

**ESTADO DE REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA  
CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES EN LA REGIÓN**

**LAURA PATRICIA DIAZ DIAZ  
ISIS KARINA TORRES AYALA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2010**

**ESTADO DE REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA  
CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES EN LA REGIÓN**

**LAURA PATRICIA DIAZ DIAZ  
ISIS KARINA TORRES AYALA**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil**

**Director:  
HEBENLY CELIS LEGUIZAMO  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2010**

A todos los jóvenes que están  
Esperando que alguna puerta les sea  
Abierta y acceder a  
Una Educación superior que les  
Permita Contribuir de manera  
Colectiva a la Sociedad, a mi madre  
Por ser luz y aliento al caminar,  
A mi amado cesar por ser la  
Fuerza de mi corazón, a mis hermanos  
Oscar y Omar por ser parte de mi vida y  
Todas las personas que de alguna  
Manera creyeron en mí.

*Laura P. Diaz Diaz*

A Dios por ser la fuente  
De vida, salud e inteligencia, a mis  
Padres y hermanos por estar  
Siempre a mi lado apoyándome  
En cada momento de mi vida,  
A mis abuelos y tíos por creer siempre  
En mí y apoyarme de manera  
Incondicional.

*Isis K. Torres Ayala.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los Obreros, Campesinos y subempleados que contribuyen con sus impuestos para que la Universidad Pública se mantenga abierta y jóvenes como nosotras puedan acceder a una educación superior.

A nuestros compañeros que con justas luchas han bregado por mantener la Universidad Industrial de Santander abierta y Pública, pues de no ser en esta, nunca hubiésemos podido estudiar una carrera universitaria.

A nuestras familias por creer en nosotras y estar siempre apoyándonos, en especial a nuestros padres, primos y hermanos.

A nuestros compañeros y amigos de clase por compartir con nosotras sus experiencias y habilidades, por las desveladas y ratos de esparcimiento juntos.

A los profesores que contribuyeron a nuestra formación como profesionales y en especial a la Profesora Hebenly Celis por brindarnos todo su apoyo y colaboración en este proyecto.

A las empresas que nos permitieron visitar sus instalaciones y entregar la documentación necesaria para desarrollar este proyecto.

## **TABLA DE CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN	<b>21</b>
OBJETIVOS	<b>23</b>
GENERAL	<b>23</b>
ESPECÍFICOS	<b>23</b>
1. ASPECTO GENERALES	<b>24</b>
1.1. DEFINICIÓN DE RESIDUO	<b>24</b>
1.2. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS	<b>24</b>
1.2.1. Clasificación Por Estado	<b>24</b>
1.2.2. Clasificación Por Origen	<b>24</b>
1.2.3. Clasificación Por Tipo De Manejo	<b>25</b>
1.3. RESIDUOS SÓLIDOS	<b>25</b>
1.3.1. Residuos Sólidos Reciclables	<b>26</b>
1.3.2. Residuos Sólidos Biodegradables	<b>27</b>
1.4. DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS:	<b>27</b>
1.4.1 Sitios De Disposición Final	<b>27</b>
1.4.2 Los Rellenos Sanitarios.	<b>28</b>
1.5.1 La Unión Europea A La Cabeza.	<b>29</b>
1.5.2 Situación En América Latina	<b>31</b>
1.5.4 Resumen De La Legislación Ambiental Colombiana Sobre Residuos	<b>35</b>
2 IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES RECICLABLES	<b>38</b>

2.1	METODOLOGÍA APLICADA	38
2.2	SELECCIÓN POR CANTIDAD PRODUCIDA.	38
2.2.1	A Nivel Mundial	39
2.3	SELECCIÓN DE ACUERDO A LA CANTIDAD DE REUTILIZACIÓN POR MATERIAL	43
2.3.2	Vidrio.	45
2.3.3	Metales	45
2.3.4	La Madera	48
2.3.5	El Plástico	49
2.3.6	Neumático O Goma De Caucho	50
2.3.7	Textiles	51
2.4	SELECCIÓN POR IMPACTO AMBIENTAL	53
2.4.1	Papel. Beneficios Ambientales Del Reciclaje De Papel:	53
2.4.2	Vidrio	54
2.4.3	Metales	54
2.4.4	Plástico	56
2.4.5	Neumático.	56
2.5	SELECCIÓN POR USOS ANTERIORES	58
3	PROFUNDIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS SELECCIONADOS	61
3.1	NEUMÁTICO O GOMA DE CAUCHO	61
3.1.1	Problemática.	61
3.1.2	Composición Y Características Del Material.	62

3.1.4	Aplicaciones De Reutilización En La Ingeniería Civil:	68
3.2	LA MADERA	69
3.2.1	problemática	69
3.2.2	Características Y Composición Madera	70
3.2.3	Reciclaje De La Madera	75
3.2.4	Aplicaciones De Reutilización En La Ingeniería Civil	75
3.3	EL PLÁSTICO	76
3.3.1.	Problemática	76
3.3.2.	Métodos Principales Para Obtener Plásticos.	77
3.3.3.	Composición Y Características	78
3.3.4.	Reciclaje Del Plástico	80
3.3.5.	Reutilización En Ingeniería Civil	81
3.4.	PAPEL Y CARTÓN	82
3.4.1.	Problemática	82
3.4.2.	Características	82
3.4.3.	Aplicaciones De La Reutilización En La Ingeniería Civil.	84
4.	INDUSTRIAS NACIONALES QUE PROCESAN RESIDUOS SÓLIDOS	85
4.1.	METODOLOGÍA UTILIZADA	85
4.2.	EMPRESA 1: C.I. PARQUE AMBIENTAL MUNDO LIMPIO S.A	86
4.2.1.	Localización:	86
4.2.2.	Fotografía De La Empresa.	87
4.2.3.	Descripción Breve De La Empresa.	87

4.2.4. Proceso Productivo	<b>88</b>
4.2.5. Proyectos Construidos Y/O Clientes:	<b>98</b>
4.3. EMPRESA 2: INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO	<b>98</b>
4.3.1. Localización	<b>98</b>
4.3.2. Fotografía De La Empresa:	<b>99</b>
4.3.3. Descripción Breve De La Empresa	<b>100</b>
4.3.4. Proceso Productivo	<b>100</b>
4.3.5 Proyectos Construidos Y/O Clientes:	<b>109</b>
4.4 EMPRESA 3: WOOD PECKER S.A	<b>123</b>
4.4.1 Localización:	<b>123</b>
4.4.2 Fotografía De La Empresa	<b>123</b>
4.4.3 Descripción Breve De La Empresa:	<b>123</b>
4.4.5 Proyectos Construidos Y/O Clientes:	<b>127</b>
4.5 EMPRESA 4: COMPUESTOS PLÁSTICOS LTDA.	<b>130</b>
4.5.1 Localización:	<b>130</b>
4.5.2 Descripción Breve De La Empresa:	<b>131</b>
4.5.3 Proceso Productivo	<b>131</b>
4.5.4 Proyectos Construidos Y/O Clientes: .	<b>132</b>
4.6 EMPRESA 5: GREEN WORKS COMPANY	<b>134</b>
4.6.1 Localización:	<b>134</b>
4.6.2 Descripción Breve De La Empresa	<b>135</b>
4.6.3 Proceso Productivo	<b>135</b>

4.6.4 Proyectos Construidos Y/O Clientes	136
CONCLUSIONES	142
RECOMENDACIONES	143
DEFINICIONES	144
BIBLIOGRAFÍA	146
ANEXOS	148

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa en % de sistemas de disposición final de residuos sólidos de los años 2006 y 2008.	34
Tabla 2. Inventario de residuos sólidos de 25 países a nivel mundial.	39
Tabla 3. Inventario según la cantidad de residuos sólidos en % de países de latinoamérica.	41
Tabla 4. Comparativo de % en peso de residuos sólidos	42
Tabla 5. Orden de elegibilidad de los materiales según la cantidad	43
Tabla 6. Aproximados de recuperación (antecedentes de España Cataluña):	43
Tabla 7. Inventario de papel en % de países de latinoamérica.	44
Tabla 8. Porcentaje % de reciclaje del metal	48
Tabla 9. Generación disposición de desechos de neumático en algunos países	50
Tabla 10. Orden de elegibilidad de los materiales según la cantidad de reutilización	52
Tabla 11. Orden de elegibilidad de los materiales según el impacto ambiental	57
Tabla 12. Utilización de los residuos sólidos	58
Tabla 13. porcentaje dado a los niveles de impacto	59
Tabla 14. Selección de los cinco residuos sólidos a profundizar	59
Tabla 15. Cantidad de llanta desechada por año en los 11 países más representativos.	62
Tabla 16. Caracterización de la madera.	71

Tabla 17. Tipo de procesos utilizados para fase 1.	<b>101</b>
Tabla 19. .evaluación de fallas de fisuración junio de 2005	<b>116</b>
Tabla 20. Evaluación de fallas densidad fisuración septiembre de 2005	<b>117</b>
Tabla 21. Resumen de la utilización actual de los residuos sólidos.	<b>139</b>
Tabla 22. R tabla 4.6 resumen de los procesos productivos.	<b>140</b>
Tabla 23. Volumen necesario para la producción de las empresas.	<b>141</b>
Tabla 24. Volumen aplicado a la reutilización de los residuos sólidos	<b>141</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sistemas de disposición final colombiana - 2006	33
Figura 2. Sistemas de disposición final colombiana - 2008/ f	34
Figura 3. Contenido porcentual del inventario de residuos sólidos de 25 países a nivel mundial	40
Figura 4. Imagen de estructura de la llanta.	66
Figura 5. Estructura de la madera	73
Figura 6. Proceso que sufre el desecho de papel, una vez incorporado al sistema productivo de papel reciclado:	83
Figura 7. Ubicación de la planta de mundo limpio	86
Figura 8. Fotografía de la planta de producción de mundo limpio s.a.	87
Figura 9. Imagen proceso de transformación de la llanta.	89
Figura 10. Imagen proceso de recolección de la llanta.	90
Figura 11. Imagen proceso de sustracción de anillo con la maquina bid puller.	91
Figura 12. Imagen del material al pasar por la satrin 2.	92
Figura 13. Imagen de muestra del material atraído por la banda metálica.	93
Figura 14. Imagen de la maquina raster.	94
Figura 15. Imagen de la mesa vibratoria – zaranda 1.	95
Figura 16 Imagen de producto grass.	96
Figura 17. Imagen de muestra de asphalt.	97
Figura 18. Ubicación del IDU	99

Figura 19. Fotografía de las oficinas del idu	<b>99</b>
Figura. 20. Distribución granulométrica de Gcr	<b>102</b>
Figura 21. Carrusel de fatiga de la universidad de los andes	<b>104</b>
Figura 22. Esquema general del pavimento en el carrusel de fatiga	<b>105</b>
Figura 23. Distribución de la frecuencia de circulación del carrusel de fatiga	<b>106</b>
Figura 24. Esquema de los ejes por los cuales circulan en el carrusel de fatiga	<b>106</b>
Figura 25 Numero de ejes equivalente de 13 ton de acuerdo a la probabilidad de falla para los diseños mdc-1	<b>107</b>
Figura 26. Numero de ejes equivalente de 13 ton de acuerdo a la probabilidad de falla para los diseños mdc-2	<b>108</b>
Figura 27. – Calculo de costo-beneficio para los diseños mdc-2, proceso seco.	<b>109</b>
Figura 29. Localización de la pista de prueba – febrero de 2004	<b>110</b>
Figura 30. Tramos construidos mezcla mejorada con caucho– febrero de 2004	<b>113</b>
Figura 31. .Colocación mezcla proceso vía seca– febrero de 2004	<b>114</b>
Figura 32. Colocación mezcla proceso vía húmeda– febrero de 2004	<b>115</b>
Figura 33. Estado de la vía con proceso de vía seca a septiembre de 2010	<b>119</b>
Figura 34. Estado de la vía con proceso de vía húmeda a septiembre de 2010	<b>119</b>
Figura 35. Planta de producción de asfalto- caucho - mpi	<b>121</b>
Figura 36. Vía quibdó – yuto en el 2001.pavimentada por mpi	<b>122</b>
Figura 37. Ubicación de la empresa woodpecker wpc.	<b>123</b>
Figura 38. Maquina de mezclado para obtener wpc.	<b>124</b>
Figura 39. Maquina de calentamiento de la mezcla para obtener wpc.	<b>125</b>

Figura 40. Maquina que realiza el proceso de extrusión obtener wpc como producto terminado.	<b>125</b>
Figura 41. Disposición de producto terminado de wpc.	<b>126</b>
Figura. 42. Casa de interés social construida con mampostería de wpc.	<b>127</b>
Figura 43. Imágenes de pisos y cielo rasos de wpc.	<b>128</b>
Figura 44. Kid Depo De Wpc	<b>129</b>
Figura 45. Ubicación De La Empresa Compuestos Plásticos Ltda.	<b>130</b>
Figura 46. Maquinaria Utilizada En Compuestos Plásticos Ltda.	<b>131</b>
Figura 47. Wpc Con Proceso De Extrusión Para Pisos	<b>132</b>
Figura 48. Perfil De Wpc Con Proceso De Inyección	<b>133</b>
Figura 49. Fotografía Empresa Green Works Company	<b>134</b>
Figura 50. Fotografía De La Eco-Casa – Con Ladrillo A La Vista	<b>136</b>
Figura 51. Fotografía De La Eco-Casa - Terminada	<b>137</b>

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Procesamiento De Llanta Reciclada	<b>149</b>
Anexo B. Granulometría Empleada Para Proceso Seco – Asfalto Mejorado Con Gcr.	<b>150</b>
Anexo C. Granulometría Empleada Para Proceso Húmedo – Asfalto Mejorado Con Gcr.	<b>153</b>
Anexo D. Equipo Mezclador:	<b>154</b>
Anexo E. Especificación Técnica	<b>161</b>

## RESUMEN

**TITULO:** ESTADO DE REUTILIZACION DE RESIDUOS SOLIDOS EN LA CONSTRUCCION DE OBRAS CIVILES EN LA REGION \*

**AUTORES:** LAURA PATRICIA DIAZ DIAZ  
ISIS KARINA TORRES AYALA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** RESIDUOS SÓLIDOS, EMPRESAS, OBRAS CIVILES, REUTILIZACIÓN, APLICACIÓN

### DESCRIPCIÓN:

Un estudio basado en el nivel de reutilización de residuos sólidos en proyectos de construcción es presentado. Para ello, estudios preliminares fueron realizados, dirigidos a establecer los diferentes tipos de residuos sólidos presentes en el mundo y específicamente en Colombia. Una vez la variedad de residuos sólidos fue identificada, un proceso selectivo fue realizado, basado en tres diferentes parámetros: cantidad existente de residuos sólidos, reutilización e impacto ambiental. Fue encontrado que la madera, el plástico y el papel son los residuos sólidos más comunes en el mundo. Por tanto una investigación más profunda, la cual es la segunda parte de este trabajo, fue enfocada hacia las características mecánicas y físicas de estos materiales, así como el tipo de compañías, públicas y privadas, dedicadas a trabajar con estos tipo de residuos, transformándolos en nuevos materiales para ser usados en proyectos de construcción. Resultados positivos fueron encontrados a través de esta investigación debido al alto porcentaje de compañías dedicadas a la reutilización y comercialización de residuos sólidos. Sin embargo, Colombia sigue siendo un país tercermundista en materia de reciclaje y reutilización comparado con otros países, por tanto investigaciones en este campo son necesarias para permitir un desarrollo importante de la reutilización de residuos sólidos en la región.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Ing. Ms.c, Hebenly Celis Leguizamo, Ingeniero Civil

## SUMMARY

**TITLE: REUSING LEVEL OF SOLID WASTE IN CONSTRUCTION PROJECTS\***

**AUTHORS:** LAURA PATRICIA DIAZ DIAZ  
ISIS KARINA TORRES AYALA\*\*

**KEYWORDS:** SOLID WASTE ENTERPRISES, CIVIL WORKS, REUSE APPLICATION.

### DESCRIPTION:

A study based on the reusing level of solid waste in construction projects is presented. In order to determine this level, preliminary researches were done, aiming to establish the different types of solid waste around the world and specifically in Colombia. Once the variety of solid waste was identified, a selective process was conducted based on three different parameters, existing amount of solid waste, reusability and environmental impact. It was found out that wood, plastic and paper are the most common solid waste around the world. Therefore a further research, which is the second part of the investigation, was approached to the mechanical and physical characteristics of those materials and the type of companies, public and private, are working with these solid waste, transforming them in new materials to be used in construction projects. Positive results were found through this investigation due to the high percentage of companies dedicated to reusing and marketing of solid waste. However, Colombia is still being a third world country in a recycling approach, compared with other countries. Therefore research in this field is needed in order to allow an important development of the reuse of solid waste in the region.

---

\* Grade Project

\*\* Ability of Engineerings Physique Mechanics. School of Civil Engineering. Director: Ing. Ms.c, Hebenly Celis Leguizamo, Ingeniero Civil

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento masivo de la industria en el mundo requiere de un incremento en igual proporción de la fabricación de productos, y con ello las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituyendo uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en el mundo. Para fabricar productos tales como el neumático, los plásticos, el concretó, el icopor ,entre otros se necesitan grandes cantidades de energía y consumo de materias primas de fuentes no renovables, lo que hace que sean productos de alta resistencia y de difícil destrucción al paso del tiempo, presentando la necesidad de la reutilización del mismo por medio del reciclaje para dar un buen manejo de estos residuos y hacer que no sean fuentes de contaminación para el medio ambiente y problema para el ser humano, si no que se conviertan en una herramienta para mejorar las condiciones de vida y fuente de desarrollo ingenieril en la utilización adecuada de materia primas provenientes de reciclaje.

Todos estos residuos deben ser manipulados y tratados en forma adecuada desde la generación hasta su destino final, es importante decir que en el mundo existen algunos países donde se lleva un control adecuado de manipulación de materiales tanto reciclables como no reciclables, pero esto no es suficiente, ya que se necesita que sea implementado en la mayoría de países, además se requiere que el avance tecnológico vaya de la mano con las soluciones de contaminación que tal avance produce. En Colombia faltan políticas ambientales que favorezcan el almacenamiento y la implantación de industrias dedicadas a la tarea de recuperar o eliminar, de forma limpia, los componentes contaminantes de estos residuos, esto se puede observar en el mal manejo a la disposición final de los desechos resultantes en nuestro país.

Las industrias dedicadas en el país a la reutilización de residuos sólidos es limitada y lo es de tal proporción como lo son los tratamientos de disposición final que se le dan a los mismos, las investigaciones de utilización de residuos sólidos en la construcción civil e implementación de estas a nivel nacional ha sido mínimo y las experiencias de reutilización de estos residuos han sido tomadas de estudios de otros países, lo que indica que en materia de investigación hace falta realizar mayores esfuerzos e incentivar el uso de estos materiales.

En la actualidad se pueden utilizar diversos métodos para el reciclaje de neumáticos, plásticos, escombros provenientes de la construcción, etc. y la destrucción de sus componentes peligrosos. Pero el objetivo de estos métodos debe ser único y es la reutilización de los mismo, es importante que se destine por lo menos el 50% de estos para la construcción civil, teniendo en cuenta que Colombia es un país que se encuentra en desarrollo y la construcción civil es una base de este. En este proyecto se demostrar que la utilización de estos productos en la ingeniería civil podría representar un cambio no solo significativo para la reutilización para evitar el aceleramiento de la contaminación y daño al medio ambiente que estos residuos generan, sino para demostrar que estos materiales tienen grandes propiedades mecánicas que pueden ser aprovechadas construcción civil, como lo son los el mejoramiento pavimentos, lodos, suelos, entre otros. Además mostrar que este tipo de procedimientos también son una alternativa de negocio y desarrollo para el país.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Evaluar el estado de reutilización de materiales reciclables de acuerdo a parámetros técnicos, económicos y ambientales en la región.

### **ESPECÍFICOS**

- Identificar los posibles materiales reciclados que podrían ser utilizados como materia prima en obras de ingeniería civil.
- Seleccionar los cinco materiales de desecho con mayor posibilidad de utilización en aplicaciones a la ingeniería civil.
- Visitar algunas industrias nacionales que procesen residuos sólidos, describir sus procesos y experiencias obtenidas con estos materiales.

## 1. ASPECTO GENERALES

### 1.1. DEFINICIÓN DE RESIDUO

Un residuo es un objeto, material, sustancia o elemento sólido, semisólido, líquido o gaseoso resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.

### 1.2. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS

Existen diferentes formas y mecanismos de clasificar los recursos, pero según la investigación se tomarán solo las siguientes tres pautas:

**1.2.1. Clasificación Por Estado.** Para clasificar los residuos sólidos de esta manera se toma como base el estado físico en el que se encuentre, existen tres tipos: sólidos, líquidos y gaseosos. Es importante decir que el alcance real de esta clasificación puede fijarse en términos puramente descriptivos o, como es realizado en la práctica, por su forma de manejo asociado: por ejemplo un tambor con aceite usado y que es considerado residuo, es intrínsecamente un líquido, pero su manejo va a ser como un sólido pues es transportado en camiones y no por un sistema de conducción hidráulica.

**1.2.2. Clasificación Por Origen.** Se puede definir el residuo por la actividad que lo origina, esencialmente es una clasificación sectorial las más importantes son los residuos domésticos, industriales, comerciales, del sector construcción, agrícolas, mineros y hospitalarios.

**1.2.3. Clasificación Por Tipo De Manejo.** Un residuo se puede clasificar por las características asociadas a su manejo, el cual depende de los daños que ocasiona al medio ambiente y al ser humano, es importante mencionar que a cada tipo de residuo se le debe dar una disposición final adecuada a su clasificación. Desde este punto de vista se pueden dividir en tres grandes grupos:

- **Residuo Inerte:** residuos que no son manejados de forma apropiada, por ejemplo: la chatarra, barros inertes, cenizas, polvos y la arena.
- **Residuo Peligroso:** residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte o enfermedad; estos residuos son peligrosos para la salud o el medio ambiente, por ejemplo: sustancias provenientes de la industria química y minera, residuos inflamables, desechos de tolueno y benceno, metales pesados y restos de pintura en base a metales pesados.
- **Residuo No Peligroso:** Ninguno de los anteriores, por ejemplo: el papel, el plástico, la madera y desechos orgánicos, entre otros.

### 1.3. RESIDUOS SÓLIDOS

Teniendo en cuenta que este trabajo se centra en la reutilización de los residuos sólidos es importante tener una definición clara de estos, por tanto un residuo sólido puede definirse como cualquier objeto o material de desecho que se encuentra en estado sólido y se produce tras la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo y que se abandona después de ser utilizado. Estos residuos sólidos son susceptibles o no de aprovechamiento o transformación para darle otra utilidad o uso directo. El origen de estos residuos se deben a las diferentes actividades que se realizan día a día, pero la mayor parte de ellos es generada en las ciudades, más concretamente en los domicilios donde se producen los llamados residuos sólidos urbanos, que proceden de las

actividades domésticas en casas y edificios públicos como los colegios, oficinas, la demolición y reparación de edificios.<sup>1</sup>

Nos concentraremos en los residuos sólidos de origen doméstico, comercial, del sector construcción y de tipo de manejo no peligroso los cuales se clasifican en biodegradables y reciclables.

**1.3.1. Residuos sólidos Reciclables.** Los residuos sólidos reciclables son aquellos que pueden ser reutilizados por medio de un reprocesamiento del mismo, utilizando métodos específicos para cada tipo de material, los residuos sólidos reciclables en los que profundizara y son los siguientes:

- **Papel y Cartón:** periódicos, revistas, publicidad, cajas y embalajes, etc.
- **Plásticos:** botellas, bolsas, platos, vasos y cubiertos desechables, baldes vacíos de pintura.
- **Vidrio:** Botellas, frascos diversos, vajillas rotas, ventanas rotas de edificaciones y vehículos, etc.
- **Metales:** latas, botes, acero sobrante de construcciones civiles, latas vacías de pintura, etc.
- **Caucho:** neumáticos de vehículos diferentes tamaños
- **Madera:** madera sobrante de obras civiles, enseres domésticos, enseres de oficinas, sobrantes de carpinterías.
- **Concreto y ladrillo:** sobrantes de concreto en obras civiles, demoliciones de edificaciones, demolición de vías con pavimento rígido, ladrillos en concreto y en arcilla.

---

<sup>1</sup> <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

**1.3.2. Residuos Sólidos Biodegradables.** Los residuos sólidos biodegradables son aquellos restos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente. En estos restos se encuentran los vegetales, residuos alimenticios no infectados, papel higiénico, papeles no aptos para reciclaje, jabones y detergentes biodegradables, madera y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente en materia orgánica, la reutilización de este tipo de residuos sólidos en el momento está bastante avanzada y son usadas como materia prima en la agricultura para el abono de tierras, además se está utilizando en investigaciones sobre la elaboración de combustibles bioenergéticos en países como china, Japón, España, estados unidos y Canadá.

#### **1.4. DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS:**

Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.

La disposición final de los residuos sólidos también puede ser tomada como los sitios en donde son almacenados para que las industrias dedicadas a su reutilización los adquieran y los usen como materias primas de nuevos materiales con características similares, o para el mejoramiento de otros materiales.

**1.4.1 Sitios de disposición final.** La adecuada disposición de residuos sólidos municipales es de primordial importancia para minimizar los principales efectos negativos de los desechos sólidos sobre la salud pública, como son la proliferación de moscas, ratas, cucarachas, los efectos sobre el medio ambiente como la contaminación de fuentes de agua (quebradas y ríos), que en muchos casos surten nuestros sistemas de acueducto municipales, contaminación de suelos y aguas subterráneas y contaminación del aire por generación de malos olores . Además la mala disposición de los residuos sólidos puede generar riesgos

adicionales tales como incendios y explosiones asociados a la generación de gases peligrosos.

Históricamente los métodos de disposición final más comúnmente utilizados en nuestro país eran los de disposición a cielo abierto y/o en fuentes de agua, pero debido al aumento y la concentración de población en centros urbanos y el fuerte impacto ambiental generado por estas prácticas, se han desarrollado una serie de especificaciones de ingeniería adecuadas para minimizar dichos impactos.

Es por esto que se hace necesaria la construcción de sitios técnicamente diseñados para la construcción, operación y disposición final de residuos.

**1.4.2 Los rellenos sanitarios.** Los rellenos sanitarios son actualmente el método más económico y aceptable desde el punto de vista de salud pública y protección del ambiente, para la disposición de desechos sólidos domésticos, comerciales e industriales e incluso peligrosos. La sociedad americana de ingeniería civil, ASCE, lo define como:

“Relleno sanitario es una técnica para la disposición de basura en el suelo, sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la seguridad pública, utilizando principios de ingeniería, para confinar la basura en la mínima área posible reduciendo su volumen hasta la cantidad practicable, para luego cubrir las basuras allí depositadas con una capa de tierra diariamente, al final de la jornada, o tan frecuentemente como sea necesario”.<sup>2</sup>

Esta definición debe ser complementada con las posibilidades del relleno sanitario de manejar gases y lixiviada; de tomar en consideración aspectos de tipo estético

---

<sup>2</sup> <http://www.corantioquia.gov.co/docs/LOGROS/GIRS.htm>

y debe apreciar el potencial que brinda el método para recuperar terrenos o transformarlos para usos comunales como los anteriormente mencionados.

La diferencia entre un botadero de basura a cielo abierto y un relleno sanitario radica en el control que se logre sobre los efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud pública asociados a la disposición final de los residuos sólidos.

### **1.5. MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS A NIVEL MUNDIAL.**

Los residuos generados por las industrias en los últimos 40 años han aumentado considerablemente. Desde 1960 la cantidad de desechos municipales recolectados en Estados Unidos, por ejemplo, se han casi triplicado, alcanzando 254 millones de toneladas anuales.

La cantidad de desechos municipales en el oeste europeo se incrementó en 23% entre 1995 y 2003, alcanzando 577 kg por persona en el año 2003. Esta situación provocó que a partir de 1970 el reciclaje sea visto tanto como una actividad ambiental como también económica. Estimaciones del Banco Mundial, indican que los recicladores informales exceden los 60 millones de personas, generando cientos de millones de dólares anuales en ingresos.<sup>3</sup>

**1.5.1 La Unión Europea a la cabeza.** La Unión Europea es la región con mayor conciencia sobre los impactos de la acumulación de desechos y con los mejores mecanismos para hacer frente al problema.

Países como Austria y los Nórdicos reciclan más del 60% de los residuos municipales, logrando casi un 90% en Bélgica, en el caso británico, la tasa de reciclaje era del 27% pero se ha duplicado en los últimos años.

---

<sup>3</sup> <http://www.elobservadoreconomico.com/articulo/461>

El Sistema Dual administrado por el programa Pro-Europa y que fue aplicado inicialmente en Alemania, es una de las razones del éxito de la industria del reciclaje en la región. Este consiste en autorizar el estampado de un punto verde en los productos, indicando que el fabricante del envase o el que lo rellena con sus productos ha pagado una tasa para financiar la recolecta, clasificación y reciclado de los envases, por ejemplo 0.247 Euros por Kg de papel o cartón de empaque que se introduce en el mercado.

Las tasas serán menores cuando las envolturas tengan menor peso, incentivando a la industria a producir responsablemente. El mismo sistema organiza a las empresas con diferentes tareas y les paga con el capital recaudado por medio del cobro de las tasas. La base de la cadena es el ciudadano, quien separa la basura doméstica y la deposita en contenedores de distintos colores según el tipo de residuo.

El Sistema Dual basa sus ingresos en primer lugar en las tasas por el punto verde, alcanzando facturaciones de 237 millones de euros en España y más de 400 millones en Francia, y en segunda instancia en las ventas de material reciclado. Éste ha tenido una fuerte influencia en la región ya que 30 países de Europa y Norteamérica han introducido este sistema u otros similares para declarar la guerra a las toneladas de basura que se acumulan en el planeta.<sup>4</sup>

Sin embargo, el alto costo de las tasas cobradas para financiar el reciclaje ha provocado en algunos casos que las industrias prefieran invertir en tecnologías de reciclaje para el interno de la empresa que pagar las tasas de reciclaje.

---

<sup>4</sup> <http://www.elobservadoreconomico.com/imprimir/461>

**1.5.2 Situación en América Latina.** La falta de recursos económicos, humanos e institucionales no permite que el desarrollo de procesos de reciclaje en América Latina se produzca en iguales condiciones que en la Unión Europea y Norteamérica. La falta del uso de tecnologías limpias, el bajo contenido de materiales reciclables que producen los hogares y problemas de organización entre los agentes económicos y el Estado, no permiten que en la región se desarrollen cadenas formales para el manejo de residuos como el Sistema Dual. A diferencia de la Unión Europea, en Latinoamérica la base de la cadena es el recolector y no el consumidor del residuo, ocasionando que el consumidor no separe los residuos, aumentando los costos para el procesador y por lo tanto, desincentivado la actividad.

Sin embargo, en décadas recientes se han implementado programas de tratamiento de residuos sólidos exitosos en América Latina, que además de reducir los costos ambientales, son una entrada de ingresos para más de 100 mil familias, contribuyendo a disminuir así los niveles de pobreza.

En la región la cantidad reciclada de materiales es mucho menor que la producción de residuos. Esto se debe a que las funciones operativas, financieras y administrativas del reciclaje en la mayoría de los países de la región las realizan los municipios que cuentan con presupuestos limitados haciendo la actividad poco rentable. Las tasas y tarifas para el financiamiento de manejo de residuos sólidos son bajas, y en algunos casos no son cobradas por razones políticas, falta de educación ambiental o por la mala calidad del servicio.

Sin embargo, existen mejoras en la situación ya que más del 50% de las ciudades, entre ellas Buenos Aires, Lima y Curitiba en Brasil, han asignado la función operativa del manejo de residuos al sector. La clave para aumentar la recuperación de residuos sólidos consiste en la participación de la industria y los

grandes generadores de residuos, siendo las recicladoras y los segregadores partícipes esenciales del proceso.

Otro de los problemas que entorpece el desarrollo del reciclaje es la falta de un marco legal. Con excepción de Chile, Paraguay, Brasil, Bolivia, Colombia y México, no existe planificación nacional de los residuos sólidos que conecte a los actores e instituciones que intervienen en el proceso. México se ha destacado mediante la puesta en vigencia de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en el año 2003, que pretende solucionar el problema de la acumulación de los residuos y los riesgos ambientales y salubres que el mismo ocasiona.

