,466	59	12,159	5,575	6,584
7	17,158	17,158	16,480	16,480	2,920	928	12,632	60	12,321	5,738	6,584
8	17,392	17,392	16,705	16,705	2,960	940	12,805	60	12,489	5,906	6,584
9	17,636	17,636	16,939	16,939	3,001	954	12,984	61	12,665	6,081	6,584
10	17,888	17,888	17,181	17,181	3,044	967	13,170	62	12,846	6,262	6,584

FUENTE: Unión Temporal OCADE LTDA/SANIPLAN/AMBIENTAL S.A.

<sup>7</sup> La recuperación del caucho presente en la llanta usada es del 98%.



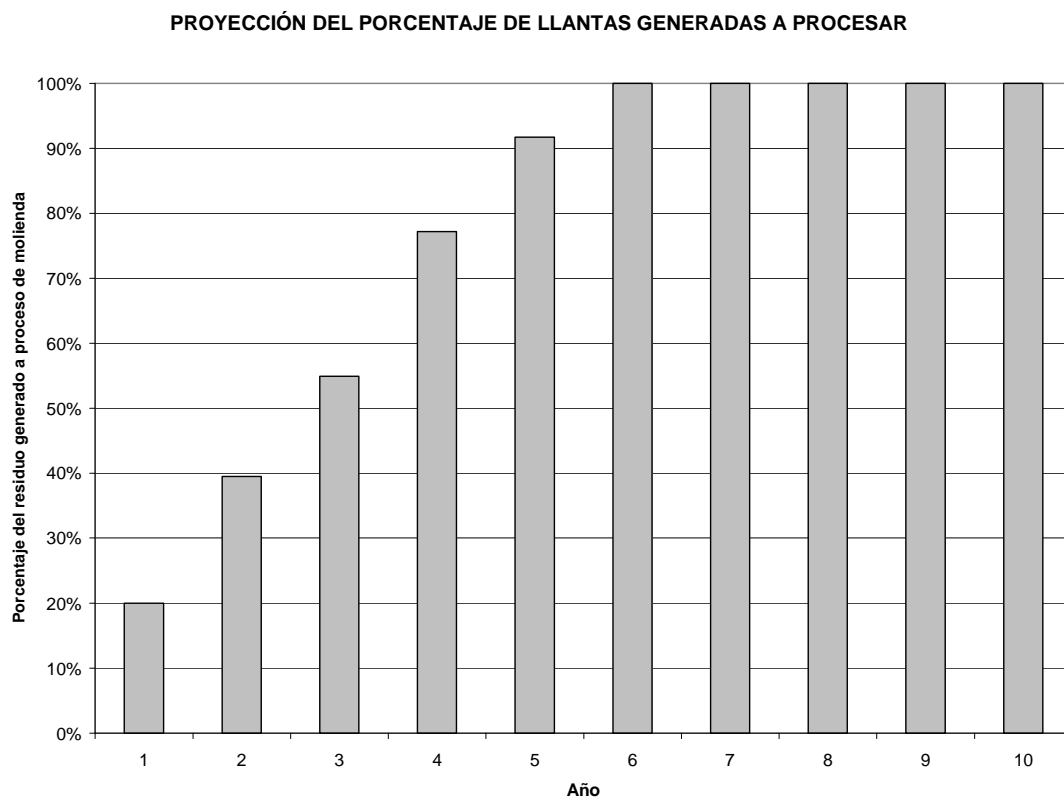
CONTROL AMBIENTAL Y  
DESARROLLO EMPRESARIAL

UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE BATERÍAS USADAS GENERADAS POR EL MANTENIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

En la Ilustración 4 y la Ilustración 5, se muestran las proyecciones de aprovechamiento del residuo para cada año del proyecto. En la Ilustración 4 los porcentajes son peso a peso con base en las toneladas de llantas totales generadas en el Distrito Capital.

