

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROYECTO DE NORMA DE044-16 CON LA  
ESPECIFICACIÓN IDU 560 – 11 Y CON EL ARTICULO INVIAS 467-13 Y LA  
NORMA INV – E – 824 -13 DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON GRANO DE  
CAUCHO MEJORADO**



Oscar Antonio Ramirez Franco.

Universidad Militar Nueva Granada.

Facultad de Ingeniería.

Especialización en Ingeniería de Pavimentos

Bogotá D.C

Diciembre 2016.

**TESIS DE GRADO**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROYECTO DE NORMA DE044-16 CON LA  
ESPECIFICACIÓN IDU 560 – 11 Y CON EL ARTICULO INVIAS 467-13 Y LA  
NORMA INV – E – 824 -13 DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON GRANO DE  
CAUCHO MEJORADO**



Oscar Antonio Ramirez Franco.

Asesor: **Ing. MSc. JULIAN HURTADO**

Universidad Militar Nueva Granada.

Facultad de Ingeniería.

Especialización en Ingeniería de Pavimentos

Bogotá D.C

Diciembre 2016.

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá D.C 9 de diciembre de 2016**

## Dedicatoria

*“Siempre ha de haber dos, ni más ni menos. Un maestro y un aprendiz”.*

*Yoda, Star Wars*

*A mi familia, ustedes son los que me permiten ser.*

## 1. Contenido

|   |    |
|---|----|
| 2. Glosario.....  | 5  |
| 3. Abstract .....   | 7  |
| 4. Introducción.....  | 9  |
| 5. Antecedentes.....  | 11 |
| 6. Objetivos.....   | 13 |
| 6.1 Objetivo general.....   | 13 |
| 6.2 Objetivos específicos.....  | 13 |
| 7. Marco teórico .....  | 15 |
| 8. Desarrollo de los objetivos específicos. ....                                    | 17 |
| 8.1 Trazabilidad al proyecto de norma ICONTEC.....                                  | 17 |
| 8.1.2 Pre factibilidad y planeación .....   | 18 |
| 8.1.3 Elaboración.....  | 32 |
| 8.1.4 Validación .....  | 33 |
| 8.1.5 Gestión de Comité Revisión .....  | 34 |
| 8.1.6 Consejo técnico de revisión.....  | 36 |
| 8.1.7 Ratificación .....  | 37 |
| 8.2 Normas y especificaciones vigentes en Colombia.....                             | 43 |
| 8.3 Sistemas de recolección de llantas usadas e industrialización. ....             | 52 |
| 8.3.1 Recolección de Llantas y producción de grano de caucho.....                   | 52 |
| 8.3.2 Plantas recicladoras llantas usadas para grano de caucho.....                 | 55 |
| 8.4 Parámetros definidos por la normas y especificaciones para su utilización ..... | 59 |
| 9. Conclusiones y recomendaciones.....  | 88 |
| 10. Referencias y/o bibliografía.....   | 90 |

## Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Grupo técnico .....   | 19 |
| Tabla 2. Reuniones realizadas comité de trabajo .....  | 20 |
| Tabla 3. Plan de Trabajo inicial .....   | 21 |
| Tabla 4. Ejemplo de una disposición típica de elementos en un documento normativo .....                    | 22 |
| Tabla 5. Estructura preliminar definida en la tercera reunión .....  | 26 |
| Tabla 6. Reuniones de comité pavimentos nro. 166 .....   | 33 |
| Tabla 7. Concepto empresas .....   | 34 |
| Tabla 8. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas con GCR .....                                     | 67 |
| Tabla 9. Tipo de gradación por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa. ....            | 67 |
| Tabla 10. Tipo de asfalto por emplear en mezclas con asfaltos modificados GCR .....                        | 68 |
| Tabla 11. Tipo de asfalto por emplear en mezclas con asfaltos modificados GCR .....                        | 68 |
| Tabla 12. Criterios para el diseño preliminar de mezclas asfálticas con GCR .....                          | 69 |
| Tabla 13. Verificación de resistencia a la deformación de mezclas asfálticas con GCR .....                 | 70 |
| Tabla 14. Verificación del diseño del de mezclas asfálticas con GCR. ....                                  | 70 |
| Tabla 15. Requisitos mínimos del GCR .....   | 71 |
| Tabla 16. Requisitos físicos para el ligante asfalto-caucho .....  | 72 |
| Tabla 17. Grado de Desempeño en Prueba de Recuperación a Fluencia aplicando Múltiple Esfuerzo (MSCR) ..... | 73 |
| Tabla 18. Requisitos de los agregados pétreos .....  | 75 |
| Tabla 19. Requisitos del llenante mineral .....  | 77 |
| Tabla 20. Ensayos de verificación sobre los agregados .....  | 77 |
| Tabla 21. Ensayos de verificación sobre el llenante mineral de aporte .....                                | 79 |
| Tabla 22. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas con GCR .....                                    | 80 |
| Tabla 23. Franjas granulométricas alternativas para mezclas asfálticas con GCR .....                       | 80 |
| Tabla 24. Tipo de gradación por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa .....           | 81 |
| Tabla 25. Pasos a seguir para el diseño de mezclas asfálticas con GCR .....                                | 82 |
| Tabla 26. Criterio para el diseño preliminar de mezclas asfálticas con GCR .....                           | 83 |
| Tabla 27. Verificación de la resistencia a la deformación de mezclas asfálticas con GCR .....              | 83 |
| Tabla 28. Verificación de la resistencia a la deformación de mezclas asfálticas con GCR .....              | 84 |
| Tabla 29. Temperaturas de ensayo para la norma AASHTO T324 .....   | 84 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 30. Verificación del diseño de mezclas asfálticas con GCR ..... | 84 |
| Tabla 31. Periodicidad de los ensayos según tamaño del proyecto ..... | 86 |

## Índice de Imágenes

|  |    |
|--|----|
| Imagen 1.Creación de la norma técnica.....   | 18 |
| Imagen 2.Proposiciones y varios.....   | 33 |
| Imagen 3.Observaciones presentadas por PAVIMENTAR S.A, Anexo A .....   | 35 |
| Imagen 4.Asignación de puntaje a las propuestas .....  | 44 |
| Imagen 5.Proceso adición polvo NFU asfalto por vía húmeda.....   | 49 |
| Imagen 6.Alternativas de aprovechamiento de llantas usadas.....  | 51 |
| Imagen 7.Destalonamiento.....  | 56 |
| Imagen 8.Granulación primaria .....  | 57 |
| Imagen 9.Equipo Para granulación Secundaria .....  | 57 |
| Imagen 10. Separación por componentes.....   | 58 |
| Imagen 11. Granulometría de los agregados .....  | 59 |
| Imagen 12. Intervalo de Valores característicos, recomendados para modificar el<br>ligante con GCR.....                    | 60 |
| Imagen 13. Especificación de asfaltos modificados con GCR.....   | 60 |
| Imagen 14.Método de ensayo para la medida de la ley de fatiga. (tabla 560.4) ...   | 62 |
| Imagen 15.Características del grano de caucho reciclado GCR (tabla 413.1) .....  | 64 |
| Imagen 16. Distribución de tamaños del grano de caucho reciclado GCR (tabla<br>413.2).....                                 | 64 |
| Imagen 17. Especificaciones físicas del cemento asfáltico modificado con grano de<br>caucho reciclado (tabla 413.3). ..... | 65 |

## 2. Glosario

**Asfalto:** También denominado betún, es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Se utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos.

**Caucho:** Es una sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica.

**Caucho sintético:** Caucho que se obtiene por reacciones químicas, conocidas como condensación o polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados.

**Caucho natural:** Es un líquido lechoso que fluye de ciertos árboles. Su nombre proviene de la palabra cautchuc con la que los indios habitantes de Perú designaban al árbol hevea, y que significa "árbol que llora". Con él se confecciona el conocido hule o goma.

**Decreto:** Un decreto es un término que procede del latín *decrētum*, es la decisión de una autoridad sobre la materia en que tiene competencia. Es un tipo de acto administrativo emanado habitualmente del poder ejecutivo y que, generalmente, posee un contenido normativo reglamentario, por lo que su rango es jerárquicamente inferior a las leyes.

**Densidad:** es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia.

**Especificación:** En áreas como la ingeniería y la manufactura, el término especificación representa un documento técnico oficial que establezca de forma clara todas las características, los materiales y los servicios necesarios para producir componentes destinados a la obtención de productos. Estos incluyen requisitos para la conservación de dichos productos, su empaquetamiento, almacenaje y marcado así como los procedimientos para determinar su obtención exitosa y medir su calidad.

**Fibras textiles:** Así se denomina a los materiales compuestos de filamentos y susceptibles para formar hilos o telas, bien sea mediante tejido o mediante procesos físicos o químicos.

**Granulometría:** Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

**Mezcla Asfáltica:** Es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas.

**Neumático:** Un neumático (del griego πνευματικός, «relativo al pulmón», por el aire que lleva), también denominado cubierta, llanta, caucho o goma en algunas regiones, es una pieza toroidal de caucho que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquinas.

**Reciclaje:** Es el proceso de transformación mediante el cual se recupera una cantidad apreciable de material convertido en residuos o desechos, para ser aprovechado como materia prima no virgen en el proceso de producción para generar un nuevo producto.

**Recolección selectiva:** Es la separación por tipos de residuos en el punto de generación y el transporte manteniendo la selección.

**Residuo sólido:** Se define como cualquier objeto o material de desecho que 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.

**Resolución Administrativa:** Consiste en una orden escrita dictada por el jefe de un servicio público que tiene carácter general, obligatorio y permanente, y se refiere al ámbito de competencia del servicio.

### 3. Abstract

Since the appearance of man on planet earth thousands of years ago, there has been a transformation of the original environmental conditions, over the course of the centuries have been developed any number of projects, new technologies, inventions that have transformed the way of life of all the inhabitants that today make up our world.

This change has been gradual, but in the last century there has been a dizzying transformation of our habitat resulting from the discoveries, new technologies and inventions generated from the discovery of electricity over the years 1750, then the telegraph as the first step of telecommunications in the year 1830, later combustion engines and electric from 1860, the creation of the first cars with combustion engine in 1885 and television in 1930. Then with the trip to the moon in the year 1969 the theme Telecommunications and technological systems revolutionize the history of our planet, the development of these technologies gave rise to computers, cell phones and the Internet, among others.

As we saw previously the invention of motor vehicles was given at the end of the nineteenth century, early twentieth century, from now on have generated any number of technologies that have given rise to a large variety of vehicles and heavy machinery, responsible for land freight and passengers around the world, as well as sophisticated equipment responsible for much of the construction of basic civil works such as roads, bridges, tunnels, dams, airports, etc. At the same time of the invention of the vehicles (late nineteenth century, early twentieth century) appears the invention of the first pneumatic or air filled rubber tires, which allowed adequate contact by adhesion and friction with different types from natural surfaces to concrete pavements and asphalts, making it easier to start, guide and brake vehicles. These elements were improved according to their use, size and type of vehicle. This was how the tires appeared, also called tires, tires or tires, elements

that multiply in an accelerated way as products of their use and disposal once exhausted its useful life. Faced with this pollution problem of great global impact, in the 1950s a group of people with a vision of conservation of the planet began to study how to reuse any number of elements and products that were not biodegradable, and among them the tires of any size belonging to any type of vehicle.

This research finally achieved its objective and of the great number of applications that today have the use of the rubber grain product of the disused tires, the incorporation of this element in the manufacture of asphaltic mixtures stands out.

#### **4. Introducción**

Desde la aparición del hombre en el planeta tierra hace miles de años, se ha dado una transformación de las condiciones ambientales originales, con el transcurso de los siglos se han desarrollado cualquier cantidad de proyectos, nuevas tecnologías, inventos que han transformado la forma de vida de todos los habitantes que hoy conforman nuestro mundo.

Este cambio ha sido gradual, pero en el último siglo se ha dado una transformación vertiginosa de nuestro hábitat producto de los descubrimientos, nuevas tecnologías y las invenciones generadas partiendo del descubrimiento de la electricidad sobre los años 1750, luego el telégrafo como el primer paso de las telecomunicaciones en el año 1830, posteriormente los motores a combustión y eléctricos a partir de 1860, la creación de los primeros automóviles con motor de combustión en 1885 y la televisión en 1930. Luego con el viaje a la luna en el año 1969 el tema de las telecomunicaciones y de los sistemas tecnológicos revoluciona la historia de nuestro planeta, el perfeccionamiento de estas tecnologías dio origen a los computadores, los teléfonos celulares y la Internet, entre otras.

Como vimos anteriormente la invención de los vehículos automotores se dio a finales del siglo XIX, principios del siglo XX, a partir de este momento se ha generado cualquier cantidad de tecnologías que han dado origen a una gran variedad de vehículos y maquinaria pesada, encargados del transporte terrestre de carga y pasajeros en todo el mundo, así como de sofisticados equipos responsables de gran parte de la construcción de las obras civiles básicas como lo son las carreteras, puentes, túneles, represas, aeropuertos, etc. Por la misma época de la invención de los vehículos (finales del siglo XIX, principios del siglo XX) aparece la invención de las primeras llantas de caucho neumáticas o llenas de aire, las cuales permitieron el contacto adecuado por adherencia y fricción con

los distintos tipos de superficie de apoyo, desde terrenos naturales hasta pavimentos de concreto y asfálticos, facilitando el arranque, la guía y el frenado de los vehículos. Estos elementos se fueron mejorando de acuerdo con su uso, tamaño y tipo de vehículo. Así fue como aparecieron las llantas, también llamadas neumáticos, gomas o cubiertas, elementos que se multiplican de manera acelerada como productos de su uso y desecho una vez agotada su vida útil. Ante este problema de contaminación de gran impacto mundial, en la década de los cincuenta un grupo de personas con visión de conservación del planeta empezó a estudiar la forma de reutilizar cualquier cantidad de elementos y productos que no eran biodegradables, y entre ellos las llantas de cualquier tamaño pertenecientes a todo tipo de vehículo.

Estas investigaciones finalmente lograron su objetivo y de la gran cantidad de aplicaciones que hoy tienen el uso del grano de caucho producto de las llantas en desuso, se destaca la incorporación de este elemento en la fabricación de mezclas asfálticas.

## 5. Antecedentes

En la conferencia mundial del caucho de INDUSTRIALL GLOBAL UNION, celebrada entre el 23 y el 24 de abril del año 2013 en Budapest, Hungría, se dijo en ese entonces que se esperaba que en el sector mundial de producción de llantas se alcanzaría un crecimiento histórico cercano al 5% anual en la demanda de volumen hasta 2015, llegando a las 3.500 millones de unidades en utilización.

Además se dijo que alrededor de 1.000 millones de unidades son fabricadas cada año y esa cifra aumentará en el futuro próximo con el crecimiento en el mundo en desarrollo.

Se estima que la vida útil de cada llanta es de 2 años aproximadamente y que su peso promedio entre llantas de camión y automóvil es de 20 kilos lo que significa que cada año se producen 35 millones de toneladas de llantas desechadas a nivel mundial, sin incluir las llantas de motos.

En Colombia a junio de 2016, el parque automotor estaba del orden de los 12.5 millones, de los cuales el 56% eran motos, lo que equivale a decir que 5.5 millones son vehículos automotores, se estima que para estos vehículos hay en utilización cerca de 40 a 50 millones de llantas, de las cuales cerca de 5 millones cumplen su vida útil cada año, lo que equivale a decir que cada año se desechan cerca de 100.000 toneladas de llantas.

La aplicación del grano de caucho en mezclas asfálticas en el mundo empezó a ser reglamentada a finales de los años 90 y a principios de la década del 2000, si bien su uso ya se había experimentado desde los años 70, esta actividad innovadora solo fue reglamentada en los Estados Unidos y en algunos países de Europa y Asia en el periodo antes relacionado. De la investigación realizada en la Web se tuvo conocimiento de las experiencias realizadas en carreteras de

Canadá, Estados Unidos y España, esto tomado del documento de la unidad de estudios económicos de COLFECAR, también hay experiencias en Hungría y en Italia en donde existen dos grandes plantas recicladoras de llantas usadas llamadas Tires SPA y Graneco S.L.R., en Latinoamérica tenemos a Brasil, Chile, México, Honduras, Argentina y Perú, algunos de estos países con bastantes estudios avanzados sobre el tema y algunas experiencias de aplicación en carreteras, según el documento denominado Estado del Arte del Manejo de Llantas Usadas en las Américas preparado por el Ingeniero Álvaro Cantanhede y la Ingeniera ambiental Gladys Monge, finalmente, en la China y la India quienes son los mayores generadores de llantas usadas en el mundo, con bastas experiencias en la aplicación en la China y pocas experiencias en la India.