Aunque es baja la remuneración de la mano de obra que recolecta los residuos permitiendo que la actividad sea más barata que en otras regiones, la falta de tecnologías y empresas recicladoras obligan que la cadena se estanque hasta la recolecta y los residuos sean exportados a países como China, uno de los principales importadores de residuos para su posterior reciclaje y cuya industria generó US\$ 5,400 millones en el año 2005.

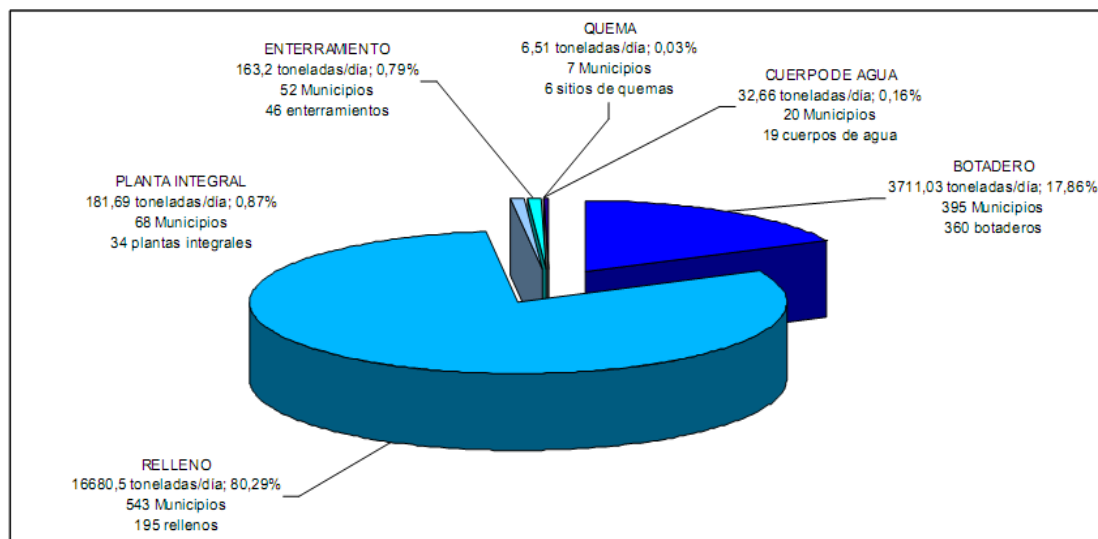
**1.5.3. Manejo De Residuos Sólidos A Nivel Nacional.** Durante los últimos cinco años el estado colombiano ha logrado grandes avances en materia de reglamentación y regulación de los sistemas de disposición final de residuos sólidos que se utilizan en el país, buscando con ello una visión integral de la prestación del servicio de aseo y la minimización de los impactos generados desde el punto de vista ambiental y de afectación a la salud de la población.

Colombia cuenta con 32 departamentos y 1.112 municipios, de los cuales se cuenta con información de 1.088 sobre el tipo de disposición final que está empleando. Con base en la información reportada al Sistema Único de Información, SUI por los prestadores del servicio de aseo, se pudo determinar que

en Colombia se generan aproximadamente 25.079 toneladas diarias de residuos, de las cuales el 90.99% (22.819,2 ton/día) son dispuestas en rellenos sanitarios o plantas integrales de tratamiento de residuos sólidos; persistiendo la disposición inadecuada del 9.01% restante (2.260 ton/día).<sup>5</sup>

Para el año 2008, los residuos sólidos son dispuestos en 254 rellenos sanitarios, de los cuales 43 son regionales y 59 plantas integrales de residuos sólidos, donde acuden 751 municipios del país, es decir el 69,03% de total de los municipios con información. De éste total, 653 municipios realizan la disposición del 88.54% de la producción nacional de residuos sólidos (22.204,26 ton/día) en rellenos sanitarios y 98 municipios lo realizan en plantas integrales, lo que corresponde al 2,45% de la producción (615 ton/día). No obstante, cabe resaltar que este informe se refiere a los sitios que cuentan con el permiso de la Autoridad Ambiental para su funcionamiento, pero de los cuales no se tiene certeza sobre su operación.

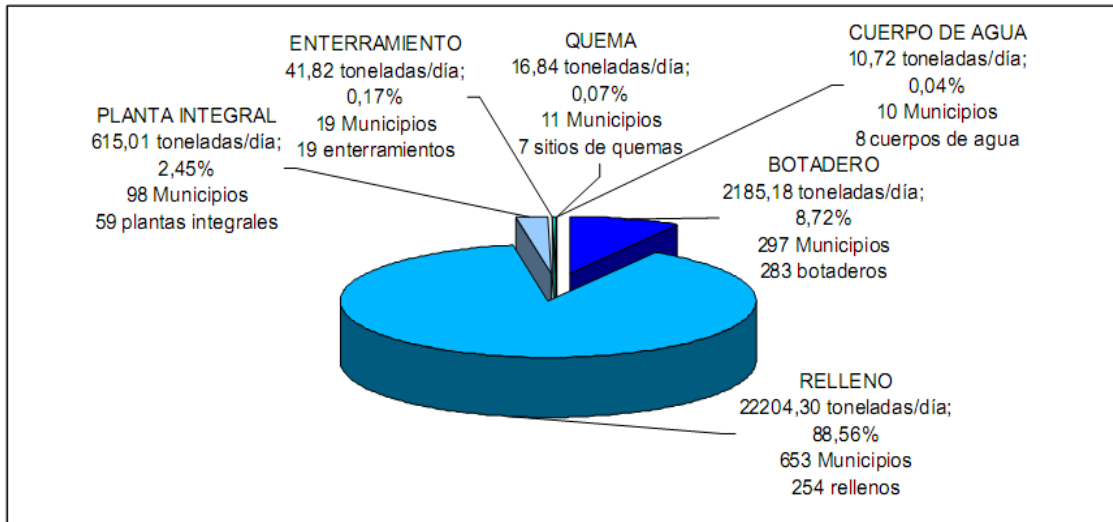
**Figura 1 Sistemas de Disposición final colombiana - 2006**



Fuente: <http://www.sui.gov.co/>

<sup>5</sup> [www.superservicios.gov.co/home/c/document\\_library/get\\_file?uuid=56000814-976f-41db-86fe858843224e&groupId=10122](http://www.superservicios.gov.co/home/c/document_library/get_file?uuid=56000814-976f-41db-86fe858843224e&groupId=10122)

**Figura 2. Sistemas de Disposición final colombiana - 2008/ F**



Fuente: <http://www.sui.gov.co/>

**Tabla 1. Comparativa en % de sistemas de disposición final de residuos sólidos de los años 2006 y 2008.**

SISTEMAS DE DISPOSICION	AÑO 2006	AÑO 2008	CRECIO	DECRECIO
PLANTA INTEGRAL	0.87%	2.45%	X	
ENTERRAMIENTO	0.79%	0.17%		X
QUEMA	0.03%	0.07%	X	
CUERPO DE AGUA	0.16%	0.04%		X
BOTADERO	11.86%	8.72%		X
RELLENO SANITARIO	80.29%	88.56%	X	

Fuente : <http://www.sui.gov.co/>

Según el comportamiento colombiano con respecto a los sistemas de disposición final de residuos sólidos ha crecido en materia de creación de rellenos sanitarios,

plantas integrales de procesamiento de residuos y quema de los mismos, disminuyendo recursos en la implantación de sistemas de enterramiento, botaderos y cuerpos de agua. Teniendo en cuenta en análisis anterior se puede decir que el estado colombiano está prestando atención y centrando recursos para implementar sistemas que son menos contaminantes y que requieren menos recursos y menos costo de vida.

#### **1.5.4 Resumen De La Legislación Ambiental Colombiana Sobre Residuos.**

Lo intrincado de la normativa ambiental colombiana ha hecho que el desarrollo de la gestión en el tema de los residuos haya tenido un avance supremamente lento.

- **Decreto 2811 de 1974**

Art. 36. Disposición final o procesamiento. Evitar el deterioro del ambiente, Reutilizar sus componentes, Producir nuevos bienes, Restaurar o mejorar los suelos.

Art. 38. Obligación de quien los produce. Por razón del volumen o la calidad de los residuos, las basuras, desechos o desperdicios, se podrá imponer a quien los produce la obligación de recolectarlos, tratarlos o disponer de ellos, señalándole los medios para cada caso.

- **Ley 9 de 1979**

Art. 30. Las basuras o residuos sólidos con características infectocontagiosas deberán incinerarse en el establecimiento donde se originen.

Art. 31. Quienes produzcan basuras con características especiales, en los términos que señale el Ministerio de Salud, serán responsables de su recolección, transporte y disposición final.

Art. 32. Para los efectos de los artículos 29 y 31 se podrán contratar los servicios de un tercero el cual deberá cumplir las exigencias que para tal fin establezca el Ministerio de Salud o la entidad delegada.

- **Constitución Política de Colombia de 1991**

Artículo 81. Queda prohibida la fabricación, importación, posesión y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, así como la introducción al territorio nacional de residuos nucleares y desechos tóxicos.

- **Resolución 2309 de 1986**

Reglamenta el manejo de residuos peligrosos, en cuanto al permiso de transporte y plan de contingencia y el almacenamiento, transporte y disposición de los mismos.

- **Ley 253 de 1996**

Aprueba el convenio de Basilea firmado el 22 de Marzo de 1989.

El Convenio de Basilea establece normas destinadas a controlar a nivel internacional los movimientos transfronterizos y la eliminación de residuos peligrosos para la salud humana y el medio ambiente.

- **Ley 430 de 1998**

Primera norma que habla de la gestión integral de residuos peligrosos.

- Prohíbe el tráfico ilícito de residuos peligrosos.
- Presenta las obligaciones de los generadores.
- Permite el uso de aceites usados para la generación de energía.
- Decreto Reglamentario 2676 de 2000 Gestión integral de residuos hospitalarios y similares.
- Fija el plazo para que los generadores de residuos hospitalarios elaboren un plan de gestión integral de residuos hospitalarios y similares.

- Expresa obligaciones para los generadores, los prestadores del servicio de desactivación y las personas prestadoras del servicio especial de aseo.
- Decreto Reglamentario 1713 de 2002
- Prestación del servicio público domiciliario de aseo.
- Establece la obligación de todos los municipios de elaborar un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS.
- Otorga responsabilidades a todos los actores en la generación de residuos.

- **Decreto Reglamentario 1220 de 2005 Licencias Ambientales.**

Artículo 9, literal 9: La construcción, y operación de instalaciones cuyo objeto sea el almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos.

Legislación sobre plaguicidas Requisitos, condiciones y límites máximos permisibles de emisión, bajo los cuales se debe eliminar residuos contaminados con plaguicidas en hornos de producción de clinker de plantas cementeras.

- Resolución 970 de 2001: Plásticos.
- Resolución 458 de 2002: Tierras.

Decreto reglamentario 1443 de 2004.

\* Gestión integral de residuos de plaguicidas.

\* Plan post-consumo para residuos de plaguicidas.

- **Resolución 189 de 1994 Prohíbe** el ingreso de residuos peligrosos al país.

Esta resolución fue derogada por la Resolución 809 de 2006.

- **Decreto 1609 de 2002** Regula el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.

Resolución 1446 de 2005 Regula el uso de aceites lubricantes residuales o de desecho como combustible para la generación de energía.

## **2 IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES RECICLABLES**

En este capítulo se identificarán los posibles materiales reciclables que pueden tener uso en aplicaciones de la ingeniería civil.

### **2.1 METODOLOGÍA APLICADA**

Teniendo en cuenta que existe una gran cantidad de residuos sólidos reutilizables, se hace necesario seleccionar los más significativos entre ellos, basados en factores importantes como lo son la cantidad, el impacto ambiental, su porcentaje de reutilización, así como sus usos anteriores. Estos factores fueron escogidos para seleccionar los materiales con mayor posibilidad de reutilización porque son bastante generales y no limitan la escogencia.

En el presente proyecto se ha usado como estrategia realizar una serie de análisis para poder definirlos, los filtros como se mencionaron anteriormente son los siguiente y el orden de filtrado es el que aparece a continuación:

1. La cantidad producida.
2. Porcentaje de reutilización.
3. Impacto ambiental.
4. Usos anteriores

De acuerdo a estos parámetros finalmente se seleccionaran los cinco materiales con mejor posibilidad de reutilización.

### **2.2 SELECCIÓN POR CANTIDAD PRODUCIDA.**

Para el filtrado se tomo como base las cantidades que se producen de todos los residuos sólidos reutilizables a nivel mundial, luego se realizo este mismo proceso

con las cantidades colombianas producidas y así realizar un comparativo de entre estos dos aspectos, y concluir el estado colombiano de producción de residuos sólidos en comparación con la producción de estos a nivel mundial y definir cuáles de los materiales más producidos a nivel mundial también concuerdan con los mas producidos a nivel nacional y cuáles no.

**2.2.1 A nivel mundial.** A escala mundial, calcular la cantidad de residuos que se generan presenta un problema. Hay una serie de cuestiones, incluida la falta de presentación de informes de muchos países e inconsistencias en los informes, además las definiciones y métodos de medición empleados por los países varían considerablemente. El Convenio de Basilea (**del Convenio para el control de la eliminación y el transporte transfronterizo de residuos peligrosos, formado en 1993**) ha calculado la cantidad de desechos peligrosos y otros desechos generados en 2000 y 2001 en 318 y 338 millones de toneladas respectivamente. Estas cifras se basan en informes incompletos de los países en la Convención. Compare esto con los casi 4 millones de toneladas estimadas por la OCDE (**Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico**) generados por sus 25 países miembros en 2001 (Perspectivas del Medio Ambiente, de la OCDE).

Los problemas de cálculo de un número definitivo para la generación de desechos a nivel mundial son evidentes. Por lo tanto las cifras que figuran a continuación deben ser utilizadas con precaución.

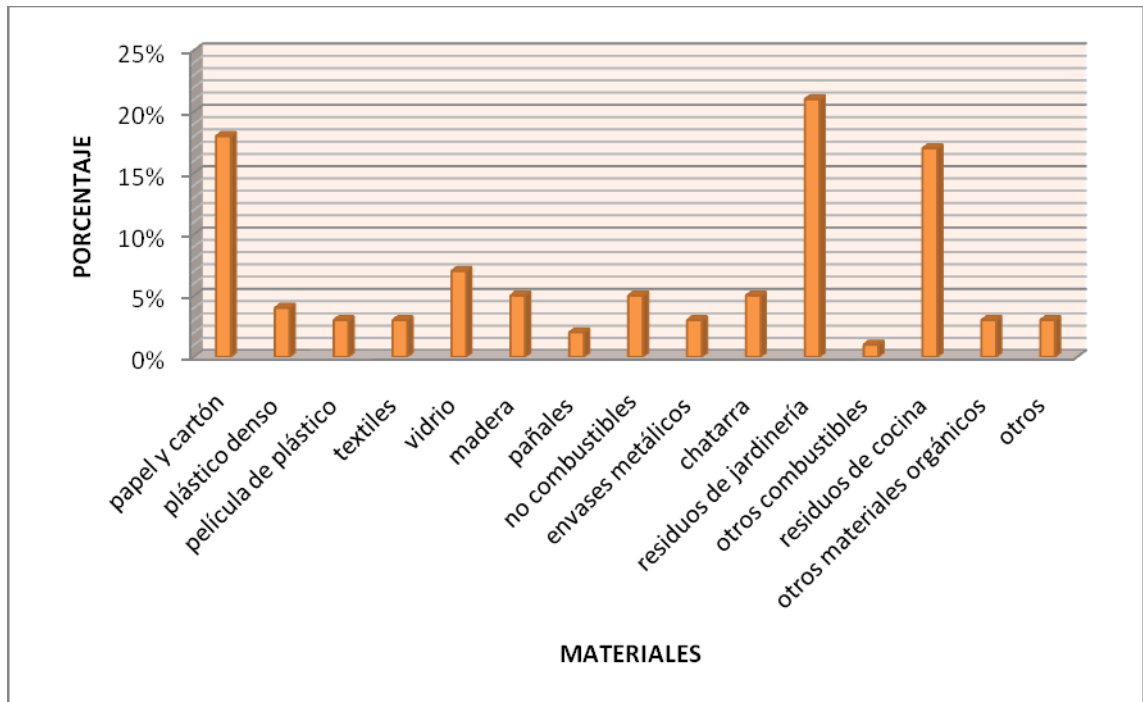
**Tabla 2. Inventario de residuos sólidos de 25 países a nivel mundial.**

<b>MATERIAL</b>	<b>PORCENTAJE PROMEDIO DE 25 PAISES</b>
<b>papel y cartón</b>	18%
<b>plástico denso</b>	4%
<b>película de plástico</b>	3%
<b>textiles</b>	3%
<b>vidrio</b>	7%

MATERIAL	PORCENTAJE PROMEDIO DE 25 PAISES
madera	5%
pañales	2%
no combustibles	5%
envases metálicos	3%
chatarra	5%
residuos de jardinería	21%
otros combustibles	1%
residuos de cocina	17%
otros materiales orgánicos	3%
otros	3%
<b>SUMA</b>	<b>100%</b>

Fuente: <http://www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/metals.htm>

**Figura 3 contenido porcentual del Inventario de residuos sólidos de 25 países a nivel mundial**



Fuente : <http://www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/metals.htm>

Estos datos presentados pueden tener una variación dependiendo del país y de su desarrollo en que se encuentre, por lo general países más desarrollados generan más residuos sólidos que aquellos con menos desarrollo.

De los datos anteriores tenemos que descartar los residuos orgánicos (45 %) ya que estos no son reciclables aunque se puedan utilizar como abonos en el área agrícola.

Comparando estos datos promedio con los promedios de América latina encontramos que aunque no son iguales son muy parecidos.

Vale la pena aclarar como ya ha sido manifestado anteriormente que los datos presentados tienen muchas limitaciones debido a la poca información de algunos lugares o países, y, la falta de veracidad de la información presente, sin embargo, estos promedios presentados concuerdan o se pueden aproximar a la realidad:

**Tabla 3. Inventario según la cantidad de residuos sólidos en % de países de Latinoamérica.**

País	Papel y cartón	Metal	Vidrio	Textiles	Plástico	Material orgánico	Otros
México	20	3.2	8.2	4.2	6.1	43	15.3
Costa Rica	19	-	2	-	11	58	10
El Salvador	18	0.8	0.8	4.2	6.1	42	28.1
Perú	10	2.1	1.3	1.4	3.2	50	32
Chile	18.8	2.3	1.6	4.3	10.3	49.3	13.4
Guatemala	13.9	1.8	3.2	3.6	8.1	63.3	6.1
Colombia	18.3	1.6	4.6	3.8	14.2	52.3	5.2
Uruguay	8	7	4	-	13	56	12
Bolivia	6.2	2.3	3.5	3.4	4.3	59.5	20.8

País	Papel y cartón	Metal	Vidrio	Textiles	Plástico	Material orgánico	Otros
Ecuador	10.5	1.6	2.2	-	4.5	71.4	9.8
Paraguay	10.2	1.3	3.5	1.2	4.2	56.6	23
Argentina	20.3	3.9	8.1	5.5	8.2	53.2	0.8
Trinidad y Tobago	20	10	10	7	20	27	6

Fuente: GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MESA REDONDA OEA-CIID

Al obtener los promedios de los porcentajes en peso de los residuos sólidos de América latina y compararlos con los promedios mundiales presentados anteriormente tenemos.

Tabla 4. Comparativo de % en peso de residuos sólidos

PORCENTAJE EN PESO			
MATERIAL	AMERICA LATINA	A NIVEL MUNDIAL	COLOMBIA
papel y cartón	15	18	18,3
plástico	9	7	6,1
textiles	4	3	3,8
vidrio	4	7	4,6
metal	3	8	1,6
Orgánicos	52	42	52,3
Llanta	1.5	1.8	0,8
otros	14	15	5,2

Fuente: los autores en base de informaciones encontradas

Según la cantidad de residuos sólidos existentes que se han seleccionado anteriormente, los materiales más representativos y su orden de importancia ascendente, se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 5. Orden de elegibilidad de los materiales según la cantidad**

<b>MATERIAL</b>	<b>ORDEN DE IMPORTANCIA</b>	<b>% Promedio total de la cantidad de residuos</b>
<b>PAPEL Y CARTON</b>	1	18%
<b>PLASTICO</b>	5	4%
<b>TEXTILES</b>	6	3%
<b>VIDRIO</b>	2	7%
<b>METAL</b>	7	No encontrado
<b>NEUMATICO</b>	3	5%
<b>MADERA</b>	4	5%

**Fuente:** análisis elaborado por los autores

## **2.3 SELECCIÓN DE ACUERDO A LA CANTIDAD DE REUTILIZACIÓN POR MATERIAL**

Continuando con el proceso de análisis para obtener los materiales más importantes, seleccionaremos los materiales por el porcentaje de reutilización, para esto solo utilizaremos los materiales seleccionados en el filtro anterior.

**2.3.1 Papel Y Cartón.** El consumo de papel (Áreas administrativas, editoriales de prensa, revistas, libros, etc.) y de cartón (envases y embalajes de los productos manufacturados) ha crecido exponencialmente por el incremento de la población y de la cultura en todo el mundo desarrollado. Cada uno persona en el mundo desecha al año a aproximadamente 120 kg/año de papel. El rendimiento del papel viejo es alto, un 90% aproximadamente, frente al 50% del rendimiento celulósico de la madera.

**Tabla 6. Aproximados de recuperación (antecedentes de España Cataluña):**

<b>MATERIAL</b>	<b>% DE RECUPERACION</b>
<b>Papel de periódico</b>	27%
<b>Papel de embalar</b>	7.5%
<b>Papel de revistas y libros</b>	30.7%
<b>Cartón</b>	81.3%

**Fuente:** Proyecto de grado Gómez y Munevar 2008

Actualmente en algunos países latinoamericanos se recicla papel a continuación se presenta un cuadro en el que se muestra el porcentaje de papel reciclado con respecto al que se produce.

**Tabla 7. Inventario de papel en % de países de Latinoamérica.**

<b>PAIS</b>	<b>%RECICLAJE DE PAPEL</b>
<b>BRASIL</b>	36
<b>COLOMBIA</b>	49
<b>CHILE</b>	33
<b>TRINIDAD</b>	5
<b>VENEZUELA</b>	55
<b>ARGENTINA</b>	23

**Fuente:** Proyecto de grado Gómez y Munevar 2008

El porcentaje de fibra reciclada en los distintos tipos de productos papeleros es diferente, los cartones para cajas por ejemplo, introducen un alto porcentaje de fibra reciclada en su producción, (90%). Algo menor es el porcentaje de fibra reciclada en el papel prensa (70%). Otro tipo de papeles como los dedicados a impresión y escritura emplean porcentaje de fibras recicladas aun menores.

La industria de la construcción muchas veces fabrica puertas de baja calidad que constan de dos chapas de madera en cuyo interior se encuentran unas celdas de papel. Este entre otros uso que se le da al papel en esta industria, y en los cuales podemos encontrar el mencionado por un proyecto de grado presentado por dos jóvenes ingenieros mecánicos de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) en el cual crearon un ladrillo de papel más resistente que los de barro que cumplen con la última norma de sismoresistencia y son más baratos.

**2.3.2 Vidrio.** El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Concretamente el envase de vidrio es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero.

En cuanto al proceso de reciclado de vidrio cabe comentar que no existe diversidad tecnológica para su tratamiento. Esencialmente dicho proceso consiste en separar los elementos extraños que suelen acompañar al vidrio (papel, plásticos, corchos, piedras, metales, porcelana, etc.). La separación se realiza manualmente y/o con equipos específicos: imanes fijos para el hierro, ciclones para papeles y plásticos detector de metales no férricos por impulsos mecánicos "trimetau", captadores de cerámicas y piedras "sistema trioptic". En la actualidad, ya se está operando con equipo láser para separar todas las impurezas. Pero en la reutilización el vidrio cuenta con una gran rama Aguas envasadas con un porcentaje de 60%, Cerveza 80%, Bebidas refrescantes 80% y Vino 50 %. Además de la extracción de elementos extremos, el vidrio es inicialmente triturado, lavado y posteriormente cribado.

El objetivo de todos estos tratamientos es mejorar la calidad del vidrio con el fin de conseguir un alto rendimiento en los hornos de cocción.

### **2.3.3 Metales**

**2.3.3.1 Acero.** El acero es el único material constructivo que siempre contiene algo de material reciclado, ya que ambos procesos de fabricación, a partir del mineral o del reciclaje, contienen chatarra. Cada vez que uno adquiere un producto de acero, está cerrando un ciclo, al comprar algo que ya fue reciclado.

Gracias a sus propiedades, puede ser reciclado en forma infinita, por lo que al final de su vida útil un producto de acero puede transformarse en parte de un auto o de una lavadora, sin perder su calidad.

Al ser magnético, es fácilmente separable del resto de los metales mediante electroimanes en los centros de acopio y en la misma planta de reciclaje.

Por otro lado, la industria siderúrgica mundial ha evolucionado en los últimos veinte años, mejorando el rendimiento de los productos de acero (lo que se llama reducción de origen). Se ha disminuido la cantidad necesaria a utilizar para la fabricación de un producto con las mismas cualidades. Esta disminución es posible gracias a la investigación tecnológica y al desarrollo de nuevos aceros, más resistentes, y que ha permitido reducir los espesores y secciones de los productos, haciéndolos más livianos.

A modo de ejemplo, el acero utilizado en 1983 en la fabricación de un billón de latas de conserva era de 38.000 toneladas; hoy, en cambio, es sólo de 25.600 toneladas. Si la Torre Eiffel fuera construida hoy, podría utilizar sólo un 35% del acero que necesitó en 1897.

Otra propiedad del acero es su durabilidad. La mayor parte de los electrodomésticos, que tienen alrededor de un 75% de sus componentes de acero, duran mucho más que, por ejemplo, los fabricados con plástico. Un refrigerador promedio, puede tener una vida útil de 20 años, y las techumbres una de hasta 50 años.

**2.3.3.2 Aluminio.** El reciclado de un material es la única alternativa que existe para dañar lo menos posible el medio ambiente y no vernos rodeados de montones de chatarra y residuos.

El aluminio es 100% reciclable sin merma de sus cualidades físicas, y su recuperación por medio del reciclaje se ha convertido en una faceta importante de la industria del aluminio. El proceso de reciclaje del aluminio necesita poca

energía. El proceso de refundido requiere sólo un 5% de la energía necesaria para producir el metal primario inicial.

El reciclaje del aluminio fue una actividad de bajo perfil hasta finales de los años sesenta, cuando el uso creciente del aluminio para la fabricación de latas de refrescos trajo el tema al conocimiento de la opinión pública.

En Europa, el aluminio disfruta de tasas de reciclado altas que oscilan entre el 42% de las latas de bebidas y el 85% de la construcción y el 95% del transporte.<sup>28</sup>

Al aluminio reciclado se le conoce como aluminio secundario, pero mantiene las mismas propiedades que el aluminio primario. El aluminio secundario se produce en muchos formatos y se emplea en un 80% para aleaciones de inyección. Otra aplicación importante es para la extrusión. Además de ser más baratos, los secundarios son tan buenos como los primarios. También tienen las certificaciones ISO 9000 e ISO 14000.

La fundición de aluminio secundario implica su producción a partir de productos usados de dicho metal, los que son procesados para recuperar metales por pretratamiento, fundición y refinado.

La producción mundial de aluminio primario es de alrededor de 24 millones de toneladas en promedio al año. La producción mundial de acero bruto se situó en 1,05 mil millones de toneladas en 2004. Esto representó un incremento a nivel mundial en la producción del 8,8% respecto a 2003.

Los metales suponen un 2.5 % en peso de los residuos de construcción y demolición, siendo la mayor parte recuperables. La vida útil del acero excede la del edificio y su elevado costo de fabricación e impacto ambiental global, hacen

énfasis sobre el aprovechamiento potencial del reciclaje. El aprovechamiento de los residuos de acero suele ser de manera manual.

Su durabilidad puede verse limitada, ya que es sensible a los procesos de oxidación y corrosión en contacto con el agua, en atmosferas húmedas o agresivas, sin embargo aunque sus residuos estén en mal estado, es reciclable.

La mayor fuente de aluminio proviene de los marcos de ventanas. Su procesamiento es de forma manual.

**Tabla 8. Porcentaje % de reciclaje del metal**

<b>MATERIAL</b>	<b>PROCENTAJE (%) DE RECICLAJE</b>
<b>Acero</b>	60%
<b>Aluminio</b>	73%
<b>Chatarra</b>	70%

**Fuente:** análisis elaborado por los autores

**2.3.4 La madera.** La madera es el mayor porcentaje de los residuos en la construcción residencial nueva, aproximadamente el 42 por ciento, según la Asociación Nacional de Constructores de Viviendas del Centro de Investigación.

Los desechos de madera provenientes de la construcción o demolición están compuestos por tablas, maderas tratadas, maderas contrachapadas y maderas contaminadas por pinturas, asbesto y otros materiales químicos. Debido a que la mayor parte de madera que se procesa es usada como combustible o en elementos de jardinería, los procesadores de la misma usualmente solo aceptan maderas limpias.

Actualmente la madera es un material poco aprovechable en el sector de la construcción. Sin embargo, la madera es fácilmente reciclable o reutilizable en su

forma original. El reciclaje involucra la trituración para la fabricación de tableros aglomerados.

**2.3.5 El plástico.** La cantidad de residuos plásticos generados anualmente se estima en cerca de 3 millones de toneladas. Se estima que el 56% de todos los residuos de plástico se utiliza el envasado, las tres cuartas partes de los cuales es de los hogares. Se estima que sólo el 7% del total de producción de residuos de plástico están siendo reciclados.

De los 16 millones de toneladas de residuos útiles de Europa en 1995, un 7,6% se recicló mecánicamente y un 0,6% químicamente, un 17% se destinó a su conversión en energía, y el resto terminó en vertederos.

A lo largo de muchos años, en Colombia y en el mundo entero el uso del plástico ha crecido dramáticamente durante los últimos años, pero así mismo también se ha incrementado el volumen de desperdicios de plásticos que terminan en rellenos sanitarios, este crecimiento en el volumen de generación de basuras en el país ha llegado a niveles alarmantes, lo cual convierte su manejo a través de estrategias como el reciclaje, en una actividad prioritaria, debido entre otras razones a que la disponibilidad de los rellenos sanitarios cada vez es menor, el problema de manejo generado por ciertos plásticos que no son biodegradables, esto unido a consideraciones de carácter económico hace que el reciclaje de plásticos sea una alternativa que cobra cada vez más fuerza.

En nuestro país el crecimiento en el uso de estos materiales no ha sido acorde con la tecnología desarrollada para el aprovechamiento y desarrollo de esos, por lo cual ha surgido la necesidad de crear diferentes opciones para el proceso de reciclaje con el fin de disminuir los niveles de impacto en el entorno y ofrecer nuevas alternativas de empresa.

**2.3.6 Neumático o goma de caucho.** En la actualidad se pueden utilizar diversos métodos para la recuperación de neumáticos y la destrucción de sus componentes peligrosos. El sistema de tratamiento puede convertir los neumáticos en energía eléctrica

Los materiales que se obtienen tras el tratamiento de los residuos de neumáticos, una vez separados los restos aprovechables en la industria, el material resultante puede ser usado como parte de los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos son mejores y más seguras.

Pueden usarse también en alfombras, aislantes de vehículos o losetas de goma. Se han usado para materiales de fabricación de tejados, pasos a nivel, cubiertas, masillas, aislantes de vibración.

Otros usos son los deportivos, en campos de juego, suelos de atletismo o pistas de paseo y bicicleta. Las utilidades son infinitas y crecen cada día, como en cables de freno, compuestos de goma, suelas de zapato, bandas de retención de tráfico, compuestos para navegación o modificaciones del betún.

**Tabla 9. Generación Disposición De Desechos De Neumático En Algunos Países**

GENERACIÓN DISPOSICIÓN DE DESECHOS DE NEUMATICO EN ALGUNOS PAISES						
PAIS	LLANTAS GENERADAS	COMBUSTIBLE	APLICACION EN ENERGIA	RENOVACION RECICLAJE	OTROS	SIN CONTROL
EEUU	300.000.000	41%	48%	3%	8%	
ESPAÑA	35.000.000	17%	12%	20%		51%
MEXICO	25.000.000	2%	2%	5%		91%
SALVADOR	3.000.000		1%	1%		99%
COSTA RICA	4.000.000	1%	1%	1%		99%

GENERACIÓN DISPOSICIÓN DE DESECHOS DE NEUMATICO EN ALGUNOS PAISES						
<b>PUERTO RICO</b>	4.000.000	35%	10%	5%		50%
<b>BRASIL</b>	35.000.000	35%	4%	40%		21%
<b>ALEMANIA</b>	74.000.000	44%	8%		0,06%	42%
<b>REINO UNIDO</b>	33.000.000	24%	8%	2%	2%	66%
<b>FRANCIA</b>	40.000.000		10%	16%	0.45%	34%

FUENTE: WALTER BULLETIN, MAYO 2004 – [www.elpais.com](http://www.elpais.com) – [www.pvem.org.mx](http://www.pvem.org.mx) – [www.recoverytechnologies.com](http://www.recoverytechnologies.com) – [www.soitu.es](http://www.soitu.es).