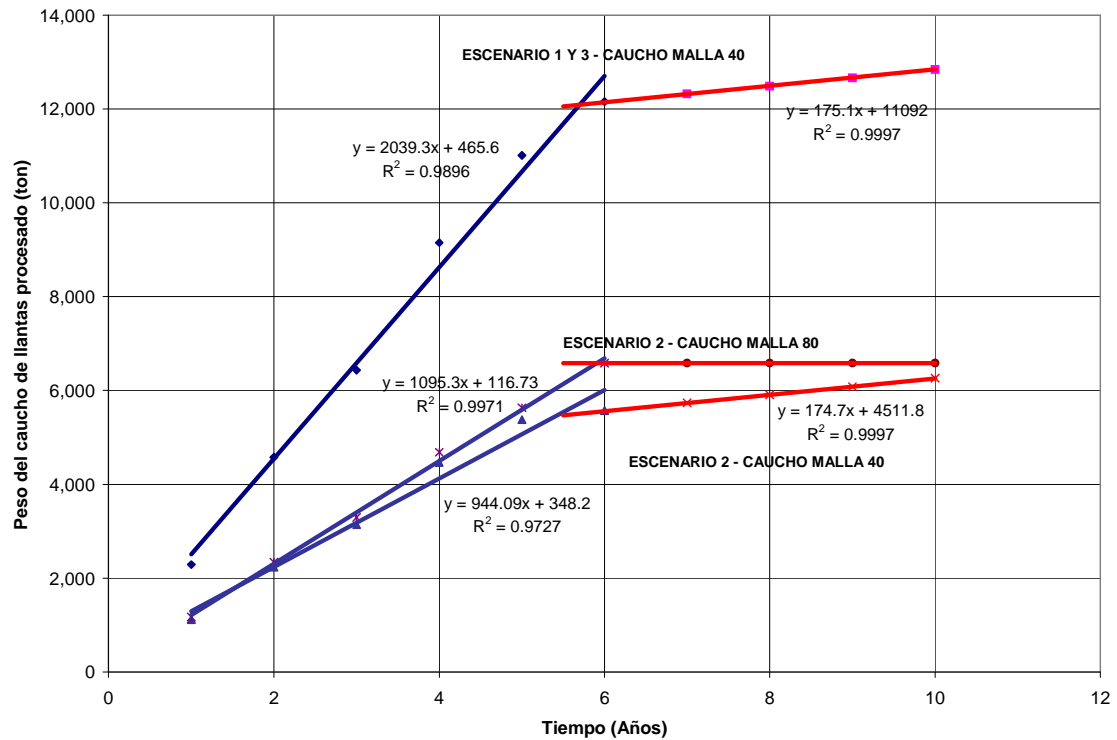
#### Ilustración 4. Porcentaje de llantas generadas a la Unidad de Aprovechamiento para cada año del proyecto





**Ilustración 5. Gráfico de las metas de producción de caucho pulverizado de la totalidad de las llantas que entran a la planta (escenarios uno, dos y tres)**

**ESCENARIOS DE TRABAJO PARA LA PULVERIZACIÓN DEL CAUCHO DE LLANTAS EN LA PLANTA DE APROVECHAMIENTO**



De acuerdo con los escenarios y la proyección establecidos para el desarrollo del diseño conceptual, se realizó el estudio económico y financiero con el fin de evaluar su implementación. En el Cuadro 9 se muestra el resumen de los resultados.



CONTROL AMBIENTAL Y  
DESARROLLO EMPRESARIAL

UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE BATERÍAS USADAS GENERADAS POR EL MANTENIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

### Cuadro 9. Resumen Análisis económico y financiero de los 3 escenarios desarrollados en el diseño conceptual

CONCEPTOS		ESCENARIO UNO (1)	ESCENARIO DOS (2)	ESCENARIO TRES (3)	
PRODUCTO FINAL		CAUCHO A MALLA 40	CAUCHO A MALLA 40 Y 80	CAUCHO A MALLA 40	
OPERADOR	ACOPIO	EMPRESARIO	EMPRESARIO	PRODUCTOR/IMPORTADOR	
	UNIDAD DE MOLIENDA			EMPRESARIO	
MERCADOS DE LOS ESCENARIOS		EXPORTACIÓN	EXPORTACIÓN Y ASFALTO DISTRITO	EXPORTACIÓN	
MERCADOS OPCIONALES		NACIONAL/ ASFALTO		NACIONAL/ASFALTO	
INVERSIÓN				PRODUCTOR	EMPRESARIO
	AÑO 1	3,900,355	4,578,702	1,219,556	2,680,799
	AÑO 4	2,543,004	3,221,352		2,543,004
	TOTAL	6,443,360	7,800,054	1,219,556	5,223,803
PRECIO DE VENTA (USD/TON)		340	CAUCHO MALLA 40: 340 CAUCHO MALLA 80: 500	340	
COSTO ECONÓMICO (USD/TON)		269.81	312.37	47.83	200.62
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)		20.51%	16.19%	-	46%
RELACIÓN BENEFICIO / COSTO		1.17	1.09	1.63	
TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN		7 AÑOS	7 AÑOS	5 AÑOS	