Colombia no fue la excepción en el tema y a principio de los años 2000 se hicieron las primeras pruebas de fabricación de mezclas asfálticas con adición de grano de caucho, posteriormente fueron llegando los decretos, norma y especificaciones que hoy regulan la actividad.

Con el ánimo de normalizar el uso de este producto a nivel nacional el INVIAS propuso al ICONTEC elaborar una nueva norma técnica colombiana para este material.

## **6. Objetivos**

### **6.1 Objetivo general**

El presente trabajo de aplicación práctica tiene por objeto en primer lugar verificar como ha sido el cumplimiento de las resoluciones 1457 de julio de 2010, 6981 de diciembre de 2011, 1198 de septiembre de 2015 así como los del decreto 442 de 2015 y 265 de 2016, sobre la disposición de neumáticos usados, en segundo lugar, investigar qué normativa se está utilizando a nivel nacional y finalmente realizar un comparativo a nivel de parámetros de las normas y especificaciones vs el proyecto de norma técnica.

### **6.2 Objetivos específicos**

- Como objetivos específicos se tiene la realización de la trazabilidad que se ha desarrollado hasta la fecha en la elaboración del proyecto de norma en el ICONTEC, cuándo se inició el proceso, quiénes han participado a nivel de empresa y de entidades, cómo se han desarrollado las mesas de trabajo, qué referencias bibliográficas y normativas han servido de apoyo.
- Con respecto al tema de normas y especificaciones determinar las entidades que al interior de su organización tienen reglamentado el uso de grano de caucho y si tienen incentivos para su utilización bien sea nivel de procesos de selección en la licitación por intermedio de otro mecanismo que permita en la construcción el cambio de la especificación.
- Relacionar las principales empresas que se interesan en la recolección de llantas usadas y cuál es el proceso industrial al que las someten con el fin

de obtener materia prima para las diferentes aplicaciones y en especial la obtención del grano de caucho.

- Finalmente investigar y presentar un resumen de cómo se está desarrollando el uso de grano de Caucho en los principales países y cuáles han sido los parámetros definidos por las normas para su utilización.

## 7. Marco teórico

Para la elaboración del presente trabajo es necesario primero a nivel nacional ubicar las especificaciones y normas de cumplimiento y aplicación para la fabricación de mezclas asfálticas que incorporen grano de caucho

- En Bogotá:

Decretos 442 de 2015 y 265 de 2016 por medio del cual se crea el Programa de aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas en el Distrito Capital y se adoptan otras disposiciones.

Especificación IDU 560 – 11 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON ASFALTOS MODIFICADOS CON CAUCHO POR VIA HUMEDA

- Medellín

MANUAL de PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES SECTOR REENCAUCHE Y APROVECHAMIENTO DE LLANTAS

- Cali

PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

A nivel Nacional tenemos los siguientes decretos, normas y especificaciones:

La Resolución 1457 de julio de 2010 del anterior Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, llamado ahora Ministerio de ambiente y desarrollo

Sostenible, por la cual se establece los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras disposiciones.

La Resolución 6981 de diciembre 2011 de las Secretarías distritales de Ambiente y Movilidad "Por la cual se dictan lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usados, y llantas no conforme en el Distrito Capital".

La Resolución 1198 de septiembre de 2015 de la Autoridad Nacional de Licencias ambientales por la cual se aprueba un sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se adoptan otras determinaciones.

- ICONTEC

Proyecto de norma DE 044 – 16 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO

- INVIAS

Artículo 413 – 13 SUMINISTRO DE CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.

Norma INV E – 824 – 13 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO ELABORADAS CON ASFALTO - CAUCHO.

Artículo 467 – 13 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.

## **8. Desarrollo de los objetivos específicos.**

### **8.1 Trazabilidad al proyecto de norma ICONTEC.**

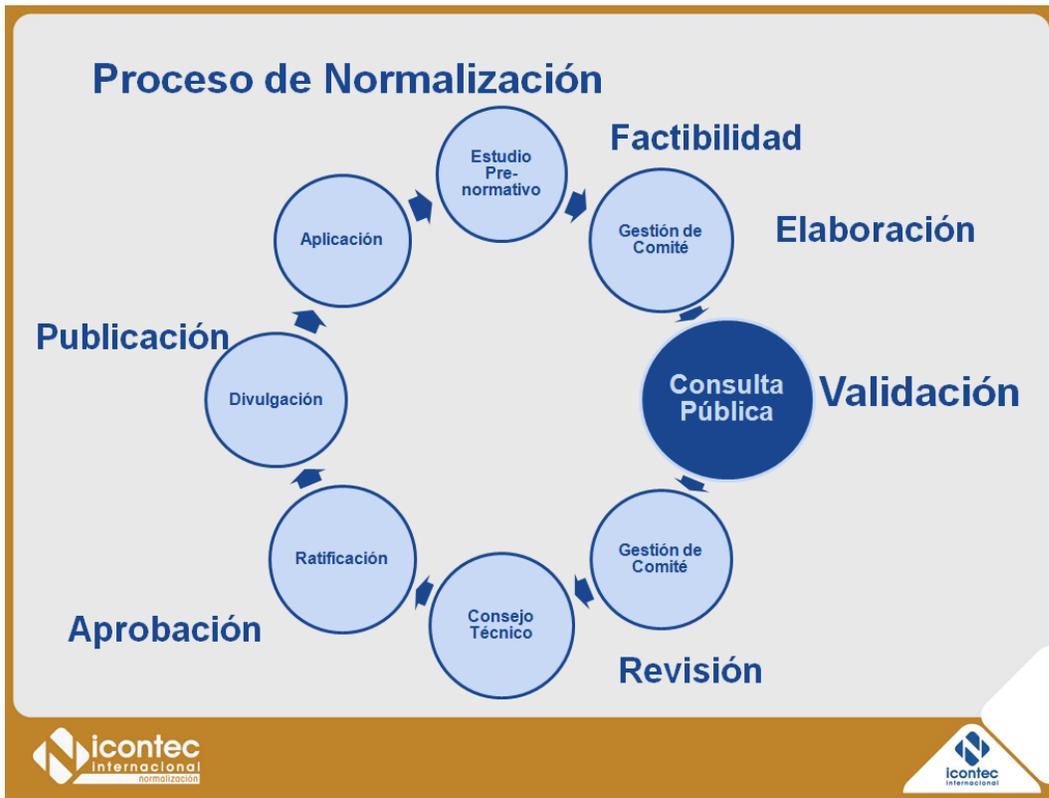
Según lo definido en los objetivos específicos, la trazabilidad que se ha desarrollado hasta la fecha en la elaboración del proyecto de norma en el ICONTEC es la siguiente:

El 8 de julio de 2015 el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) durante el desarrollo del comité de pavimentos Nro. 166, acta 089 que se realizó en el ICONTEC informó que existía un gran interés a nivel país de reducir la contaminación causada por las llantas usadas y que por lo tanto se plantea el aprovechamiento del grano de caucho reciclado proveniente de llantas usadas como materia prima del asfalto para la construcción de pavimentos.

Es así como se inicia el proceso para la creación de una nueva norma técnica colombiana denominada “Mezclas asfálticas en caliente con asfalto modificado con grano de caucho reciclado”, cuyo objetivo es establecer los requisitos mínimos que deben cumplir las mezclas asfálticas en caliente con asfalto modificado con Grano de Caucho Reciclado (GCR) para su uso en las obras de pavimentación.

El ICONTEC define el siguiente proceso para la creación de la norma Técnica Colombia (NTC) solicitada así:

**Imagen 1. Creación de la norma técnica**



Fuente: ICONTEC (2015).Comité de pavimentos, acta 089

### **8.1.2 Pre factibilidad y planeación**

Iniciación una etapa de Estudio pre-normativo que para el caso específico la necesidad se planteó en el Consejo Directivo de ICONTEC a través del INVIAS, de esta manera se inició con la invitación a reuniones para establecer un plan de trabajo con todas las partes interesadas para posteriormente exponerlo y sustentarlo al Comité Técnico de Pavimentos.

Para ello se creó el siguiente grupo de trabajo conformado por los representantes de diferentes entidades relacionadas así con el tema:

**Tabla1.Grupo técnico**

| <b>ENTIDAD</b>   |
|--|
| ABL INTERNACIONAL S.A.   |
| AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA - ANI                                |
| ALETEC INNOVACIONES S.A.S.   |
| ASOCIACIÓN DEL SECTOR AUTOMOTRIZ Y SUS PARTES - ASOPARTES                |
| CONASFALTOS S.A.   |
| CONCRESERVICIOS S.A.S.   |
| CONSTRUCCIONES EL CÓNDOR S.A.  |
| CONSTRUCTORA CONCONCRETO S.A.  |
| CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN ASFALTOS – CORASFALTOS |
| EKO GROUP COLOMBIA S.A.S.  |
| EUR INGENIEROS   |
| EVONIK COLOMBIA  |
| GRANULO DE CAUCHO RECICLADO S.A.S.                                       |
| HOLCIM S.A.  |
| HUMBERTO QUINTERO O Y CÍA. SCA   |
| INCOASFALTOS S.A.S.  |
| INCOPACK S.A.  |
| INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - IDU                                     |
| INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS - INVIAS                                      |
| INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN – ICONTEC        |
| MHC INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES                           |
| MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - MADS                    |
| MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO                              |

|                                   |
|-----------------------------------|
| MINISTERIO DE TRANSPORTE          |
| MPI LTDA.                         |
| PAVIMENTOS COLOMBIA S.A.S.        |
| PROYECTOS ANCORA HABITAT LTDA.    |
| RECICLAIR LTDA.                   |
| RUEDA VERDE                       |
| SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE  |
| UNIVERSIDAD DE LA SALLE           |
| UNIVERSIDAD JAVERIANA             |
| UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA |

Fuente: ICONTEC (2015).Comité de pavimentos, acta 089

Los representantes de estas entidades se reunieron en 11 oportunidades tratando y definiendo todos los aspectos técnicos necesarios y requeridos para lograr que el proyecto de norma avanzara a la siguiente etapa. Las reuniones iniciaron el 14 de julio de 2015 y finalizaron el 8 de marzo de 2016.

**Tabla 2.Reuniones realizadas comité de trabajo**

| Acta | Fecha      | Acta | Fecha      | Acta | Fecha      |
|------|------------|------|------------|------|------------|
| 1    | 2015-07-14 | 5    | 2015-09-16 | 9    | 2016-01-28 |
| 2    | 2015-07-22 | 6    | 2015-10-15 | 10   | 2016-02-18 |
| 3    | 2015-08-05 | 7    | 2015-11-12 | 11   | 2016-03-08 |
| 4    | 2015-08-28 | 8    | 2015-12-17 |      |            |

Fuente: ICONTEC (2015).Comité de pavimentos, acta 089

En la primera reunión realizada el 14 de julio, se definió el plan trabajo con los siguientes capítulos y el posible título de la NTC, también se incluyó las referencias técnicas y documentos a consultar durante la etapa de estudio pre-normativo

**Tabla 3. Plan de Trabajo inicial**

| <b>PLAN DE TRABAJO</b>           |                                    |  |   |
|----------------------------------|------------------------------------|--|---|
| <b>GRANO DE CAUCHO RECICLADO</b> |                                    |  |   |
| <b>POSIBLE TÍTULO</b>            |                                    | <b>Producción de mezclas asfálticas en caliente con asfalto modificado GCR (grano de caucho reciclado)</b> |   |
| <b>N°</b>                        | <b>CAPITULO</b>                    | <b>COMPONENTES</b>   | <b>REFERENCIAS TÉCNICAS</b>   |
| 1                                | MARCO<br>TÉORICO Y<br>ANTECEDENTES |  | IDU Sección 560. Especificaciones IDU.ET 2011   |
|                                  |                                    |  | INVIAS 2013,467,13P: 413 Capítulo 4 - tipos de asfaltos. E824: Diseño preliminar de la mezcla |
|                                  |                                    |  | CEDEX   |
|                                  |                                    |  | Guía de uso de asfalto caucho   |
| 2                                | DEFINICIONES                       |  |   |
| 3                                | OBJETIVOS                          |  |   |
| 4                                | MATERIALES                         | Agregados  |   |
|                                  |                                    | Grano de Caucho  |   |
|                                  |                                    | Aditivos   |   |
|                                  |                                    | Asfalto  |   |
| 5                                | DISEÑO DE LA MEZCLA                |  |   |
| 6                                | ENSAYOS DE MATERIALES              |  |   |
| 7                                | PRODUCCIÓN                         |  |   |
| 8                                | COLOCACIÓN                         |  |   |
| 9                                | CONTROL DE RECIBO                  |  |   |

También se definió a cada uno de los participantes en esta reunión la disposición típica de los elementos que componen un documento normativo:

**Tabla 4. Ejemplo de una disposición típica de elementos en un documento normativo**

| <b>Tipo de elemento</b> | <b>Disposición de elementos en un documento</b> | <b>Contenido permitido de los elementos en un documento normativo</b> | <b>Numeral</b>   |
|-------------------------|---|---|------------------|
| Informativo preliminar  | Carátula  | Título  | Anexo K          |
|                         | Tabla de contenido                              | (contenido generado)  | 6.1.2            |
|                         | Prólogo   | Texto<br>Notas<br>Notas de pie de página                              | Anexo L<br>6.1.3 |
|                         | Introducción                                    | Texto<br>Figuras<br>Tablas<br>Notas<br>Notas de pie de página         | 6.1.4            |
| Normativo General       | Título  | Texto   | Anexo D<br>6.2.1 |
|                         | Objeto<br>Documentación de referencia           | Texto<br>Figuras<br>Tablas<br>Notas<br>Notas de pie de página         | 6.2.2<br>6.2.4   |
|                         | Referencias normativas                          | Referencias<br>Notas de pie de páginas                                |                  |

| Tipo de elemento           | Disposición de elementos en un documento   | Contenido permitido de los elementos en un documento normativo | Numeral  |
|----------------------------|--|--|--|
| Normativo Técnico          | Términos y definiciones<br>Símbolos y abreviaturas<br>Clasificación, designación y codificación<br>Requisitos / recomendaciones (GTC)<br>Muestreo<br>Métodos de ensayo<br>Rotulado, etiquetado y embalaje<br>Anexo normativo | Texto<br>Figuras<br>Tablas<br>Notas<br>Notas de pie de página  | 6.3.1 Anexo C<br>6.3.2<br>6.3.3<br>6.3.4<br>6.3.5<br>6.3.6<br>6.3.7<br>6.3.8 |
| Informativo complementario | Anexo informativo<br><br>Bibliografía  | Texto<br>Figuras<br>Tablas<br>Notas<br>Notas de pie de página  | 6.4.1<br>6.4.2   |

Fuente: ICONTEC (2015).Comité de pavimentos, acta 089

En la segunda reunión realizada el 22 de julio de 2015 se acordó el siguiente objeto y la estructura preliminar para el anteproyecto:

**“MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO – GCR**

**0. ANTECEDENTES**

**1. OBJETO**

Esta norma establece los requisitos mínimos que deben cumplir las mezclas asfálticas en caliente con asfalto modificado con Grano de Caucho Reciclado para su uso en la construcción de pavimentos.