**2.3.7 Textiles.** Se calcula que el consumo anual de textil por persona en países del primer mundo es de entre 7 y 10 kg por lo que se puede calcular que los residuos de este material oscilan en las mismas proporciones, esto sin contar la cantidad de residuo de este tipo que genera la industria del sector textil y de confección. En el municipio de Madrid los residuos textiles representan aproximadamente el 2% en peso de los residuos urbanos generados.

Los residuos textiles de estas industrias pueden ser utilizados para la elaboración de nuevas materias primas. Para ello se necesita clasificar por tipos de fibras para posteriormente desmontar las piezas y volver a hilar. Los nuevos hilados pueden ser usados por el sector de la confección para la fabricación de piezas nuevas. Las fibras recuperadas y recicladas también pueden ser utilizados en la fabricación de acolchados de muebles y colchones, rellenos aislantes, soportes para alfombras, filtros, etc.

El reciclaje de los residuos textiles evita que éstos se acumulen en los vertederos, además de dar continuidad al ciclo de vida del producto. Sin embargo, con las nuevas costumbres de consumo y moda la mejor opción para la ropa de la que nos deshacemos y que está en buen estado, es siempre la reutilización.

Esta ropa que muchas veces es tratada como basura, puede ser reutilizada, siempre y cuando haya separado selectivamente por los ciudadanos, por ello los que quieran deshacerse de ropa y otros textiles del hogar que estén en buen estado, pueden donarlos o bien depositarlos en los contenedores específicos de ropa usada que hay instalados en la vía pública o llevarlo a los Puntos Limpios de su municipio.

Muchas entidades sin ánimo de lucro se dedican a la recogida de ropa usada, que después de pasar por un proceso de manipulación, son entregadas a grupos necesitados ó comercializadas en mercadillos como ropa de segunda mano o vendidas como trapos de limpieza.

La actividad que llevan a cabo las organizaciones de recuperación y reciclaje de textiles proporciona ventajas tanto de carácter social como ambiental, además de la creación de puestos de trabajo para colectivos con dificultades para insertarse en la vida social y laboral.

Según el análisis, descripción de cada material y su posibilidad de reutilización en obras de ingeniería civil, se han analizado los materiales que pasaron por el filtro anterior; el material que tiene la última posición en este filtro son los residuos de textiles, ya que son poco utilizados en el área, por su corta vida útil. A continuación se muestra en una tabla el orden de elegibilidad de cada material:

**Tabla 10. Orden de elegibilidad de los materiales según la cantidad de reutilización**

<b>MATERIAL</b>	<b>ORDEN DE IMPORTANCIA</b>	<b>POCENTAJE DE REUTILIZACION</b>
<b>PAPEL Y CARTON</b>	1	81.3%
<b>PLASTICO</b>	3	56%
<b>TEXTILES</b>	6	NO SE ENCONTRO
<b>VIDRIO</b>	7	80%
<b>MADERA</b>	5	NO SE ENCONTRO

MATERIAL	ORDEN DE IMPORTANCIA	POCENTAJE DE REUTILIZACION
NEUMATICO	4	42%
METAL	2	70%

Fuente: análisis elaborado por los autores

## 2.4 SELECCIÓN POR IMPACTO AMBIENTAL

### 2.4.1 Papel. Beneficios ambientales del reciclaje de papel:

- Disminución de la necesidad de fibras vegetales y vírgenes
- Disminución del volumen de residuos municipales (el 18.3% de nuestros desperdicios está compuesto de papel y cartón)
- Disminución de la contaminación atmosférica y de la contaminación del agua

El papel reciclable se elabora sin utilizar cloro en el proceso de blanqueo de la pasta. Puede obtenerse papel ecológico a partir de papel reciclado, garantizando la mínima utilización de productos químicos y la depuración de las aguas residuales.

Obtenido, mayoritariamente, a partir de papel usado o residual. Se considera que cumple las condiciones de papel reciclado para la impresión y escritura, el que contiene, como mínimo, un 90% en peso de fibras de recuperación.

El papel reciclable no se debe mezclar con papel sucio, pañuelos desechables, papel de aluminio, papel de fax, papel engomado, plastificado, encerado, etc.

La separación de la tinta se lleva a cabo mediante la adición de un jabón biodegradable y la inyección de aire, para crear burbujas a las que se adhiere la tinta. La tinta se concentra y se transporta a un centro de tratamiento.

**2.4.2 Vidrio.** Los beneficios ambientales del reciclaje de vidrios se traducen en una disminución de los residuos municipales, disminución de la contaminación del medio ambiente, y un notable ahorro de los recursos naturales. Cada kg de vidrio recogido sustituye 1.2 kg de materia virgen.

Reutilizar: Existen envases de vidrio retornable que, después de un proceso adecuado de lavado, pueden ser utilizados nuevamente con el mismo fin. Una botella de vidrio puede ser reutilizada entre 40 y 60 veces, con un gasto energético del 5% respecto al reciclaje. Esta es la mejor opción.

Reciclar: El vidrio es 100% reciclable y mantiene el 100% de sus cualidades: 1 kg de vidrio usado produce 1 kg de vidrio reciclado. El reciclaje consiste en fundir vidrio para hacer vidrio nuevo. La energía que ahorra el reciclaje de una botella mantendrá encendida una ampolla de 100 watt durante 4 horas.<sup>66</sup>

En la fabricación del vidrio se utiliza:

- Sílico, que da resistencia al vidrio
- Carbonato de calcio, que le proporciona durabilidad
- En el reciclaje del vidrio se utiliza como materia prima la calcina o vidrio desecho. Su fusión se consigue a temperaturas mucho más reducidas que las de fusión de minerales, por tanto, se ahorra energía.

### **2.4.3 Metales**

**2.4.3.1 Acero.** El reaprovechamiento siempre es mejor que el abandono de los materiales, sobre todo si consideramos que:

El reciclaje de acero supone “sacar basura del sistema” para darle un nuevo uso. Se disminuye la presencia de material reutilizable en los rellenos sanitarios y en

---

6 <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

vertederos ilegales. El año 2003, en Chile, se evitó enviar a la basura 418.000 toneladas de chatarra. Esto equivale a un volumen de basura de 3 vertederos, como Santa Marta, al año.

Fabricar a partir de segundas materias reduce la utilización de los recursos naturales y el consecuente impacto para el planeta. En el caso del acero, ahorra materias primas como la piedra caliza, el mineral de hierro y el coque. Por cada tonelada de acero usado que reciclamos, ahorramos una tonelada y media de mineral de hierro y unos 500 kilogramos del carbón que se emplea para hacer el coque. Además, se elimina una serie de pasivos ambientales presentes en la explotación de un mineral, como es el ruido y la contaminación atmosférica (polvo en suspensión).

Se logra un ahorro energético de un 70%. La siderúrgica mundial a partir de la chatarra ahorra un consumo eléctrico equivalente al que registran 110 millones de hogares. En Chile ese ahorro representa, en un año, el consumo de electricidad de unos 80 mil hogares, lo cual equivale aproximadamente al gasto de la Primera Región. El consumo de agua se ve reducido en un 40%.

Genera empleo y pequeñas microempresas a su alrededor. El proceso de recolección de chatarra supone la creación de pequeñas unidades de abastecimiento, similar a como operan los recolectores de cartón. En Chile, la red de chatarreros consiste en una industria de más de un centenar de pequeños y medianos proveedores, localizados principalmente en las ciudades más populosas del país. Ellos son los encargados de recolectar, clasificar, procesar y transportar a la industria siderúrgica nacional esta preciosa materia prima.

Cada tonelada de acero reciclado de envases hace que los ahorros ambientales siguientes: 1,5 toneladas de mineral de hierro 0,5 toneladas de carbón 40% del agua requerida en la producción 75% de la energía necesaria para fabricar acero

a partir de material virgen 1,28 toneladas de residuos sólidos de la reducción de emisiones a la atmósfera en un 86% Reducción de la contaminación del agua en un 76%.

**2.4.3.2 Aluminio.** Los yacimientos, de donde se extrae industrialmente el material, son depósitos de los mismos que están siendo poco a poco agotados. En los nuevos yacimientos se debe invertir mayor capital, porque los minerales se encuentran más adentrados en la corteza terrestre y en lugares más remotos del centro de producción, a su vez estos acarrear mayores impactos ambientales, y son de peor calidad.

El cobre, desde los 80, procede de lugares económicamente remotos, como Chile, Zambia, Zaire, Nueva Guinea. Hasta hace solo 4 años, estos países representaban el 8% del cobre en la Tierra, hoy representan, menos del 1%. En 1990, para obtener los, casi, 9 millones de toneladas de cobre que se produjeron, hubo que extraer y reprocesar 990 toneladas de mineral.

**2.4.4 Plástico.** La producción y uso de los plásticos tiene una serie de impactos ambientales. En primer lugar, la producción de plásticos requiere cantidades significativas de recursos, principalmente los combustibles fósiles, tanto como materia prima y para suministrar energía para el proceso de fabricación. Se estima que el 4% de la producción mundial anual de petróleo se utiliza como materia prima para la producción de plásticos y un 3-4% adicional durante la fabricación.

**2.4.5 Neumático.** Deshacerse de forma limpia de los neumáticos inservibles no es nada fácil. La quema directa de este tipo de residuos, por ejemplo, provoca la emisión a la atmósfera de gases y partículas nocivas. Y como la combustión en hornos de alta calidad que garanticen un mínimo de emisiones resulta muy cara, año tras año, toneladas de neumáticos acaban sus días abandonados en campos

y cunetas, o almacenados en vertederos. Según el Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM), éste es el destino final del 82,8% de las 250.000 toneladas de neumáticos fuera de uso (NFU) que se generan cada año en España.

Además del impacto visual y el espacio que ocupan las pilas de goma y caucho, la degradación química parcial que sufren los neumáticos -mayor o menor, dependiendo de las condiciones de almacenamiento- hacen de los cementerios de ruedas lugares cuando menos poco seguros. Mucho mayor, por supuesto, es el impacto ambiental de los neumáticos que acaban en el campo o en vertederos incontrolados, verdaderos focos de contaminación. Por no hablar del derroche que supone no aprovechar un material en cuya fabricación se invirtieron ingentes cantidades de energía: para fabricar una rueda de camión hace falta medio barril de petróleo.

Para seleccionar los materiales en este filtro, se tomo como base el impacto ambiental que genera la no reutilización de estos, por lo tanto el hecho de que este genere un mayor impacto negativo al medio ambiente, la reutilización del mismo generara un mejoramiento al mismo, es decir que desde los dos puntos de vista el orden de elegibilidad seria el mismo, continuación se muestra la selección de los mismos:

**Tabla 11. Orden de elegibilidad de los materiales según el impacto ambiental**

<b>MATERIAL</b>	<b>ORDEN DE IMPORTANCIA</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>
<b>NEUMATICO</b>	1	Muy Alto
<b>METAL</b>	2	Alto
<b>PLASTICO</b>	3	Alto
<b>VIDRIO</b>	4	Medio
<b>TEXTILES</b>	5	Bajo
<b>PAPEL Y CARTON</b>	6	Bajo
<b>MADERA</b>	7	Muy Bajo

**Fuente:** análisis elaborado por los autores

## 2.5 SELECCIÓN POR USOS ANTERIORES

Para mejorar la objetividad de la selección es importante analizar los usos anteriormente dados a estos residuos, para esto se presenta un grafico ilustrativo de las aplicaciones encontradas a los residuos sólidos.

**Tabla 12. Utilización de los residuos sólidos**

MATERIAL	UTILIZACION	NIVEL DE UTILIZACION
NEUMATICO	Pavimento mejorado con goma de caucho	MUY ALTO
	Estabilización de taludes	
	Rellenos	
	Suelo mejorado con goma de caucho	
	En vías ( base, subbase, rellenos)	
METAL	Refuerzo	BAJO
	Rellenos	
PLASTICO	Madera mejorada con plástico	ALTO
	Perfiles	
	Pavimento mejorado con plástico	
	Rellenos	
VIDRIO	No se encontró	MUY BAJO
TEXTIL	No se encontró	
PAPEL Y CARTON	Rellenos	MEDIO
	Ladrillos de lodo	
MADERA	Madera mejorada con plástico	ALTO
	Zanjas	
	Perfiles	

**Fuente:** Los autores con información leída

Para escoger los materiales a profundizar se colocó un porcentaje de asignación a cada uno de los análisis anteriores, se seleccionaron únicamente cinco de los materiales expuestos anteriormente, en la tabla 2.12 se indica el procedimiento para este procedimiento se hizo necesario dar un porcentaje para cada criterio de la siguiente manera:

**Tabla 13. – Porcentaje dado a los niveles de impacto**

	<b>% Asignados</b>
<b>Muy Alto</b>	100-80
<b>Alto</b>	80-60
<b>Medio</b>	60-40
<b>Bajo</b>	40-20
<b>Muy Bajo</b>	20-0

Fuente: los autores

**Tabla 14. Selección de los cinco residuos sólidos a profundizar**

<b>MATERIAL</b>	<b>% POR CANTIDAD PRODUCIDA</b>	<b>%DE REUTILIZACION</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>NIVEL DE UTILIZACIÓN</b>	<b>TOTAL</b>
<b>NEUMATICO</b>	5%	42%	Muy Alto	Muy Alto	65,0545
<b>METAL</b>	No se encontró	70%	Bajo	Bajo	20,07
<b>PLASTICO</b>	4%	56%	Alto	Alto	52,066
<b>VIDRIO</b>	7%	80%	Medio	Muy Bajo	27,0975
<b>TEXTILES</b>	3%	No se encontró	Bajo	Muy Bajo	20,0075
<b>PAPEL Y CARTON</b>	18%	81,30%	Bajo	Medio	32,1263
<b>MADERA</b>	5%	No se encontró	Muy Bajo	Alto	31,0125
<b>% escogencia</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	

Fuente: análisis elaborado por los autores

De acuerdo con el porcentaje de peso, la asignación de los niveles de impacto anteriormente dados se ah seleccionado los siguientes materiales para profundizar en el siguiente capítulo de este libro.

- Neumático

- Plástico
- Papel y cartón
- Madera

En el siguiente capítulo se realizara la profundización de las propiedades y características de cada uno de los Residuos escogidos.

### **3 PROFUNDIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS SELECCIONADOS**

Para evaluar correctamente el estado de la reutilización de los residuos sólidos en la región se hace necesario profundizar sobre cada uno de los materiales seleccionados en el capítulo anterior. Por esto el presente capítulo consta de una caracterización de cada material.

#### **3.1 NEUMÁTICO O GOMA DE CAUCHO**

**3.1.1 Problemática.** Cada año en Colombia entran en desuso más de 158 mil toneladas de llantas, que en la mayoría de los casos son arrojadas a los ríos y quebradas, abandonadas a la intemperie, quemadas de manera ilegal y clandestina o utilizadas para insalubres usos domésticos. En Colombia se generan aproximadamente más de 4'700.000 neumáticos al año, en comparación con otros países es una producción un poco baja (revisar tabla 2.4). Pero igualmente significativa tanto ambientalmente como a nivel ingenieril.

Las llantas tienen un periodo de biodegradación de aproximadamente 800 años. Son además eco-tóxicas, inflamables y facilitan la propagación de diversas plagas como el dengue y otras enfermedades transmitidas por los mosquitos que incuban sus huevos en los depósitos de aguas lluvias al interior de las llantas. Al ser quemadas, se convierten en elementos altamente nocivos para el medio ambiente y para la salud humana al emanar componentes cancerígenos y mutagénicos. Además, contaminan el agua y el suelo con cenizas, impactando negativamente plantas y animales y deteriorando el paisaje y el entorno.

**Tabla 15. Cantidad de llanta desechada por año en los 11 países más representativos.**

<b>PAIS</b>	<b>LLANTAS GENERADAS</b>
<b>EE.UU</b>	300.000.000
<b>ALEMANIA</b>	74.000.000
<b>FRANCIA</b>	40.000.000
<b>ESPAÑA</b>	35.000.000
<b>BRASIL</b>	35.000.000
<b>REINO UNIDO</b>	33.000.000
<b>MEXICO</b>	25.000.000
<b>COLOMBIA</b>	4.700.000
<b>COSTA RICA</b>	4.000.000
<b>PUERTO RICO</b>	4.000.000
<b>SALVADOR</b>	3.000.000

**Fuente:** Proyecto de grado Gómez y Munevar 2008

La quema no controlada usualmente hecha en lotes baldíos, calderas y algunas productoras de alimentos; esparce en el ambiente, elementos como dioxinas, furanos, bifenoles, policlorhidratos, plomo, zinc, cromo, arsénico, entre muchos otros; que atacan agresivamente la salud humana y provocan consecuencias congénitas irreversibles.

**3.1.2 Composición Y Características del material.** Los neumáticos generalmente tienen hilos que los refuerzan. Dependiendo de la orientación de estos hilos, se clasifican en diagonales o radiales. Los de tipo radial son el estándar para casi todos los automóviles modernos. Están constituidos por una cubierta, banda de rodadura de goma labrada, que tiene la finalidad de evitar el derrape del vehículo; una carcasa, estructura resistente, formada por capas de hilos o de cables incorporados en el caucho, y una cámara de aire (ausente en aquellas llantas en las que la presión de aire está asegurada por una mezcla especial con la que se recubre el interior de la carcasa).

Su masa principal se consume para la fabricación de cubiertas y cámaras de neumáticos para automóviles, aviones, bicicletas, etc.

También emplea para la producción de correas de transmisión, cintas transportadoras, mangueras, aislamiento eléctrico, calzado, objetos para atender los enfermos, etc.

**3.1.2.1 Química.** El neumático está fabricado a base de caucho y el caucho se compone de dos elementos: el carbono y el hidrógeno, es decir, pertenece a la clase de hidrocarburos.

El caucho es un polímero natural con la fórmula molecular  $(C_5H_8)_n$ .

El caucho de butadieno  $(-CH_2 - CH = CH - CH_2 -)_n$  posee buena impermeabilidad al agua y a los gases, sin embargo, es inferior al caucho natural en cuanto a su elasticidad y resistencia al desgaste. Actualmente, la industria produce una serie de cauchos sintéticos.

Unos se caracterizan por alta resistencia mecánica, otros, por alta estabilidad química, otros más son especialmente estables a la acción de los disolventes, etc. Cada uno de estos cauchos encuentra su aplicación en correspondencia con sus propiedades.

**3.1.2.2 Mecánica.** Salvo cuestiones de detalle o magnitud, los cauchos SBR se procesan en los mismos equipos y del mismo modo que el Caucho Natural. La primera diferencia radica en que requieren menos masticación inicial para un adecuado procesamiento posterior (en algunos casos casi ninguno) de modo que permiten un mayor rendimiento del equipo de mezclado. En cambio requieren algo más de potencia y generan más calor durante el mezclado. Dado que su viscosidad es más constante y menos sensible a la masticación mecánica, permiten establecer condiciones de trabajo normalizadas con menor riesgo de variación incluso frente a desviaciones del procesamiento.

Otra diferencia que se puede establecer entre el SBR y el Caucho Natural es el menor nivel de pegajosidad en crudo del primero. Si se requiere aumentarla, se deberán utilizar resinas que favorezcan esta característica, en tipo y cantidad acordes con las necesidades en proceso.

Debido a su mayor capacidad de carga (negro de humo), los SBR pueden mezclarse con secuencia invertida (ciclo up-side down) en menor tiempo y con óptima dispersión de mezclado.

Sus propiedades de extrusión son superiores a las del Caucho Natural por tener menor tendencia a la prevulcanización (excepto que el nivel y tipo de negro de humo influya más que el caucho en este aspecto).

- **Propiedades De Ruptura**

Ya hemos mencionado anteriormente que, debido a que su estructura molecular no permite la cristalización, los cauchos SBR no tienen buenas propiedades mecánicas por si solos y requieren altos volúmenes de carga reforzante en los compuestos. El tamaño de partícula del negro de humo empleado juega un papel importante en la carga de rotura de los compuestos de caucho SBR. Los compuestos que contienen negros de tamaño de partícula pequeño, dan los valores más altos en carga óptima; con un exceso de negro de humo, más allá de un cierto nivel, la carga de rotura comienza a decrecer.

- **Propiedades Dinámicas**

Las propiedades dinámicas del caucho SBR limitan su uso para aplicaciones donde la generación de calor debido a sollicitaciones cíclicas es importante: debido a su gran fase plástica, los vulcanizados de SBR tienen alta histéresis. Quizás este comportamiento sea la diferencia más grande que, con respecto a las propiedades dinámicas, tenga el caucho SBR con respecto al Natural. Esta desventaja del SBR es crítica, cuando se trata de artículos de goma de gran

espesor, sometidos a esfuerzos repetitivos debido a la mala conductividad térmica de la goma y a su consecuente ineficiencia en la disipación de calor.

Ante el fenómeno de fatiga, el SBR tiene una gran resistencia al agrietamiento pero falla en materia de crecimiento de grietas o cortes, debido a sus relativamente bajas propiedades de ruptura. Todas estas desventajas se pueden mejorar combinando las propiedades de los diferentes cauchos en mezclas de SBR/NR, en proporciones que dependen de los requisitos y condiciones de uso a que van a someterse los compuestos.

- **Degradación**

De los dos tipos de degradación se puede afirmar que el caucho SBR aventaja al natural tanto en resistencia a la reversión como en resistencia al ozono, y envejecimiento oxidativo en general.

Su resistencia al ozono le da mayor posibilidad de uso en artículos expuestos a la intemperie cuando no hay razones que justifiquen el uso de otro elastómero más resistente.

- **Abrasión**

El caucho SBR tiene buena resistencia al desgaste, especialmente a aquel que responda más a mecanismos de fatiga por rozamiento. En este sentido se comporta mejor que el Caucho Natural y de ahí su adopción casi universal en las bandas de rodamiento para neumáticos de automóviles. (su alta histéresis, que se manifiesta en una mayor generación de calor, restringe su uso en cubiertas de vehículos pesados, donde el espesor de la banda de rodamiento no permite como ya se dijo, disipar el calor en perjuicio de la resistencia y duración del casco de la cubierta). Su resistencia a la abrasión se incrementa de acuerdo al tipo y cantidad de negro de humo empleado y se puede mejorar notablemente si se utiliza al SBR combinado con Caucho Polibutadieno en la formulación.



- **INNERLINER:** Es el revestimiento protector de la estructura en la parte interna del neumático. En el caso de los neumáticos radiales de acero sin cámara, éstas tienen impermeabilidad al aire y a la humedad.
- **PARED LATERAL:** Es la parte de la estructura que va de la banda de rodamiento hasta el talón, siendo revestida por un compuesto de caucho con alta resistencia a la fatiga por flexión.
- **TALONES:** Están compuestos de cables de acero revestidos en cobre para evitar la oxidación, separados individualmente por compuestos de caucho para evitar el contacto entre ellos y revestidos de tejido tratado. Su función es amarrar el neumático a la llanta y tener alta resistencia a la rotura.

### 3.1.3 Sistemas De Reciclaje Y Tratamiento

- La reutilización de los neumáticos mediante un método conocido como reencauche que consiste en adherir al neumático capas nuevas del neumático desechado para ser nuevamente utilizable, esta es una solución parcial, ya que en algún momento el neumático no podrá ser reencauchado más y finalmente tendrá que ser desechado.
- Recuperación del neumático en la quema directa para generar energía, algunas fábricas de cemento los utilizan como combustible para su hornos; pero esto me genera residuos nocivos para el ambiente, principalmente debido a emisiones de humo cargadas con materiales pesados altamente contaminantes.
- Reciclaje de la goma del neumático mediante granulación y otros métodos, con lo cual se obtienen pedazos de goma de diferentes tamaños los cuales pueden ser utilizados ya sea como agregado o para productos moldeados.
- Reciclaje de neumáticos por medio de la regeneración este método consiste en la recuperación del caucho vulcanizado mediante la des vulcanización o despolimeración.

- Reciclaje del neumático por medio de la termólisis el cual consiste en someter a los neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno; esto destruye los enlaces químicos y se obtienen los compuestos originales de los neumáticos.
- Reciclaje de neumáticos por medio de la pirolisis es un caso especial de la termólisis y consiste en la degradación del neumático mediante el calor y en ausencia de el oxígeno; está poco extendido, debido a problemas de separación de compuestos carbonados que ya están siendo superados.

#### **3.1.4 Aplicaciones de reutilización en la ingeniería civil:**

1. Sistemas de drenaje: de agua lluvia, de pozos sépticos, absorción de metales pesados y absorción de lixiviados
2. Rellenos y suelos reforzados: los rellenos para terraplenes, rellenos detrás de muros y rellenos para estabilizar taludes.
3. Taludes: sistemas de colección de aguas, protección de capas de geotextil, capaz de drenaje en taludes.
4. Control de erosión: control de erosión fluvial y marítima.
5. Protección Ambiental: barreras artificiales.
6. Aislamiento Térmico: aislamiento térmico en vías y estructuras.
7. Caucho – asfalto: capas de pavimento, pistas atléticas.
8. Vías: mezclado con suelos y compactado como subbase y base granular.
9. Agregado como mezcla de concreto: fachadas y elementos decorativos, aceras peatonales.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Proyecto Viabilidad De Reciclaje De Neumáticos En Aplicaciones De Ingeniería Civil - Uis – 2003

## 3.2 LA MADERA

La madera es un material de origen natural, ortotropico encontrado principalmente en el tronco de los arboles. Los troncos de los arboles crecen cada año e incrementan la cantidad de anillos que tiene al pasar de estos, y están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. La madera es utilizada para fines estructurales desde los principios de la civilización por ser un material fácil de adquirir y altamente resistente. Hoy por hoy es utilizada para fabricar pasta, materia prima para hacer papel, muebles y encerados, construcciones civiles en edificaciones, entre otras utilidades.

**3.2.1 Problemática.** Colombia es un país tercermundista, que necesita desarrollarse de manera apresurada y competir eficazmente con la economía mundial, para desarrollarse económicamente necesita implementar nuevas tecnologías de bajo costo, que permitan la optimizar recursos para garantizar el crecimiento. Este crecimiento va de la mano con el incremento de la población y con ella el aceleramiento de construcción de obras civiles que satisfagan las necesidades de la población, del mercado y del estado.

Este tipo de países por no ser industrializados no han sentido los efectos negativos en términos ambientales que están afrontando países desarrollados como lo son los Estados Unidos, España, Japón y China, es por esto que crecen de manera agigantada sin medir las consecuencias ambientales que esto implica, es decir incrementan la tala de árboles, la alteración de los suelos, disposición inadecuada de residuos provenientes de la construcción civil, decremento de la flora y fauna silvestre, disminución de la calidad de vida del ser humano y aumento del calentamiento global y el efecto invernadero.

**3.2.2 Características y composición madera.** Las propiedades físicas de la madera son la resistencia, dureza, rigidez y densidad. Esta última suele indicar las propiedades mecánicas puesto que más densa en la madera más fuerte y dura es. La resistencia engloba varias propiedades diferentes; una muy resistente en un aspecto no tiene por qué serlo en otros. Además la resistencia depende de la madera que sea y en la que se corta respecto de la veta. La madera es mucho más fuerte cuando se corta en la dirección de la veta; por eso las tablas y los objetos como postes y mangos se cortan así. La madera tiene una resistencia a la compresión, en algunos casos superior, con relación a su peso a la del acero. Tiene baja resistencia a la tracción y moderada resistencia a la cizalla.

**3.2.2.1 Propiedades mecánicas de la madera<sup>8</sup>.** Cuando hablamos de las propiedades mecánicas de la madera, tenemos que hacer hincapié en su constitución anatómica. La madera es un material anisotrópico formado por tubos huecos con una estructura ideal para resistir tensiones paralelas a la fibra.

La madera tiene una muy elevada resistencia a la flexión. La relación resistencia/peso propio es 1.3 veces superior al acero y 10 veces superior al hormigón. La resistencia a la tracción y compresión paralelas a la fibra es muy buena en la madera. Las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son mucho más elevados que en la dirección perpendicular.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre propiedades mecánicas que tiene la madera con respecto al acero y el hormigón:

---

<sup>8</sup> [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_civil/madera/default2.asp](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_civil/madera/default2.asp)

**Tabla 16. Caracterización de la madera.**

MATERIAL	FLEXION	TRACCION		COMPRESION		CORTANTE	MODULO DE ELASTICIDAD
		PARALELO	PERPENDICULAR	PARALELO	PERPENDICULAR		
MADERA	120	120	1.5	110	28	12	110000
HORMIGON	80	6		80		6	200000
ACERO	1700	1700		1700		1000	2100000

Fuente: [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_civil/madera/default2.asp](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_civil/madera/default2.asp)

Como se puede extraer de la tabla anterior el valor relativamente bajo de la densidad de la madera, comparada con su resistencia y modulo de elasticidad, la convierte en un material especialmente adecuado para aplicaciones estructurales.

Las soluciones constructivas en madera resultan más ligeras que las de acero y mucho más ligeras que las de hormigón. La madera sin defectos resulta 3.6 veces más resistente que el acero a igualdad de peso en valores de rotura. Si se comparan los valores de las tensiones admisibles considerando en la madera la influencia de los defectos ambas relaciones resultan similares. La relación de rigidez / peso es más favorable a la madera, es decir, la madera resulta 1.3 veces más rígida a igualdad de peso frente al acero. Por último si comparamos la energía necesaria para la fabricación del material, el resultado de la relación entre rigidez y energía necesaria para obtener el material es 80 veces más favorable para la madera.

- **Elasticidad - Deformabilidad:** bajo las cargas pequeñas, la madera se deforma de acuerdo a la ley de Hooke, o sea, que las deformaciones son proporcionales a las tensiones. Cuando se sobrepasa el límite de proporcionalidad la madera se comporta como un cuerpo plástico y se produce una deformación permanente. Al seguir aumentando la carga, se produce la rotura.

Este modulo dependerá de la clase de madera, del contenido de humedad, del tipo y naturaleza de las acciones, de la dirección de aplicación de los esfuerzos y de la duración de los mismos. El valor del modulo de elasticidad en el sentido transversal a las fibras será de 4000 a 5000 Kg/ cm<sup>2</sup>. El valor del modulo de elasticidad E en el sentido de las fibras será de 80.000 a 180.000 Kg/ cm<sup>2</sup>.

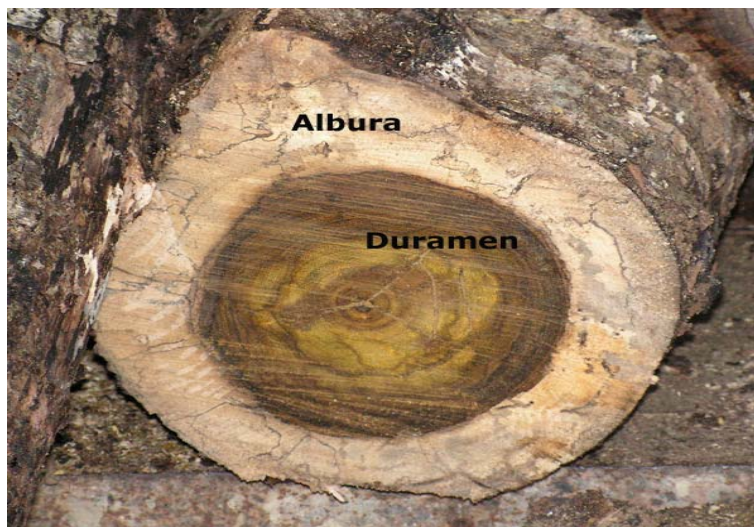
- **Flexibilidad:** es la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse. Si son elásticas recuperan su forma primitiva cuando cesa la fuerza que las ha deformado. La madera presenta especial aptitud para sobrepasar su límite de elasticidad por flexión sin que se produzca rotura inmediata, siendo esta una propiedad que la hace útil para la curvatura.
- **Dureza:** es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura. Se manifiesta en la dificultad que pone la madera de ser penetrada por otros cuerpos o ser trabajada. La dureza depende de la especie, de la zona del tronco, de la edad. En general suele coincidir que la más duras son las más pesadas.
- **Cortadura:** Es la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección del esfuerzo es perpendicular a la dirección de las fibras. Si la fuerza es máxima en sentido perpendicular a las fibras será cortadura y si es mínima en sentido paralelo a las mismas será desgarramiento.
- **Resistencia a la tracción:** La madera es un material muy indicado para trabajar a tracción (en la dirección de las fibras), viéndose limitado su uso únicamente por la dificultad de transmitir estos esfuerzos a las piezas. Esto significa que en las piezas sometidas a tracción los problemas aparecerán en las uniones. Si se realiza un esfuerzo de tracción en la dirección axial, la

magnitud de la deformación producida será menor que si el esfuerzo es de compresión, sobre todo en lo que concierne a las deformaciones plásticas. Es decir que la rotura de la madera por tracción se puede considerar como una rotura frágil.