FUENTE: Unión Temporal OCADE LTDA./SANIPLAN/AMBIENTAL S.A.

Con base en estos resultados se recomienda implementar el proyecto mediante el esquema Productor/ operador especificado en el Escenario tres (3), que se constituye en la mejor alternativa del proyecto por cuanto la TIR (46% anual) es superior a la de los demás escenarios estudiados.

Se concluye que el productor debe asumir el costo de la captación del residuo y de su acopio, el cual tendría un costo económico del orden de USD47.83/ton de llanta usada, es decir, USD0.38 o COL\$753 por cada llanta, costo que representa menos del 1% del valor de la llanta nueva. Por lo tanto, un posible subsidio a la gestión del productor en el adecuado manejo del residuo equivaldría a un sobrecosto mínimo en el valor de la llanta nueva que puede llegar a asumir el usuario directo de las llantas.

Es importante señalar la importancia en la implementación de una normatividad que involucre la responsabilidad de los productores/importadores y de los actores de la cadena de manejo del producto y del residuo. Mediante este esquema en donde existe compromiso y responsabilidad sobre el residuo, la composición de costos puede involucrar al usuario en los pagos relacionados con el manejo del residuo hasta el acopio para su posterior aprovechamiento. El operador del sistema al tener pago el manejo del residuo hasta el acopio para su eliminación o aprovechamiento, podrá ingresarlo a su proceso con mayor rentabilidad tal como se observa para el escenario tres (3).

Se debe entonces avanzar en el establecimiento de una normatividad que asegure el flujo adecuado y controlado del residuo para su aprovechamiento. Este proceso que involucra a los productores y



UNIÓN TEMPORAL  
OCADE LTDA. (COLOMBIA)  
SANIPLAN (R.J.-BRASIL)  
AMBIENTAL S.A. (ARGENTINA)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE BATERÍAS USADAS GENERADAS POR EL MANTENIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ  
RESUMEN EJECUTIVO

---

usuarios, si bien idealmente debe ser de carácter nacional, puede acometerse a nivel local agilizándose su ejecución mediante la concertación de la responsabilidad con los productores y la gradualidad de la implantación de las medidas. Si este proceso se agiliza existirá mayor seguridad para los inversionistas del sistema propuesto acelerándose la implementación del proyecto.

Considerando adicionalmente las ventajas de tipo económico que se pueden generar por el uso de la llanta en la producción de asfalto para la red vial de Santa Fe de Bogotá, es necesario adelantar estudios piloto con el IDU, que permitan establecer las especificaciones que regulen la utilización de la llanta en la producción del asfalto. Avanzar en estos estudios a continuación de los realizados hasta la fecha, permitirán determinar las condiciones bajo las cuales se podrá dar uso a uno de los productos que se ofrecerá con el sistema de aprovechamiento diseñado. El estudio piloto requiere de un periodo de tiempo importante para desarrollar el proyecto (2 a 3 años), el cual puede coincidir con los requeridos para el desarrollo e implementación de las normas y de procedimientos que conlleven a la ejecución del sistema diseñado. Se podrá entonces avanzar simultáneamente para iniciar los procesos de aprovechamiento de la llanta con los programas de su utilización con el asfalto.

El esquema propuesto permitirá también a la Administración Distrital negociar con los productores de llanta, los aspectos de responsabilidad sobre el residuo generado, en función de la rentabilidad de un negocio en el cual, si quieren, pueden participar y del traslado de los costos de recolección, transporte y acopio a los usuarios con un bajo precio (\$753/llanta).