## **2. REFERENCIAS NORMATIVAS**

## **3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES**

- 3.1 Ligante
- 3.2 Cemento asfáltico
- 3.3 Cemento asfáltico modificado
- 3.4 Grano de caucho reciclado
- 3.5 Modificación de mezcla por vía húmeda
- 3.6 Modificación de mezcla por vía seca

## **4. CLASIFICACIÓN, DESIGNACIÓN Y CODIFICACIÓN**

## **5. MATERIALES**

- 5.1 Grano de caucho reciclado
- 5.2 Cemento asfáltico
- 5.3 Agregados pétreos
- 5.4 Aditivos

## **6. REQUISITOS DE LA MEZCLA**

### **6.1 DISEÑO DE LA MEZCLA**

- 6.1.1 Generalidades
- 6.1.2 Diseño de la mezcla
  - 6.1.2.1 Preliminar
  - 6.1.2.2 Óptimo
  - 6.1.2.3 Verificación
- 6.1.3 Compactación

- 7. MUESTREO**
- 8. MÉTODOS DE ENSAYO**
- 9. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO**
- 10. BIBLIOGRAFÍA**
- 11. ANEXOS”**

En la misma reunión el grupo de trabajo le solicitó al profesional de normalización que elaborara una matriz comparativa que incluyera los diferentes capítulos del anteproyecto propuesto y diferentes columnas con las referencias IDU SECCIÓN 560-11, INV ART 467-13P y ASTM D6114-D6114M-09, con el fin de hacer la revisión de las referencias y se definió las personas se comprometieron a hacer la revisión por capítulos.

Para la tercera reunión realizada el 5 de agosto de 2016 se presentó para revisión del grupo de trabajo la matriz comparativa solicitada, la cual fue elaborada por el profesional del ICONTEC, con la estructura preliminar definida en la segunda reunión a nivel de términos y definiciones así:

**Tabla 5. Estructura preliminar definida en la tercera reunión**

| <b>NUMERAL/SECCIÓN</b>                | <b>IDU SECCIÓN 560-11</b>  | <b>INV ART 467-13P</b>  | <b>ASTM D6114-<br/>D6114M-09</b> | <b>ANTEPROYECTO<br/>GRC</b>   |
|---------------------------------------|--|---|----------------------------------|---|
| <b>0. ANTECEDENTES</b>                |  |   |                                  |   |
| <b>1. OBJETO</b>                      |  |   |                                  |   |
| <b>2. REFERENCIAS<br/>NORMATIVAS</b>  |  |   |                                  |   |
| <b>3. TÉRMINOS Y<br/>DEFINICIONES</b> |  |   |                                  |   |
| <b>3.1 Ligante</b>                    | Para el objeto de la presente Sección, se denominará ligante puro al ligante asfáltico antes de ser modificado con el GCR. | El asfalto puede definirse como un ligante hidrocarbonado sólido o semisólido, natural o preparado a partir de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación o cracking, que contienen una baja proporción de productos volátiles. (REOLOGÍA DE LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL VISCOSIMETRO BROOKFIELD) |                                  | Es un compuesto hidrocarbonado sólido o semisólido, natural o preparado a partir de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación, cracking u otros procesos químicos, que contienen una baja proporción de productos volátiles. |
| <b>3.2 Cemento asfáltico</b>          | El cemento asfáltico es un producto bituminoso semi – sólido a temperatura ambiente, preparado a partir de                 | El cemento asfáltico es un producto bituminoso semi-sólido a temperatura ambiente, preparado a partir de hidrocarburos naturales  |                                  | El cemento asfáltico es un producto bituminoso semi-sólido a temperatura ambiente, preparado a partir de  |

| NUMERAL/SECCIÓN  | IDU SECCIÓN 560-11   | INV ART 467-13P  | ASTM D6114M-09 | D6114- ANTEPROYECTO GRC  |
|--|--|--|----------------|--|
|  | <p>hidrocarburos naturales mediante un proceso de destilación, el cual contiene una proporción muy baja de productos volátiles, posee propiedades aglomerantes y es esencialmente soluble en tricloroetileno. (IDU Sección 200-11)</p>   | <p>mediante un proceso de destilación, el cual contiene una proporción muy baja de productos volátiles, posee propiedades aglomerantes y es esencialmente soluble en tricloroetileno. (ARTICULO 410-07 - ANI)</p>  |                | <p>hidrocarburos naturales mediante un proceso de destilación, el cual contiene una proporción muy baja de productos volátiles, posee propiedades aglomerantes y adherentes y es esencialmente soluble en tricloroetileno.</p>   |
| <p><b>3.3 Cemento asfáltico modificado con GCR</b></p> | <p>Los cementos asfálticos modificados con polímeros son ligantes hidrocarbonados resultantes de la interacción física y/o química de polímeros con un cemento asfáltico de los definidos en la Sección 200 de las presentes especificaciones. Dentro de esta definición quedan comprendidos los</p> | <p>Se definen como cementos asfálticos modificados con polímeros los ligantes hidrocarbonados resultantes de la interacción física y/o química de polímeros con un cemento asfáltico, de los definidos en el Artículo 410 de las presentes especificaciones.(ARTICULO 414-07- ANI)</p> <p>--</p> <p>El cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado es un ligante hidrocarbonado</p> |                | <p>El cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado es un ligante hidrocarbonado resultante de la mezcla de cemento asfáltico, grano de caucho reciclado (GCR) y, eventualmente, otros aditivos que se requieran para utilizar el ligante en trabajos de pavimentación.</p> |

| NUMERAL/SECCIÓN                      | IDU SECCIÓN 560-11   | INV ART 467-13P  | ASTM D6114-<br>D6114M-09 | ANTEPROYECTO<br>GRC   |
|--------------------------------------|--|--|--------------------------|---|
|                                      | cementos asfálticos modificados por vía húmeda. (IDU Sección 202-11)   | resultante de la mezcla de cemento asfáltico, grano de caucho reciclado (GCR) y, eventualmente, otros aditivos que se requieran para utilizar el ligante en trabajos de pavimentación. (ARTICULO 413-13- INVIAS)   |                          |   |
| <b>3.4 Grano de caucho reciclado</b> | El GCR podrá ser el producto del raspado de la huella de llantas de camión o 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. | <p>Todo aquel producto obtenido del proceso de trituración de llantas y neumáticos usados y de llantas no conforme, compuesto fundamentalmente por caucho natural y sintético, que no contiene materiales ferromagnéticos, textiles, y/o elementos contaminantes. (RESOLUCION 6981 DE 2011)</p> <p>--</p> <p>El grano de caucho reciclado (GCR) corresponde a partículas de caucho obtenidas del reciclaje de llantas (vulcanizado).</p> |                          | El grano de caucho reciclado (GCR) corresponde a partículas de caucho obtenidas del reciclaje de llantas obtenidas de la operación de trituración y/o pulverización |

| NUMERAL/SECCIÓN  | IDU SECCIÓN 560-11   | INV ART 467-13P              | ASTM D6114-<br>D6114M-09 | ANTEPROYECTO<br>GRC   |
|--|--|------------------------------|--------------------------|---|
|  |  | (ARTICULO 413-13-<br>INVIAS) |                          |   |
| <p><b>3.5 Modificación del cemento asfáltico con GCR</b></p> | <p>Esta Especificación hace referencia a la incorporación del Grano de Caucho Reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas como un agente modificador del asfalto. El grano de caucho reciclado, obtenido del proceso de reencauchado de las llantas o de su troceado mediante acción mecánica, puede ser utilizado en las mezclas asfálticas como un agente modificador del asfalto. La utilización de GCR por el proceso húmedo proporciona un asfalto modificado que puede ser empleado en la elaboración de</p> |                              |                          | <p>Esta Especificación hace referencia a la incorporación del Grano de Caucho Reciclado (GCR) en el cemento asfáltico como un agente modificador del asfalto.</p> |

| <b>NUMERAL/SECCIÓN</b>                              | <b>IDU SECCIÓN 560-11</b>  | <b>INV ART 467-13P</b> | <b>ASTM D6114M-09</b> | <b>D6114- ANTEPROYECTO GRC</b> |
|---|--|------------------------|-----------------------|--------------------------------|
|   | mezclas asfálticas tal como se ha especificado para este tipo de producto. |                        |                       |                                |
| <b>3.6 Modificación de mezcla por vía seca</b>      |  |                        |                       |                                |
| <b>4. CLASIFICACIÓN, DESIGNACIÓN Y CODIFICACIÓN</b> |  |                        |                       |                                |
| <b>5. MATERIALES</b>                                |  |                        |                       |                                |
| <b>5.1 Grano de caucho reciclado</b>                |  |                        |                       |                                |
| <b>5.2 Cemento asfáltico</b>                        |  |                        |                       |                                |
| <b>5.3 Agregados pétreos</b>                        |  |                        |                       |                                |
| <b>5.4 Aditivos</b>                                 |  |                        |                       |                                |
| <b>6. REQUISITOS DE LA MEZCLA</b>                   |  |                        |                       |                                |
| <b>6.1 DISEÑO DE LA MEZCLA</b>                      |  |                        |                       |                                |
| <b>6.1.1 Generalidades</b>                          |  |                        |                       |                                |
| <b>6.1.2 Diseño de la mezcla</b>                    |  |                        |                       |                                |
| <b>6.1.2.1 Preliminar</b>                           |  |                        |                       |                                |
| <b>6.1.2.2 Óptimo</b>                               |  |                        |                       |                                |
| <b>6.1.2.3 Verificación</b>                         |  |                        |                       |                                |

| <b>NUMERAL/SECCIÓN</b>                              | <b>IDU SECCIÓN 560-11</b> | <b>INV ART 467-13P</b> | <b>ASTM D6114-<br/>D6114M-09</b> | <b>ANTEPROYECTO<br/>GRC</b> |
|---|---------------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| <b>6.1.3 Compactación</b>                           |                           |                        |                                  |                             |
| <b>7. MUESTREO</b>                                  |                           |                        |                                  |                             |
| <b>8. MÉTODOS DE<br/>ENSAYO</b>                     |                           |                        |                                  |                             |
| <b>9. CRITERIOS DE<br/>ACEPTACIÓN Y<br/>RECHAZO</b> |                           |                        |                                  |                             |
| <b>10. BIBLIOGRAFÍA</b>                             |                           |                        |                                  |                             |
| <b>11. ANEXOS</b>                                   |                           |                        |                                  |                             |

Fuente: ICONTEC (2015).Grupo de trabajo, acta 11.

El grupo de trabajo continuó reuniéndose durante varias sesiones hasta que llegó a la reunión 11 en la cual se dio por terminado el estudio del anteproyecto de documento normativo, y se acordó llevarlo al comité 166 PAVIMENTOS para revisión y posterior envío al periodo de Consulta Pública.

El profesional de normalización informó que el comité 166 PAVIMENTOS tenía programado reunirse el miércoles 09 de marzo de 2016, y que la reunión Nro. 11 del grupo de trabajo fue la última realizada, dado que a partir de ese punto se continuaría el trabajo únicamente en las reuniones del comité 166.

El documento preparado durante este periodo fue llevado al Comité Técnico de Pavimentos para exponerlo y sustentarlo.

### **8.1.3 Elaboración**

**Gestión de Comité Elaboración:** Este nuevo tema (GCR) se expuso ante el comité establecido, que para este caso en particular le correspondió al Comité Técnico de Pavimentos 166, con el objeto de solicitarles a los miembros del comité su aprobación para la posterior incorporación del tema en el programa de normas propias del comité.

Fue así como de esta manera se estableció el componente técnico del futuro documento a través del consenso en las reuniones de Comité. De acuerdo a las disposiciones internas del ICONTEC las reuniones de comité se debían citar con un mínimo de veinte (20) días calendario, por lo que se requería avanzar en el tema con la mayor velocidad posible, se sugirió establecer grupos de trabajo los cuales debían informar sus avances ante el Comité para que fueran verificados y validados.

El comité se reunió para validar la información en tres oportunidades desde el 09 de marzo hasta el 26 de julio de 2016.

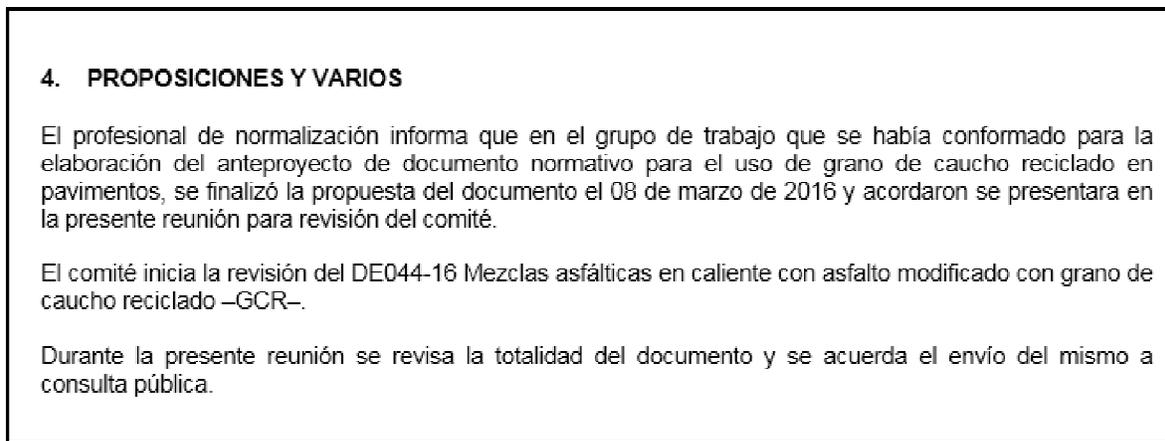
**Tabla 6.Reuniones de comité pavimentos nro. 166**

| Acta | Fecha      | Acta | Fecha      | Acta | Fecha      |
|------|------------|------|------------|------|------------|
| 95   | 2016-03-09 | 98   | 2016-06-29 | 99   | 2016-07-26 |

Fuente: ICONTEC (2016).Comité grupo de trabajo. Acta 166.

En la reunión del 9 de marzo de 2016 correspondiente al acta 95, en el punto de proposiciones y varios el comité autorizó pasar a la siguiente etapa del proceso de normalización que corresponde a la consulta pública así:

### **Imagen 2.Proposiciones y varios**



Fuente: ICONTEC (2016).Comité grupo de trabajo. Acta 95.

#### **8.1.4 Validación**

Consulta Pública Validación: A través de la página de ICONTEC se podía consultar el documento **DE044-16** por dos (2) meses, tiempo en el cual cualquier persona podía escribir sus comentarios con el respectivo sustento técnico.

En esta nueva etapa de presentación del documento **DE044-16** a consulta pública, la cual inicio el 1 de abril y finalizó el 1 de junio de 2016, permitió que las 80

entidades a las cuales se les informó la disponibilidad del proyecto, tuvieran la oportunidad de manifestarse bien sea aprobando el documento sin comentarios, con comentarios o con observaciones técnicas, también lo podían desaprobado o abstenerse de emitir algún concepto.

En este proceso según lo indica el acta 98 del 29 de junio de 2016 en el numeral 2. Estudio de Documentos, sub-numeral 2.1. Resultado Consulta Pública DE044-16 Mezclas asfáltica en caliente con asfalto modificado con grano de caucho reciclado –GCR–, solo dos empresas o personas manifestaron su concepto:

**Tabla7. Concepto empresas**

| <b>Tipo de Concepto</b> | <b>Empresa</b>                  |
|-------------------------|---------------------------------|
| Aprobación              | Luis Fernando Medina Leguizamón |
| Desaprobación           | Pavimentar S.A.                 |

#### **8.1.5 Gestión de Comité Revisión**

Gestión de Comité Revisión: Luego de los 2 meses el documento **DE044-16** es revisado por los miembros del comité para realizar los ajustes de acuerdo a las observaciones recibidas, posteriormente autoriza el envío del documento a Consejo técnico.

Por lo tanto, una vez estudiado el concepto por parte del Comité, se dio tratamiento a las observaciones de Pavimentar S.A. mediante el siguiente anexo presentado en el acta 98 del 29 de junio de 2016:

### Imagen 3.Observaciones presentadas por PAVIMENTAR S.A, Anexo A


Reunión Comité 166. Acta 098

**ANEXO A**  
**OBSERVACIONES PRESENTADAS POR PAVIMENTAR S.A. AL DE044-16 EN EL PERIODO DE CONSULTA PÚBLICA**

Empresa: PAVIMENTAR S.A.