- **Resistencia a la Compresión:** La madera, en la dirección de las fibras, resiste menos a compresión que a tracción, siendo la relación del orden de 0,50, aunque variando de una especie a otra de 0,25 a 0,7. La alta resistencia a la compresión es necesaria para cimientos y soportes en construcción. La resistencia a la flexión es fundamental en la utilización de madera en estructuras, como viguetas, travesaños y vigas de todo tipo. Muchos tipos de madera que se emplean por su alta resistencia a la flexión presentan alta resistencia a la compresión y viceversa; pero la madera de roble, por ejemplo, es muy resistente a la flexión pero más bien débil a la compresión, mientras que la de secuoya es resistente a la compresión y débil a la flexión.

### 3.2.2.2 Estructura Macroscópica de la madera

Figura 5 estructura de la madera



Fuente: <http://maderaspr.uprm.edu/propiedades.pdf>

- **Corteza externa:** es la capa más externa del árbol. Está formada por células muertas del mismo árbol, y cumple la función de proteger las capas internas de los agentes atmosféricos.
- **Cambium:** es la capa que sigue a la corteza y da origen a otras dos capas: la capa interior o capa de xilema, que forma la madera, y una capa exterior o capa floema, que forma parte de la corteza.
- **Albura:** es la madera de más reciente formación y por ella viajan la mayoría de los compuestos de la savia. Las células transportan la savia, que es una sustancia azucarada con la que algunos insectos se pueden alimentar. Es la capa más blanca del tronco porque por ahí viaja la más cantidad de savia.
- **Duramen:** es la parte más dura y consistente del tronco, está formada por células fisiológicamente inactivas y se encuentra en el centro del tronco. Es la parte más oscura debido a que la savia no fluye por ella.
- **Medula:** es la zona central del tronco, que posee escasa resistencia, por lo que no se recomienda utilizar.

#### 3.2.2.2.1 Estructura Microscópica de la madera.

- **Radios leñosos:** Son bandas o laminas delgadas de un tejido, cuyas células se desarrollan en dirección radial, o sea, perpendicular a los anillos de crecimiento. Ejercen una función de trabazón. Almacenan y difunden las materias nutritivas que aporta la savia descendiente. Contribuyen a que la deformación de la madera sea menor en dirección radial que en la tangencial. Son más blandos que el resto de la masa leñosa. Por ello constituyen las zonas de rotura a compresión, cuando se ejerce el esfuerzo paralelamente a las fibras.

- **Anillos Anuales:** cada anillo corresponde al crecimiento anual, consta de dos zonas claramente diferenciadas:
  - Una formada en épocas húmedas: predominan en ella los vasos gruesos que conducen la savia bruta hasta las hojas.
  - Otro formado en épocas secas: tienen vasos más pequeños y apretados. Sus fibras forman el tejido de sostén.

**3.2.3 Reciclaje De La Madera.** Teniendo en cuenta que los bosques son una parte vital del ecosistema. El reciclaje de la madera se hace necesario con urgencia, en países industrializados como Estados Unidos, España, Japón y China la madera se convierte en el 10% de los residuos. En España, el índice de recuperación de la madera es del 80%.

Para el reciclaje de la madera es importante disponer de sitios especializados, es decir, que en estos no haya acceso a efectos atmosféricos que pudran la madera, como lo es la humedad y el sol, y Asu vez la proteja de los insectos y polillas que la destruyan. En Colombia no se cuenta con este tipo de lugares para la disposición final de la madera, así que esta es desechada por las personas y es llevada a los botaderos convencionales, en estos lugares se descompone o se recoge por recicladores informales quienes la venden posteriormente. Esto sucede porque en Colombia no es implantando el reciclaje de residuos sólidos como política de estado.

#### **3.2.4 Aplicaciones de reutilización en la ingeniería civil**

- Utilizar la madera como aglomerado, mantillo y material para construir carreteras.

- Fabricación de perfiles de madera plástica WPC para construcción de viviendas de interés social y cercas de encerramiento de fincas.
- Fabricación de ladrillos y losetas con madera plástica WPC utilizando procesos de extrusión, para construcción de casas de interés social.
- Construir con madera reciclada las formaletas y casetones para obras de construcción de edificaciones.

### **3.3 EL PLÁSTICO**

Los plásticos son sustancias de origen orgánico formadas por largas cadena macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrogeno principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materia primas de origen sintético o natural. Es posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión.

Los polímeros son compuestos orgánicos que se derivan de la unión de dos o más moléculas simples llamadas monómeros, por medio de reacciones de poli adición o de policondensacion. Se distinguen los compuestos dímeros, trímeros, tetrámeros, etc. Según si están como compuestos por dos, tres, cuatro moléculas o más.

**3.3.1. Problemática.** Si se observa con detenimiento la mayoría de los empaques que provienen de los productos producidos son a base de polímeros, como bolsas plásticas, envases de bebidas, entre otros, este tipo de materiales no son biodegradables y por lo tanto hacen un gran daño al medio ambiente, al suelo, a los ríos, transportan enfermedades y producen apilamiento de residuos de difícil descomposición, se debe mencionar que solo un pequeño porcentaje de estos son reciclados y reutilizados.

### 3.3.2. Métodos Principales Para Obtener Plásticos.

- **Compresión:** este procedimiento utiliza la materia en estado de prepolimero, el cual se coloca dentro de un molde antes de ser calentada y luego comprimida. La polimerización se efectuó entonces dentro del molde. La compresión permite fabricar objetos de tamaños pequeños y medianos en termoendurecibles.
- **Estratificación:** es una técnica que consiste en impregnar con resina termoendurecible capas superpuestas de soportes como madera, papel o textiles. Estas son luego presentadas y calentadas a alta presión con el fin de provocar la polimerización. Al estar reservado a los productos termoendurecibles, con este tipo de procedimiento no se pueden fabricar productos planos.
- **Extrusión:** es un procedimiento de transformación en modo continuo, la extrusión consiste en utilizar como materia prima el plástico en forma de gránulos o polvo, introducido dentro de un cilindro calentador antes de ser empujado por un tornillo sin fin. Una vez reblandecida y comprimida, la materia pasa a través de una boquilla que va a darle la forma deseada. La extrusión es utilizada en particular en la fabricación de productos de gran longitud como canalizadores, cables, enrejados y perfiles para puertas y ventanas-
- **Extrusión inflado:** esta técnica consiste en dilatar por medio de aire comprimido una funda anteriormente formada por extrusión. De ese modo se obtienen películas utilizadas en particular en la fabricación de bolsas para la basura o para conglomeración y revestimientos para invernaderos.
- **Inyección:** es una técnica que consiste en amansar materia ablandada mediante un tornillo que gira dentro de un cilindro calentado y luego se introduce este bajo presión en el interior del molde cerrado. Al ser utilizada en la fabricación de piezas industriales en particular para los sectores del

automóvil, de la electrónica, de la aeronáutica y del sector médico, la inyección es una técnica que permite obtener en una sola operación productos acabados y formas complejas cuyo peso puede variar de algunos gramos a kilos.

**3.3.3. Composición y Características.** Las propiedades fundamentales lo determina la estructura interna de los plásticos. Por ejemplo, los plásticos son malos conductores del calor y de la electricidad, es decir, son aislantes y esto se debe a que sus enlaces son por pares de electrones ya que no disponen de ningún electrón libre.

Tienen densidades más bajas debido a que su estructura es "más suelta", y una serie de características que se analizarán a continuación.

**3.3.3.1. Mecánicas.** Los plásticos tienen una estructura molecular. Por esta razón, los plásticos presentan una resistencia mecánica relativamente menor, un módulo de elasticidad menor, dependencia de las propiedades mecánicas con respecto al tiempo, dependencia de la temperatura principalmente los termoplásticos, gran sensibilidad al impacto aunque en este punto existen grandes diferencias desde los quebradizos como un Poliestireno hasta un resistente Policarbonato.

Los termofijos, debido a sus reticulaciones, carecen de deslizamiento interior y a eso deben ser básicamente más quebradizos que los termoplásticos. Por su parte algunos termoplásticos como el Polipropileno, el Nylon, el Polietileno y los Poliésteres lineales, pueden someterse a estirado, con lo cual las moléculas se orientan en la dirección del estirado.

La fuerza del enlace de valencias se deja notar en este fenómeno, lo cual se manifiesta en una extraordinaria resistencia. El comportamiento de deformación y

recuperación interna de los plásticos le confiere una, gran propiedad llamada memoria.

**3.3.3.2. Térmicas.** El comportamiento térmico de los plásticos también es función de su estructura; los plásticos termofijos son quebradizos a lo largo de todo el intervalo de temperaturas, no reblandecen y no funden; un poco por debajo de su temperatura de descomposición  $T_z$  se observa una pérdida de rigidez.

Los termoplásticos se vuelven quebradizos a bajas temperaturas que son específicas para cada uno de ellos. Si las temperaturas aumentan, se produce un descenso constante del módulo de elasticidad, es decir, disminuye la rigidez.

Al aplicar calor continuo a los termoplásticos amorfos, sufren un reblandecimiento, es decir, la transición a un estado termoelástico. De esta zona, con pequeñas fuerzas se provocan grandes deformaciones; si se sigue calentando se incrementa la movilidad térmica de las moléculas provocando que las cadenas puedan deslizarse unas frente a otras. Esta zona limita con la temperatura de descomposición.

Al aumentar la temperatura es posible moldearlos cuando los fragmentos cristalinos alcanzan el intervalo de la temperatura de fusión. Inmediatamente sigue el estado termoplástico y al seguir aumentando la temperatura, este estado se caracteriza por la transparencia que adopta el plástico antes opaco. Esta zona limita la temperatura de descomposición del plástico.

Por su misma estructura, sufren una dilatación volumétrica relativamente grande con el aumento de temperatura. En los plásticos reforzados esta dilatación es menor, y está en función del tipo y cantidad de material de refuerzo.

Como ya se mencionó, los electrones de los plásticos carecen de movilidad, por ello, son materiales con conductividad térmica baja, siendo aislantes térmicos.

**3.3.3.3. Eléctricas.** Ya que los plásticos no disponen de electrones libres móviles, tienen un buen comportamiento como aislantes, es frecuente utilizarlos en la industria eléctrica y electrónica, por ejemplo, para carcazas, aislantes; enchufes, recubrimiento de cable y alambre, entre otros.

**3.3.3.4. Químicas.** Los plásticos por ser materiales inertes frente a la mayoría de las sustancias líquidas, sólidas y gaseosas comunes, muestran mejores propiedades químicas que los materiales tradicionales como papel, madera, cartón y metales, siendo superados únicamente por el vidrio.

Sin embargo, los plásticos continúan mostrando crecimientos en aplicaciones que requieren contacto con diversos tipos de solventes y materiales corrosivos, aún en los que anteriormente se utilizaba el vidrio, donde lo más importante es seleccionar el tipo de plástico ideal, tomando en cuenta las condiciones de presión, temperatura, humedad, intemperismo y otras que puedan acelerar algún proceso de disolución o degradación.

**3.3.3.5. Absorción De Humedad.** Esta propiedad es distinta para los diferentes tipos de plásticos, consiste en la absorción de humedad presente en el aire o por la inmersión en agua, siendo dependiente del grado de polaridad de cada plástico. Por ejemplo, los plásticos no polares absorben muy poca agua; en cambio, los plásticos polares como los, absorben gran cantidad de ella.

**3.3.4. Reciclaje Del Plástico.** Es importante implementar en la sociedad una cultura que permita la generación de menos residuos, siendo uno ellos el plástico ya que aporta un 33% de los desechos a nivel internacional. El proceso del reciclaje del plástico se puede sintetizar más fácilmente haciendo recolección en

los hogares pues es donde más se consumen productos empacados con este material, continuando en los sitios de disposición final donde se reciben los residuos plásticos mixtos compactados en fardos que son almacenados a la intemperie.

Existen limitaciones para el almacenamiento prolongado en estas condiciones, ya que la radiación ultravioleta puede afectar a la estructura del material, razón por la cual se aconseja no tener el material expuesto más de tres meses. Se clasifica según el tipo de plástico en función de su composición (polietilenos, PVC, PET, ABS...) efectuando un lavado de los mismos y por su color, la selección se puede hacer de forma manual pero en países desarrollados existen tecnologías que lo hacen automáticamente.

Las principales ventajas del reciclaje del plástico:

- Disminuye la cantidad de residuos.
- Ayuda a que los rellenos sanitarios no se saturen rápidamente.
- Se ahorran recursos naturales –energía y materia prima- y recursos financieros
- La reducción en la fuente aminora la polución y el efecto invernadero. Requiere menos energía transportar materiales más livianos. Menos energía significa menos combustible quemado, lo que implica a su vez menor agresión al ambiente.

### **3.3.5. Reutilización en ingeniería civil**

- Construcción de ladrillos de plásticos para casas de interés social.
- Fabricación de perfiles de tecnología wpc para construcción de viviendas de interés social y cercas de encerramiento de fincas.
- Construcción de mampostería y acabados en construcciones civiles.
- Usos como pisos, cielos rasos, enchapes y el nuevo kit Depo.

### **3.4. PAPEL Y CARTÓN**

El papel es creado por fibras naturales, provenientes de los árboles. Este proceso consiste en que las fibras vegetales son molidas, blanqueadas, desleídas en agua, secadas y endurecidas posteriormente; a la pulpa de celulosa, normalmente, se le añaden sustancias como el polipropileno o el polietileno con el fin de proporcionar diversas características. Las fibras están aglutinadas mediante enlaces por puente de hidrógeno.

**3.4.1. Problemática.** En Colombia no se ha investigado lo suficiente en la reutilización del papel en el sector de la construcción, sin importar que este sea uno de los residuos sólidos con más existencias y de uso en la vida cotidiana. Contrario a lo que sucede en otros sectores ya que este residuo sólido es reutilizado por las empresas productoras de papel para fabricar cajas, papel reciclado, etc.

#### **3.4.2. Características**

**3.4.2.1. Físicas.** El papel es uno de los elementos más pesados pero su peso depende de la cantidad de fibras en la pasta en el proceso de fabricación, el peso se expresa por  $g/m^2$ , es muy importante esta propiedad pues depende su valor comercial y se debe mantener homogéneo en todo el proceso. La humedad del papel depende de la humedad relativa de la atmósfera dando como óptima una humedad en el papel del 4.5 a 5.5.

Así como el peso del papel depende de la fabricación hay otras propiedades que también depende de lo mismo, como son su resistencia, espesor, color, textura, opacidad y brillo.

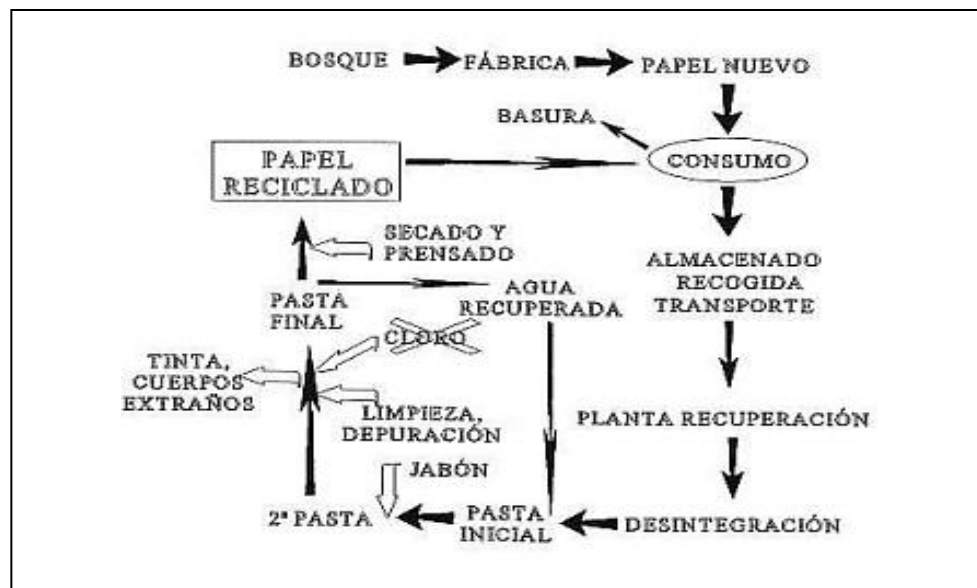
**3.4.2.2. Mecánicas.** El papel tiene propiedades mecánicas como a la resistencia, pero todas sus propiedades no son independientes entre sí, no se pueden

modificar sí que las otras se alteren, un inconveniente para los fabricantes en busca de mejorar la calidad.

Entre las resistencias que tiene el papel podemos mencionar la resistencia al rasgado, resistencia a la tensión, resistencia al levantamiento de la superficie, resistencia al doblado, rigidez y resistencia al doblado.

**3.4.2.3. Reciclaje Del Papel.** El proceso de reciclaje del papel comienza por una conciencia ambiental por parte de los ciudadanos, implementando la modalidad de reciclar desde nuestros hogares, entregando a sitios de disposición final para la reutilización del mismo. 7.000 periódicos pesan alrededor de una tonelada, lo que equivale a tres metros cúbicos de madera, o lo que es lo mismo a 13 árboles de tamaño medio, no solo reciclando estamos ayudando a los árboles sino que economizamos energía y la contaminación de las fuentes de agua por medio de las industrias.

Figura 6 procesos que sufre el desecho de papel, una vez incorporado al sistema productivo de papel reciclado:



Fuente: <http://www.manueljodar.com/pua/pua3.htm>

En las plantas de disposición final, el papel es clasificado por procesos de fabricación así; cartón, periódico, revistas, papel de oficina, papel impreso, entre otros para luego ser reutilizado.

Es importante decir que para que estos procesos de reciclaje surtan efecto se aplique la teoría de las tres R, reaprovechar, reutilizar y reciclar en todas las capas sociales y así obtener una cultura ambiental que permita la exploración de mejoramientos de otros materiales con el papel, y mantener una construcción sostenible.

#### **3.4.3. Aplicaciones De La Reutilización En La Ingeniería Civil.**

- Modificar con polímero e icopor el asfalto.
- Construcción de viviendas con mampostería de lodo modificado con papel reciclado.
- Fabricación de ladrillo con tecnología de lodo-plástico.

## **4. INDUSTRIAS NACIONALES QUE PROCESAN RESIDUOS SÓLIDOS**

### **4.1. METODOLOGÍA UTILIZADA**

Para este capítulo se realizó una búsqueda de las empresas que a nivel nacional están enfocadas al proceso de los residuos sólidos para nuevos materiales aplicables a la ingeniería civil. Dentro de la búsqueda de las empresas se encontraron las siguientes:

- **Empresa 1:** C.I. PARQUE NACIONAL MUNDO LIMPIO

**Procesa:** Neumático reciclado.

- **Empresa 2:** INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO “IDU”

**Procesa:** Pavimento mejorado con goma de caucho

- **Empresa 3:** WOOD PECKER S.A

**Procesa:** Madera plástica WPC

- **Empresa 4:** COMPUESTOS PLASTICOS LTDA.

**Procesa:** Madera plástica WPC.

- **Empresa 5:** GREEN WORKS COMPANY

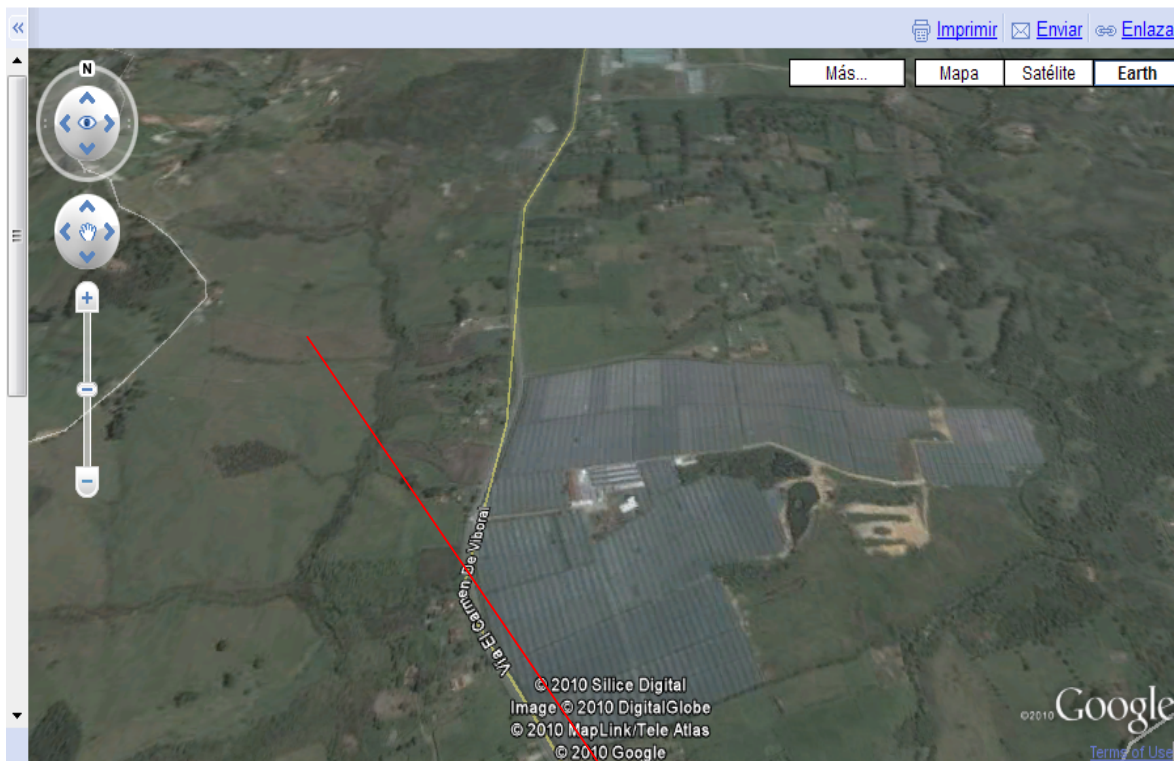
**Procesa:** Lodo modificado con papel reciclado.

Una vez ubicadas las empresas se procedió a solicitar la respectiva visita para ver la experiencia de estas en el manejo de los diferentes residuos; a continuación se presenta un resumen de cada visita.

## 4.2. EMPRESA 1: C.I. PARQUE AMBIENTAL MUNDO LIMPIO S.A

**4.2.1. Localización:** Se encuentra ubicada en la ciudad de Medellín en el departamento de Antioquia, el cuerpo administrativo se encuentra en el interior de la ciudad y a 1 hora de esta, se encuentra la planta de producción en el Parque Ambiental Km 6. Vía Rio negro – El Carmen de Viboral.

**Figura 7. Ubicación de la planta de Mundo Limpio**



Fuente: Google earth

UBICACION

#### 4.2.2. Fotografía de la empresa.

Figura 8. Fotografía de la planta de producción de Mundo Limpio S.A.



**Fuente:** Fotografía tomada el día 30 septiembre de 2010 por los autores

**4.2.3. Descripción breve de la empresa. C.I. PARQUE AMBIENTAL MUNDO LIMPIO S.A.** nace en el año 2007 , es importante decir que esta planta tiene tan solo pocos meses de estar ubicada en este sitio ya que tuvo que ser trasladada desde Copacabana por un incendio que se presentó el día 29 de julio del año 2009; dedicada a la adecuada disposición de las llantas en desuso, contribuye a la disposición limpia del residuo de llantas, reduciendo así las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyendo la propagación de enfermedades cancerígenas, muta génicas, de vías respiratorias, y de enfermedades de carácter viral; transmitidas por los insectos que se incuban sus huevos en las llantas abandonadas, y para con la construcción de un planeta más limpio.

Mundo Limpio es una empresa innovadora que ayuda a mejorar el medio ambiente para las generaciones futuras. Es una empresa joven con aspiración de crecer en el país y colocar en las principales ciudades plantas para el procesamiento de la llanta, y así mismo generar espacios libres de contaminación

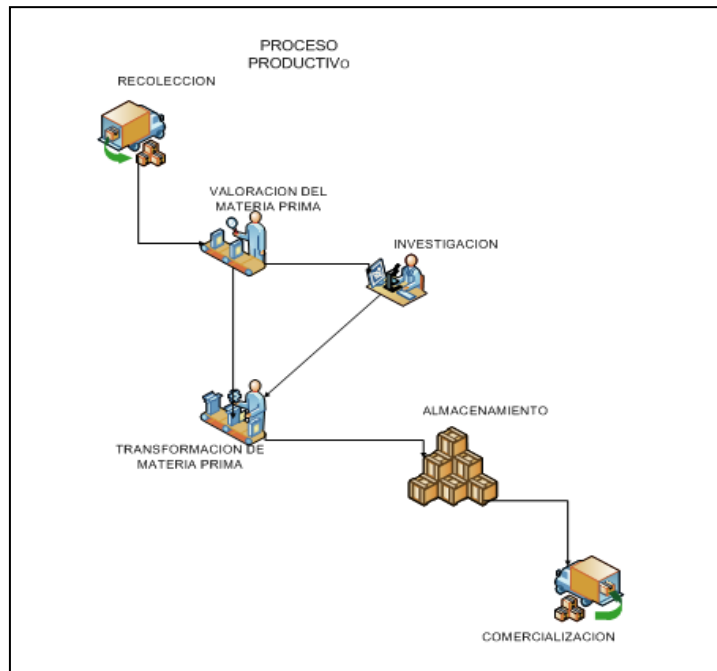
y vías con mejor tiempo de vida útil siempre y cuando estos sean mejoradas con asfalto y goma de caucho. Es una de las pocas empresas preocupadas por la reutilización de residuos sólidos en el país y se puede calificar como una de las más ecológicas ya que su proceso es totalmente limpio e innovadoras por el tipo de producto que ofrece al mercado.

La **MISION** de Mundo Limpio es investigar, transformar, educar, producir y comercializar bienes y servicios mediante la implementación de tecnología aplicada a la reconversión de residuos contaminantes y subproductos. Desarrollar su talento humano permanentemente y crear valor para sus accionistas y la sociedad en general.

**4.2.4. Proceso Productivo.** El proceso productivo se realiza mediante trituración mecánica por fricción, es decir que la llanta no se calienta, enfría y quema para ser procesada, haciendo esto que el proceso no sea contaminante para el medio ambiente. En el proceso productivo se realiza primero la obtención del material, se valora se parándolo de acuerdo a su tamaño después la separación del **acero, la fibra y el caucho** obteniendo de la llanta, al final se almacena para comercializar para su posterior utilización industrial. Hay procesos que aunque no hacen parte de la transformación de la materia prima, inciden de manera directa, estos son la valoración de la materia prima y la investigación de nuevos productos que pueden desarrollarse con la misma.

A continuación se muestra un esquema general del proceso productivo, el cual será profundizado posteriormente.

**Figura 9. Imagen Proceso de transformación de la llanta.**



**Fuente:** los Autores

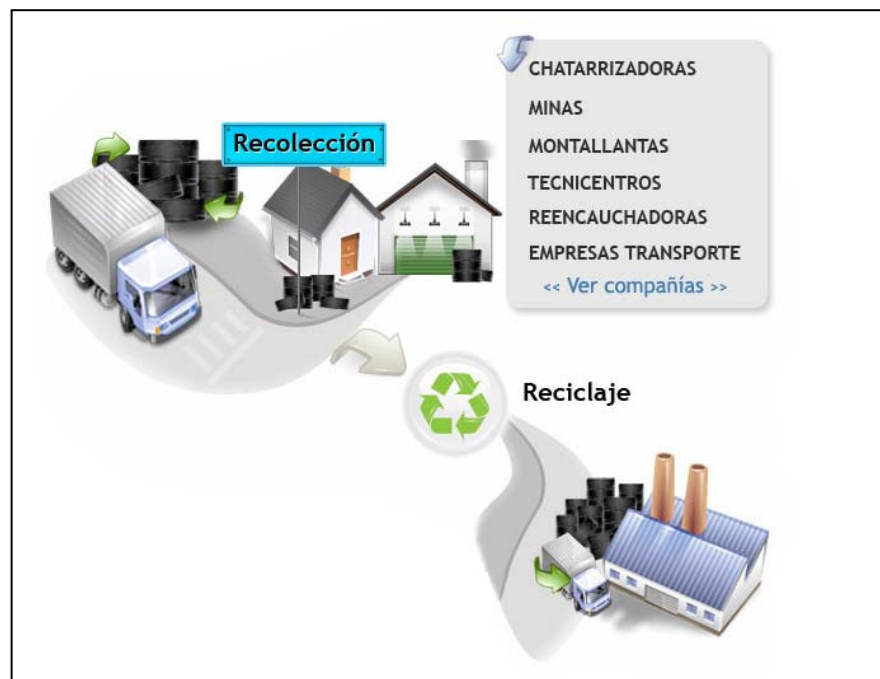
El proceso de producción comienza con la recolección de la materia prima, es decir la llanta, este proceso tiene dos subprocesos que son:

1. Recolección directa de la materia prima por parte de la empresa.
2. Recepción de llantas en desuso de empresas comercializadoras y fabricantes de llantas.

Actualmente la empresa Mundo Limpio tiene parado el subproceso de recolección directa de llanta, pues el almacenamiento de llantas que es entregado por parte de las empresas comercializadoras y fabricantes de llantas es suficiente para la capacidad de producción de la planta; así que para poder conectar estos dos subprocesos tendría que ampliarse la planta de producción o colocar un doble turno.

El motivo por el cual se disparó la recepción de las llantas a partir del año 2010 por parte de los fabricantes y comercializadoras, se debe a que la normatividad ambiental colombiana emitida por el Ministerio del Medio ambiente obliga a este tipo de industrias a entregar un cierto porcentaje de las llantas vendidas en llantas en desuso a sitios de disposición final para un manejo adecuado de las mismas. Mundo limpio es la única empresa colombiana que está transformando este tipo de residuos sólidos en un productos utilizables mediante un proceso netamente beneficioso para el medio ambiente, no cancela ningún monto por las llantas suministradas y pero debe entregar un certificado de disposición final adecuado de estos residuos a la empresa que las aporte.

Figura 10. Imagen Proceso de Recolección de la llanta.



**Fuente:** [http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=12&Itemid=16](http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=16)

El proceso de recolección de la manera que se está realizando en este momento tiene un costo de cero pesos (\$0,00), únicamente se debe asumir los costos de el

personal que recibe y emite los certificados entregados a las empresas; es importante decir que estas actividades son desarrolladas por una Ingeniera Industrial encargada del control de calidad de los productos. Después de la recolección de las materias primas se mantiene un almacenamiento de llantas las cuales son apiladas y almacenadas en un sitio destinado exclusivamente para ello, este sitio es totalmente cubierto y cerrado para evitar el ingreso de agua, y proliferación de enfermedades.

En esta parte del proceso productivo se realiza la valoración del estado físico de las llantas entregadas por las empresas comercializadoras o de las recolectadas directamente, así como la separación por tamaños, toda llanta de rin menor a 22.5 se coloca en un lugar específico y las que son igual o mayor a rin 22.5 se coloca en otro; ya que las llantas más grandes tienen un proceso previo que no lo tienen las más pequeñas. Las llantas que se reciben son desde llantas de motocicleta hasta llantas de tractomula. El procesamiento de la llanta inicia con sustraer la vena de acero que tienen las llantas de Rin 22.5, esto se realiza con la maquilla Bid Puller, este proceso se hace necesario porque esta vena o anillo tiene un grosor muy alto para ser triturada posteriormente por la primera máquina.

**Figura 11. Imagen Proceso de Sustracción de Anillo con la maquina Bid Puller.**



**Fuente:** [http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=38&Itemid=46](http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=46)

Después de pasar por la Bid Puller las llantas son colocadas en una banda transportadora la cual las conduce a una máquina trituradora llamada satrin 1, el tamaño de triturado es de 2", después de pasar por la satrin 1 las llantas pasan por una banda transportadora y son dirigidas a la satrin 2 la cual tiene un tamaño de triturado de 1 ½", es importante mencionar que las llantas con un rin inferior a 22.5 se colocan directamente en la primera banda transportadora que lleva a la satrin 1.