Nombre: DIEGO ALBERTO GIRALDO POSADA

| Entidad         | Numeral del proyecto | Observación   | Sustentación Técnica   | Tratamiento propuesto al comité<br>(Incluir un texto propuesto al numeral motivo de la observación)  | Tratamiento dado por el comité  |
|-----------------|----------------------|---|--|--|---|
| Pavimentar S.A. | 4.2                  | <p>La tabla 4.1 debe complementarse, le faltan los métodos estandarizados para medir las propiedades que debe reunir el Grano de Caucho Reciclado</p> <p><b>¿Cuáles son los métodos de ensayos para obtener los valores anteriores?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Humedad...</li> <li>-Contenido de acero...</li> <li>-Contenido de fibras...</li> <li>-Contenido de otros contaminantes...</li> <li>-Granulometría <u>debería existir un rango.</u></li> <li>-Gravedad específica....</li> </ul> | <p>Ver <u>normas ASTM</u> D 6114 y D5603</p> <p>Algunos posibles test serían:</p> <p>Humedad... ASTM D1509</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Contenido de acero...ASTM D5603</li> <li>-Contenido de fibras... ASTM D5603</li> <li>-Contenido de otros contaminantes... ASTM D5603</li> <li>-Granulometría <u>debería existir un rango.</u> ASTM D 5644</li> <li>-Gravedad específica ASTM D1817</li> </ul> | <p>Incluir los faltantes según las normas propuestas. Revisarlas antes de incluirlo.</p> <p>Según <u>ASTM</u> D6114 las propiedades del caucho reciclado se deben medir según lo indicado en el numeral 4.1.1 a 4.1.4 de dicho <u>standar</u>.</p> | <p>El comité acuerda incluir una columna en la Tabla 1 que indique las normas para verificar los requisitos de la tabla.</p> <p>Para el contenido de humedad se indica la ASTM D1864. Para el contenido de metales no ferrosos la ASTM D6114. Para la granulometría la ASTM D5644.</p> <p>Queda pendiente definir las normas para contenido de acero, contenido de fibra, contenido de otros contaminantes y gravedad específica.</p> |

ES-P-NN-02-F-001  
Versión 02
Página 5 de 6
Aprobado 2012-03-20


Reunión Comité 166. Acta 098

|                 |     |   |   |  |  |
|-----------------|-----|---|---|--|--|
| Pavimentar S.A. | 4.2 | <p>Debe agregarse un párrafo que indique:</p> <p>4.2.4 Preferiblemente, el grano de caucho reciclado GCR no deberá provenir de procesos industriales criogénicos, a menos que se demuestre que su desempeño en el cemento asfáltico permitirá alcanzar las propiedades físicas y químicas que se redactan en la presente especificación</p> | <p>Los procesos de trituración y molienda del caucho por proceso <u>criogénico</u> suelen cristalizar los polímeros que integran el caucho, pudiendo con ello disminuir notablemente la calidad del producto asfalto-caucho</p> | <p>Ver los siguientes enlaces para hacerse a una idea entre los diferentes tipos de molienda y los cambios que se producen en los granos de caucho:</p> <p><a href="http://www.hindawi.com/journals/ams/2013/415246/">http://www.hindawi.com/journals/ams/2013/415246/</a></p> <p><a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813008477">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813008477</a></p> <p><a href="http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/hif14015.pdf">http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/hif14015.pdf</a></p> | <p>El comité no acepta incluir el párrafo debido a que al final del proceso el compuesto asfalto-caucho es el que debe cumplir con las especificaciones de la norma.</p> |
|-----------------|-----|---|---|--|--|

Fuente: ICONTEC (2016).Comité de pavimentos, acta 98

Adicionalmente el Comité realizó una serie de revisiones sobre diferentes aspectos por lo que se solicitó que se les circulara nuevamente el documento para revisar los puntos pendientes y que en la próxima reunión se lograra finalizar el estudio del documento. El documento continuó en estudio en Comité.

El 26 de julio de 2016 se realizó reunión del Comité de Pavimentos 166 Nro. 99, en ella se informó que se le había dado respuesta a la empresa Pavimentar acerca del tratamiento dado a su concepto relacionado con el documento, a su vez la empresa Pavimentar estuvo de acuerdo con el tratamiento dado y dio por aprobado el documento.

Luego de una serie de revisiones finales el Comité dio por terminado el estudio del documento **DE044-16** y aprobó el envío del mismo al Consejo Técnico.

El profesional de normalización informó al Comité que, si el Consejo Técnico aprueba el documento, este se publicaría como NTC, en caso contrario se convocaría nuevamente al Comité para revisar las observaciones realizadas por el Consejo Técnico.

### **8.1.6 Consejo técnico de revisión**

Consejo Técnico Revisión, está compuesto por personas con un alto grado de conocimiento en temas específicos, ellos aportan su conocimiento de manera voluntaria “Ad Honoren”, el Consejo Técnico puede aprobar sin observaciones o con observaciones, en el segundo caso se devuelve al Comité Técnico para verificar y ajustar para el paso nuevamente al Consejo Técnico para su aprobación.

A la fecha de elaboración del presente trabajo de aplicación el documento **DE044-16**, se encuentra en revisión por parte del Consejo Técnico.

### **8.1.7 Ratificación**

Consejo Directivo Ratificación, cuando el Consejo Técnico aprueba pasa a Consejo Directivo para su ratificación, publicación y distribución.

Para llegar hasta este punto tanto el grupo de trabajo como el Comité de Pavimentos 166 realizaron una gran cantidad de consultas que quedaron incluidas en el documento **DE044-16** como referencias bibliográficas y normativas que sirvieron de apoyo para su elaboración que a continuación se relacionan y se clasifican en:

#### **-Normas Técnicas Colombianas**

- NTC 98, Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión e impacto de agregados gruesos menor de 37,5 mm, utilizando la máquina de Los Ángeles.
- NTC 126, Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la solidez (sanidad) de agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.
- NTC 129, Ingeniería civil y arquitectura. Practica para la toma de muestras de agregados.
- NTC 4630, Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.
- NTC 5009, Pavimentos. Método de ensayo para punto de chispa y punto de llama por copa abierta Cleveland.
- NTC 5028, Pavimentos. Método de ensayo para penetración de materiales bituminosos.

- NTC 5118, Método de ensayo para el punto de ablandamiento de materiales bituminosos (equipo de anillo y bola).
- NTC 5161, Pavimentos. Método de ensayo para determinar los efectos del calor y del aire en materiales asfálticos -ensayo al horno de lámina delgada-
- NTC 5910, Método de ensayo para determinar la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión con el aparato Micro-Deval
- NTC 5987, Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en agregado grueso.
- NTC 6043, Método de ensayo para determinar el porcentaje de partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas en agregado grueso.
- NTC 6179, Valor equivalente de arena en suelos y agregado fino.

#### **-Normas ASTM**

- ASTM C136/C136M, *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.*
- ASTM D140, *Standard Practice for Sampling Bituminous Materials.*
- ASTM D946, *Standard Specification for Penetration-Graded Asphalt Binder for Use in Pavement Construction.*
- ASTM D979, *Standard Practice for Sampling Bituminous Paving Mixtures.*

- ASTM D1074, *Standard Test Method for Compressive Strength of Bituminous Mixtures.*
- ASTM D1461, *Standard Test Method for Moisture or Volatile Distillates in Bituminous Paving Mixtures.*
- ASTM D1817, *Standard Test Method for Rubber Chemicals—Density.*
- ASTM D2172, *Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures.*
- ASTM D2196, *Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscometer.*
- ASTM D2489, *Standard Practice for Estimating Degree of Particle Coating of Bituminous-Aggregate Mixtures.*
- ASTM D2726, *Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures.*
- ASTM D3381, *Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction.*
- ASTM D4867, *Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures.*
- ASTM D5329, *Standard Test Methods for Sealants and Fillers, Hot-Applied, for Joints and Cracks in Asphalt Pavements and Portland Cement Concrete Pavements.*

- ASTM D5444, *Standard Test Method for Mechanical Size Analysis of Extracted Aggregate.*
- ASTM D5603, *Standard Classification for Rubber Compounding Materials—Recycled Vulcanizate Particulate Rubber.*
- ASTM D6373, *Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder.*
- ASTM D6926, *Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus.*
- ASTM D6927, *Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures*
- ASTM D6999, *Standard Practice for Miscibility of Emulsified Asphalts.*

#### **-Normas AASHTO**

- AASHTO M320, *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder.*
- AASHTO M332, *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test.*
- AASHTO R30, *Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot-Mix Asphalt (HMA).*
- AASHTO T304, *Uncompacted void content of fine aggregate*

- AASHTO T321, *Standard Method of Test for Determining the Fatigue Life of Compacted Asphalt Mixtures Subjected to Repeated Flexural Bending.*
- AASHTO T324, *Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot-Mix Asphalt (HMA).*
- AASHTO T329, *Standard Method of Test for Moisture Content of Hot-Mix Asphalt (HMA) by Oven Method.*
- AASHTO T350, *Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR).*

#### **-Normas BS**

- BS 812-2, *Testing Aggregates. Methods for Determination of Density.*
- BS 812-110, *Testing Aggregates. Methods for Determination of Aggregate Crushing Value (ACV).*

#### **-Normas EN**

- EN 933-3, Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.
- EN 933-9, Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo de azul de metileno.
- EN 1097-8, Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 8: Determinación del coeficiente de pulimento acelerado.

- EN-12697-22, Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: Ensayo de rodadura.
- EN 12697-24, Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 24: Resistencia a la fatiga.

#### **-Normas NLT**

- NLT 172, Áridos. Determinación de la limpieza superficial.
- NLT 173, Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio.

#### **-Norma SABS**

- SABS Método 842, *FACT Value (10 % Fines Aggregate Crushing Value) of Coarse Aggregates.*

#### **-Norma UNE**

- UNE 146130, Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras áreas pavimentadas.

## **8.2 Normas y especificaciones vigentes en Colombia**

Continuando con el desarrollo de los objetivos específicos y en lo relacionado con el tema de normas y especificaciones, se realizó una investigación de las entidades que en Colombia al interior de su organización tienen reglamentado el uso de grano de caucho y tienen incentivos para su utilización bien sea nivel de procesos de selección en la licitación pública o por intermedio de otro mecanismo que permita en la construcción el cambio de la especificación.

Es así como a nivel Nacional el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) quien ha manifestado en todo momento que es consciente de los cambio y de la renovación permanente de la ingeniería vial en nuestro país, consideró necesario en el año 2013 mantener actualizada la documentación de carácter normativo y reglamentario que sirve de guía a las diferentes actividades que son de la competencia técnica del servicio de la entidad.

Con la nueva versión de las especificaciones técnicas, se incorporó tanto las experiencias positivas con el empleo del documento que se actualizó, como las técnicas actualizadas de la construcción vial debidamente avaladas y aprobadas por agencias internacionales de renombre y por la industria de la construcción de carreteras.

Es así como en las **ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN INVIAS 2013**, en el capítulo 4 – Pavimentos Asfálticos, donde se establecen las especificaciones de los productos bituminosos a emplear en las obras de pavimentación de las carreteras nacionales y se especifican las principales partidas de trabajo relacionadas con los tratamientos y mezclas en que ellos se emplean, se incluyó el artículo 413 – 13 **SUMINISTRO DE CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO**, el cual no existía en las Normas INVIAS del año 2007, igual situación se presentó con la Norma INV E – 824 – 13 **DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO ELABORADAS CON ASFALTO - CAUCHO**.

Posteriormente en el año 2015 el INVIAS incorporó el artículo 467 – 13P MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.

El Instituto Nacional de Vías para incentivar el uso de grano de caucho en mezclas asfálticas incluyó en alguno de sus pliegos de licitación pública en la cláusula de asignación de puntaje a las propuestas, en los criterios de ponderación, un puntaje de 50 puntos por implementación tecnológica de pavimentos con beneficio ambiental. Esta decisión está siendo aplicada en las licitaciones del programa Vías para la Equidad, a continuación se presenta la forma como la entidad lo incluye un pliego de condiciones:

**Imagen 4. Asignación de puntaje a las propuestas**

| CONCEPTO                      |   | PUNTAJE MAXIMO |
|-------------------------------|---|----------------|
| VALOR DE LA PROPUESTA         |   | 800            |
| APOYO A LA INDUSTRIA NACIONAL |   | 100            |
| FACTOR DE CALIDAD             | IMPLEMENTACION PROGRAMA GERENCIA PROYECTOS                      | 50             |
|                               | IMPLEMENTACION TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS CON BENEFICIO AMBIENTAL | 50             |
| TOTAL                         |   | 1000           |

Fuente: Ingeniero Bernardo Salas. Presentación Asfalto Modificado con grano de caucho reciclado (GRC). Bernardo Salas (Vicepresidencia comisión técnica permanente de contratación SCI), Licitación Pública LP-PRE-DO-031-2015 Proyecto de Pliego de Condiciones. Bogotá D.C.

Y los describió de la siguiente manera:

“b) Implementación Tecnología de Pavimentos con Beneficio Ambiental (50 Puntos) El proponente con el fin de hacerse acreedor a los cincuenta 50 Puntos, deberá mediante carta de intención suscrita (según modelo anexo) por el Representante Legal del proponente comprometerse a ejecutar durante el plazo del contrato la intervención de una cantidad del diez 10% de la indicada en el ítem de mezcla densa en caliente Tipo MDC-19, prevista en el presupuesto oficial, mediante la utilización de “Mezclas Asfálticas utilizando Cemento Asfáltico

Modificado con Grano de Caucho Reciclado”(CGR). El Cemento asfáltico empleado deberá ajustarse a lo consignado en el Art. 413-13 de las Normas y Especificaciones de INVIAS vigentes. El sector donde se aplique este tipo de mezcla asfáltica deberá ser continuo y se definirá durante la ejecución del Contrato conjuntamente con el Interventor e INVIAS.

El diseño estructural del pavimento (el cual deberá ejecutarse a costa del proponente) deberá tener en cuenta que los espesores correspondientes a la capa de rodadura en mezcla densa en caliente y en mezcla modificada con asfalto caucho sean iguales; es decir, que deberán mantenerse los espesores de los diseños iniciales. En caso que el proponente quiera optimizar esta relación, deberá también contemplar en su propuesta los costos de los estudios y diseños que se requieran en aras de garantizar el buen desempeño de la estructura construida con mezcla modificada con asfalto caucho. No obstante lo anterior, deberá existir aval del INVIAS para su implementación, previo concepto del Interventor.”

Con lo anterior se puede concluir que el INVIAS se encuentra siguiendo las políticas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en materia de gestión ambiental de llantas usadas.

Al igual que el INVIAS la Agencia Nacional de Infraestructura ANI, informó en su momento que en las licitaciones que abrió este año (2016) para construir las autopistas de cuarta generación (4G) de la tercera ola se tuvo en cuenta la citada mezcla asfáltica con grano de caucho como factor de calidad, que dará un puntaje de 100 puntos más, a la hora de la calificar y adjudicar, en algunos de sus pliegos ya incluye incentivos en el puntaje para el uso del grano de granos de caucho así:

#### “5.2.2. Mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho reciclado

Se asignarán cien (100) puntos al proponente que se comprometa mediante carta de intención suscrita (según modelo) por el Representante Legal del proponente, a emplear “MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO” en la construcción, mejoramiento y rehabilitación en las Unidades Funcionales que conforman el alcance del proyecto.

Este puntaje será asignado al proponente que oferte su uso en una longitud continua igual o mayor al diez por ciento (10%) de la longitud que conforman las Unidades Funcionales del proyecto establecida en la tabla 2 unidades funcionales del proyecto del Apéndice técnico 1. Quien oferte menos del diez por ciento (10%) de la longitud que conforman las Unidades Funcionales del proyecto, tendrá cero (0) puntos.

NOTA 1: El proponente adjudicatario, deberá emplear para el diseño y la construcción del pavimento con “MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO”, las especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y las Normas de Ensayo de Materiales INVIAS actualmente vigentes, referenciadas en el Apéndice Técnico 3.

NOTA 2: El tramo construido con “MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO”, deberá ser Operado y Mantenido durante toda la etapa de Operación y Mantenimiento siguiendo lo exigido en el Apéndice Técnico 4 Indicadores.

NOTA 3: El grano de caucho reciclado (GCR) se obtendrá de llantas usadas recuperadas en el territorio nacional.