**Figura 12. Imagen del material al pasar por la satrin 2.**



**Fuente:**[http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=38&Itemid=46](http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=46)

Después de la llanta ser triturada por la satrin 1 y 2, es transportada y almacenada en un sitio llamado foso, la función de este es la obtención de stop de llanta triturada para ser reprocesada si hay algún retraso en la producción, después este material es transportado a un extractor de metal, el cual atrae la parte metálica de la llanta, este material extraído es almacenado en un tanque, para luego ser valorado por un operario y definir si el material puede ser reprocesado, o puede venderse como se encuentra.

**Figura 13.** Imagen de muestra del material atraído por la banda metálica.



**Fuente.** Fotografía tomada por los autores 30 de septiembre de 2010.

Al pasar por la banda magnética la goma de llanta es llevada a la maquina más importante del proceso, esta es la Raster, la máquina cumple el papel de triturar la llanta dejándola con unas dimensiones menores a una pulgada, es importante mencionar que esta máquina recibe mantenimiento preventivo cada dos (2) horas por quince (15) minutos todos los días mientras esté en funcionamiento, este mantenimiento se realiza para evitar el sobre calentamiento de la maquina el cual no puede permitirse pues la goma de caucho también se calentaría y en ese estado físico sería imposible triturarla a las dimensiones deseadas. Este mantenimiento es realizado por el jefe de producción y un operario.

**Figura 14. Imagen de la maquina Raster.**



**Fuente:**[http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=38&Itemid=46](http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=46)

Cuando la maquina Rasper termina el proceso de trituración la goma de caucho es conducida a una banda magnética que separa el acero de la goma que contiene aun el material, este acero es enviado a una tolva donde es almacenado y posteriormente vendido como material de reciclaje. Cuando el material sale de la banda magnética es llevado a una mesa vibratoria llamada Zaranda 1, esta realiza el tamizado del material, separándolo en dos tamaños denominados Moch, el cual es de gran tamaño y no puede continuar el proceso, sino que debe ser reprocesado en la maquina Rasper. El otro tamaño llamado fino si continúa el proceso posterior a la Rasper.

Figura No. 15 Imagen de la Mesa Vibratoria – Zaranda 1.



Fuente: [http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=38&Itemid=46](http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=46)

El material fino continúa en el proceso, este es transportado por unas tuberías - se transporta por unas tuberías para evitar desperdicios- a una máquina llamada Tornillo que tritura la goma hasta dejarla en el tamaño necesario para las especificaciones que exige la FIFA para canchas sintéticas ( espesores de 0.71 mm a 0.76 mm), para verificar este espesor, los gránulos de cauchos son transportados a una mesa vibratoria o tamizadora llamada Zaranda 2 la cual selecciona estos espesores, este espesor es conocido comercialmente como Grass, los cuales llevados por unas tuberías y depositados en unas bolsas especiales para ser distribuidos posteriormente.

Antes de pasar a la Zaranda 2 Transporta estos pequeños pedazos a una nueva Zaranda extrae los textiles que lleva la goma ya triturada, estos textiles extraídos son vendidos posteriormente como relleno para almohadas a fábricas de algodón.

**Figura 16 Imagen de producto Grass.**



**Fuente.** Fotografía tomada por los autores 30 de septiembre de 2010.

Los gránulos de goma que son muy pequeños y no corresponden a las dimensiones solicitadas por la FIFA para canchas sintéticas son transportados por medio de unas tuberías maquina pulverizadora donde son producidos lo insumos de agregado de caucho pulverizado para pavimentación de carreteras combinado con asfalto, este producto de goma de caucho pulverizado es conocido comercialmente como Asphalt, después de producido este producto es conducido por tuberías a las bolsas de empaque para luego ser comercializados.

**Figura 17. Imagen de Muestra de Asphalt.**



**Fuente.** Fotografía tomada por los autores 30 de septiembre de 2010.

De la llanta desechada se puede obtener no solamente goma de caucho para reutilizarse en las canchas sintéticas o vías, si no también acero y fibras textiles los cuales también son reutilizados para aplicaciones distintas a la construcción de obras civiles. Se recomienda Ver el anexo No. 1 el diagrama de flujo del proceso de producción de goma de caucho.

El reprocesamiento de la llanta desechada para producir goma de caucho pulverizada para ser reutilizado como insumo para pavimentar vías, es un proceso netamente beneficioso para el medio ambiente, lo cual hace que sea una alternativa importante para beneficiar no solo el medio ambiente, ni la disposición final de estos recursos, ni la salud pública, si no para mejorar las condiciones técnicas y mecánicas de las carreteras pavimentadas y estabilizar suelos.

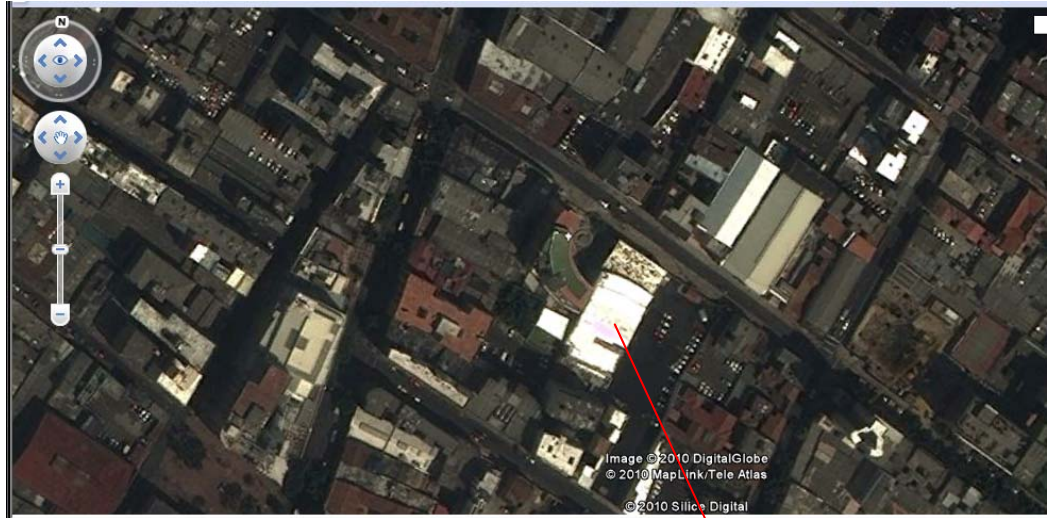
#### **4.2.5. Proyectos construidos y/o clientes:**

- Materia prima para la construcción de pavimento mejorado con goma de caucho en la vía de Bogotá y vía Quibdó.
- Canchas sintéticas en Medellín, Bogotá, Bucaramanga.
- Clientes:
- MPI, IDU, FEDERACION COLOMBIANA, GOBIERNO.

### **4.3. EMPRESA 2: INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO**

**4.3.1. Localización:** El Instituto de Desarrollo Urbano, es un establecimiento público, con personería jurídica, patrimonio propio, autonomía administrativa; fue creado mediante el Acuerdo 19 de 1972 del Concejo de Bogotá D.C. y destinado a ejecutar obras viales, de espacio público para el Desarrollo Urbano de la capital, por medio de licitaciones públicas realiza proyectos, son encargados del control de las mismas y tiene una entidad encargada de realizar investigaciones para mejorar el desarrollo de la ciudad. Se encuentra ubicado en la calle 9 con 11 en la ciudad de Bogotá.

**Figura 18. Ubicación del IDU**



Fuente: Google earth

**UBICACION**

#### 4.3.2. Fotografía de la empresa:

**Figura 19. Fotografía de las oficinas del IDU**



Fuente: [http://www.idu.gov.co/image/journal/article?img\\_id=0\\_ART\\_ENTI\\_ORGANIGRAMA.imagen&version=2.1](http://www.idu.gov.co/image/journal/article?img_id=0_ART_ENTI_ORGANIGRAMA.imagen&version=2.1)

**4.3.3. Descripción breve de la empresa:** Su misión es Garantizar el eficiente y eficaz desarrollo urbano integral de los proyectos de infraestructura de los sistemas de movilidad y espacio público del Distrito Capital, asegurando su funcionalidad y sostenibilidad para atender las necesidades de accesibilidad, conectividad y articulación urbano regional , contribuyendo con la productividad y competitividad de la ciudad y mejorando la calidad de vida de su habitantes.

Para el año 2020 el IDU garantizará una infraestructura urbana con crecimiento sostenible que asegure el progreso de una ciudad región moderna y satisfaga las necesidades de sus habitantes mejorando así su calidad de vida.

En el IDU existe un centro de investigación que trabajó de la mano con la Universidad de los Andes para realizar el Estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desecho de llanta o asfalto modificado con Grano de caucho Reciclado (GCR) y formalizar unas especificaciones técnicas y de esta manera construir un tramo experimental en una vía de Bogotá.

**4.3.4. Proceso productivo.** La investigación que ha realizado el IDU junto con la universidad de los antes se ha dividido en dos grandes bloques, la fase 1 y la fase 2. En la primera fase se realizó toda la parte experimental y de laboratorio para encontrar una especificación técnica que permitiera cuantificar la cantidad óptima de GCR para mejorar el asfalto, así como la evaluación por medio de un tramo experimental construido en la Universidad de los Andes para probar dichas proporciones. En la segunda fase se construyó por parte del IDU un tramo con las especificaciones arrojadas en la primera fase del proyecto en la localidad de Engativa en la ciudad de Bogotá, para analizar de esta manera la durabilidad de este tipo de pavimentos y mejorar dicha especificación y de esta manera implementar este tipo de procesos en mínimo el 10% de las vías de la ciudad.

Se muestra a continuación una síntesis de la investigación realizada en la fase 1 y 2, posteriormente el resultado de la visita realizada por los autores a esta vía el día 24 de septiembre del año 2010.

- **Primera Fase:** Según las aplicaciones de pavimento asfáltico que se han hecho en otros países del mundo el caucho obtenido de las llantas usadas puede ser incorporado a las mezclas asfálticas por medio de dos métodos diferentes denominados como proceso húmedo y proceso seco, en la siguiente tabla se ilustra la metodología adoptada para las pruebas realizadas.

**Tabla 17. Tipo de procesos utilizados para fase 1.**

MATERIAL	PROCESO	TECNOLOGIA	PRODUCTO
GCR	Húmedo	Bachadas	Asfalto modificado con caucho o Asfalto-caucho
		Continua	
		Terminal	
	Seco	PlusRide	Mezcla asfáltica mejorada con caucho
		Genérica	
		Convencional	

Fuente: estudio\_de\_mezclas\_asfalticas2 (1).pdf - [www.idu.gov.co](http://www.idu.gov.co)

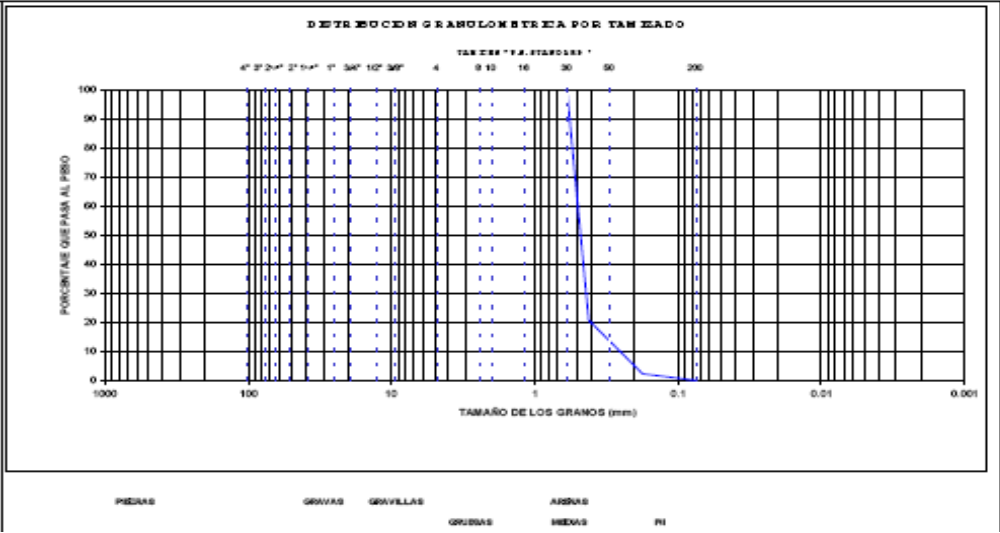
Los agregados utilizados para la fabricación de la mezcla asfáltica seca y húmeda, fueron obtenidos de diferentes canteras ubicadas en la ciudad de Bogotá a las cuales se le hicieron tres distribuciones granulométricas para cada cantera, en total las canteras fueron tres. Con cada una de ellas se hicieron pruebas de laboratorio para verificar la más conveniente. También se realizaron los ensayos a los diferentes tipos de asfaltos en la refinerías de Colombia, Cartagena, Barranca y la del Apiay. El asfalto utilizado para el ensayo fue el de Barrancabermeja en el proceso seco, pero para el proceso húmedo se decidió trabajar tanto con cemento asfáltico de Barrancabermeja como de Apiay.

- **Proceso Por Vía Seca:** Este proceso se desarrollo para estudiar el efecto del caucho al ser adicionado como una porción de los agregados finos en la

elaboración de las mezclas asfálticas. Se utilizaron dos husos granulométricos especificados por el INVIAS, la MDC-1 y la MDC-2. Las granulometrías se modificaron con dos diferentes porcentajes de caucho, de 1% y 2% del peso total de los agregados. En estos ensayos el caucho adicionado fue remplazado por la misma fracción y cantidad de los agregados con el objeto de mantener la misma granulometría densa especificada. La granulometría de las mezclas se obtuvo de las canteras pero con las especificaciones de MDC según Norma Invias en el artículo 450-96 para Mezcla Densa en Caliente, de las especificaciones de generales de construcción de carreteras, para verificar las granulometrías utilizadas ver anexo No.2.

El porcentaje de caucho usado en la vía seca es relativamente bajo, por lo general menos del 5%, y está relacionado con el peso de los agregados. El porcentaje con el cual se trabajó en el proceso en seco fue del 1% y 2%. Se muestra en el siguiente gráfico la distribución de granulométrica de GCR.

**Figura. 20. Distribución Granulométrica de GCR**



Fuente: estudio\_de\_mezclas\_asfalticas2 (1).pdf

- **Cantidad Óptima De GCR:** Una vez determinado el contenido óptimo de ligante por medio del procedimiento Marshall mediante la elaboración de probetas para evaluar el contenido de vacíos con aire como parámetro principal, la Estabilidad y el flujo Marshall con los diferentes contenidos de caucho, se procedió a buscar el contenido óptimo de GCR mediante evaluación dinámica con ensayos de deformación permanente, resistencia a la fatiga y módulos dinámicos. Se trabajó con asfalto de Barrancabermeja y como se mencionó anteriormente, se incorporó en dos proporciones diferentes, de 1% y 2% del peso total de los agregados. De esta forma se obtuvieron seis diseños, dos sin caucho y cuatro con caucho.
- **Proceso Por Vía Húmeda:** Este proceso se llevó a cabo para estudiar las propiedades que puede adquirir y perder el cemento asfáltico al ser mezclado con las partículas de caucho, el objetivo es el de aumentar el rango de temperatura de desempeño y la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas elaboradas con el nuevo ligante. Este proceso se realizó siguiendo las especificaciones típicas del Departamento de Transporte de California CALTRANS, la granulometría recomendada. Esta granulometría se utilizó en el ligante de Barrancabermeja con dos proporciones de caucho, 15% y 20% y cuatro con el ligante de Apiay, 10%, 13%, 15% y 20%. Los porcentajes de GCR son sobre el peso total de la mezcla asfalto-caucho resultante.
- **Cantidad Óptima DE GCR:** La cantidad óptima de GCR será aquella que proporcione a la mezcla asfalto-caucho una viscosidad Brookfield a 163°C entre 1500 y 3000 cP a temperatura de mezclado. La cantidad de cemento asfáltico se determinó mediante la realización de tres probetas de mezcla con diferentes porcentajes de caucho. Se evaluaron los módulos dinámicos y porcentaje de vacíos con aire: con estos parámetros se escogió el porcentaje óptimo de asfalto, que según es recomendado por CALTRANS es el contenido de vacíos de 3.0%.

Según los resultados de la viscosidad Brookfield para cualquier tipo de asfalto y temperatura a los 70 min fue quien tuvo mejor resultado. Se concluye que el ligante de Apiay requiere menos contenido de GCR que Barrancabermeja para alcázar los mismos valores de viscosidad Brookfield a 163°C. Con el objeto de conocer las leyes de degradación de los pavimentos elaborados con mezcla asfáltica mejorada con caucho, se hizo necesario estudiar el comportamiento de este a escala real, para eso se utilizaron técnicas de fabricación, colocación y compactación utilizados para la construcción de una pavimentación de vías convencional.

- **Carrusel De Fatiga:** Para realizar este estudio se recurrió a la utilización del carrusel de fatiga, el cual es una forma de ensayo acelerado, ATL (Accelerated Loading Test), en el que se aplica una carga artificial que produce en un menor tiempo los mismos efectos ocasionados por el paso de tráfico normal. La realización de este ensayo permitió obtener a corto plazo resultados claros sobre el comportamiento a una escala real de los pavimentos con mezclas asfálticas mejoradas con caucho.

**Figura 21. Carrusel de fatiga de la Universidad de los Andes**

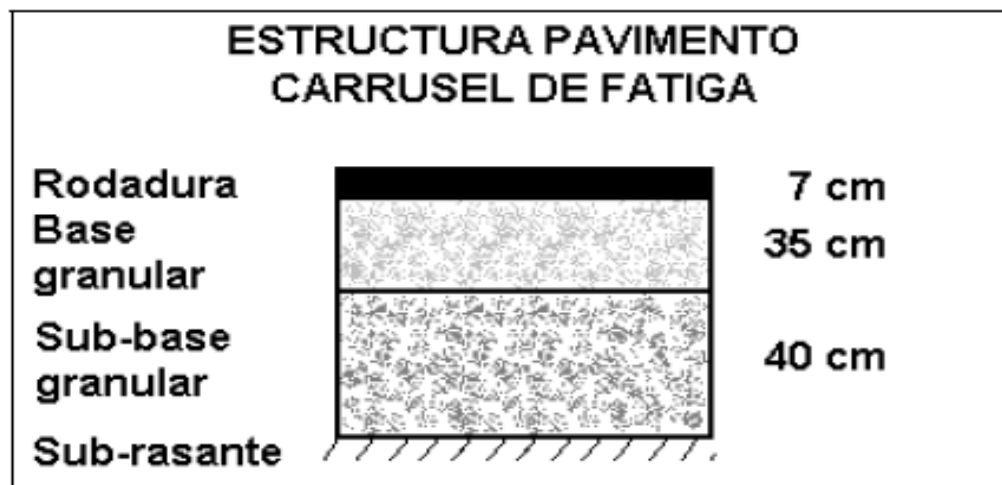


**Fuente:** estudio\_de\_mezclas\_asfalticas2 (1).pdf

Para realizar estudios comparativos, se construyó una pista conformada por diferentes tramos de prueba, para realizar análisis comparativos bajo las mismas condiciones de tráfico, clima y nivel freático. El carrusel simulaba el paso de ejes simples que alcanza hasta 15 toneladas variando su amplitud. Se construyeron dos tramos de prueba de igual estructura, de acuerdo con la evaluación dinámica anterior en el proceso seco se escogió como mejor diseño la mezcla MDC-2 con 1% de caucho y otra si caucho con el fin de compararlas.

El diseño de la estructura de pavimento construida en el carrusel de fatiga es la mostrada a continuación se muestra.

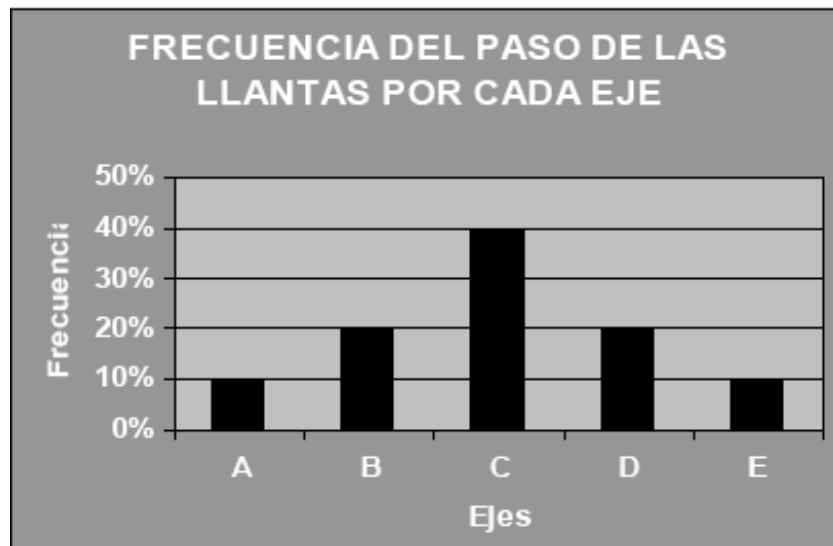
**Figura 22. Esquema general del pavimento en el Carrusel de Fatiga**



**Fuente:** estudio\_de\_mezclas\_asfalticas2 (1).pdf

Con el fin de simular el paso real de las llantas de los vehículos en una vía, las cuales pasan siempre por el mismo sitio, se decidió variar periódicamente el paso de las llantas del carrusel, haciendo que las llantas pasaran por cinco ejes diferentes separadas cada uno 10 cm. A continuación se muestra la imagen de la configuración de los ejes y frecuencia por los cuales circulo el carrusel:

**Figura 23. Distribución de la frecuencia de circulación del Carrusel de Fatiga**



**Fuente:** estudio\_de\_mezclas\_asfalticas2 (1).pdf

**Figura 24. Esquema de los ejes por los cuales circulan en el Carrusel de Fatiga**



**Fuente:** estudio\_de\_mezclas\_asfalticas2 (1).pdf

- Evaluación De La Vía Útil Del Pavimento:** Para poder realizar esta evaluación mediante el proceso seco se propuso una estructura típica, se obtuvieron los valores de los módulos y espesores de las capas granulares y de la subrasante son típicos para estos materiales con sus valores de las propiedades de las mezclas asfálticas. Por medio de la ecuación que depende del comportamiento aleatorio del pavimento y estos son los resultados obtenidos:

**Figura 25 Numero de ejes equivalente de 13 Ton de acuerdo a la probabilidad de falla para los diseños MDC-1**

Probabilidad de falla	Número de ejes equivalentes de 13 Ton		
	MDC-1 0%	MDC-1 1%	MDC-1 2%
1%	2923	1343	204
5%	4408	2056	305
10%	5486	2580	379
15%	6359	3007	438
20%	7151	3396	492
25%	7909	3770	543
30%	8657	4140	593
35%	9414	4516	644
40%	10193	4904	697
45%	11008	5311	751
50%	11874	5745	810
60%	13832	6730	941
70%	16286	7971	1105
80%	19716	9718	1333
90%	25699	12791	1730
99.5%	56050	28706	3726

**Fuente:** estudio\_de\_mezclas\_asfalticas2 (1).pdf

**Figura 26. Número de ejes equivalente de 13 Ton de acuerdo a la probabilidad de falla para los diseños MDC-2**

Probabilidad de falla	Número de ejes equivalentes de 13 Ton		
	MDC-2 0%	MDC-2 1%	MDC-2 2%
1%	3143	5163	10696
5%	4827	7838	16305
10%	6067	9791	20415
15%	7079	11378	23759
20%	8002	12820	26802
25%	8890	14201	29722
30%	9770	15569	32615
35%	10664	16953	35545
40%	11588	18381	38570
45%	12557	19876	41740
50%	13591	21466	45115
60%	15940	25070	52772
70%	18905	29598	62408
80%	23083	35945	75941
90%	30446	47062	99700
99.5%	68755	103985	222067

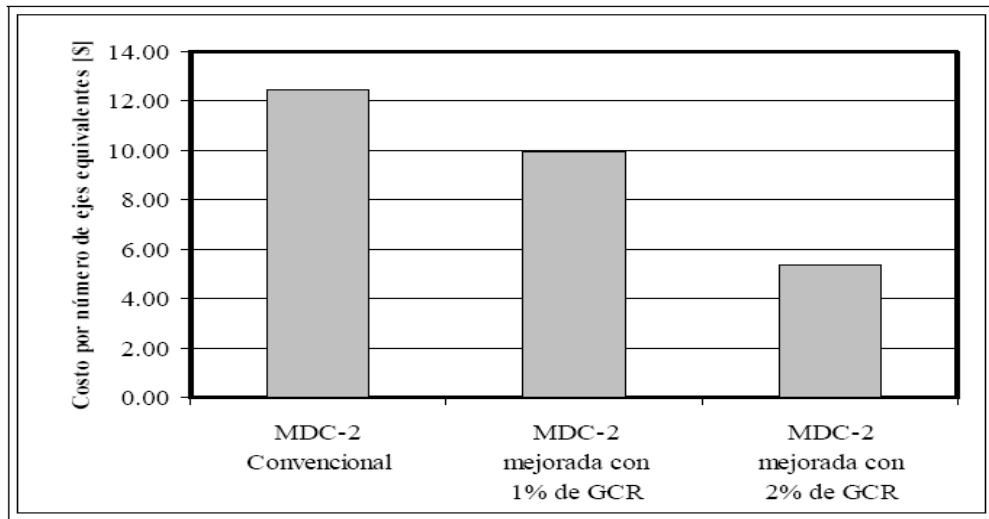
**Fuente:** estudio\_demezclas\_asfalticas2 (1).pdf

- Evaluación Costo-Beneficio:** Una vez determinadas las cantidades de materiales que conforman la mezcla asfáltica mejorada con caucho, y los procesos que se requieren para su fabricación, se procedió a evaluar sus costos de fabricación y colocación. Se encontró que para una mezcla mejorada con caucho los costos se incrementaban pero para un horizonte de tiempo dado, el máximo beneficio de un pavimento se obtiene del conjunto de costos involucrados durante toda su vida. Por esta razón la relación de beneficio-costos depende tanto de la vida útil como la probabilidad de falla.

Figura. 27 – Calculo de Costo-Beneficio para los diseños MDC-2, proceso seco.

Tipo de Mezcla asfáltica	NE para una probabilidad de falla de 50%	Costos directos, en pesos	Costos por número de ejes equivalente
MDC-2 Convencional	13,591	\$ 169,023.46	\$ 12.44
MDC-2 con 1% de GCR	21,466	\$ 213,243.74	\$ 9.95
MDC-2 con 2% de GCR	45,115	\$ 240,565.82	\$ 5.33

Figura. 28. Valor de los costos directos por número de ejes equivalentes para las mezclas asfálticas mejoradas con caucho.



Fuente: estudio\_de\_mezclas\_asfalticas2 (1).pdf

#### 4.3.5 Proyectos construidos y/o clientes:

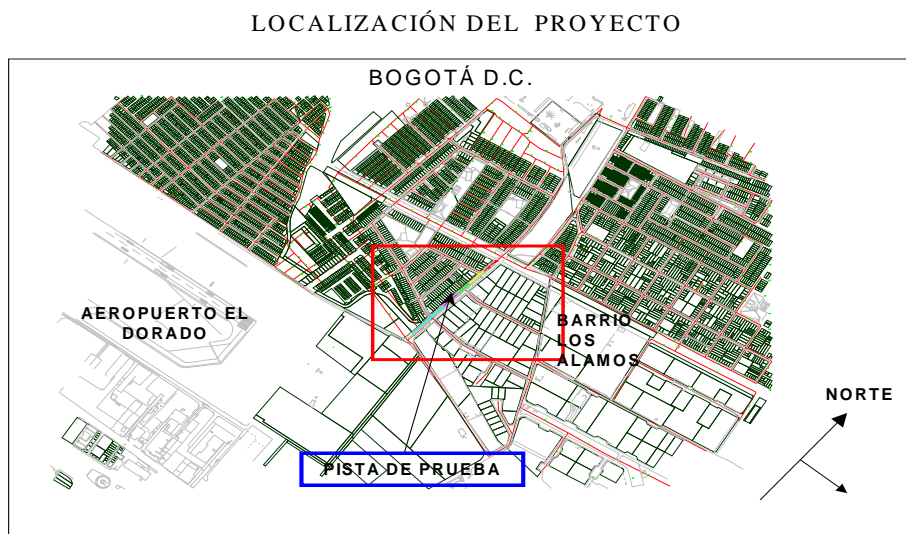
- **Segunda Fase**

En esta segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de las mezclas asfálticas con desechos de llanta, el IDU junto con la Universidad de los Andes construyó una pista de prueba en la localidad de engativa, el diseño de la estructura de pavimento se realizó basado en los resultados de los estudios realizados en la primera fase del proyecto.

- **Localización**

El tramo seleccionado para la construcción de la pista de prueba se encuentra ubicado en el barrio los Álamos en la localidad de Engativa, ciudad de Bogotá D.C. entre la calle 67 y calle 63 de la avenida José Celestino Mutis; tiene una longitud de 279 mts y el ancho de sus calzadas varía entre 7 y 7.5 mts sin contar el separador que divide los sentidos de la vía. Este se escogió principalmente porque cuenta con un tráfico uniforme y significativo de vehículos, el mal estado en que se encontraba la vía y el impacto por la intervención en esta zona era moderado.

**Figura 29. Localización de la pista de prueba – febrero de 2004**



**Fuente:** segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba/ entregado por el centro de investigación del idu. Septiembre 24 de 2010.

- **Actividades Preliminares A La Ejecución De Los Trabajos:** Para iniciar la parte constructiva de la pista de prueba fue necesario caracterizar la estructura existente para ellos se realizaron 4 apiques para obtener los

ensayos básicos de caracterización y de esta manera determinar sus propiedades de estos, adicional a esto se realizaron los ensayos de módulos resilientes a los materiales granulares ya la subrasante.

Ya analizadas las características de las propiedades de la estructuras existente un el perfil del suelo de la misma se procedió a seleccionar la mezcla asfáltica a utilizar para ello se tomo como base los requisitos exigidos en las especificaciones de caltrans, y se escogió finalmente una mezcla con un contenido de caucho de 18%, la cual fue modificada en una planta piloto construida por la Universidad de los Andes con una temperatura de 163° y un tiempo de mezclado de 25 minutos para de esta manera obtener valores de viscosidad Brookfield entre 2000 y 2500 cP. A esta mezcla se le hicieron prueba de reologia en el DSR (Dinamic Shear Rheometer) la cual presenta temperaturas de falla entre 74 y 76 °C sin envejecimiento, y entre 65 y 70 °C para procesos de envejecimiento de RTFO. Las características físicas y reológicas de la mezcla seleccionada se presentan a continuación:

**Tabla 18. .Características Físicas y Reológica de la mezcla Seleccionada**

Característica	Valor
Porcentaje de Caucho incorporado (%)	18
Tiempo de mezcla (min)	25
Viscosidad Brookfield (cP)	2000-2500
Temperatura de Falla sin envejecimiento (°C)	74-76
Temperatura de Falla con envejecimiento RTFO (°C)	65-70
TEMPERATURA DE FALLA CON ENVEJECIMIENTO PAV (°C)	16 - 16,5

**Fuente:** segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba/ entregado por el centro de investigacion del idu. Septiembre 24 de 2010.

- **Planta Piloto**

Para la realización de los diseños de la planta piloto para el proceso de modificación de y asfaltos con caucho, se tomo como parte fundamental mantener las condiciones del proceso lo más cercano posible las que se utilizaron durante la experimentación en los laboratorios desarrollados en la fase 1, esto con el fin de obtener resultados de la escala mayor que sean comparables a los obtenidos en el laboratorio.

El proceso de modificación de asfalto que se realizó en la planta piloto tuvo tres condiciones limitantes principalmente;

- la temperatura de trabajo la cual fue de máximo 200°, teniendo en cuenta que la temperatura de proceso tuvo que ser controlada y mantenida constante a 155°C.
- tener en cuenta es el volumen por bachada que se maneje, el cual se ha definido de 55 galones.
- La tercera es la velocidad y el tipo de agitación que se implemente para la homogenización de la mezcla.

De acuerdo a lo anterior se seleccionó un tanque de mezclado y un equipo mezclador que cumplieran con las características requeridas.