NOTA 4: El proponente deberá asegurar que las garantías que amparan el cumplimiento del contrato, amparen la totalidad de obras a ejecutar, incluidas las

actividades y obras en las cuales se empleé mezclas asfálticas utilizando cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado.”

A nivel de ciudades capitales nos encontramos que en Bogotá la Unidad de Estudios Económicos de Colfecar en su estudio **RECICLAJE DE LLANTAS: MAXIMIZAR SU VIDA ÚTIL Y DESECHARLAS CORRECTAMENTE** dijo lo siguiente:

En Bogotá, el DAMA determinó dentro de las opciones de aprovechamiento de las llantas, su uso asfáltico como la opción más viable, gracias a sus ventajas económicas, tecnológicas, sociales y ambientales; además se tuvo en cuenta el éxito de esta aplicación en países como Canadá, Estados Unidos y España. El DAMA delegó al IDU los estudios para comprobar las mejoras técnicas de la mezcla, contratando a la Universidad de Los Andes para ello. En el 2002, la universidad concluyó que la mezcla asfáltica resultante del uso del caucho es de alta calidad, ya que aumenta la vida útil del pavimento, su resistencia a altas y bajas temperaturas y disminuye el desgaste de las llantas al contacto con la superficie, permitiendo quintuplicar su duración. Gracias a este estudio, el IDU dictó la resolución número 3649 de 2009 por medio de la cual hace la especificación técnica para la aplicación del GCR en las mezclas asfálticas, con lo que se formaliza y autoriza la utilización de ésta mezcla en la malla vial de la ciudad de Bogotá. Es por esto que el IDU está implementando esta tecnología en algunos tramos de las obras de la ciudad.

Ahora la ciudad cuenta con una especificación para la aplicación de Grano de Caucho Reciclado (GCR) en mezclas asfálticas en caliente (vía húmeda) según Resolución No. 3841 del 5 de septiembre de 2011 (Instituto de Desarrollo Urbano– IDU y Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2011).

El Instituto de Desarrollo Urbano IDU elaboró la especificación técnica Nro. 560-11 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON ASFALTOS MODIFICADOS CON CAUCHO.

La descripción textual de esta especificación hace referencia a la incorporación del Grano de Caucho Reciclado(GCR) en las mezclas asfálticas como un agente modificador del asfalto. El grano de caucho reciclado, obtenido del proceso de reencauchado de las llantas o de sutureado mediante acción mecánica, puede ser utilizado 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 adecuados.

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

Por otro lado existen dos formas de usar el grano de caucho de las llantas usadas en el asfalto aplicado en la construcción de carreteras:

**Por “Vía Seca”:** el triturado de la llanta usada se emplea sustituyendo una fracción de agregados finos. Consiste en incorporar bien directamente al mezclador la cantidad precisa para cada bachada (planta discontinua) o bien mezclarlo previamente con algún componente pétreo de la mezcla antes de la fabricación (planta continua).

**Por “Vía Húmeda”:** se basa en la fabricación de un ligante modificado (asfalto-grano caucho) mediante la adición de partículas de caucho de llanta usada reciclada a un asfalto convencional, bajo ciertas condiciones de mezclado.

Tanto las norma INVIAS como la especificación del IDU, así como el proyecto de norma ICONTEC, están orientadas al último sistema de aplicación relacionado, en el siguiente esquema se explica cómo es el proceso de adición de grano de caucho por vía húmeda en una planta de asfalto.

**Imagen 5. Proceso adición polvo NFU asfalto por vía húmeda**



Fuente: Pavimentos sustentables. Camino hacia ellos!  
<http://liganteasfaltico.blogspot.com.co/p/llantas-usadas-en-pavimentos.html>

1. Las llantas usadas son recolectadas en sitios especiales de acopio autorizados por el estado.
2. Una vez recolectadas son transportadas a una planta de reciclaje en donde se obtiene el grano de caucho con las especificaciones técnicas requeridas.
3. El grano de caucho es adicionado y mezclado con el asfalto.

4. El paso 4 está relacionado con la forma como se acopian en tolvas los agregados según su tamaño.
5. Cono mezclador para el calentamiento de los agregados.
6. El siguiente paso es la mezcla del asfalto con grano de caucho con los agregados, de acuerdo con la fórmula de trabajo especificada.
7. Transporte del pavimento a la obra.

En otras ciudades capitales de departamento tenemos a Medellín que en el año 2009, con el Área Metropolitana del Valle de Aburra y con el apoyo del anterior Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial hoy llamado Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, quienes adelantaron la elaboración de un **MANUAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES**

**- Reciclaje y aprovechamiento de llantas.**

En el capítulo 1, Descripción del proceso, numeral 1.2. Aprovechamiento, se relaciona en la alternativa 3, el uso de llantas como materia prima para producción de pavimento asfáltico, luego en la descripción dice Llantita pulverizada como aditivo en el ligante asfáltico para mejorar sus propiedades. En tecnología se explica que tiene un amplio uso en Canadá y Europa. Se deben desarrollar investigaciones pilotos para establecer condiciones locales.

Luego se habla de las ventajas y desventajas así:

**VENTAJAS:**

- **Económica:** disminución de costos asociados a los programas de pavimentación en la ciudad. Valor agregado al residuo.
- **Ambiental:** no existe posibilidad de emisión de compuestos peligrosos

**DESVENTAJAS**

- **Económica:** costos asociados al estudio piloto.
- **Ambiental:** se deben disponer residuos de la llanta en la fragmentación.

A continuación, se presenta la matriz con la que se explica lo antes relacionado, aclarando que en las investigaciones realizadas, el ente que regula la construcción de vías no se tiene a la fecha ninguna especificación o norma en la ciudad de Medellín que reglamente el uso del grano de caucho en mezclas asfálticas.

**Imagen 6. Alternativas de aprovechamiento de llantas usadas**

| NOMBRE                                | ALTERNATIVA 1   | ALTERNATIVA 2   | ALTERNATIVA 3  | ALTERNATIVA 4   |
|---------------------------------------|---|---|--|---|
|                                       | Aprovechamiento energético y materias primas en fábricas de cemento.  | Aprovechamiento energético en calderas de termoeléctricas.  | Materias primas para producción de pavimento asfáltico.  | Trituración para generar materias primas para productos de caucho.  |
| Descripción                           | Llanta fragmentada como combustible alternativo al carbón y materia prima (hierro) en los hornos de producción de cemento.  | Llanta pulverizada como combustible alternativo al carbón en las termoeléctricas.   | Llanta pulverizada como aditivo en el ligante asfáltico para mejorar sus propiedades.  | Utilización de caucho de llantas pulverizado como producto para la industria del caucho y obras civiles.  |
| Materia prima para el aprovechamiento | Llanta fragmentada de tamaño 8x8 con textil y acero.  | Caucho de llanta tamaño malla 200 sin textil ni acero.  | Caucho de llanta tamaño malla 80 sin textil o acero.   | Llanta entera   |
| Producto final                        | Energía<br>Cemento con materia prima de la llanta.  | Textil<br>Acero<br>Energía  | Textil<br>Acero<br>Asfalto con caucho de llanta  | Textil<br>Acero<br>Caucho tamaño malla 80   |
| Tecnología                            | Existen, con uso intensivo en el mundo.   | Tecnología conocida y utilizada en diferentes compañías en el mundo.  | Con amplio uso en Canadá y Europa. Se deben desarrollar investigaciones pilotos para establecer condiciones locales.   | Existen y de fácil implementación, con uso intensivo en el mundo. Todas las alternativas requieren de esta etapa en la utilización de la llanta.  |
| Ventajas                              | Económica: valor agregado al residuo.<br>Ambiental: todos los componentes de la llanta quedan dentro el cemento. No quedan residuos.  | Económica: valor agregado al residuo.   | Económica: disminución de costos asociados a los programas de pavimentación en la ciudad.<br>Valor agregado al residuo.<br>Ambiental: no existe posibilidad de emisión de compuestos peligrosos. | Económica: generación de ingresos por su exportación o utilización en nuevos mercados.<br>Valor agregado al residuo.<br>Ambiental: no existe posibilidad de emisión de compuestos peligrosos. |
| Desventajas                           | Económica: costo e inversión alto sin rentabilidad.<br>La empresa debe contar con un sistema de control de emisiones que garanticen los niveles permisibles de acuerdo la resolución 1488 de 2003 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.<br>Ambiental: ante eventuales fallas en el sistema de combustión y/o de control de emisiones, se pueden generar compuestos peligrosos. | Económica: costo e inversión alto sin rentabilidad.<br>Ambiental: la empresa debe contar con equipos de control que garanticen niveles adecuados de vertimientos, emisión y manejo de residuos (escorias y ceniza). Quedan residuos de la llanta a disponer (emisiones de azufre en combustión y fibra en la fragmentación).<br>Ante eventuales fallas en el sistema de combustión y/o de control de emisiones se pueden generar compuestos peligrosos. | Económica: costos asociados al estudio piloto.<br>Ambiental: se deben disponer residuos de la llanta en la fragmentación.  | Económica: ninguna.<br>Ambiental: se deben disponer residuos de la llanta en la fragmentación.  |

*Fuente: Ministerio de medio ambiente vivienda y desarrollo territorial (2006-2009). manual de producción más limpia y buenas prácticas ambientales, reciclaje y aprovechamiento de llantas. ISBN 978-958-8513-10-2, p. (5).*

### **8.3 Sistemas de recolección de llantas usadas e industrialización.**

#### **8.3.1 Recolección de Llantas y producción de grano de caucho**

El proceso de recolección de llantas en Colombia se realiza a través del programa pos-consumo de llantas que es un plan colectivo abierto de responsabilidad individual en donde participan las empresas afiliadas, este programa es liderado por la ANDI y opera por medio de ejecutores logísticos, empresas valorizadoras de llantas usadas e interventora para gestionar la recolección y debida destinación final de las llantas usadas.

El programa pos-consumo de llantas tiene a nivel operativo 4 actores:

- La Gerencia Ambiental de la ANDI: liderando el programa y como vocero del programa.
- Los Afiliados al Comité Pos-consumo de Llantas con sede en la ANDI: tomando las decisiones en las juntas y comités.
- Los Operadores: encargados de la logística de las llantas usadas desde la recolección en los puntos de entrega hasta la valorización de las llantas usadas.
- Y el coordinador del Comité Pos-consumo de llantas.

El coordinador del comité hace un seguimiento constante al funcionamiento del proyecto desde el diseño, la implementación y la revisión ejecución, control y análisis de los resultados con el operador, valorizador e interventor en relación con el desarrollo del programa.

Las llantas usadas son manipuladas por el operador logístico capacitado y autorizado para el manejo de llantas usadas. Ellos las recogen en los puntos facultados de recolección, las transportan y las dejan en la empresa que le da la disposición final adecuada garantizando que el reciclaje se realiza cumpliendo las normas ambientales sin generar contaminación y cero desperdicios.

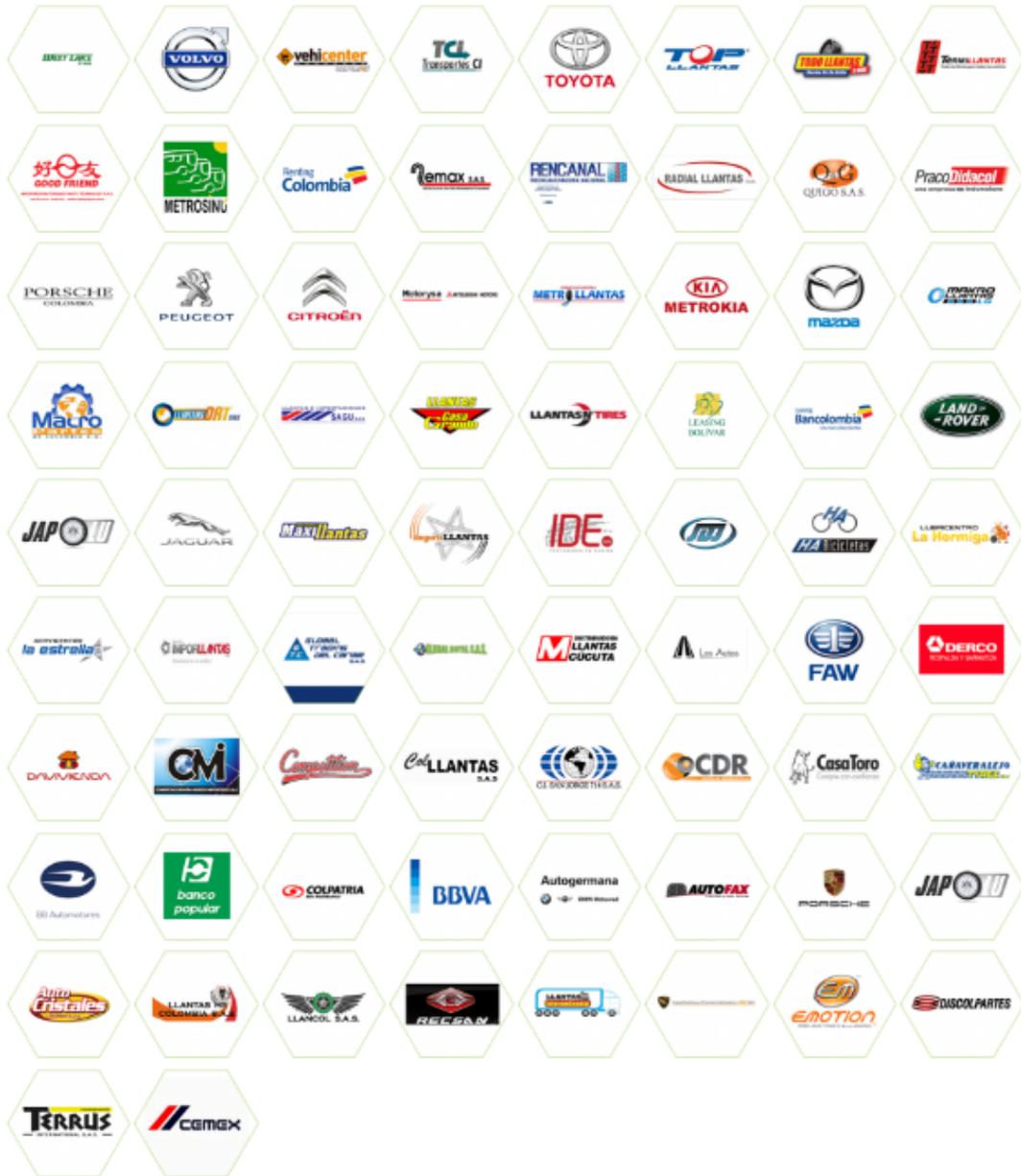
- Empresas recolectoras de llantas usadas

En Colombia existen ya cerca de 600 empresas que se interesan en la recolección de llantas usadas, elementos que luego son sometidos al proceso industrial en plantas recicladoras con el fin de obtener materia prima para las diferentes aplicaciones y en especial la obtención del grano de caucho.

Bogotá ya cuenta con más de 120 puntos de recolección de llantas usadas. El pasado miércoles 4 de junio de 2016, en el marco de la Semana Ambiental, se realizó el lanzamiento oficial de la campaña “Llantas usadas en el lugar indicado”.

También en Bogotá existen dos programas llamados Sistema Verde y Rueda Verde encargados de la recolección de llantas posconsumo, ambos trabajan en asocio con la ANDI. Sistema Verde lo conforman principalmente concesionarios de vehículos, proveedores de llantas y Bancos entre otros, en sus planes de posconsumo se encuentra el plan de recolección de llantas usadas definido como el Plan de Gestión de devolución de las llantas usadas. Mediante el cual los ciudadanos dejan sus llantas usadas en los puntos de recolección, en donde son recogidas por el operador y procesadas técnicamente, convirtiéndolas en materia prima para otros nuevos procesos o aplicaciones.

## Asociados



Fuente: <http://www.redverde.co/index.html>

Rueda Verde también es un programa que aplica la responsabilidad extendida del productor, el cual establece canales con los consumidores para la devolución de las llantas después de su uso y posterior gestión y reincorporación como nuevo insumo.-Reciclaje de Llanteras, Se conforma por un colectivo de 92 empresas cuya actividad principal es la fabricación y/o importación de llantas, así como la

importación o ensamble de automotores, unidos por la responsabilidad ambiental y social para la gestión ambiental de las llantas usadas.-Reciclaje de Llantas, también opera en algunas ciudades capitales.