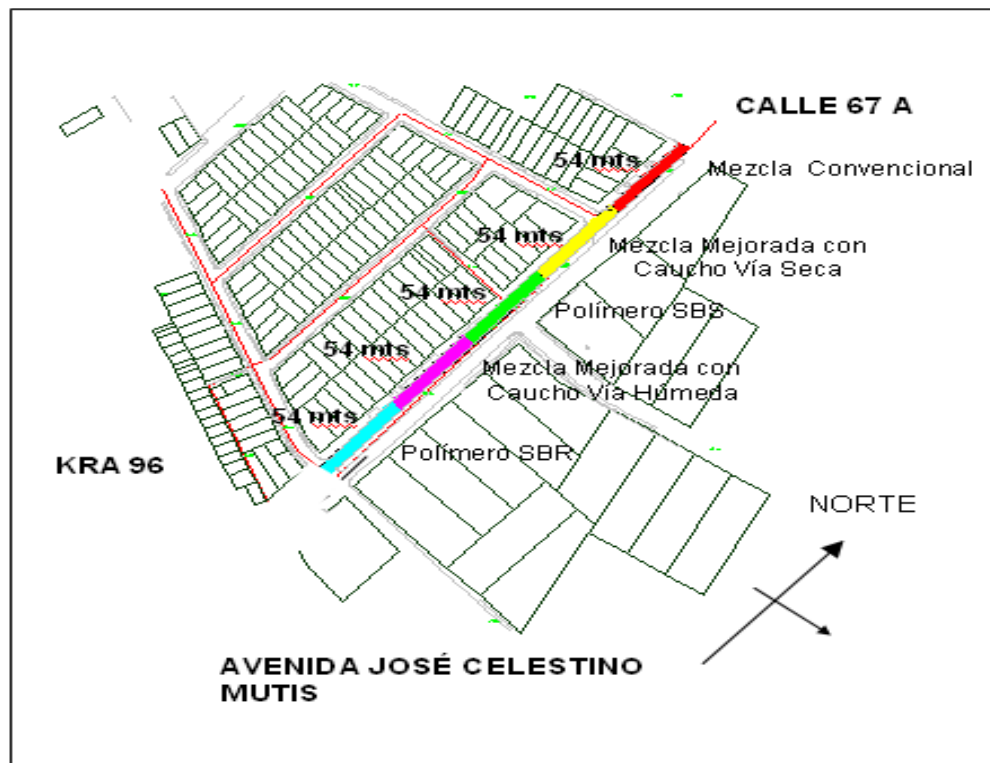
Las especificaciones principales de los equipos seleccionados, los diseños. Medidas Y Condiciones determinadas para la operación del equipo de se muestran en el anexo No.4.

el principal objetivo de la operación de la planta piloto es obtener la cantidad de asfalto- caucho requerida para el tramo de asfalto caucho modificado por vía húmeda, en total se produjeron 3518 Kg. Se encontró que habían perdidas por tuberías, accesorios y almacenamiento de 2000 Kg, así que para producir la

cantidad suficiente se necesitan producir 2000 Kg, como se observa las pérdidas son muy grandes en esta planta piloto.

El orden de colocación de las mezclas fue definido principalmente por el orden y facilidad en la producción en planta. La mezcla con asfalto caucho por proceso húmedo fue una de las últimas en extender sobre el tramo de prueba, se va a profundizar en este trabajo en las mezclas mejoradas con caucho.

**Figura 30. Tramos construidos mezcla mejorada con caucho– febrero de 2004**



**Fuente:** segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba/ entregado por el centro de investigación del idu. Septiembre 24 de 2010.

- **COLOCACIÓN DE MEZCLA ASFALTICA PROCESO VIA SECA Y HÚMEDA.**

**Figura 31. .Colocación mezcla proceso vía seca– febrero de 2004**



**Fuente:** segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba/ entregado por el centro de investigación del idu. Septiembre 24 de 2010.

Para el proceso de pavimentación de asfalto por vía seca la temperatura de llegada de la mezcla fue de 160°C y la de compactación de 155°C. Esta mezcla tuvo un tratamiento especial en cuanto a la compactación, debido a la elasticidad del GCR, se encuentra referenciado en la literatura que el GCR produce un efecto de recuperación, que contrarresta el grado de compactación obtenido, a medida que la temperatura de la mezcla disminuye. Por esta razón se recomienda mantener el proceso de compactación hasta que la mezcla alcance bajas temperaturas (60°C). Razón por la cual requirió el paso del compactador hasta que alcanzó una temperatura de 60 °C.

Para el proceso de pavimentación de asfalto por vía húmeda la temperatura de llegada de la mezcla fue de 168°C y la de compactación de 162°C, el proceso de colocación se muestra en la siguiente figura:

**Figura 32. Colocación mezcla proceso vía Húmeda– febrero de 2004**



**Fuente:** segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba/ entregado por el centro de investigación del idu. Septiembre 24 de 2010.

Después de la colocación de los tramos se realizaron pruebas posteriores para verificar las fallas que se presentaban en la vía esta pruebas se realizaron en junio del 2005 y septiembre de 2005, es importante mencionar que la vida útil esperada para este pavimento fue de 1 año.

El comportamiento de tráfico posterior al diseño se mantuvo constante los cambios de número de vehículos no fue significativo, así que esto permitió obtener mejores conclusiones del mismo.

El 9 de junio de 2005 se realizó un inventario de falla en la pista de prueba, en el tramo de vía seca se evidenció desde el mes de enero una tipología de falla de piel de cocodrilo y la densidad de fisuración presentó una severidad alta,

Contrario a este tramo el Asfalto modificado con caucho por vía húmeda presento un buen desempeño como se muestra en la tabla No 3.3 , De acuerdo con el inventario realizado en este tramo se presentan en un bajo grado de Peladuras, Piel de cocodrilo y Fisuramiento transversal

**Tabla 19. .Evaluación De Fallas De Fisuracion Junio De 2005**

TRAMO	DENSIDAD DE FISURACION	RANKING
CONVENCIONAL	3,3%	4
ASFALTO CAUCHO VIA SECA	27,8%	5
POLIMERO SBS SHELL	PELADURAS	2
ASFALTO VIA HUMEDA	0,4	1
POLIMERO SBR AGUILAR	2,6%	3

**Fuente:** segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba/ entregado por el centro de investigación del idu. Septiembre 24 de 2010.

Durante la primera semana del mes de septiembre del año 2005 se llevó a cabo el inventario de fallas sobre la pista prueba. La pista de prueba de manera similar a lo encontrado en el inventario anterior se encuentra en estado aceptable de servicio, esto es respaldado por los valores de los índices de rugosidad, en contrastes con el anterior inventario, en general en todos los tramos se empiezan a observar pequeñas fisuras en algunos casos, y en otros se confirman ciertas tendencias hacia el deterioro del tramo. Las densidades de fisuración se pueden observar en la tabla 19.

El tramo de mezcla modificada con caucho por proceso vía húmeda experimento el mejor comportamiento pero se observo el texturizado de la rodadura, y el inicio de la formación de grietas.

**Tabla 20. Evaluación de fallas densidad fisuración septiembre de 2005**

TRAMO	DENSIDAD DE FISURACIÓN	RANKING
CONVENCIONAL	20.5%	4
ASFALTO CAUCHO VIA SECA	62.2%	5
POLIMERO SBS	5.9%	2
ASFALTO CAUCHO VIA HUMEDA	0.9%	1
POLIMERO SBR	7.1%	3

**Fuente:** segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba/ entregado por el centro de investigación del idu. Septiembre 24 de 2010.

Los resultados obtenidos en el sector construido con mezcla asfalto-caucho mediante proceso húmedo son bastante alentadores, teniendo en cuenta que ha presentó la menor densidad de fisuración. Este tramo como lo evidencian los resultados mostrados, superó en cuanto a desempeño a los tramos construidos con asfalto comerciales modificados con polímeros.

Es claro que el tramo construido con mezcla asfalto caucho mediante proceso seco no arrojó los resultados esperados. Es así como luego de un año de servicio el tramo vía seca experimenta el mayor deterioro en relación con todos los tipos de mezclas estudiados. Sin embargo estos resultados fueron previamente pronosticados mediante las pruebas de desempeño que se realizaron al momento de evaluar el desempeño de la mezclas en laboratorio en la fase 1 del proyecto.

Del estudio realizado por le IDU se puede concluir lo siguiente:

- El grano de caucho reciclado (GCR) obtenido de llantas usadas puede ser utilizado confiablemente para mejorar las propiedades mecánicas de las

mezclas asfálticas usándolo como un modificador del ligante, el proceso por vía seca no tuvo los resultados esperados, este tipo de mezcla se caracterizó por tener baja adherencia, y poca resistencia.

- Entre menor sea el tamaño máximo del GCR que se utilice para mejorar las mezclas asfálticas ó modificar el ligante serán mejores los resultados obtenidos, esto por el hecho que facilita la homogenización de la mezcla y disminuye los tiempos de reacción durante el proceso de modificación.
- El GCR utilizado para el proceso húmedo mejora la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas, sin embargo hace que los módulos dinámicos disminuya, y el empleo del GCR incrementa la vida útil de un pavimento.
- Los costos de una mezcla asfáltica mejorada con GCR son mayores que los de una mezcla asfáltica convencional.
- Los ligantes y mezclas con asfalto caucho se postulan como una excelente alternativa ambiental en la disposición de desechos de llantas, de la misma manera se abren paso como el ligante modificado del futuro a corto plazo en Colombia.

**Estado Actual De La Vía:** El día 29 de septiembre de 2010 se realizo una visita al tramo construido al barrio álamo en la localidad de Engativa, en Bogotá D.C. de esta visita se pudo observar que los tramos construidos con mezcla asfáltica mejorada con GCR se comportaron mejor que los convencionales y mejorados con polímeros SBR. Esta visita fue dirigida por un ingeniero designado por el IDU para realizar le recorrido a la obra construida en las figuras que se muestran a continuación el estado en que se encuentra la vía:

**Figura 33. Estado de la vía con proceso de vía seca a septiembre de 2010**



**Fuente:** fotografía tomada por los autores septiembre de 2010.

**Figura 34. Estado de la vía con proceso de vía Húmeda a septiembre de 2010**



**Fuente:** fotografía tomada por los autores septiembre de 2010

A pesar que la pista de prueba experimental tenía prevista una vida útil de 1 año, al cabo de 6 años se puede observar que aun es transitable a pesar de las fallas

que presenta, el tramo con proceso de vía seca sigue presentando la menor densidad de falla.

Respondiendo a este proyecto de fase 1 y fase 2 de mejoramiento mecánico de asfaltos con GCR, el IDU comenzara la construcción de un nuevo tramo en la localidad de Fontibon, la construcción de este tramo de 150 metros empezara a finales del mes de octubre del año 2010, se construirá con las especificaciones obtenidas de la investigación realizada en los dos proyectos anteriores, y esta especificación se encuentra en el anexo No. 5 del presente trabajo.

Es importante mencionar que para el centro de investigación del IDU y su dirección, es importante generar que este nuevo proyecto genere un impacto significativo para la ampliación de la vida útil y funcionalidad de las vías, además de esto mejorar las condiciones ambientales, para ello tiene previsto el lanzamiento de este proyecto a nivel nacional, y con ello ampliar no solo la construcción de vías con este método, si no que entidades como EL INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS), comience a implementar estos sistemas de construcción de mezclas asfálticas y adopten por lo menos el 10% de las vías construidas contratadas por esta entidad en los próximos 5 años.

La planta que prevista por el IDU para la construcción de este nuevo tramo es la planta de asfalto de MPI (**MANUFACTURAS Y PROCESOS INDUSTRIALES Ltda - MPI Ltda.**). **MPI LTDA** es una empresa santandereana especializada en la fabricación e investigación de asfaltos, y es la única empresa en el país que tiene una planta para producir mezclas de asfalto y goma de caucho reciclado, a su vez es la única empresa de producción de asfaltos del país que ha pavimentado vías con este tipo de proceso.

La oficina administrativa de **MPI LTDA** se encuentra ubicada en la ciudad de Bucaramanga en el edificio La Triada oficina 204 y la planta de producción se

encuentra ubicada en la ciudad de Barrancabermeja en el barrio la libertad de este municipio. Esta es una de las empresas santandereanas con mayor reconocimiento a nivel nacional, y se ha caracterizado por ser unas de las más sobresalientes en la producción de asfalto para vías en el país. Esta empresa ha trabajado de la mano con el IDU en los últimos dos años para adelantar el proyecto de fase tres que iniciara a finales del mes de octubre de 2010 y consolidar de manera formal la implementación de asfalto mejorado con goma de caucho reciclado para la pavimentación de vías a nivel nacional, aunque este trabajo no es nada fácil se tiene proyectado que con este proyecto se logre generar un impacto bastante significativo que aporte al uso de esta nueva tecnologías para Colombia en tema de vías. A continuación se muestra una fotografía de la planta de producción de asfalto con goma de caucho reciclado:

**Figura . 35. Planta de producción de asfalto- caucho - MPI**



**Fuente:** Documento Entregado Por Mpi Titulo: Asfalto – Caucho Alternativa Técnica – Ambiental En La Pavimentación De Carreteras

A continuación se muestra una fotografía de la colocación de asfalto con goma de caucho reciclado en la Quibdó:

**Figura 36. Vía Quibdó – yuto en el 2001.pavimentada por MPI**



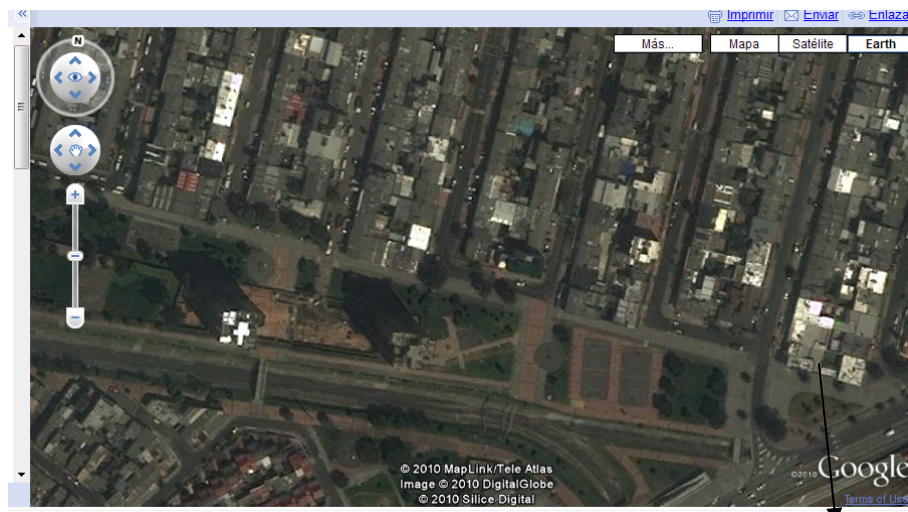
**Fuente:** DOCUMENTO ENTREGADO POR MPI TITULO: ASFALTO – CAUCHO ALTERNATIVA TÉCNICA – AMBIENTAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS

- **ANÁLISIS FINAL:**
- La implementación y desarrollo tecnológico que tiene Colombia con respecto a los otros países desarrollados con la tecnología asfalto-caucho, este país está muy atrasado en fuentes de investigación y en aplicación de esta tecnología.
- La Implementación de GCR combinado con asfalto para construcción de vías aumenta la vida útil del mismo, colocándolo como la alternativa más viable a la hora de construcción de vías en el país, su desarrollo ha sido bastante lento debido a que no se cuenta con plantas de procesamiento, ni la adopción de las especificaciones técnicas del IDU en las normas INVIAS y entidades competentes.

#### 4.4 EMPRESA 3: WOOD PECKER S.A

**4.4.1 Localización:** Es una empresa Colombiana ubicada en Bogotá, Colombia Km 5 vía Suba-Cota. Cuenta con planta propia de última tecnología, que se dedica a la producción y comercialización de productos fabricados con material Woodpecker WPC.

**Figura 37. Ubicación de la empresa Woodpecker WPC.**



UBICACION

**Fuente:** Google earth

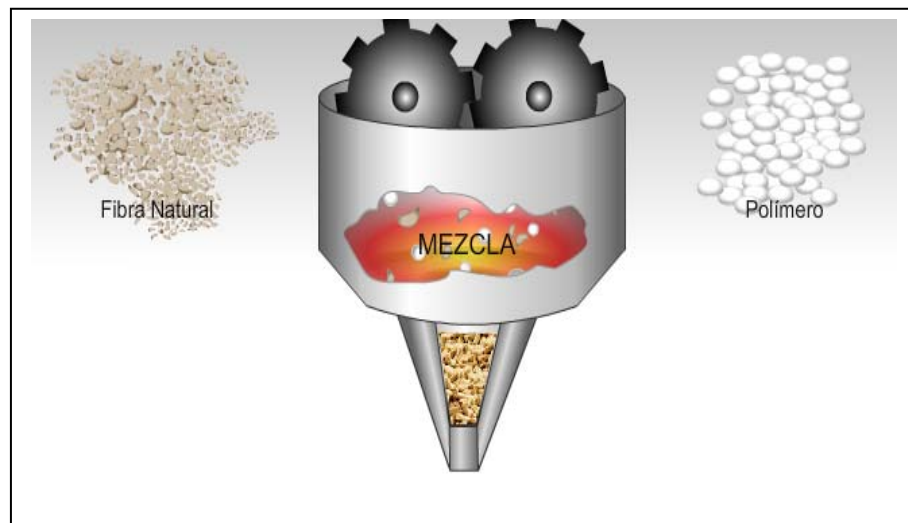
**4.4.2 Fotografía de la empresa:** No fue autorizada la toma de fotografías.

**4.4.3 Descripción breve de la empresa:** El termino **WPC** significa a nivel mundial compuesto de madera plástica (wood plastic composite). Hoy en día los materiales compuestos; que son aquellos formados por la unión de dos o más materiales base, buscan conseguir una combinación ideal para productos novedosos y altamente comerciales. **WPC** es un compuesto de fibras vegetales y polímero reciclado básicamente. Su excelente resistencia y durabilidad lo hace un material ideal para la fabricación de innumerables elementos.

En los años en el mercado de WPC en el mundo a crecido a una tasa mayores del 25% anual.

**4.4.4 Proceso Productivo:** Como insumo para la fabricación de la madera plástica se utiliza el cisco de café (material orgánico) como fibra para fabricarla a continuación se muestra la máquina de mezclado:

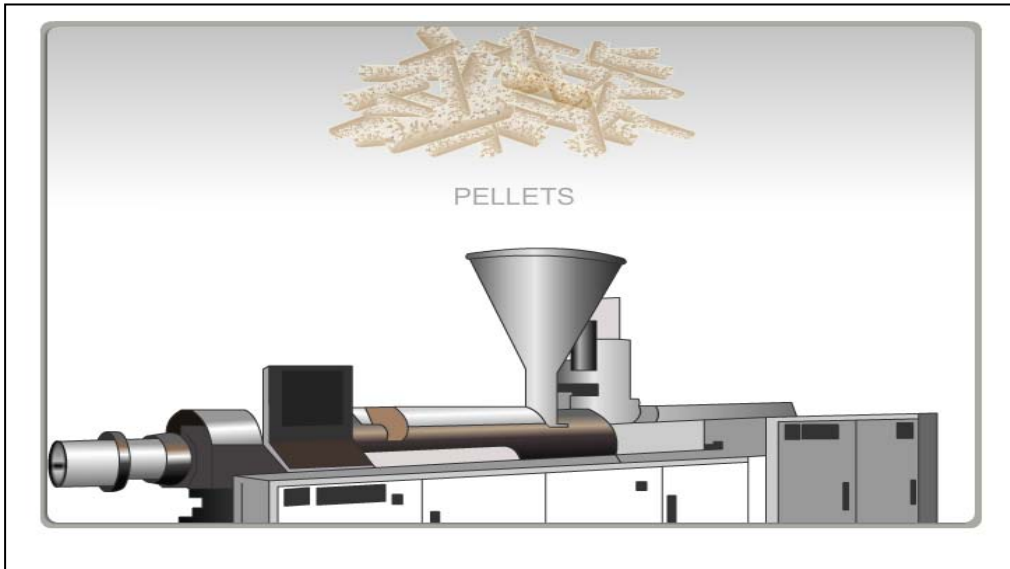
**Figura 38. Maquina de mezclado para obtener WPC.**



Fuente: [www.woodpeckers.a.com.co](http://www.woodpeckers.a.com.co)

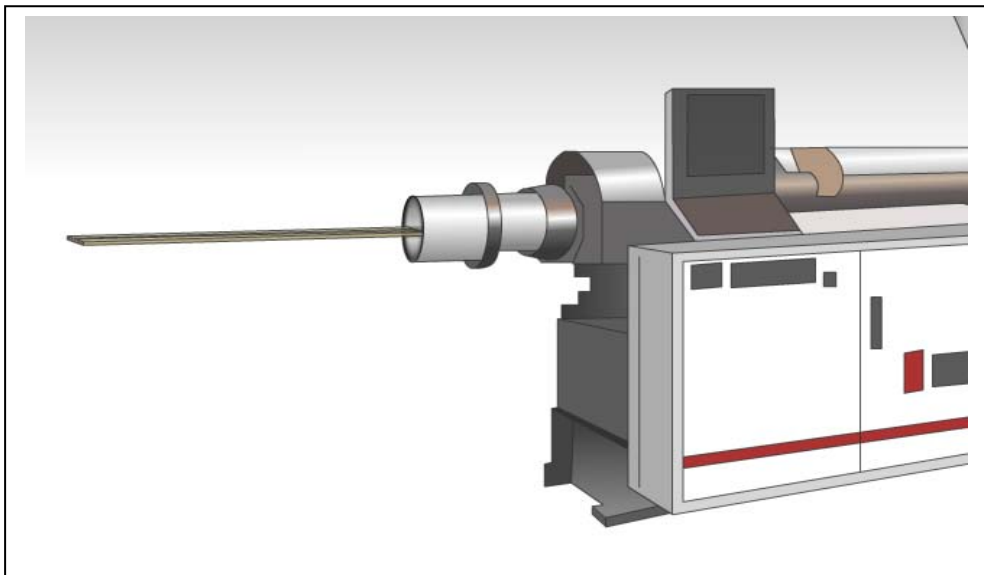
Después de ser mezclados los insumos, estos pasan a una maquina que los recibe y los calienta para ser moldeados en una maquina que hace el proceso de extrusión.

**Figura 39. Maquina de calentamiento de la mezcla para obtener WPC.**



**Fuente:** [www.woodpeckers.a.com.co](http://www.woodpeckers.a.com.co)

**Figura 40. Maquina que realiza el proceso de extrusión obtener WPC como producto terminado.**



**Fuente:** [www.woodpeckers.a.com.co](http://www.woodpeckers.a.com.co)

Cuando el producto sale de la máquina de moldeo, este es colocado en frío para bajar su temperatura, posterior a esto es seleccionado por el departamento de producción en cargado del control de calidad y acabado de las piezas. Las piezas que no pasa por este control son llevados nuevamente a iniciar el proceso y los que son aprobados son empacados y apilados en una bodega.

**Figura**

**41.**



**Disposición de producto terminado de WPC.**

**Fuente:** [www. woodpeckers.a.com.co](http://www.woodpeckers.a.com.co)

#### 4.4.5 Proyectos contruidos y/o clientes:

##### Casas de Interés Social

Una de las aplicaciones que se le da al WPC es la construcción de casas de interés social, ya que construir las con este tipo de material ahorra costos y tiempo de construcción. Estas casas son de construcción sencilla (modular) que permiten ampliaciones, áreas entre 24 m<sup>2</sup> y 48 m<sup>2</sup> la estructura y ventanearía en aluminio. Las ventajas de construir una casa en WPC son: por su fácil instalación de 4-5 días con 2 a tres personas, embalaje eficiente reducido costos de flete, buenas características sismo resistente y un bajo mantenimiento. La parte estructural de la misma es una estructura metálica a la cual se le adicionan la mampostería construida con WPC. Seguidamente se muestra una fotografía de una de estas casas para visualizar su acabado y presentación.

**Figura. 42. Casa de Interés social construida con mampostería de WPC.**



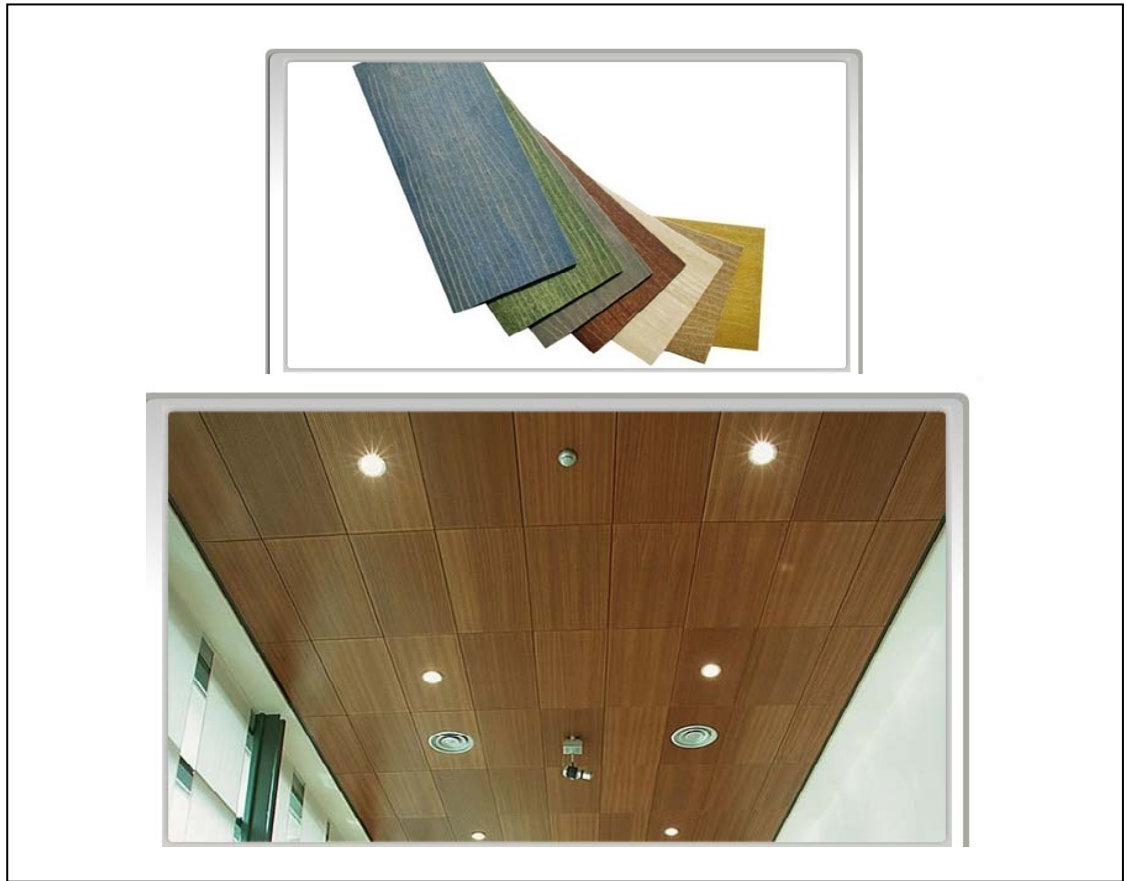
**Fuente:** Fotografía tomada por los autores Septiembre 30 de 2010

### **Pisos (decks) y cielo rasos/enchapes**

Con el WPC también se puede fabricar pisos y perfiles en madera este tipo de pisos tiene alta resistencia a la intemperie, fabricado con la tecnología WPC, con alta duración y poco mantenimiento, de una apariencia igual a la madera, material flexible y de variedad de colores. Tiene de ancho 16cm, grosor 2 cm con una longitud según el constructor.

Los cielos rasos y/o enchapes son también fabricados en WPC de alta duración y muy resistentes, así como los pisos son parecidos a la madera y de una variedad de colores. Tienen de ancho 20 cm, grosos 0,6 cm y su longitud variable.

**Figura 43. Imágenes de pisos y cielo rasos de WPC.**



**Fuente:** [www. woodpeckers.a.com.co](http://www.woodpeckers.a.com.co)

### **El depo.**

El kit DEPO es una unidad modular de depósito para: bodega, garaje, archivo muerto, accesorios de jardinería, insumos agrícolas. Este kit incluye muros y cubierta de WPC, estructura de aluminio, y puerta metálica. Se instala en menos de 24 horas con dos personas, su peso es de aproximadamente de 500kg es indicado para colegios, fincas, jardines, parque, restaurantes, etc.

**Figura. 44. Kid Depo de WPC**

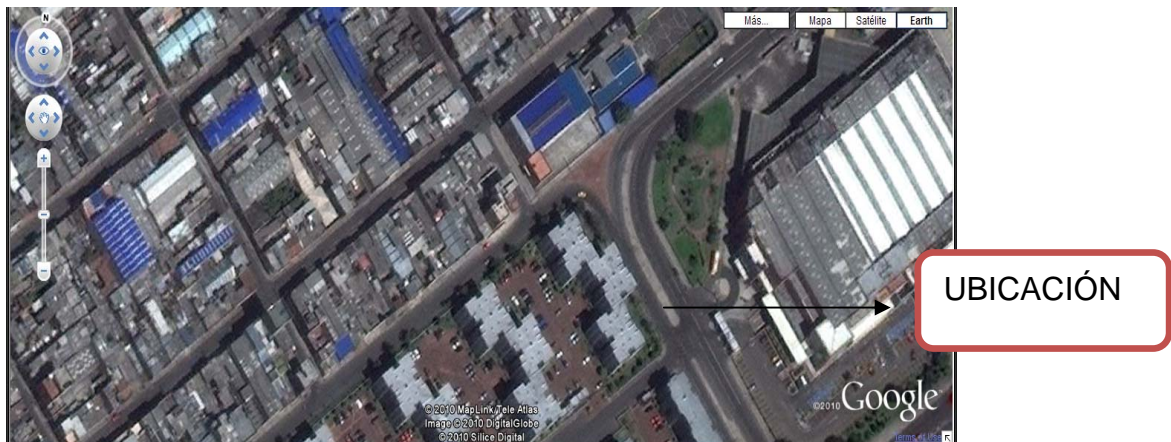


**Fuente:** [www. woodpeckers.a.com.co](http://www.woodpeckers.a.com.co)

#### **4.5 EMPRESA 4: COMPUESTOS PLÁSTICOS LTDA.**

**4.5.1 Localización:** Es Empresa ubicada en la Calle 26 sur No. 28a 47 Bogotá - Colombia esta dedicada a la fabricación de compuestos plásticos comprometida con el propósito con mantener un hábitat sostenible, donde los medios, sistemas y técnicas que se utilizan no contribuyan con la destrucción del medio y de la vida en general es necesario el desarrollo de nuevos materiales amigables ambientalmente llamados ECOMateriales.

**Figura 45. Ubicación de la empresa Compuestos Plásticos Ltda.**



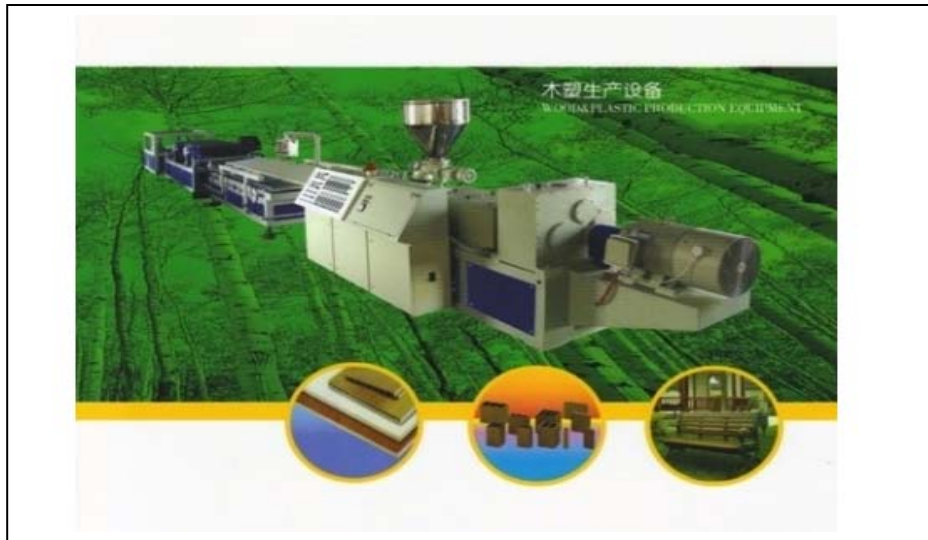
**Fuente:** Google earth.