El pasado mes de mayo de 2016 la Empresa CEMENTOS ARGOS inauguró una planta de procesamiento de llantas en desuso en el municipio de Madrid Cundinamarca, paralelo con esta actividad se realizó un acuerdo entre la alcaldía de Bogotá y CEMENTOS ARGOS mediante el cual y con el apoyo del Programa Sistema Verde, se hará la recolección de las llantas usadas, las cuales tendrán como destino final el uso en los hornos de la compañía como combustible sustituto del carbón o gas para la producción del Clinker, materia prima del cemento.

### **8.3.2 Plantas recicladoras llantas usadas para grano de caucho**

En el país ya existen varias plantas recicladoras que están ubicadas en lugares estratégicos como en el Valle del Cauca, en el municipio de Yumbo en donde la empresa CORPAUL, atiende las zonas del Eje cafetero y el suroccidente del país.

La empresa RECICLAIR ubicada en el municipio de Mosquera que atiende la zona central del país.

Mundo Limpio S.A. con sede en la ciudad de Medellín cuenta con una planta recicladora productora de grano de caucho en el Municipio del Carmen de Viboral que atiende la zona de Antioquia y parte del oriente y norte del país. También en Medellín se encuentra la empresa Ecology Rubber

En la Guajira en Albania, que es la mina de carbón a cielo abierto más grande del mundo, fue inaugurada en el pasado mes de julio de 2016, una moderna planta de reciclaje de llantas usadas, que serán procesadas y convertidas en materia prima para la pavimentación de vías, esta planta tiene como característica principal que

podrá reciclar las llantas de las volquetas que transportan el Carbón en el Cerrejón y que son de gran tamaño.

- Composición de las plantas recicladoras de llantas usadas

Para poder reciclar los materiales que conforman las llantas, es necesario que estas se sometan a los siguientes procesos o fases:

-Destalonamiento: es la remoción de los alambres de acero “armónico” que se encuentran en el interior de la llanta (en el talón o borde) y se recupera la lona.

**Imagen 7. Destalonamiento**



*Fuente: Vivo en Italia, Reciclaje de llantas usadas: la nueva economía ecológica de México. <http://www.vivoenitalia.com/linea-de-reciclaje-de-llantas-usadas/>*

-Trituración: es la reducción volumétrica de la llanta entera a trozos más pequeños, esta operación está compuesta por dos fases: la trituración primaria y la trituración secundaria.

-Granulación primaria: es la reducción volumétrica de los trozos de llantas (provenientes de las fases de trituración) en granos.

### Imagen 8. Granulación primaria



Fuente: Vivo en Italia, Reciclaje de llantas usadas: la nueva economía ecológica de México. <http://www.vivoenitalia.com/linea-de-reciclaje-de-llantas-usadas/>

-Granulación secundaria (refinar el grano): para obtener un grano aún más fino y seleccionar los granos en base a su tamaño.

### Imagen 9. Equipo Para granulación Secundaria



Fuente: Vivo en Italia, Reciclaje de llantas usadas: la nueva economía ecológica de México. <http://www.vivoenitalia.com/linea-de-reciclaje-de-llantas-usadas/>

-Desmetalizado (separación magnética del acero): Esta es una unidad que se emplea para separar el hierro de los demás materiales.

-Aspiración de polvos (limpieza): son los sistemas de extracción para la aspiración de polvos de tela y de goma. Este sistema de 'aspiración de polvos' está formado por el ciclón reductor de polvos, electro-aspirador, roto-válvulas, filtro de mangas y las tubaciones.

Es gracias a los procesos de la PLANTA RECICLADORA que se logra la separación de las llantas en 4 componentes:

### **Imagen 10. Separación por componentes**



*Fuente: Vivo en Italia, Reciclaje de llantas usadas: la nueva economía ecológica de México. <http://www.vivoenitalia.com/linea-de-reciclaje-de-llantas-usadas/>*

Fotos de izquierda a derecha:

- Granos de diferentes granulometrías de goma que pueden variar de 0,5 a 3mm
- Fibras textiles
- Polvos
- Alambres de acero armónico

## 8.4 Parámetros definidos por la normas y especificaciones para su utilización

En los objetivos específicos se relacionó la necesidad de investigar y presentar un resumen de cuáles son los parámetros definidos por las normas y especificaciones para su utilización, es así como las distintas entidades controlan a su interior la calidad de este producto.

El IDU con su especificación técnica 560-11 MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON ASFALTOS MODIFICADOS CON CAUCHO POR VIA HUMEDA, controla la granulometría de los agregados a través de la Tabla 560.1, para el correcto desempeño de la mezcla en su fabricación, extendido, compactación y puesta al servicio

### Imagen 11. Granulometría de los agregados

Tabla 560.1

| Tamiz   | Porcentajes pasa |        |        |
|---------|------------------|--------|--------|
|         | Tipo 1           | Tipo 2 | Tipo 3 |
| 1"      | 100              | 100    |        |
| 3/4"    | 95- 100          | 95-100 | 100    |
| 1/2"    | 87 - 97          | 83-87  | 90-100 |
| 3/8"    | 70 - 80          | 65-70  | 83-87  |
| No. 4   | 43 - 58          | 28-42  | 28-42  |
| No. 8   | 30 - 45          | 14-22  | 14-22  |
| No. 200 | 7 - 10           | 0-6.0  | 0-6.0  |

Fuente: IDU. Especificación técnica 560-11.

Dice el IDU que para la modificación del ligante puro con GCR esta deberá hacerse con un equipo que esté en capacidad de proporcionar una mezcla asfalto-caucho homogénea, controlándose las variables presentadas en la Tabla 560.2. El

asfalto modificado con GCR deberá cumplir con las propiedades mínimas especificadas en la tabla presentada en la imagen 12. Si al menos una de estas propiedades no se llega a cumplir, se deberá establecer el porcentaje óptimo de GCR para modificar un ligante puro mediante un programa experimental, siguiendo las recomendaciones señaladas en la Tabla de la imagen 12 y cumpliendo con las propiedades especificadas en la Tabla presentada en la imagen 13.

**Imagen 12. Intervalo de Valores característicos, recomendados para modificar el ligante con GCR**

| Variable                                    | Mínimo | Máximo |
|---|--------|--------|
| Porcentaje de GCR sobre el peso del ligante | 10     | 20     |
| Tiempo de reacción, min                     | 55     | 75     |
| Velocidad de agitación, rpm                 | 100    | 750    |
| Temperatura de mezclado, ° C                | 155    | 170    |

*Fuente: IDU. Especificación técnica 560-11.*

**Imagen 13. Especificación de asfaltos modificados con GCR**

| Ensayo  | Norma de Ensayo | Mínimo | Máximo |
|---|-----------------|--------|--------|
| <b>Asfalto original ya modificado con GCR</b>         |                 |        |        |
| Viscosidad a 163° C con viscosímetro rotacional, Pa-s | INV E-717-07    | 1.5    | 3.0    |
| Penetración a 25° C, 1/10 mm                          | INV E-706-07    | 40     | 70     |
| Punto de ablandamiento, ° C                           | INV E-712-07    | 52     | -      |
| <b>Residuo después de RTFOT</b>                       |                 |        |        |
| Pérdida de masa, %                                    | INV E-720-07    | -      | 1      |
| Penetración, % (de la penetración original)           | INV E-706-07    | 65     | -      |
| Recuperación elástica utilizando el ductilómetro, %   | INV E-742-07    | 50     | -      |

*Fuente: IDU. Especificación técnica 560-11.*

Para mezclas asfálticas, elaboradas con asfalto modificado con GCR, el diseño se iniciará con el método Marshall (norma de ensayo INV E-748-07) y se definirá por

medio de la resistencia a la deformación plástica (norma de ensayo INV E-756-07). En mezclas drenantes y discontinuas, el diseño se iniciará con el ensayo Cántabro (norma de ensayo (INV E-760-07) y se definirá por medio de la resistencia a la deformación plástica (norma de ensayo INV E-756-07), siendo el Marshall un valor para controlar la producción.

El contenido óptimo de ligante se definirá, por medio de la resistencia a la de formación plástica en pista de ensayo de laboratorio, preparando una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto, de tal manera que el contenido óptimo esté entre, por lo menos, dos puntos por encima y por debajo de este valor. El ensayo se realizara a sesenta grados Celsius (60° C) para mezclas asfálticas densas y mezclas con granulometría 0/14; ya cuarenta grados Celsius (40° C) para mezclas drenantes y mezclas discontinuas. La velocidad de deformación en el intervalo comprendido entre ciento cinco (105) y ciento veinte (120) minutos no podrá ser mayor de 20  $\mu\text{m}/\text{minuto}$ . Si este requisito no se cumple, se deberán efectuar los ajustes necesarios en el diseño de la mezcla.

Se podrán emplear otros métodos de pista de ensayo de laboratorio contemplados en la norma EN-12697-22, caso en el cual los criterios de aceptación deberán definirse con base en especificaciones internacionales de comprobada efectividad.

El Constructor y el Interventor deberán realizar todos los ensayos que verifiquen el buen desempeño de la mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR para la aceptación de la fórmula de trabajo. Adicionalmente deberá suministrarse la siguiente información:

- Porcentaje de GCR utilizado en la modificación del cemento asfáltico en relación con el peso del ligante puro.
  
- Granulometría del GCR utilizado en la modificación del cemento asfáltico.

- Tiempo de reacción, velocidad de agitación, y temperatura de mezclado del GCR y el ligante puro.

-Temperaturas de mezclado y de compactación de la mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR.

- Resultados de ensayos de calidad de la mezcla asfáltica.

El IDU define que se establecen dos instancias para la verificación de la condición de fatiga de la mezcla asfáltica, la primera corresponde a la aprobación de la mezcla en concordancia con las hipótesis de diseño, y la segunda corresponde al control de calidad para la aprobación de la misma, con el fin de garantizar la conformidad del producto durante la ejecución de la obra.

La medida de la ley de fatiga en la mezcla asfáltica se realizará para capas de rodadura e intermedia en vías de tránsitos T4 a T5, de acuerdo con el método de ensayo y la instancia correspondiente que se establecen en la Tabla 560.4 presentada a continuación en la imagen 14 . Para obtener la aprobación del uso de la mezcla, el Constructor deberá presentar, adicionalmente al diseño Marshall, el histórico del último año de los registros del ensayo de fatiga, realizados para ese tipo de mezcla en la planta seleccionada para el suministro. El especialista de pavimentos, mediante concepto técnico, analizará el comportamiento y la variabilidad en la producción de la mezcla y su aproximación a las hipótesis de diseño.

**Imagen 14.Método de ensayo para la medida de la ley de fatiga. (tabla 560.4)**

| Instancia          | Método de Ensayo                                 | Mezcla asfáltica a ensayar               |
|--------------------|--|--|
| Diseño             | Deformación controlada                           | Óptima diseñada por deformación plástica |
| Control de Calidad | Deformación controlada o Esfuerzo controlado (1) | Suministrada en la vía por la planta     |

*Fuente: IDU. Especificación técnica 560-11.*

El INVIAS por su parte con sus dos artículos y la norma INV –E, parametriza la aplicación y el control de calidad para que el producto final definido cumpla a satisfacción de acuerdo con los requerimientos:

- Artículo 413 – 13 SUMINISTRO DE CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.

El INVIAS parte de la definición del Grano de caucho reciclado (GCR). El grano de caucho reciclado debe presentar las características que se mencionan en la Tabla 413 - 1. Además, su gradación se deberá acomodar a alguna de las gradaciones presentadas en la Tabla 413 - 2; la gradación por emplear deberá estar definida en los documentos del proyecto.

Para el diseño del cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado, el INVIAS solicita al Constructor que debe presentar, para su aprobación y con suficiente tiempo de anticipación al inicio de los trabajos, el diseño del cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado. En general, se requiere que la proporción de caucho sea al menos el 15% de la masa total del asfalto modificado con grano de caucho reciclado para obtener unas propiedades aceptables de la mezcla asfalto-caucho. También dice el INVIAS que el ligante deberá cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 413 - 3, para el tipo de asfalto modificado con grano de caucho reciclado que se especifique en los documentos del proyecto. El proceso de escogencia del tipo de ligante deberá tener en cuenta las guías climatológicas de la norma ASTM D 6114. A continuación se presentan las tablas 413-1, 413-2 y 413-3.

Imagen 15. Características del grano de caucho reciclado GCR (tabla 413.1)

| CARACTERÍSTICA   | REQUISITO  |
|--|--|
| Humedad  | - Máximo 0.75 % de la masa total de la mezcla.<br>- El GCR debe fluir libremente |
| Gravedad específica  | 1.15 ± 0.05  |
| Contenido de metales no ferrosos   | No debe haber presencia visible  |
| Contenido de metales ferrosos, en masa   | Máximo 0.01%   |
| Contenido de fibra en masa, en masa:<br>- Para mezclas en caliente<br>- Para riegos                    | Máximo 0.5%<br>Máximo 0.1%   |
| Contenido de polvo mineral (como talco): se suele usar para prevenir que los granos se peguen          | Máximo 4.0%  |
| Contenido total de otros elementos extraños, en masa; incluye:<br>- Vidrio<br>- Arena<br>- Madera, etc | Máximo 0.25%   |

Fuente: INVIAS (2013) .Articulo413-13.

Imagen 16. Distribución de tamaños del grano de caucho reciclado GCR (tabla 413.2)

| TIPO DE GRADACIÓN | TAMIZ (mm / U.S. Standard) |          |          |          |        |         |
|-------------------|----------------------------|----------|----------|----------|--------|---------|
|                   | 2.38                       | 2.00     | 1.19     | 0.59     | 0.30   | 0.075   |
|                   | No. 8                      | No. 10   | No. 16   | No. 30   | No. 50 | No. 200 |
| % PASA            |                            |          |          |          |        |         |
| Típo A            | 100                        | 95 - 100 | 0 - 10   | -        | -      | -       |
| Típo B            | -                          | 100      | 65 - 100 | 20 - 100 | 0 - 45 | 0 - 5   |

Fuente: INVIAS (2013) .Articulo413-13.

**Imagen 17. Especificaciones físicas del cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (tabla 413.3).**

| PROPIEDADES   | NORMA DE ENSAYO                                   | TIPO DE ASFALTO-CAUCHO |     |         |     |          |     |
|---|---|------------------------|-----|---------|-----|----------|-----|
|   |   | TIPO I                 |     | TIPO II |     | TIPO III |     |
|   |   | Mín                    | Max | Min     | Max | Min      | Max |
| Viscosidad aparente a 175°C (Pa.s)  | ASTM D-2196 Método A Modificado según ASTM D-6114 | 1.5                    | 5.0 | 1.5     | 5.0 | 1.5      | 5.0 |
| Penetración a 25 °C, 100g, 5s (1/10mm)  | INV E-706   | 25                     | 75  | 25      | 75  | 50       | 100 |
| Penetración a 4 °C, 200g, 60s (1/10mm)  | INV E-706   | 10                     | -   | 15      | -   | 25       | -   |
| Punto de ablandamiento ( °C)  | INV E-712   | 57                     | -   | 54      | -   | 52       | -   |
| Resiliencia a 25 °C (%)   | ASTM D-5329                                       | 25                     | -   | 20      | -   | 10       | -   |
| Punto ignición mediante copa abierta de Cleveland (°C)  | INV E-709   | 230                    | -   | 230     | -   | 230      | -   |
| Acondicionamiento en prueba de película delgada   | INV E-720   |                        |     |         |     |          |     |
| Penetración del residuo luego del acondicionamiento en prueba de película delgada, % de la penetración original | INV E-706   | 75                     | -   | 75      | -   | 75       | -   |

Fuente: INVIAS (2013) .Articulo413-13.

- Norma INV E – 824 – 13 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO ELABORADAS CON ASFALTO - CAUCHO.

Este documento elaborado por el INVIAS está orientado como guía de cumplimiento para el diseño de mezclas de concreto asfáltico elaboradas con asfalto caucho, utilizando los moldes Marshall para las probetas de ensayo, aquí se definen la formulas y el paso a paso que se debe seguir para lograr el diseño de la mezcla, partiendo de la preparación de los materiales pétreos como de los

bituminosos, se calculan los parámetros definidos hasta obtener la estabilidad, el flujo de la mezcla y la relación de vacíos, con esta información se elaboran las curvas del contenido óptimo del ligante (Asfalto – Caucho). Posteriormente se realizan algunas verificaciones y se presenta el informe de diseño de la mezcla.

Esta norma INVIAS tiene como norma de referencia la ARIZ 832 del 14 de noviembre de 2008, Arizona Department of Transportation.

- Artículo 467 – 13 PARTICULAR. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.

Si bien este artículo no fue aprobado con las resoluciones 1375 y 1376 del 26 de mayo de 2014 en donde se adoptaron como Norma Técnica para los proyectos de la Red Vial Nacional, las "NORMAS DE ENSAYO DE MATERIALES PARA CARRETERAS" y las "ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN PARA CARRETERAS", elaboradas en el año 2012, por el Instituto Nacional de Vías "INVIAS", la entidad preocupada con el tema de la contaminación ambiental por efecto de las llantas usadas elaboró la presente norma en el año 2013, documento que fue socializado mediante presentaciones a los constructores interesados en los proyectos viales, también se incluyó en algunos pliegos de licitación. El INVIAS informó que en la próxima edición de actualización de las normas y especificaciones ya quedara incluido.

Para la selección de los agregados pétreos y llenante mineral el presente artículo define la tabla 8 en donde se encuentran las franjas granulométricas para mezclas asfálticas con grano de caucho reciclado

**Tabla 8. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas con GCR.**

| TIPO DE MEZCLA                          | TAMIZ (mm/U.S Standard) |        |        |        |       |       |       |       |        |
|---|-------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
|   | 25.0                    | 19.0   | 12.5   | 9.5    | 4.75  | 2.36  | 0.60  | 0.30  | 0.075  |
|   | 1"                      | 3/4"   | 1/2"   | 3/8"   | N° 4  | N° 8  | N° 30 | N° 50 | N° 200 |
|   | % PASA                  |        |        |        |       |       |       |       |        |
| M-GCR-25                                | 100                     | 90-100 | 65-85  | 50-70  | 30-45 | 16-28 | 6-16  | 4-12  | 2-6    |
| M-GCR-19                                |                         | 100    | 90-100 | 70-90  | 35-50 | 20-32 | 8-18  | 5-14  | 2-6    |
| M-GCR-12                                |                         |        | 100    | 90-100 | 50-65 | 28-40 | 18-22 | 6-16  | 3-7    |
| TOLERANCIAS EN FÓRMULA DE TRABAJO (+/-) | 4%                      |        |        |        |       | 3%    |       |       | 2%     |

Fuente: INVIAS (2013) .Articulo467-13.P

Con respecto al tipo de mezcla asfáltica en caliente a emplear, esta dependerá del tipo y del espesor compacto de la capa de pavimento y está definida en los documentos de cada proyecto, siguiendo los criterios de la tabla 9 que se presenta a continuación:

**Tabla 9. Tipo de gradación por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa.**

| TIPO DE CAPA | ESPESOR COMPACTO (mm) | TIPO DE MEZCLA                                       |
|--------------|-----------------------|--|
| RODADURA     | 35-45<br>45-60<br>>60 | M-GCR-12<br>M-GCR-12, M-GCR-19<br>M-GCR-19, M-GCR-25 |
| INTERMEDIA   | >70                   | M-GCR-25   |

Fuente: INVIAS (2013) .Articulo467-13.P

Con respecto al tipo de asfalto que se requiere utilizar para la elaboración de la mezcla en caliente, este debe corresponde a los tipos I, II y III del artículo 413-13P, según lo definido en los documentos técnicos del proyecto, tomando como base las guías climatológicas de la norma ASTM D 6114, adaptadas a las condiciones nacionales según la siguiente tabla definida en el artículo 467-13P.

**Tabla 10. Tipo de asfalto por emplear en mezclas con asfaltos modificados GCR.**

| NIVEL DE TRANSITO NT2/NT3                 |         |          |
|---|---------|----------|
| TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE LA REGION (°C) |         |          |
| >24                                       | 15-24   | <15      |
| Tipo I                                    | Tipo II | Tipo III |

Fuente: INVIAS (2013) .Articulo467-13.P

Ya en lo que tiene que ver con el diseño de la mezcla y la obtención de la formula de trabajo, el INVIAS en el artículo 467.4., Ejecución de los trabajos, define en la tabla 11, los pasos que se deben seguir para el diseño de la mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado

**Tabla 11. Tipo de asfalto por emplear en mezclas con asfaltos modificados GCR.**

| PASOS                          | DESCRIPCIÓN  | NUMERAL     |
|--------------------------------|--|-------------|
| Diseño Preliminar              | Estabilidad, flujo y propiedades volumétricas (Marshall)           | 467.4.1.2.1 |
| Determinación intervalo óptimo | Resistencia al ahuellamiento                                       | 467.4.1.2.2 |
| Verificación del diseño        | Evaluación adherencia<br>Módulo Resilente<br>Resistencia la fatiga | 467.4.1.2.3 |

Fuente: INVIAS (2013) .Articulo467-13.P

Cada paso a su vez está definido por una serie de características y propiedades para lo cual el INVIAS en su artículo 467-13P, presenta una serie de tablas apoyadas en la norma INV – E – 824-13, la cual emplea el equipo Marshall en el método de cálculo.

Es así como la tabla 12 se definen los criterios para el primer paso que es diseño preliminar de la mezcla.

**Tabla 12. Criterios para el diseño preliminar de mezclas asfálticas con GCR.**

| CARACTERISTICAS                                     |          | CRITERIO CATEGORIAS NT2 & NT3 | NORMA DE ENSAYO |
|---|----------|-------------------------------|-----------------|
| Compactación (golpes/cara)                          |          | 75                            | E-824           |
| Contenido de asfalto-caucho (%)                     |          | 6.0-9.0                       |                 |
| Estabilidad Minima (N)                              |          | 8250                          |                 |
| Flujo (mm)  |          | 2.5-5.0                       |                 |
| Vacios con aire %                                   |          | 3.0-5.0                       | E-799           |
| vacios en agregados minerales (%)                   | M-GCR-25 | >14                           |                 |
|   | M-GCR-19 | >15                           |                 |
|   | M-GCR-12 | >16                           |                 |
| Vacios llenos de asfaltos- VFA (%)                  |          | Reportar                      |                 |
| Relación Filler/ligante (p/p)                       |          | Reportar                      |                 |
| Espesor promedio mínimo de película de asfalto (µm) |          | 7.5                           | E-741           |

*Fuente: INVIAS (2013) .Articulo467-13.P*

El segundo paso corresponde a la determinación del intervalo óptimo que se calcula por medio de la resistencia medida a la deformación plástica en pistas de ensayo de laboratorio. Se debe cumplir los siguientes criterios presentadas en la tabla 13.

**Tabla 13. Verificación de resistencia a la deformación de mezclas asfálticas con GCR.**

| PROPIEDAD   | VALOR CRITERIO | NORMA DE ENSAYO |
|---|----------------|-----------------|
| <b>Resistencia a la deformación Plástica:</b> Velocidad máxima de deformación en el intervalo de tiempo de 105 a 120 minutos ( $\mu\text{m}/\text{min}$ ) |                | E-756           |
| Temperatura media anual del aire >24 °C   | 12             |                 |
| Temperatura media anual del aire $\geq$ 24 °C   | 15             |                 |

*Fuente: INVIAS (2013) .Articulo467-13.P*

Finalmente se realiza el paso 3 el cual corresponde a la verificación del diseño, es decir que las mezclas que hayan cumplido con los criterios de las dos tablas anteriores (11 y 12), deben cumplir también los requisitos establecidos en la tabla 14:

**Tabla 14. Verificación del diseño del de mezclas asfálticas con GCR.**

| PROPIEDAD                                     | VALOR CRITERIO  | NORMA DE ENSAYO |
|---|---|-----------------|
| Adherencia: Mínima resistencia conservada (%) | 80  | E-725           |
| Módulo resiliente (Mpa)                       | Los documentos del proyecto definen los valores a cumplir | E-749           |
| Resistencia a la Fatiga                       |   | E-784<br>E-808  |

*Fuente: INVIAS (2013) .Articulo467-13.P*

## ICONTEC

### Proyecto de norma DE 044 – 16 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO

Lo que pretende este proyecto de norma es establecer los requisitos mínimos que se deben cumplir en las mezclas asfálticas en caliente con asfalto modificado con Grano de Caucho Reciclado (GCR) para su uso en las obras de pavimentación.

Para el uso de grano de caucho los requisitos mínimos se observan en la tabla Nro. 15.

**Tabla 15. Requisitos mínimos del GCR**

|                                  |                                 |            |
|----------------------------------|---------------------------------|------------|
| Contenido de Humedad             | $\leq 0,75$ % en peso           | ASTM D1864 |
| Contenido de Acero               | $\leq 0,01$ % en peso           | ASTM D5603 |
| Contenido de metales no ferrosos | Sin presencia visible           | ASTM D6114 |
| Contenido de Fibra               | $\leq 0,5\%$ Mezcla caliente    | ASTM D5603 |
| Contenido de otros contaminantes | $\leq 0,25$ % en peso           | ASTM D5603 |
| Gravedad Específica              | Entre $\geq 1,10$ ; $\leq 1,20$ | ASTM D1817 |
| Granulometría                    | $< 2,36$ mm (pasante malla 8)   | ASTM D5644 |

*Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.*

En la tabla Nro. 9, se pueden apreciar los requisitos físicos que el proyecto de norma específica para el ligante asfalto – caucho. Y Aclara la norma que cuando el porcentaje de caucho reciclado sea igual o superior al 15 % en peso del asfalto por vía húmeda, el proceso de modificación se denomina de alta viscosidad y debe cumplir con los requisitos físicos de la Tabla 16. Esta tabla fue desarrollada para proporcionar una referencia para especificar el ligante asfalto-caucho. Los

ensayos están destinados a medir el grado de modificación del cemento asfáltico por el GCR.

**Tabla 16. Requisitos físicos para el ligante asfalto-caucho**

| Clasificación del ligante  |      | Tipo I         | Tipo II        | Tipo III       |
|--|------|----------------|----------------|----------------|
| Viscosidad aparente, 175 °C (347 °F):<br>Pa·s (cP)   | mín. | 1,5 (1<br>500) | 1,5 (1<br>500) | 1,5 (1<br>500) |
| Método de ensayo modificado ASTM<br>D2196, Método A, (véase el numeral<br>5.4) Pa·s (cP)                   | máx. | 5,0 (5<br>000) | 5,0 (5<br>000) | 5,0 (5<br>000) |
| Penetración, 25 °C (77 °F), 100 g, 5 s:<br>unidades (Método de ensayo ASTM D5)                             | mín. | 25             | 25             | 50             |
|  | máx. | 75             | 75             | 100            |
| Penetración, 4 °C (39 °F), 200 g, 60 s:<br>unidades (Método de ensayo ASTM D5)                             | mín. | 10             | 15             | 25             |
| Punto de ablandamiento: °C (°F)<br>(Método de ensayo ASTM NTC 5118)  | mín. | 57 (135)       | 54 (130)       | 52 (125)       |
| Resiliencia, 25 °C (77 °F): %<br>Método de ensayo ASTM D5329   | mín. | 25             | 20             | 10             |
| Punto de ignición: °C (°F)<br>Método de ensayo ASTM D92  | mín. | 232 (450)      | 232 (450)      | 232 (450)      |
| Residuo del ensayo al horno de lámina<br>delgada rotatorio (Método de ensayo<br>ASTM D2872)                | ...  | ...            | ...            | ...            |
| Retención de la penetración, 4 °C (39,2<br>°F): % de la penetración original<br>(Método de ensayo ASTM D5) | mín. | 75             | 75             | 75             |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

También dice el proyecto de norma que cuando el porcentaje de caucho reciclado sea inferior al 15 % en peso del asfalto por vía húmeda, el proceso de modificación se denomina de baja viscosidad y debe cumplir con los requisitos físicos de la norma AASHTO M320.

Para los cementos Asfálticos Grado Desempeño (PG), se deben determinar los parámetros de calidad  $Jnr_{3.2}$  ( $Jnr_{3200}$ ),  $Jnr_{dif}$  ( $Jnr_{dif}$ ) R3.2 ( $RE_{3200}$ ) y  $R_{dif}$  ( $Redif$ ) de acuerdo con el método de ensayo AASHTO T350, para luego definir con base en la norma AASHTO M332, el grado de desempeño “S”, “H”, “V” o “E”, y así confirmar la aceptación del cemento asfáltico modificado con GCR, de acuerdo con la intensidad y velocidad de tráfico esperados para el proyecto, según la clasificación indicada en la Tabla 17 de esta norma.

**Tabla 17. Grado de Desempeño en Prueba de Recuperación a Fluencia aplicando Múltiple Esfuerzo (MSCR)**

| Intensidad de tráfico (ejes equivalentes) | Velocidad de tráfico (km/h) | Nivel del asfalto | $Jnr_{3200}$ (1/kPa) | $Jnr_{dif}$ (%) | $RE_{3200}$ (%) | $RE_{dif}$ (%) |
|---|-----------------------------|-------------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------------|
|   |                             | No cumple         | > 4                  | No aplica       | No aplica       | No aplica      |
| < 3 millones                              | > 70                        | Estándar (S)      | Máx. 4               | $\leq 75$       | $\geq 0$        | No aplica      |
|   | > 20 < 70                   | Pesado (H)        | Máx. 2               | $\leq 75$       | $\geq 25$       | $\leq 75$      |
|   | < 20                        | Muy pesado (V)    | Máx. 1               | $\leq 75$       | $\geq 30$       | $\leq 75$      |
|   | < 20 y detenido             | Extremo (E)       | Máx. 0,5             | $\leq 75$       | $\geq 40$       | $\leq 75$      |
| > 3                                       | > 70                        | Pesado (H)        | Máx. 2               | $\leq 75$       | $\geq 25$       | $\leq 75$      |

| <b>Intensidad de tráfico (ejes equivalentes)</b>  | <b>Velocidad de tráfico (km/h)</b> | <b>Nivel del asfalto</b> | <b>Jnr<sub>3200</sub> (1/kPa)</b> | <b>Jnr<sub>dif</sub> (%)</b> | <b>RE<sub>3200</sub> (%)</b> | <b>RE<sub>dif</sub> (%)</b> |
|---|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| millones y < 10 millones  | > 20 < 70                          | Pesado (H)               | Máx. 2                            | ≤ 75                         | ≥ 25                         | ≤ 75                        |
|   | < 20                               | Muy pesado (V)           | Máx. 1                            | ≤ 75                         | ≥ 30                         | ≤ 75                        |
|   | < 20 y detenido                    | Extremo (E)              | Máx. 0,5                          | ≤ 75                         | ≥ 40                         | ≤ 75                        |
| > 10 millones y < 30 millones   | > 70                               | Pesado (H)               | Máx. 2                            | ≤ 75                         | ≥ 25                         | ≤ 75                        |
|   | > 20 < 70                          | Pesado (H)               | Máx. 2                            | ≤ 75                         | ≥ 25                         | ≤ 75                        |
|   | < 20                               | Muy pesado (V)           | Máx. 1                            | ≤ 75                         | ≥ 30                         | ≤ 75                        |
|   | < 20 y detenido                    | Extremo (E)              | Máx. 0,5                          | ≤ 75                         | ≥ 40                         | ≤ 75                        |
| > 30 millones   | > 70                               | Extremo (E)              | Máx. 0,5                          | ≤ 75                         | ≥ 40                         | ≤ 75                        |
|   | > 20 < 70                          | Extremo (E)              | Máx. 0,5                          | ≤ 75                         | ≥ 40                         | ≤ 75                        |
|   | < 20                               | Extremo (E)              | Máx. 0,5                          | ≤ 75                         | ≥ 40                         | ≤ 75                        |
|   | < 20 y detenido                    | Extremo (E)              | Máx. 0,5                          | ≤ 75                         | ≥ 40                         | ≤ 75                        |
| <p>NOTA 1 Asfaltos con valores de Jnr<sub>3200</sub> mayores a 4 no pueden ser empleados en ningún caso.</p> <p>NOTA 2 Se recomienda consultar la versión vigente de la norma AASHTO M332 para corroborar la vigencia de la presente Tabla.</p> |                                    |                          |                                   |                              |                              |                             |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben satisfacer los requisitos de la Tabla 18 y la Tabla 19. La tabla 13 se refiere a los ensayos de verificación que se deben realizara los agregados.