**Fotografía de la empresa:** No fue autorizada la toma de fotografías.

**4.5.2 Descripción breve de la empresa:** Estos desarrollos han dado como resultado ecomateriales novedosos, singulares y con diferenciación, de óptimo comportamiento, mejores propiedades técnicas, y beneficios económicos, al mismo tiempo que en algunos casos recuperan y dan valor agregado a desechos, sustituyendo materiales convencionales no ecológicos. Los materiales que utilizan para la fabricación de sus productos son residuos sólidos, la madera y el plástico son sus principales insumos. Tienen dos líneas de producción una línea de perfiles de WPC con el proceso de inyección y otra línea de fabricación de baldosas, cielo raso y mampostería con un proceso de extrusión.

**4.5.3 Proceso Productivo.** La maquinaria utilizada para la fabricación de sus productos fue traída de Lianshun Machinery Co Ltda. Ubicada en China. La empresa LIANSHUN se especializa en maquinaria para la industria plástica de excelente calidad y precios competitivos, ha introducido técnicas avanzadas de producción y métodos de gestión tanto en China como en el extranjero (Rusia, México, Ucrania, Siria, Vietnam, y Colombia).

**Figura. 46. Maquinaria utilizada en Compuestos Plásticos Ltda.**



Fuente: <http://compuestosplasticos.wordpress.com/>

**4.5.4 Proyectos construidos y/o clientes:** A continuación se muestran fotografías de los materiales que produce esta empresa, es importante mencionar que acceder a su planta de producción no fue posible por razones de seguridad de la misma, pero fue posible visitar la oficina administrativa donde se hizo una muestra comercial a los autores.

**Figura 47. WPC con proceso de extrusión para pisos**



Fuente: fotografía tomada por los autores septiembre de 2010.

La fotografía anterior muestra una tableta de baldosa para piso la cual es fabricada con el proceso de extrusión, el cual es necesario para obtener este acabado. El proceso fabricación de este material es igual al utilizado por Wood Pecker.

**Figura 48. Perfil de WPC con proceso de inyección**



**Fuente:** fotografía tomada por los autores septiembre de 2010.

La fotografía anterior muestra un perfil de WPC para piso la cual es fabricada con el proceso de inyección, este tipo de productos se utilizan para columnas y vigas de casa de interés social, a su vez para cerramientos de fincas y/o haciendas.

Este tipo de productos son de fácil elaboración y de costos de producción bajos y su aplicabilidad en la ingeniería civil son de vital importancia. Es importante decir que en Colombia existen muchas empresas dedicadas a la fabricación de este tipo de productos, la concentración de este tipo de industrias está en las ciudades de Bogotá y Medellín, en el resto de ciudades del país solo se comercializa sobre pedido.

- **ANALISIS FINAL**

- La tecnología de la madera plástica WPC en Colombia como una de las principales que se ha desarrollado en forma acelerada brindando excelentes resultados y una nueva alternativa de investigación como de profundización.

#### **4.6 EMPRESA 5: GREEN WORKS COMPANY**

**4.6.1 Localización:** Es una compañía de la ciudad de Pereira, Colombia ubicada en el Km 8 vía Altagracia. Que está dedicada al estudio de nuevos ladrillo con papel reciclado y a la construcción de viviendas de interés social con este nuevo material. Se sabe que tan solo este Industria ha implementado esta tecnología en el país y no se ah desarrollado estudios a ello.

**Figura. 49. Fotografía Empresa Green Works Company**



**Fuente:** Suministrada por los propietarios.

**4.6.2 Descripción breve de la empresa:** Su misión es brindar soluciones ambientales sostenibles a la industria papelera y la construcción, por medio del aprovechamiento de los residuos papeleros en la fabricación de elementos de construcción de alta calidad seguros y confiables, disminuyendo los impactos negativos al ambiente y generando desarrollo social

Se proyectan a futuro siendo líderes en el desarrollo de tecnologías limpias para el aprovechamiento de residuos papeleros y la innovación en el desarrollo de elementos sostenibles para la construcción al finalizar los tres primeros años de operación, asegurando la calidad de los productos y la excelencia en el servicio de manejo de los residuos, teniendo presencia en los países de América que posean papeleras.

**4.6.3 Proceso productivo:** Esta Industria de base tecnológica busca solucionar o ayudar al problema que no tan solo poseen las fábricas de papel con sus residuos sólidos o lodos papeleros que se generan en el proceso de producción si no toda la humanidad, esta tecnología consiste en una planta para el aprovechamiento de lodo y utilizando los residuos papeleros como materia prima en el proceso de producción de elementos de construcción, en este caso bloques para mampostería no estructurales que poseen características técnicas superiores a los convencionales de acuerdo con las Normas Técnicas Colombianas, además de ser productos ecológicos y económicos.

A demás del mejoramiento ambiental y la reducción de residuos sólidos, conserva la geografía física (paisaje) y adicionalmente promueve la conciencia de la comunidad en el cuidado del ambiente. El producto de este proceso comienza competir en el mercado no solo por la ventaja ambiental si no por su costo su producción y de sostenibilidad de esta clase de productos son sustancialmente económicos y con mejores propiedades físicas, como resistencia a la compresión

y aislamiento termo-acústico, en relación a productos naturales como el ladrillo en base de arcilla.

**4.6.4 Proyectos construidos y/o clientes:** Este producto se logra gracias al desarrollo de una tecnología patentada en el año 2010 por Edwin Quiroz y David de los Ríos, esta tecnología procesa de manera óptima el residuo, con mínima cantidad de aditivos y de energía.

El empleo del bloque es igual al convencional de mampostería no estructural o muros divisorios, requiere el mortero tradicional y una estructura confinada. Aunque el trabajo es excepcional estos empresarios aun no han recibido ayuda del gobierno, de entidades ambientales o de organizaciones de apoyo y es difícil avanzar si la colaboración de todos y si continua así se llevaran el proyecto para otro país.

**Figura 50. Fotografía de la Eco-casa – con ladrillo a la vista**



**Fuente:** <http://www.greenworks.com.co/productos-y-servicios.html>

**Figura 51. Fotografía de la Eco-casa - terminada**



**Fuente:** <http://www.greenworks.com.co/productos-y-servicios.html>

Dentro de los aliados y empresas que apoyan el proyecto de la casa realmente ecológica por su prototipo de aprovechar todos los elementos reciclables para su construcción se encuentran:

- Universidad Tecnológica de Pereira.
- Gerenciar LTDA.
- Hotel del Café.
- Cartones y Papeles del Risaralda S.A.
- Copa Mario Marín
- BIOTAR LTDA.
- AMMA Soluciones Energía Solar.
- Extrusiones Técnicas LTDA.
- Muebles BL

- DAGIL
- Corporación Diocesana Pro-comunidad Cristiana.
- Gobernación de Risaralda.
- Asamblea Departamental de Risaralda.
- Comisión Sexta de la Cámara de Representantes de la República de Colombia.
- Estación de servicio Parque Olaya

**Ventajas de la construcción de la Eco-casa:** Los estudios realizados para la implementación de las ventajas de la utilización del ladrillo modificado con papel reciclado fueron hechos en la Universidad de Pereira con unos buenos resultados.

- **Liviano:** 33% más livianos que los elementos que sustituye.
- **Ecológicos:** Producción de manera sostenible y limpia eliminando impactos negativos asociados con productos similares, como ladrillos cerámicos y bloques de concreto.
- **Buena resistencia a la compresión:** Hasta tres veces por encima la resistencia de los ladrillos para muros divisorios.
- **Sismo resistente:** Cumplen satisfactoriamente las exigencias del código de sismo resistencia versión 2010 (COL.)
- **Mejor Aislamiento térmico.**
- **Mejor Aislamiento acústico.**
- **Adherencia al mortero:** Debido a su acabado superficial y a su buena tasa inicial de absorción se adhiere muy bien al mortero de pega.
- **Económico:** El precio de venta de estos materiales se reduce hasta en 15% con respecto a los productos que sustituye.
- **Cumplimiento de las normas técnicas 20 % MAS aplicables a los bloques de construcción:** NTC 4205, NTC 4026, NSR 10, (COL.)
- **Innovación:** Se sustenta en un proceso de máximo aprovechamiento de lodos papeleros, en trámite de patente, radicada diciembre de 2009. La maquinaria

constituye parte de la innovación, aportando elementos a la idea diferenciadora fundamental.

### ANÁLISIS FINAL

- Esta tecnología (lodo-papel) no se ha podido desarrollar por la falta de apoyo a las empresas, especialmente a las dedicadas a la fabricación de elementos reciclables.
- La implementación de esta tecnología es 15 % más económica que los ladrillos originales y cumplen un 20% más de las normas **técnicas aplicables a los bloques de construcción**: NTC 4205, NTC 4026, NSR 10, (COLOMBIANAS)

Basándonos en la investigación realizada y la industrias visitadas se presenta a continuación una tabla que permite visualizar el estado de la reutilización de los residuos sólidos profundizados en el presente proyecto:

**Tabla 21. Resumen de la utilización actual de los residuos sólidos.**

MATERIAL	EN QUE SE UTILIZA	COMO SE UTILIZA
NEUMÁTICO	Pavimento mejorado con goma de caucho	Mezcla asfalto con GCR por medio de vía seca MDC-2
	Suelo mejorado con goma de caucho	
PLÁSTICO	Madera mejorada con plástico	Tecnología WPC
	Perfiles	
	Casas de interés social	
PAPEL Y CARTÓN	Ladrillos de lodo	Combinación lodo-papel
	Casas de interés social	
MADERA	Cubiertas	Tecnología WPC
	Enchapes	
	Perfiles	

**Fuente:** Análisis elaborado por los autores.

Si se observa de la tabla anterior podemos observar que cada uno de los materiales estudiados tiene dos grandes ramas de aplicación una es la pavimentación de vías o mejoramiento de suelos y la otra es la fabricación de perfiles, mampostería y pisos para vivienda. De esto se puede decir que los residuos sólidos más utilizados en este momento y que son reprocesados con otros materiales son el plástico, madera, papel y cartón. El reprocesamiento de neumático se puede decir que es nuevo y por lo tanto su utilización no es aun significativa en términos generales.

Seguidamente se muestra una tabla que muestra las industrias visitadas y su actividad comercial y contribución a la reutilización de los residuos profundizados.

**Tabla 22. R Tabla 4.6 Resumen de los procesos productivos.**

INDUSTRIA	RESIDUO	PROCESO	RESULTADO	PRODUCTO
<b>Mundo Limpio</b>	Neumático	Trituración mecánica	GCR	Pavimento mejorado con GCR
				Canchas sintéticas
				Acero
<b>IDU</b>	Neumático	Contratación	Ficha técnica	Vías mejoradas con GCR
				Construcción de vías
<b>Woodpecker</b>	Madera-Plástico	Mezcla mecánica de fibra natural, polímero y madera	WPC	Casa de interés social
				Perfiles de madera
<b>Compuestos plásticos Ltda.</b>	Madera-Plástico	Mezcla mecánica de fibra natural, polímero y madera	WPC	Fachadas, mampostería
				Cubiertas
				Pisos y enchapes
<b>Green Works Company</b>	Papel	Mezcla mecánica de lodo con papel reciclado	Ladrillos de papel reciclado	Mampostería
				Casa de interés social

**Fuente:** Análisis elaborado por los autores.

Para obtener un análisis del estado de la reutilización de los residuos sólidos se realizó el comparativo del volumen necesario para logra la producción. No fue posible contar con los datos del total de las empresas debida a políticas particulares de cada una de estas. A continuación presentamos los resultados en la tabla 4.7 y 4.8.

**Tabla 23. Volumen necesario para la producción de las empresas.**

INDUSTRIA	RESIDUO	VOLUMEN
Mundo Limpio	Neumático	Más de 1500 Llantas
IDU	Neumático	2%
Woodpecker	Madera-Plástico	No suministrada
Compuestos plásticos Ltda.	Madera-Plástico	Más de 100 kg día
Green Works Company	Papel	Más de 200 kg casa

**Fuente:** Autores en base con los datos suministrados por las empresas.

**Tabla 24. Volumen aplicado a la reutilización de los residuos sólidos**

MATERIAL	DEL 100% SE RECICLA	APLICACION A LA INGENIERIA	FUENTE
NEUMATICO	50%	5%	IDU
PLASTICO	66%	2%	Compuestos Plasticos Ltda
PAPEL Y CARTON	83%	1%	Wood Pecker S.A
MADERA	66%	2%	Compuestos Plasticos Ltda

**Fuente:** Autores en base con los datos suministrados por las empresas

## CONCLUSIONES

- La reutilización de los residuos sólidos en obras de ingeniería civil en la región no es significativa, según la información encontrada se encuentra en un 10% de aplicación, es decir que no genera un impacto representativo aun en términos económicos, técnicos y ambientales.
- La reutilización de los residuos sólidos permite mejorar características técnicas de nuevos materiales utilizados para construcciones de obras civiles.
- La concentración de industrias dedicadas al procesamiento de residuos sólidos se encuentra en las ciudades principales de la región como lo son Bogotá y Medellín.
- Basados en parámetros ambientales, reutilización y de existencias los cinco residuos sólidos con mayor posibilidad de utilización en Colombia son la goma de caucho, el plástico, el papel, el cartón y la madera.
- El residuo sólido con mayor viabilidad económica, técnica y ambiental es la goma de caucho, teniendo en cuenta las propiedades que adiciona al ser combinada con asfalto, la ampliación de la vida útil los residuos y los beneficios ambientales que ofrece.
- los residuos sólidos más reutilizados actualmente son el plástico y la madera formada con ellos madera plástica (WPC) para fabricación de perfiles, mampostería y baldosas, y con ellos construir casas de interés social, acabados, cubiertas.

## RECOMENDACIONES

- Fomentar políticas, conciencia y cultura ambiental especialmente en los hogares para un mejor aprovechamiento de los residuos sólidos y disposición final de estos.
- Que las entidades estatales adopten como mínimo el 10% de las actividades a ejecutar en los contratos estatales, sean con materiales provenientes de la reutilización de residuos sólidos y con ellos aumentar la utilización de los mismos e incentivar en la generación de estas industrias.
- Que las universidades profundicen en la reutilización de estos residuos sólidos y que estas investigaciones sean enfocadas en los costo de procesamiento de los mismo y el impacto ambiental a futuro que generan ya su vez estas investigaciones sean divulgadas a nivel nacional.

## DEFINICIONES

**Aplicación:** Acción de llevar a la práctica estudios o ideas de anterioridad con algún objetivo o llegar a un determinado fin.

**Convencional.** Esta tecnología fue desarrollada en España para usar el GCR en la mejora de mezclas asfálticas empleando granulometrías convencionales que no implican consumos elevados de cemento asfáltico, pero que aportan menos cantidad de caucho, aproximadamente un dos por ciento del peso total de los agregados. Estas mezclas asfálticas han sido evaluadas dinámicamente en el laboratorio y colocadas en la vía con buenos resultados.

**Empresa:** Es una unidad de fines económicos, producción de bienes o servicios que le ofrece el mercado, constituida de forma legal con Misión y Visión

**GCR:** Sigla utilizada para denominar al Grano de caucho Reciclado.

**Genérica:** Esta tecnología fue desarrollada por el Dr. Barry Takallou a finales de los años 1980 y a principio de los años 1990 para producir mezclas asfálticas en calientes con granulometría densa. Este concepto emplea tanto el GCR grueso como fino para emparejar la granulometría de los agregados obteniendo una mezcla asfáltica mejorada. En este proceso la granulometría del GCR es ajustada para acomodar la granulometría de los agregados. A diferencia de las mezclas PlusRide, la granulometría del GCR se divide en dos fracciones en la que la parte final se encarga de interactuar con el cemento asfáltico mientras la parte gruesa entra a comportarse como una agregado elástico en la mezcla asfáltica.

**Obras civiles:** Es la elaboración de infraestructuras que ayuden a la comunidad civil, ejemplo: túneles, vías, casas, etc.

**Proceso Húmedo:** En el proceso húmedo, el caucho actúa modificando el proceso asfáltico.

**Proceso Seco:** En el proceso seco, el caucho es usado como una Proción del agregado fino.

**Residuos Sólidos:** Normalmente llamado “Basura”, objeto que deja de poseer valor para el dueño después de ser utilizado y se desecha de una manera no adecuada para la naturaleza.

**Reutilización:** Acción de hacer uso de los bienes que para el usuario ya no tiene uso, se busca una nueva restauración o utilidad a producto ya desechado.

**Tecnología Plusride.** Esta tecnología fue originalmente desarrollada en Suecia a finales de los años 1960, y registrada en los Estados Unidos bajo el nombre comercial PlusRide por la firma EnviroTire. El GCR es agregado a la mezcla asfáltica en proporciones que van de 1 a 3 por ciento del peso total de los agregados. El GCR son partículas que van desde 4.2 mm (1/4”) a 2.0 mm (tamiz No 10). El contenido de vacíos con aire en la mezcla asfáltica debe estar entre 2 y 4 por ciento, y por lo general son obtenidos con contenidos de ligante entre 7.5 a 9 por ciento.

**WPC:** sigla para denominar la madera plástica o madera mejorada con plástico.

## BIBLIOGRAFÍA

GOMEZ, Eileen Elena y Munemar, Nurian Bibiana. Viabilidad de reciclaje de neumáticos en aplicaciones de ingeniería civil. Trabajo de grado Santander Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil.

WALTER BULLETIN, MAYO 2004 – [www.elpais.com](http://www.elpais.com) – [www.pvem.org.mx](http://www.pvem.org.mx)

[http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=12&Itemid=16](http://www.mundolimpio.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=16)

[http://www.fida.es/03\\_documentosfida/2\\_empresa/2203\\_reciclaje\\_materiales.htm](http://www.fida.es/03_documentosfida/2_empresa/2203_reciclaje_materiales.htm)  
Tomado de: <http://www.corantioquia.gov.co/docs/LOGROS/GIRS.htm>

[http://www.ars.org.ar/index.php?Itemid=2&id=1&option=com\\_content&task=view](http://www.ars.org.ar/index.php?Itemid=2&id=1&option=com_content&task=view)

<http://www.greenworks.com.co/productos-y-servicios.html>

<http://www.elobservadoreconomico.com/articulo/461>

<http://www.yoteca.com/pg/Informacion-de-proceso-de-reciclaje.asp>

[http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid\\_7074000/7074851.stm](http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_7074000/7074851.stm)

<http://www.rds.org.co/oficina.htm?x=1059218>

[http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/2008/ley\\_1259\\_2008.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/2008/ley_1259_2008.html)

<http://www.eumed.net/tesis/2010/rdce/RESUMEN%20DE%20LA%20LEGISLACION%20AMBIENTAL%20COLOMBIANA%20SOBRE%20RESIDUOS.htm>

<http://labasuraencolombiasivale.blogspot.com/>

<http://www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/metals.htm>

<http://waste.ideal.es/inertes.htm>

<http://www.elergonomista.com/saludpublica/rsolidos.htm>

<http://compuestosplasticos.wordpress.com/>

<http://www.science.oas.org/ENVIRO/sector%20de%20manejo%20de%20residuos%20solidos.pdf>

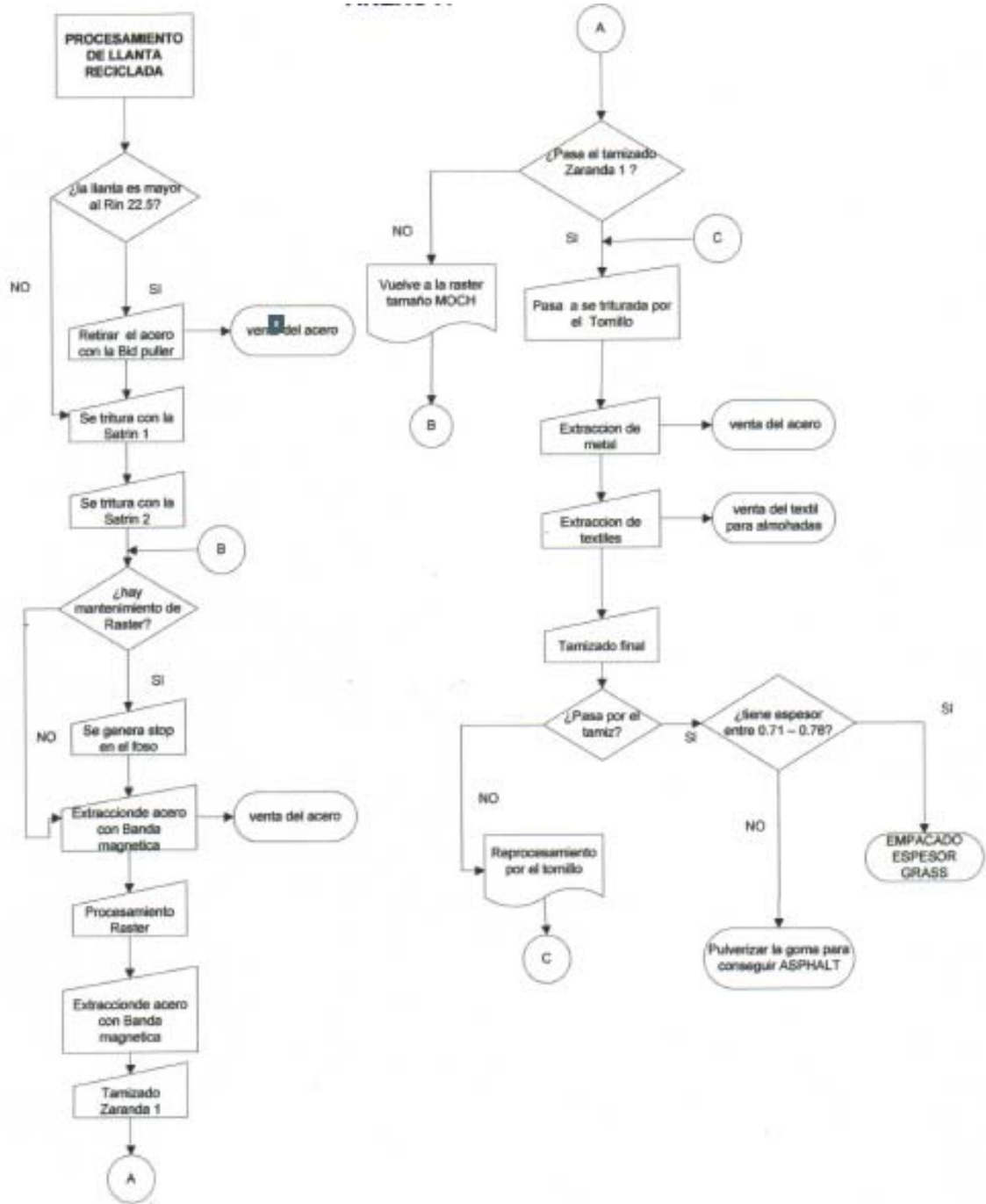
<http://www.manueljodar.com/pua/pua3.htm>

<http://www.gestion-calidad.com/archivos%20web/objetivos-RU-plan-nacional.pdf>

# **ANEXOS**

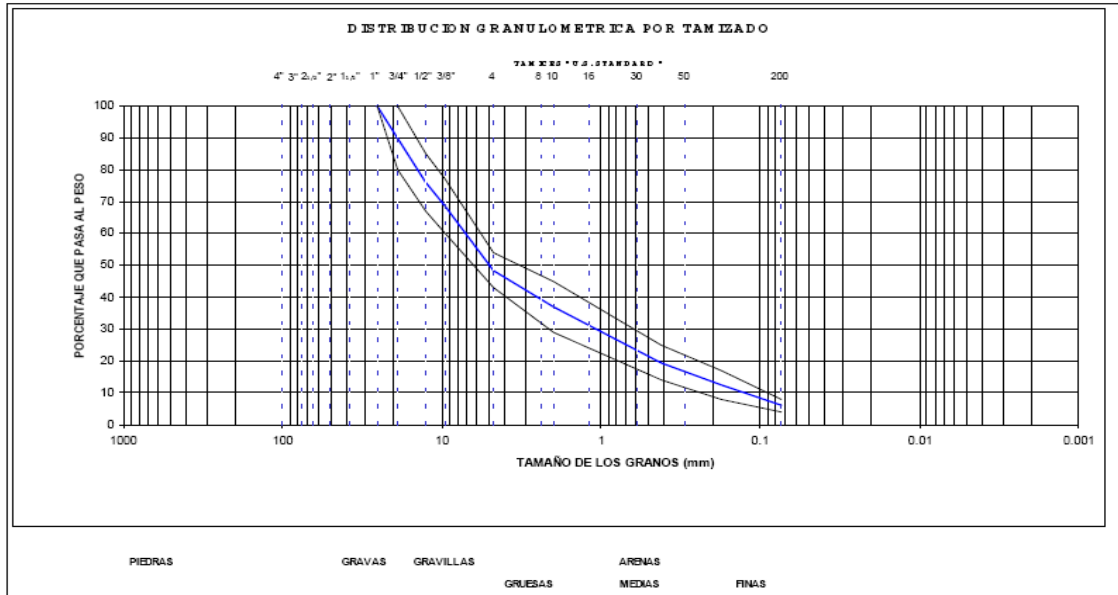
# ANEXO A

## PROCESAMIENTO DE LLANTA RECICLADA

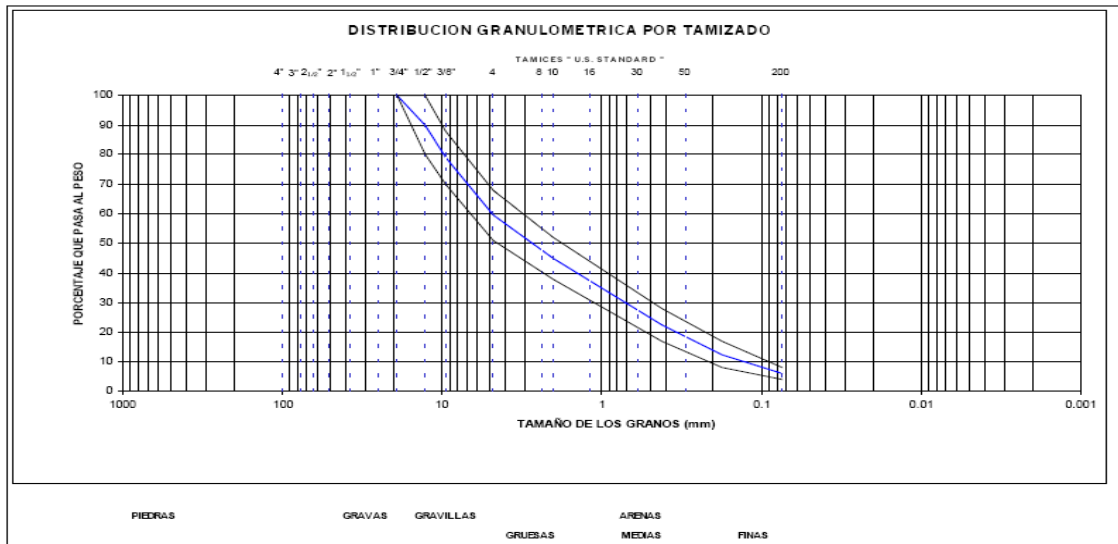


## ANEXO B

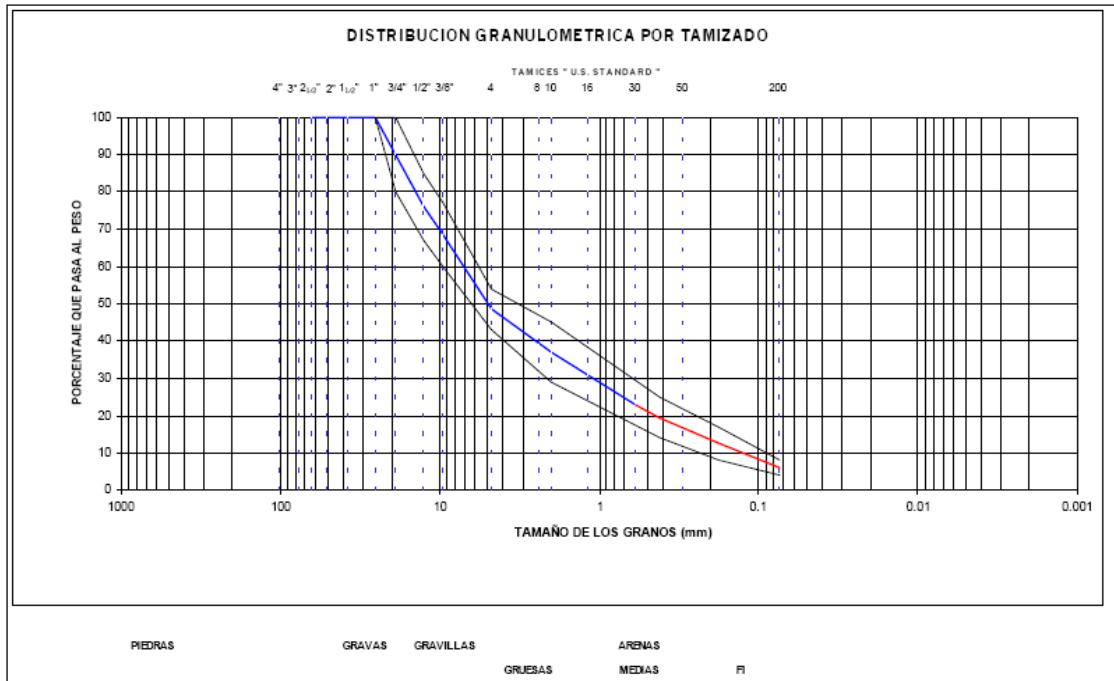
### Granulometría empleada para proceso seco – asfalto mejorado con GCR.



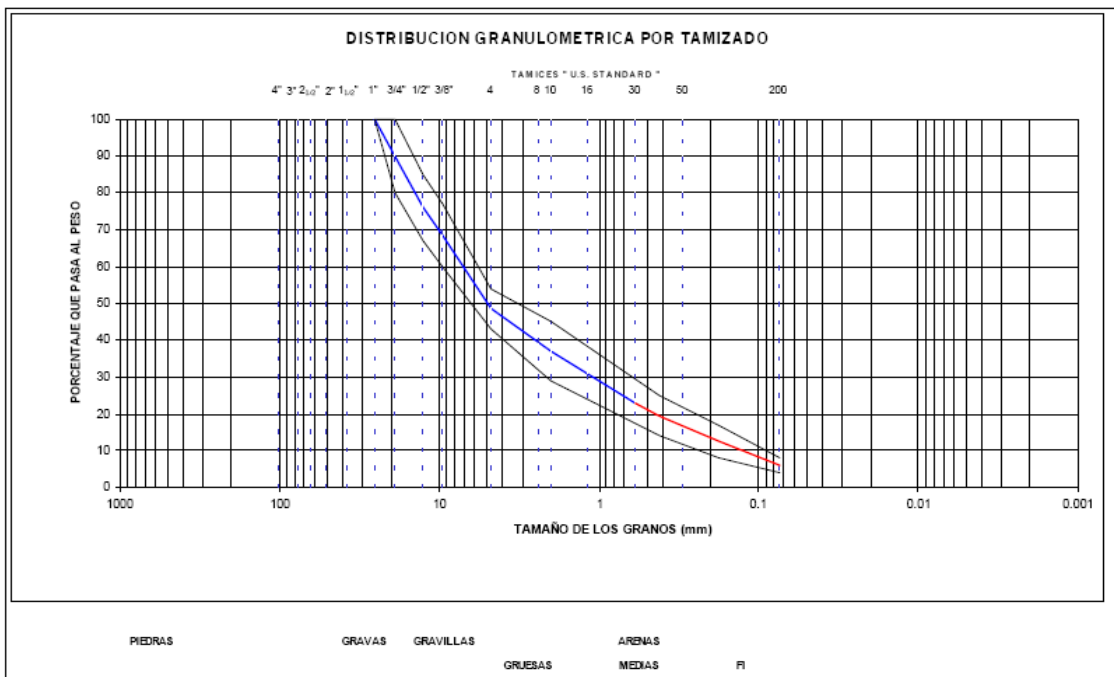
**Figura 6.11. Curva granulométrica de los Agregados escogida y los límites para una Mezcla Densa en Caliente tipo 1 establecida por el INVIAS según el Artículo 450-96.**



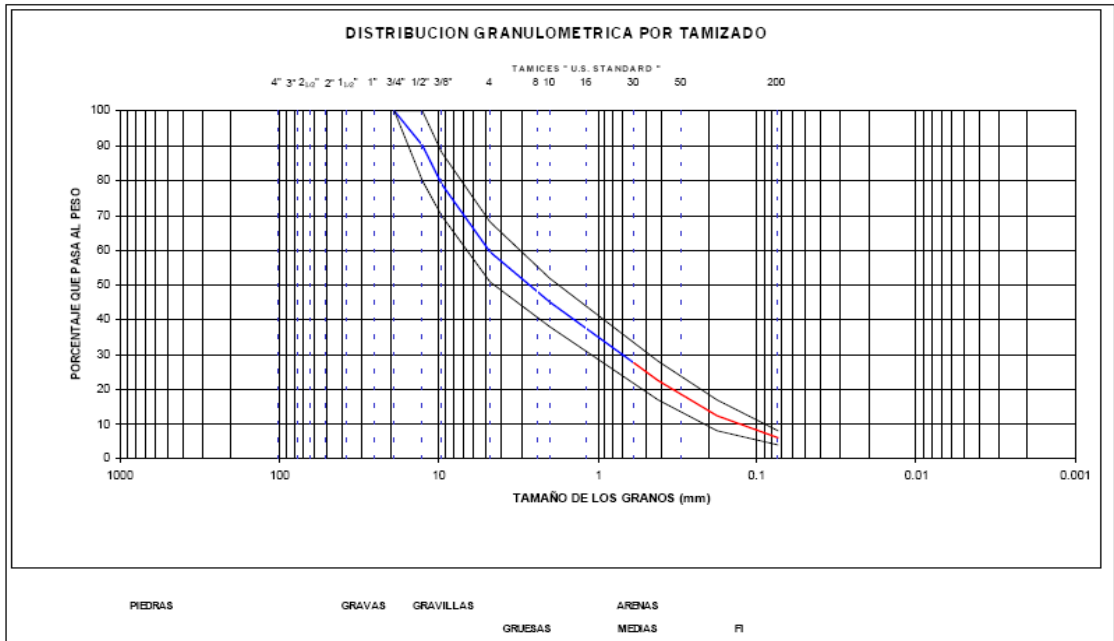
**Figura 6.12. Curva granulométrica de los Agregados escogida y los límites para una Mezcla Densa en Caliente tipo 2 establecida por el INVIAS según el Artículo 450-96.**



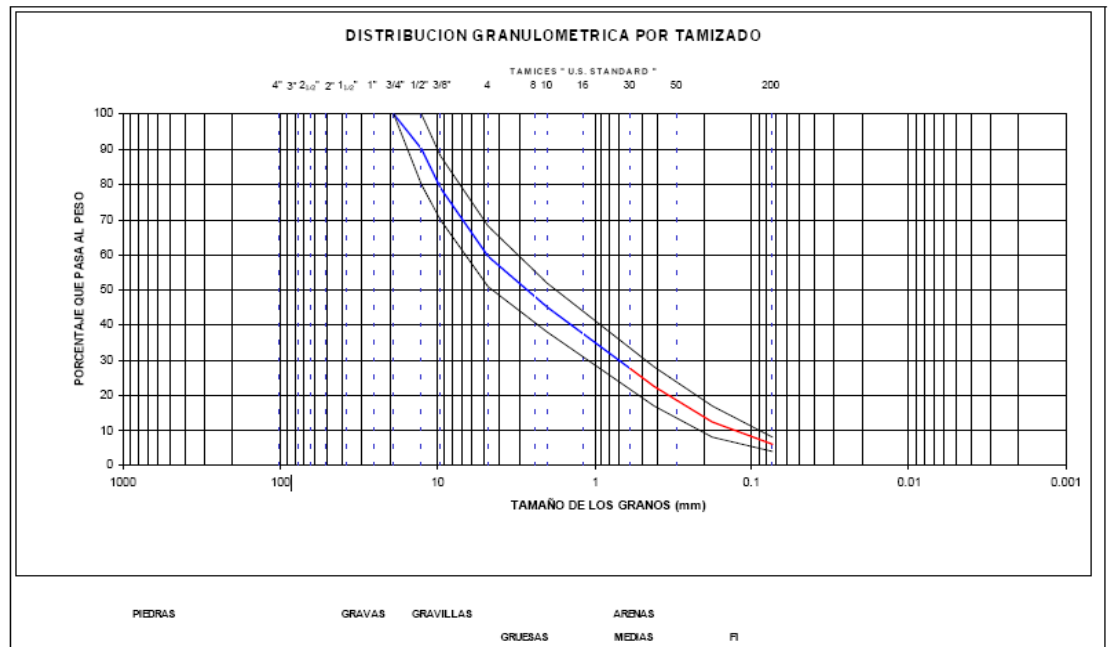
**Figura 6.13. Curva granulométrica de los Agregados y caucho para el diseño MDC-1 con 1% de caucho.**



**Figura 6.14. Curva granulométrica de los Agregados y caucho para el diseño MDC-1 con 2% de caucho.**



**Figura 6.15. Curva granulométrica de los Agregados y caucho para el diseño MDC-2 con 1% de caucho.**



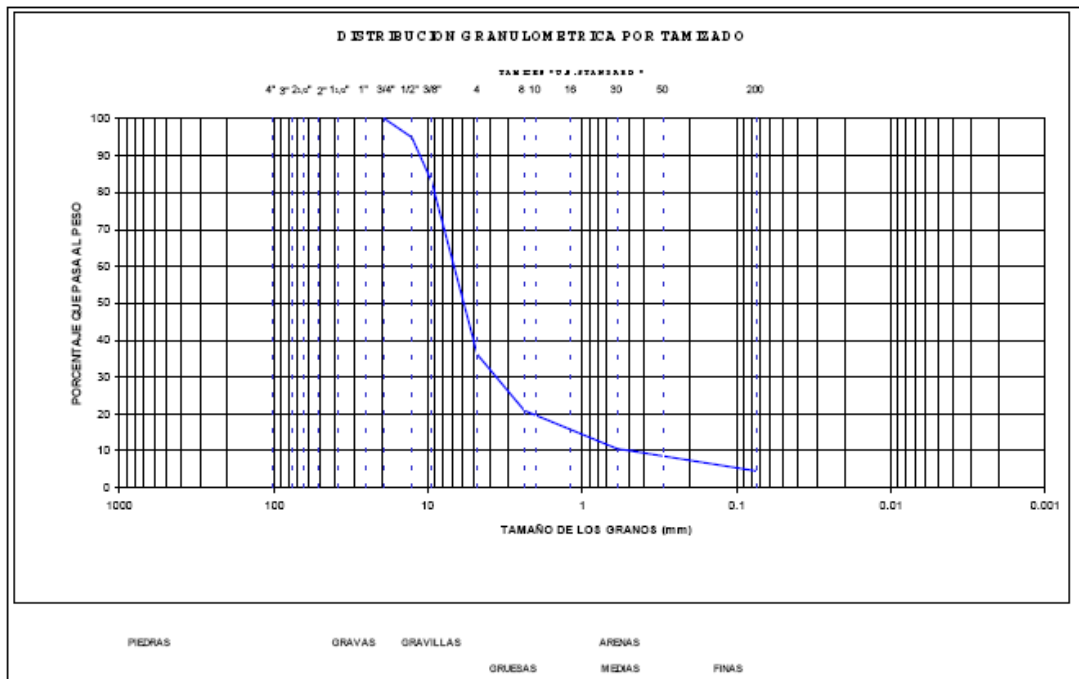
**Figura 6.16. Curva granulométrica de Agregados y caucho para el diseño MDC-2 con 2% de caucho.**

## ANEXO C

### Granulometría empleada para proceso húmedo – asfalto mejorado con GCR.

**Cuadro 6.61. Granulometría de Agregados recomendada por el Departamento de Transporte de California para una granulometría discontinua.**

Tamiz		Tamaño Máximo Nominal	
Normal	Alterno	¾"	½"
19.0 mm	¾"	-	100
12.5 mm	½"	90-100	90-100
9.5 mm	3/8"	60-68	79-87
4.75 mm	No. 4	32-40	32-40
2.38 mm	No. 8	18-24	18-24
595 µm	No. 30	9-12	9-12
74 µm	No. 200	2-7	2-7



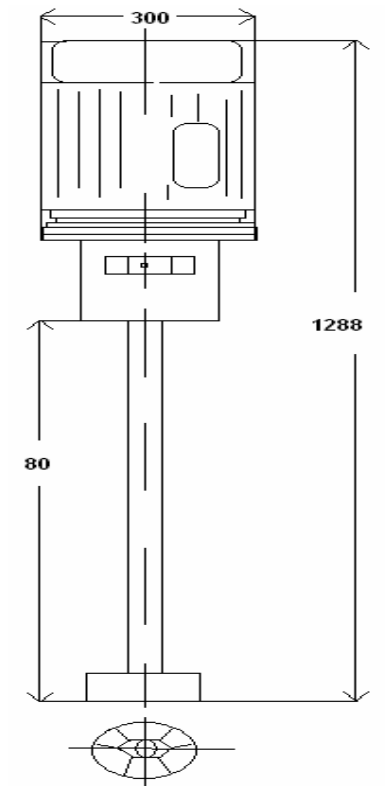
**Figura 6.53. Curva granulométrica de los agregados recomendada por CALTRANS para una granulometría discontinua, para mezclas asfálticas elaboradas por la vía húmeda.**

## ANEXO D EQUIPO MEZCLADOR:

Mezclador tipo turbine que permite y asegura flujo axial.

- Temperatura máxima de trabajo es de 200°C.
- Motor de 5 HP con Arrancador directo .Incluye contactor de bobina a 220V .
- Velocidad de agitación: 1800 rpm.
- Material de construcción: Acero Inoxidable AISI 304.

**Figura D1 al anexo No. 4.** Bosquejo del equipo. Las medidas están dadas en centímetros.



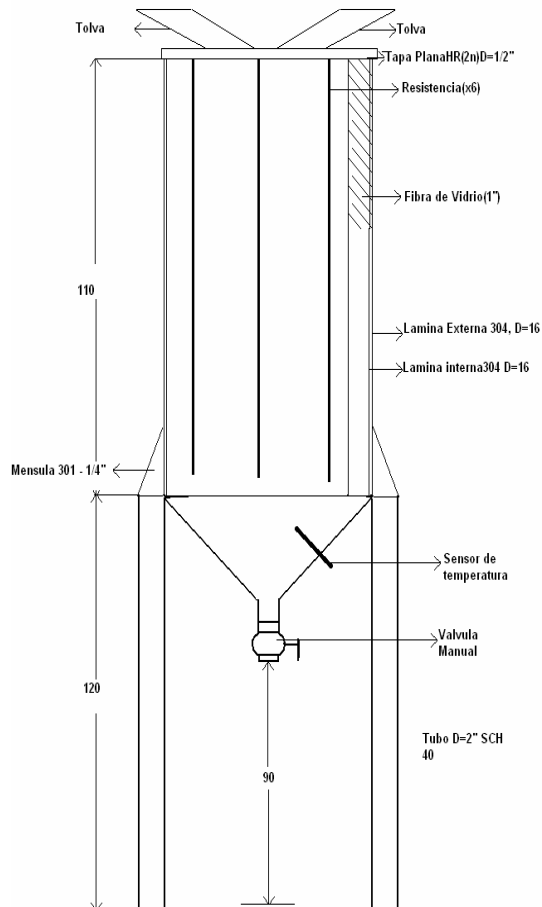
**Bosquejo de Mezclador**

## ESPECIFICACIONES Y DISEÑOS PLANTA PILOTO

### Tanque de Mezcla

- Capacidad de 55 galones de fluido.
- Material: Lámina de Acero Inoxidable 100%, calidad 304 ó calibre 16.
- Tapa plana.
- Dos tolvas alimentadoras ubicadas en la tapa para la alimentación del asfalto fundido y del caucho . También sirven para el desfogue de gases.
- Control de temperatura mediante panel de control eléctrico.
- Altura desde el suelo hasta salida del material modificado: 1.2 m

**Figura D2 al anexo No. 4.** Bosquejo del tanque. Las medidas están dadas en centímetros.



**Figura 8.1. Bosquejo tanque de mezclado**

**Tabla No.1 al anexo No. 4 Dosificación y condiciones de operación de planta piloto**

<b>DOSIFICACION y CONDICIONES DE MODIFICACION</b>		
Volumen Total	(gal)	55
Tiempo total modificación / Batch	(min)	45
Kg mod./batch neto	(kg)	215
Kg mod./batch con pérdida	(kg)	204
Volumen asfalto /batch	(gal)	47
Masa de asfalto/batch	(kg)	182
Masa de caucho / batch	(kg)	33
Densidad del asfalto caucho modificado (Kg/m3)		1040
Cantidad requerida de asfalto modificado ( m3)		5.26
Cantidad requerida de asfalto modificado (Kg)		3464
Numero batch requeridos		27
Días de 8 horas		3
Tiempo total modificación	(h)	21
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>		
Temperatura de operación	(°C)	160
Temperatura máxima permitida	(°C)	200
Temperatura de arranque del motor	(°C)	140
Velocidad	(rpm)	1800
Capacidad volumétrica	(gal)	55



**Figura D3 al anexo No. 4 Tanque reactor con motor y tolvas de alimentación**



**Figura D4 al anexo No. 4 Tolva de alimentación del caucho**



Figura D5 al anexo No. 4 **Válvula de salida del reactor**



Figura D6 al anexo No. 4 **Panel de Control**



Figura D7 al anexo No. 4 **Motor del mezclador**



Figura D8al anexo No. 4. **Mezclador**



Figura D9 al anexo No. 4 **Impeler del mezclador**



Figura D10 al anexo No. 4 **Base del reactor anclada en la placa**



Figura D11 al anexo No. 4. **Reactor de Modificación**

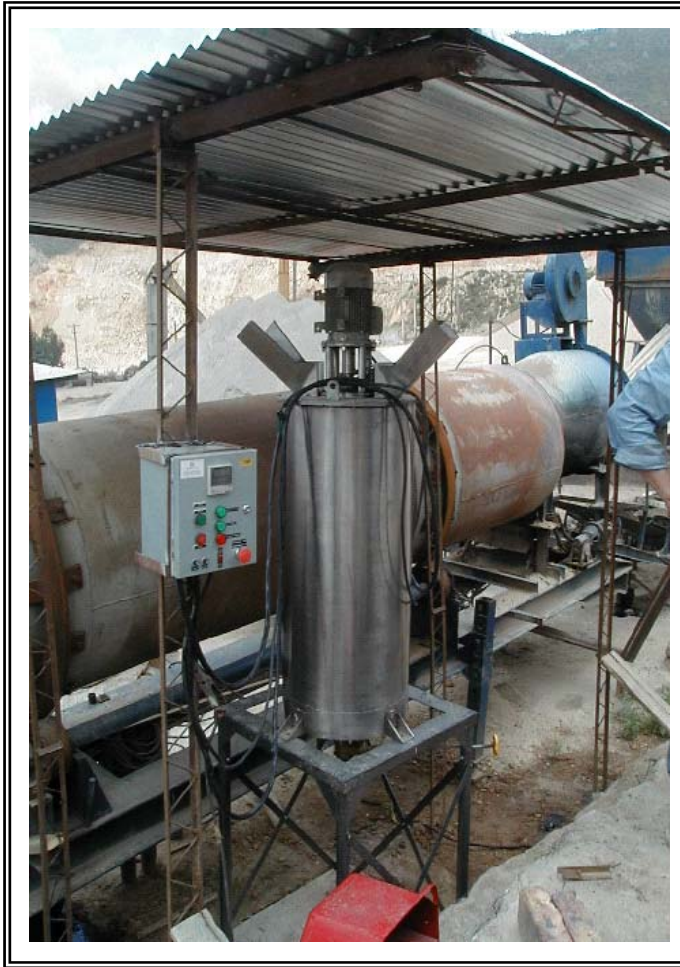



Figura D12 al anexo No. 4 **Planta Piloto de modificación de asfaltos**


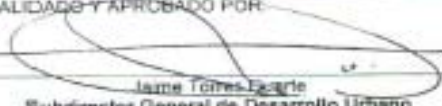
**ANEXO E  
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA**

CÓDIGO: ET-GE-002	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: APLICACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (VÍA HÚMEDA)	VERSIÓN 1.0	 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. - Instituto Desarrollo Urbano
PROCESO GESTIÓN ESTRATÉGICA	ACTO ADMINISTRATIVO: 3649		


# ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

PARA LA APLICACIÓN DEL  
GRANO DE CAUCHO  
RECICLADO (GCR) EN  
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN  
CALIENTE (VÍA HÚMEDA)

**Año 2009**



ELABORADO POR:  Hernán Alonso Rosero Bernal Director Técnico Estratégico	VALIDADO Y APROBADO POR:  Jaime Torres Escarte Subdirector General de Desarrollo Urbano
--	--


Página 1 de 10

CÓDIGO: ET-GE-002	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: APLICACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (VÍA HÚMEDA)	VERSIÓN 1.0	 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Desarrollo Urbano
PROCESO GESTIÓN ESTRATÉGICA	ACTO ADMINISTRATIVO: 3649		

## Hoja de Control de Versiones


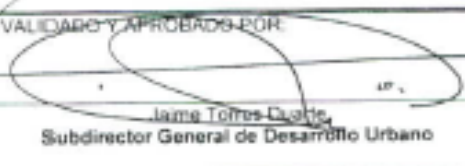
Versión	Número y Fecha Acto Administrativo	Descripción Modificación	No. de Folios Versión
1.0	3649 16 SET. 2009	Creación de la Especificación Técnica ET-GE-002 para la Aplicación Del Grano De Caucho Reciclado (Gcr) En Mezclas Asfálticas En Caliente (Via Húmeda).	10


ELABORADO POR: 	VALIDADO Y APROBADO POR: 
Hernán Alonso Rosero Bernal Director Técnico Estratégico	Jaime Torres Duarte Subdirector General de Desarrollo Urbano

CÓDIGO: ET-GE-002	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: APLICACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (VÍA HÚMEDA)	VERSIÓN - 1.0	 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. - Instituto Desarrollo Urbano
PROCESO GESTIÓN ESTRATÉGICA	ACTO ADMINISTRATIVO: 3649		

## TABLA DE CONTENIDO

1	OBJETIVO.....	4
2	ALCANCE.....	4
3	MATERIALES.....	4
3.1.	Grano de Caucho Reciclado (GCR):.....	4
3.2.	Cemento asfáltico a ser modificado:.....	5
3.3.	Granulares:.....	5
4	PRODUCCIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO CON GCR.....	5
5	MEZCLA ASFÁLTICA.....	7
5.1.	Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo:.....	7
5.1.1.	Metodología alternativa:.....	7
5.2.	EQUIPO DE FABRICACIÓN.....	8
5.3.	SUMINISTRO, EXTENSIÓN Y COMPACTACIÓN.....	9
6	CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS.....	9
7	MEDIDA.....	9
8	FORMA DE PAGO.....	10
9	ÍTEM DE PAGO.....	10

ELABORADO POR: 	VALIDADO Y APROBADO POR: 
Hernán Alcedo Rosero Bernal Director Técnico Estratégico	Jaime Torres Dueño Subdirector General de Desarrollo Urbano

CÓDIGO: ET-GE-002	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: APLICACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (VÍA HÚMEDA)	VERSIÓN 1.0	 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. INSTITUTO Desarrollo Urbano
PROCESO GESTIÓN ESTRATÉGICA	ACTO ADMINISTRATIVO: 3649		

## 1 OBJETIVO

Esta Especificación hace referencia a la colocación del Grano de Caucho Reciclado (GCR), en las mezclas asfálticas como un agente modificador del asfalto.

## 2 ALCANCE

El grano de caucho reciclado, que se obtiene del proceso de reencauchado de las llantas o del troceado mediante acción mecánica, se puede utilizar en las mezclas asfálticas, como un agente modificador del asfalto.



El empleo del GCR en las mezclas asfálticas en caliente produce resultados de buena calidad, si se parte de materiales bien estudiados y métodos de diseño y construcción correctos.


La utilización de GCR por el proceso húmedo proporciona un asfalto modificado que puede ser empleado como se ha especificado para este tipo de producto.

## 3 MATERIALES

### 3.1. Grano de Caucho Reciclado (GCR):

El GCR podrá ser el producto del raspado de la huella de llantas de camión ó vehículos ligeros en el proceso de reencauche, o del troceado de llantas. El GCR deberá ser uniforme, libre de metal, fibras textiles u otros contaminantes, y deberá estar seco. Todo el GCR tendrá un tamaño inferior a 595  $\mu$  (pasante del tamiz No 30) Una vez se tenga el material en el sitio de trabajo, este debe ser almacenado en la tolva para su disposición.

ELABORADO POR:  Hernán Alonso Rosero Bernal Director Técnico Estratégico	VALIDADO Y APROBADO POR:  Jaime Torres Buitrago Subdirector General de Desarrollo Urbano
--	---

CÓDIGO: ET-GE-002	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: APLICACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (VÍA HÚMEDA)	VERSIÓN 1.0	 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>Tránsito</small> Desarrollo Urbano
PROCESO GESTIÓN ESTRATÉGICA	ACTO ADMINISTRATIVO: 3649		

### 3.2. Cemento asfáltico a ser modificado:

Los cementos asfálticos a ser modificados con GCR deberán ser asfaltos puros o convencionales, y deberán cumplir con las características mínimas que se indican en la sección 200.-05 de las Especificaciones Técnicas IDU-ET-2005.

### 3.3. Granulares:

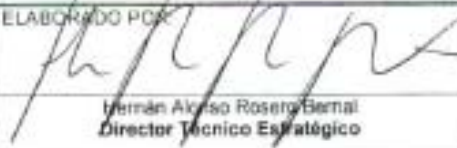
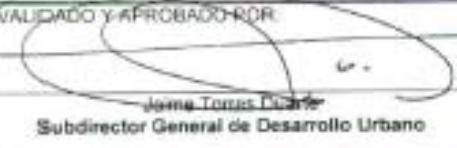
Los granulares para la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente deben cumplir las especificaciones establecidas para el agregado grueso (Artículo 510.2.1.1 ET 2005) y para el agregado fino (Artículo 510.2.1.2 ET 2005) para mezclas asfálticas en caliente.


La granulometría de los agregados podrá ser cualquiera de las establecidas para mezclas asfálticas en caliente (Artículo 510.2.1.4 ET 2005).

## 4. PRODUCCIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO CON GCR

La modificación del ligante puro con GCR deberá hacerse con un equipo que esté en capacidad de proporcionar una mezcla asfalto-caucho homogénea, controlándose las variables. El asfalto modificado con GCR deberá cumplir con las propiedades mínimas especificadas en la tabla N° 2.

Si al menos una de las propiedades especificadas en la tabla N° 2 no se llega a cumplir, se deberá calcular el porcentaje óptimo de GCR para modificar un ligante puro, mediante un programa experimental siguiendo las recomendaciones señaladas en la tabla N° 1 y cumpliendo con las propiedades especificadas en la tabla N° 2.

ELABORADO POR 	VALIDADO Y APROBADO POR 
Hernán Alexis Rosero Bernal Director Técnico Estratégico	Jairo Torres Duarte Subdirector General de Desarrollo Urbano

CÓDIGO: ET-GE-002	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: APLICACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (VÍA HÚMEDA)	VERSIÓN 1.0	 AL CALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. <small>(antes)</small> Desarrollo Urbano
PROCESO GESTIÓN ESTRATÉGICA	ACTO ADMINISTRATIVO: 3649		


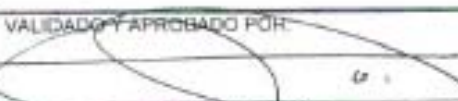
VARIABLES	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO
Cantidad de GCR	% (sobre el peso del ligante)	10	20
Tiempo de Reacción	min	55	75
Velocidad de agitación en laboratorio	min	100	750
Temperatura de mezclado	°C	155	170


Tabla N°1: Intervalo de valores característicos recomendados para modificar el ligante con GCR

Característica	Unidad	Norma de Ensayo	Mínimo	Máximo
Viscosidad Brookfield a 163°C	Pa-s	ASTM D 4402-87	1.5	3.0
Penetración a 25 °C	0.1 mm	INV E-706	40	60
Punto de ablandamiento	°C	INV E-712	-	55
<b>Pruebas al residuo después del RTFOT</b>				
Pérdida de masa	%	INV E-720	-	1
Penetración	% (de la penetración original)	INV E-706	65	-
Recuperación elástica	%	AASHTO T-301-95	50	-

Tabla N°2: Especificación de asfaltos modificados con GCR

Si la mezcla asfalto caucho no es usada dentro de las primeras cuatro horas después del tiempo de reacción, manteniéndose almacenada a una temperatura superior a 155°C y es nuevamente calentada, esto se debe considerar como un ciclo de calentamiento. El número total de ciclos de calentamiento no debe ser mayor de dos. Mientras la mezcla asfalto-caucho este almacenada a altas temperaturas se debe mantener en agitación constante para evitar separación del GCR y el cemento

ELABORADO POR:  Hernán Alcocer Rosero Bernal Director Técnico Estratégico	VALIDADO Y APROBADO POR:  Jaime Torres Torres Subdirector General de Desarrollo Urbano
---	---

CÓDIGO: ET-GE-002	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: APLICACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (VÍA HÚMEDA)	VERSIÓN 1.0	 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. DESARROLLO URBANO
PROCESO GESTIÓN ESTRATÉGICA	ACTO ADMINISTRATIVO: 3649		

asfáltico, previendo que no se presenten zonas dentro del tanque donde el producto no se encuentre en agitación constante o que haya turbulencia.

## 5 MEZCLA ASFÁLTICA

La elaboración de mezcla asfáltica con un asfalto modificado con GCR será igual a la estipulada para un asfalto modificado con polímeros. La temperatura de mezclado de los agregados y el asfalto-caucho será la que indique la curva viscosidad - temperatura del asfalto modificado con GCR.

### 5.1. Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo:



El diseño de la mezcla deberá realizarse de acuerdo a lo indicado en el numeral 510.3 de la Sección 510-05 Mezclas Asfálticas en Caliente Densas, Semidensas y Gruesas.


Alternativamente, se podrá realizar el diseño de mezcla con la metodología propuesta en el numeral 5.1.1 de la presente especificación.

#### 5.1.1. Metodología alternativa:

El contenido óptimo de cemento asfáltico modificado con caucho se podrá determinar mediante la elaboración en compactación giratoria de probetas de mezcla asfáltica con diferentes contenidos de ligante, evaluándose la compactación y el módulo dinámico de las mismas; por lo tanto, el contenido óptimo de ligante será aquel que cumpla con los parámetros de Módulo y Compactación especificados en la tabla N°3.

Los ensayos en la prensa de compactación giratoria permiten prever con una buena precisión la compactación que se obtendrá en obra, con base en la compactación obtenida en un número de giros igual a diez veces el espesor de aplicación expresado en centímetros.

ELABORADO POR 	VALIDADO Y APROBADO POR 
Hernán Alonso Rosero Bernal Director Técnico Estratégico	Jaime Torres Cuarta Subdirector General de Desarrollo Urbano

CÓDIGO: ET-GE-002	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: APLICACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (VÍA HÚMEDA)	VERSIÓN 1.0	 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. INSTITUTO Desarrollo Urbano
PROCESO GESTIÓN ESTRATÉGICA	ACTO ADMINISTRATIVO: 3649		



Ensayo	Norma	Valores admisibles
Ensayo Marshall	INV E-748	≈97%
Compacidad		
Resistencia conservada luego de inmersión	INV E-738	> 75%
Ensayo de ahuellamiento	INV E-756	20 mm/min
Máxima velocidad de deformación en el intervalo de 105 a 120 min		
Módulo, a 15° C y 10 Hz	INV E-754	> 4600 Mpa
Fatiga $\epsilon_s$ a 15°C y 25 Hz	NF P 989-261	= $1800 \times 10^{-4}$


Tabla N°3 Propiedades mínimas requeridas para mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado con GCR

## 5.2. EQUIPO DE FABRICACIÓN.

Para la producción de asfalto-caucho se deberá contar con el siguiente equipo:

- ❖ Una tolva para el almacenamiento del GCR debidamente acondicionada para conservarlo libre de humedad y contaminantes nocivos
- ❖ Un tanque de reacción capaz de alcanzar y mantener la temperatura requerida para la reacción del cemento asfáltico y el GCR. El sistema de mezclado deberá ser capaz de variar la velocidad de agitación, y garantizará la homogeneidad de la mezcla asfalto-caucho en todo el tanque evitando zonas donde el material no esté en agitación constante. Los alimentadores del cemento asfáltico y del GCR deberán estar equipados con sistemas que garanticen la proporción adecuada, en peso, de cada material en el tiempo indicado. Así mismo deberá contar con un dispositivo especial que permita tomar muestras de la mezcla asfalto-caucho en la parte superior y fondo del tanque.

ELABORADO POR  Hernán Alonso Rosero Bernal Director Técnico Estratégico	VALIDADO Y APROBADO POR  Jaime Torres Duarte Subdirector General de Desarrollo Urbano
---	--

CÓDIGO: ET GE 002	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: APLICACIÓN DEL GRAND DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (VÍA HÚMEDA)	VERSIÓN 1.0	 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
PROCESO GESTIÓN ESTRATÉGICA	ACTO ADMINISTRATIVO: 3649		

- ❖ Un tanque de almacenamiento capaz de mantener la mezcla asfalto caucho en agitación constante a la temperatura de almacenamiento establecida. Esta unidad deberá estar equipada con un equipo de control y registro de temperatura.
- ❖ La planta para la elaboración de la mezcla asfáltica con un asfalto modificado con GCR deberá estar equipada con tuberías y bombas adecuadas para trabajar con un asfalto modificado, además deberá cumplir con lo especificado en el numeral 510.4 de las Especificaciones IDU-ET 2005.

### 5.3. SUMINISTRO, EXTENSIÓN Y COMPACTACIÓN.

El suministro y extensión será igual a lo determinado en la sección 510.05: Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensas y gruesas de la Especificación IDU-ET-2005. La compactación deberá iniciarse posterior a la extensión, a la temperatura más alta posible, sin que se produzcan agrietamientos o desplazamientos en la mezcla. No se deberá usar compactador de neumáticos, para evitar que la mezcla se adhiera a la superficie.


## 6 CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS

Para el recibo de los trabajos, aplica lo indicado en la sección 510-05 Mezclas Asfálticas en Caliente Densas, Semidensas y Gruesas de la Especificación IDU-ET-2005.

## 7 MEDIDA.

La unidad de medida será el metro cúbico ( $m^3$ ), aproximado al décimo de metro cúbico ( $0.1m^3$ ), de mezcla asfáltica en caliente modificada con grano de caucho reciclado, suministrada y compactada en obra a satisfacción del interventor, de acuerdo a lo exigido en esta especificación. Cuando el cómputo de la fracción centesimal de la obra aceptada resulte igual o superior a cinco centésimas de metro cúbico ( $\geq 0.05 m^3$ ) la

ELABORADO POR  Hernán Alonso Ricoero Bernal Director Técnico Estratégico	VALIDADO Y APROBADO POR  Jaime Torres Duarte Subdirector General de Desarrollo Urbano
--	--

CÓDIGO: ET-GE-002	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: APLICACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (VÍA HÚMEDA)	VERSIÓN 1.0	 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. - DESARROLLO URBANO
PROCESO GESTIÓN ESTRATÉGICA	ACTO ADMINISTRATIVO: 3649		

aproximación a la décima se realizará por exceso y cuando sea menor de cinco centésimas de metro cúbico ( $<0.05 \text{ m}^3$ ) la aproximación se realizará por defecto.

El volumen se determinará multiplicando la longitud real construida, medida a lo largo del eje del proyecto, por el ancho y espesor mostrados en los documentos del proyecto o ajustados según los cambios ordenados por el interventor. No se medirá, con fines de pago, ningún volumen por fuera de estos límites.


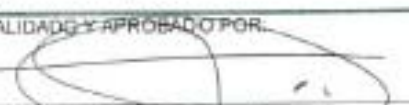
## 8 FORMA DE PAGO.

El pago de las mezclas asfálticas en caliente con grano de caucho reciclado se hará al precio unitario del contrato, por metro cúbico ( $\text{m}^3$ ), para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación. El precio unitario deberá incluir todos los costos correspondientes a administración, imprevistos y utilidades del constructor.

El precio unitario deberá incluir los costos de producción del asfalto modificado con GCR y los costos de fabricación de la mezclas asfáltica.

## 9 ÍTEM DE PAGO

9.1. Mezcla asfáltica densa en caliente del tipo denso, semidenso o grueso Elaborada con cemento asfáltico modificado con GCR. Metro cúbico ( $\text{m}^3$ )

ELABORADO POR 	VALIDADO Y APROBADO POR 
Hernán Alfonso Rosero Bernal Director Técnico Estratégico	Jaime Torres Duarte Subdirector General de Desarrollo Urbano