**Tabla 18.Requisitos de los agregados pétreos**

| Característica  | Norma de ensayo | Nivel de tránsito ( $N_{80kN}$ ) |                                      |                       |
|---|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
|   |                 | $\leq 500\ 000$                  | $> 500\ 000$ y<br>$\leq 5\ 000\ 000$ | $> 5\ 000\ 000$       |
| <b>Dureza, agregado grueso (O)</b>  |                 |                                  |                                      |                       |
| Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%)<br>- Capa de: rodadura/intermedia/base, 500 revoluciones<br>- Capa de: rodadura/intermedia/base, 100 revoluciones | ASTM C131       | 25/35/-<br>5/7/-                 | 25/35/35<br>5/7/7                    | 25/35/35<br>5/7/7     |
| Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)<br>- Capa de: rodadura/intermedia/base  | ASTM D6928      |                                  | 25/30/30                             | 20//25/25             |
| Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos, capa de: rodadura/intermedia/base<br>- Valor en seco, mínimo (kN)<br>- Relación húmedo/seco, mínima (%)       | BS 812-110      |                                  |                                      | 110/90/75<br>75/75/75 |
| Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo  | EN 1097-8       | 0,45                             | 0,45                                 | 0,45                  |
| <b>Durabilidad (O)</b>  |                 |                                  |                                      |                       |
| Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%)   | ASTM C88        | 18                               | 18                                   | 18                    |
| <b>Limpieza, agregado grueso (F)</b>  |                 |                                  |                                      |                       |

| Característica   | Norma de ensayo                     | Nivel de tránsito (N <sub>80kN</sub> ) |                            |                    |
|--|-------------------------------------|--|----------------------------|--------------------|
|  |                                     | ≤ 500 000                              | > 500 000 y<br>≤ 5 000 000 | > 5 000 000        |
| Impurezas en agregado grueso, máximo (%)   | NLT 172<br>UNE<br>146130<br>Anexo C | 0,5                                    | 0,5                        | 0,5                |
| <b>Limpieza, gradación combinada (F)</b>   |                                     |  |                            |                    |
| Índice de plasticidad, máximo (%)  | ASTM<br>D4318<br>y ASTM<br>D4318    | NP                                     | NP                         | NP                 |
| Equivalente de arena, mínimo (%)   | NTC<br>6179                         | 50                                     | 50                         | 50                 |
| Valor de azul de metileno, máximo  | EN<br>933-9                         | 10                                     | 10                         | 10                 |
| <b>Geometría de las partículas, agregado grueso (F)</b>  |                                     |  |                            |                    |
| Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo %  | ASTM<br>D4791                       | 10                                     | 10                         | 10                 |
| Caras fracturadas, mínimo (%)<br>- Una cara: rodadura/intermedia/base<br>- Dos caras: rodadura/intermedia/base | ASTM<br>D5821                       | 75/60/-<br>-/-                         | 75/75/60<br>60/-/-         | 85/75/60<br>70/-/- |
| <b>Geometría de las partículas, agregado fino (F)</b>  |                                     |  |                            |                    |
| Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)<br>- Capa de: rodadura/intermedia/base                   | AASHTO<br>T 304                     | 40/35/-                                | 45/40/35                   | 45/40/35           |
| <b>Adhesividad (O)</b>   |                                     |  |                            |                    |
| - Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfáltico en                                    | ASTM<br>D3625                       | Reportar                               |                            |                    |

| Característica  | Norma de ensayo | Nivel de tránsito ( $N_{80kN}$ ) |                                      |                 |
|---|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
|   |                 | $\leq 500\ 000$                  | $> 500\ 000$ y<br>$\leq 5\ 000\ 000$ | $> 5\ 000\ 000$ |
| presencia del agua hirviendo (%)<br>- Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método riedel-weber), índice mínimo | ASTM D6999      | 4                                |                                      |                 |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

**Tabla 19. Requisitos del llenante mineral**

| Característica                          | Norma de ensayo          | Nivel de tránsito ( $N_{80kN}$ ) |   |                 |
|---|--------------------------|----------------------------------|---|-----------------|
|   |                          | $\leq 500\ 000$                  | $> 500\ 000$<br>y<br>$\leq 5\ 000\ 000$ | $> 5\ 000\ 000$ |
| Densidad bulk ( $g/cm^3$ )              | BS 812-2,<br>Numeral 6.4 | 0,5 a 0,8                        |   |                 |
| Vacíos del llenante seco compactado (%) | BS 812-2<br>Numeral 6.5  | -                                | $\geq 38$                               |                 |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

**Tabla 20. Ensayos de verificación sobre los agregados**

| Característica                        | Norma de ensayo   | Frecuencia    |
|---------------------------------------|-------------------|---------------|
| <b>Composición (F)</b>                |                   |               |
| Granulometría                         | ASTM C136 / C136M | 1 por jornada |
| <b>Dureza, agregado grueso (O)</b>    |                   |               |
| Desgaste en la máquina de Los Ángeles | ASTM C131         | 1 por mes     |

| <b>Característica</b>                                  | <b>Norma de ensayo</b>           | <b>Frecuencia</b>                             |
|--|----------------------------------|---|
| Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval      | ASTM D6928                       | 1 por mes                                     |
| Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos   | BS 812-110<br>SABS Método 842    | 1 por mes                                     |
| Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura      | EN 1097-8                        | Cuando cambie la procedencia de los agregados |
| <b>Durabilidad (O)</b>                                 |                                  |   |
| Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio   | ASTM C88                         | 1 por mes                                     |
| <b>Limpieza, agregado grueso (F)</b>                   |                                  |   |
| Impurezas en agregado grueso                           | NLT 172<br>UNE 146130<br>Anexo C | 1 por semana                                  |
| <b>Limpieza, Gradación combinada (F)</b>               |                                  |   |
| Índice de plasticidad                                  | ASTM D4318                       | 1 por jornada                                 |
| Equivalente de arena                                   | NTC 6179                         | 1 por semana                                  |
| Valor de azul de metileno                              | EN 933-9                         | 1 por semana                                  |
| <b>Geometría de la partículas, agregado grueso (F)</b> |                                  |   |
| Índices de alargamiento y aplanamiento                 | EN 933-3                         | 1 por semana                                  |
| Partículas planas y alargadas, relación 5:1            | ASTM D4791                       | 1 por semana                                  |
| Caras fracturadas                                      | ASTM D5821                       | 1 por jornada                                 |
| <b>Geometría de la partículas, agregado fino (F)</b>   |                                  |   |

| Característica  | Norma de ensayo | Frecuencia                                    |
|---|-----------------|---|
| Angularidad de la fracción fina, método A   | AASHTO T 304    | 1 por jornada                                 |
| <b>Adhesividad, gradación (O)</b>   |                 |   |
| - Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo | ASTM D3625      | Cuando cambie la procedencia de los agregados |
| - Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Webel)      | ASTM D2489      |   |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

**Tabla 21. Ensayos de verificación sobre el llenante mineral de aporte**

| Característica | Norma de ensayo       | Frecuencia   |
|----------------|-----------------------|--|
| Granulometría  | ASTM C136/C136M       | 1 por suministro   |
| Densidad bulk  | BS 812-2, Numeral 6.4 | 1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

La granulometría de los agregados puede ser cualquiera de las definidas en la Tabla 21 y Tabla 22, o aquella granulometría de aceptación internacional que cumpla con los requisitos de desempeño de la **Determinación del intervalo óptimo** y la **Verificación del diseño**, para este tipo de mezclas en su diseño, fabricación, extendido, compactación y puesta en servicio.

**Tabla 22. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas con GCR**

| Tipo de mezcla                               | Tamiz (min/U.S. Standard) |        |        |        |       |       |        |        |         |
|--|---------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|---------|
|  | 25,0                      | 19,0   | 12,5   | 9,5    | 4,75  | 2,36  | 0,60   | 0,30   | 0,075   |
|  | 1"                        | 3/4"   | 1/2"   | 3/8"   | No. 4 | No. 8 | No. 30 | No. 50 | No. 200 |
|  | % PASA                    |        |        |        |       |       |        |        |         |
| <b>M-GCR-25</b>                              | 100                       | 90-100 | 65-85  | 50-70  | 30-45 | 16-28 | 6-16   | 4-12   | 2-6     |
| <b>M-GCR-19</b>                              |                           | 100    | 90-100 | 70-90  | 35-50 | 20-32 | 8-18   | 5-14   | 2-6     |
| <b>M-GCR-12</b>                              |                           |        | 100    | 90-100 | 50-65 | 28-40 | 12-22  | 6-16   | 3-7     |
| <b>Tolerancias en fórmula de trabajo (±)</b> | 4 %                       |        |        |        |       | 3 %   |        |        | 2 %     |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

**Tabla 23. Franjas granulométricas alternativas para mezclas asfálticas con GCR**

| Tipo de mezcla | Tamiz (min/U.S. Standard) |        |        |       |       |       |         |
|----------------|---------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|---------|
|                | 25,0                      | 19,0   | 12,5   | 9,5   | 4,75  | 2,36  | 0,075   |
|                | 1"                        | 3/4"   | 1/2"   | 3/8"  | No. 4 | No. 8 | No. 200 |
|                | % PASA                    |        |        |       |       |       |         |
| <b>Tipo I</b>  | 100                       | 90-100 | 77-93  | 59-76 | 28-49 | 14-27 | 2-8     |
| <b>Tipo li</b> |                           | 100    | 84-100 | 77-93 | 28-49 | 14-27 | 2-8     |

|   |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|
| <b>Tolerancias<br/>En Fórmula<br/>De Trabajo<br/>(±)</b>                      | 4 % | 3 % | 1 % |
| FUENTE: CALTRANS – STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF<br>TRANSPORTATION (2010) |     |     |     |

*Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.*

Especifica la norma que el tipo de mezcla asfáltica en caliente a emplear se debe seleccionar según los criterios de la Tabla 24 en el caso que se utilicen las granulometrías indicadas en la Tabla 22 y Tabla 23.

**Tabla 24. Tipo de gradación por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa**

| Tipo de capa  | Espesor compacto<br>(mm) | Tipo de mezcla     |
|---|--------------------------|--------------------|
| Rodadura  | 35-45                    | M-GCR-12           |
|   | 45-60                    | M-GCR-12, MGCR-19  |
|   | > 60                     | M-GCR-19, M-GCR-25 |
| Intermedia  | > 70                     | M-GR-25            |
| NOTA Para capas de rodadura con espesores definidos entre 45 mm y 60 mm se permite el uso de la gradación M-GCR-25 cuando el tamaño máximo sea 19 mm, entendido como el primer tamiz por el que pasa el 100 % del material. |                          |                    |

*Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.*

Para el diseño de la mezcla y antes de iniciar el acopio de los agregados, indica la norma que el Constructor deberá suministrar, para verificación del Interventor, muestras de estos y del producto bituminoso a emplear y de los eventuales aditivos, avaladas por los resultados de los ensayos de laboratorio que garanticen

la conveniencia de emplearlos en la mezcla. Luego de que el interventor efectúe las comprobaciones y dé su aprobación a los ingredientes, el Constructor debe definir una “fórmula de trabajo” que debe cumplir los requisitos establecidos en la presente norma.

En la fórmula de trabajo se deben consignar el tipo y las características del ligante asfáltico, la granulometría de cada uno de los agregados pétreos y las proporciones en ellos deben ser mezclados, junto con el llenante mineral, para obtener la gradación aprobada, así como la granulometría de los agregados combinados. También se debe establecer las diferentes temperaturas máxima y mínima de calentamiento previo para los agregados, del asfalto caucho y la temperatura optima de compactación.

**Tabla 25. Pasos a seguir para el diseño de mezclas asfálticas con GCR**

| Pasos  | Descripción   |
|--|---|
| Diseño preliminar                                | Estabilidad, flujo y propiedades volumétricas ( <i>Marshall</i> )   |
| Determinación del valor óptimo de asfalto-caucho | Resistencia al ahuellamiento  |
| Verificación del diseño                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluación de la adherencia</li> <li>- Modulo dinámico</li> <li>- Resistencia a la fatiga</li> </ul> |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

Como en todo diseño de mezclas la elaboración del diseño se inicia con el método Marshall. Los criterios para la definición del porcentaje óptimo de asfalto hipotético de la mezcla son los indicados en la Tabla 26, sin que este sea el valor definitivo ni el adecuado para este tipo de mezcla.

**Tabla 26. Criterio para el diseño preliminar de mezclas asfálticas con GCR**

| Característica  |                           | Nivel de tránsito<br>( $N_{80kN}$ )<br>( $> 500\ 000$ )     | Especificación<br>de ensayo  |                                |
|---|---------------------------|---|--|--------------------------------|
| Compactación<br>(golpes/cara)                                       |                           | 75  | ARIZ 832<br>(14-Nov-2008)<br>Arizona<br><i>Department of<br/>Transportation</i>  |                                |
| Contenido de asfalto-<br>caucho (%)                                 |                           | El obtenido con el<br>4 % de vacíos de<br>aire en la mezcla |  |                                |
| Estabilidad mínima (N)  |                           | 8 250   |  |                                |
| Flujo (mm)  |                           | 2,5 – 5,5   |  |                                |
| Vacíos con aire (%)   |                           | 3,0 – 5,0   |  |                                |
| Vacíos en<br>agregados<br>minerales                                 | Tamaño<br>máximo 25<br>mm | > 14  | Manual MS-2 del<br>Instituto del<br>Asfalto, Capitulo<br>4 <i>Volumetric<br/>Properties of<br/>Compacted<br/>Paving Mixtures</i> |                                |
|   | Tamaño<br>máximo 19<br>mm | > 15  |  |                                |
|   | Tamaño<br>máximo 12<br>mm | > 16  |  |                                |
| Vacíos llenos de asfalto –<br>VFA (%)                               |                           | Reportar  |  |                                |
| Relación <i>Filler</i> /ligante (p/p)                               |                           | Reportar  |  |                                |
| Espesor promedio mínimo<br>de película de asfalto ( $\mu\text{m}$ ) |                           | 7,5   |  | ITM No. 589-12P<br>Indiana DOT |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

**Tabla 27. Verificación de la resistencia a la deformación de mezclas asfálticas con GCR**

| Propiedad  | Valor del<br>criterio | Norma de<br>ensayo |
|--|-----------------------|--------------------|
| <b>Resistencia a la deformación plástica:</b>  |                       |                    |
| Velocidad máxima de deformación en el<br>intervalo de tiempo de 105 a 120 minutos<br>( $\mu\text{m}/\text{min}$ ). |                       | NLT 173            |
| - Temperatura media anual del aire $> 24\ ^\circ\text{C}$  | 12                    |                    |
| - Temperatura media anual del aire $\leq 24\ ^\circ\text{C}$   | 15                    |                    |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

**Tabla 28. Verificación de la resistencia a la deformación de mezclas asfálticas con GCR**

| Característica  | Norma de ensayo | Valor de aceptación |         |
|---|-----------------|---------------------|---------|
|   |                 | Mínimo              | Máximo  |
| Deformación luego de 20 000 pasadas, T (°C) *             | AASHTO T324     | -                   | 12,5 mm |
| <sup>1</sup> Para temperatura de ensayo véase la Tabla 15 |                 |                     |         |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

**Tabla 29. Temperaturas de ensayo para la norma AASHTO T324**

| Temperatura alta del grado PG | Temperatura de ensayo |
|-------------------------------|-----------------------|
| 58                            | 45 °C                 |
| 64                            | 50 °C                 |
| 70                            | 55 °C                 |
| 76                            | 60 °C                 |
| 82                            | 65 °C                 |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

El diseño previo que cumpla los requisitos de la Tabla 28 y la Tabla 29 se debe someter a las pruebas de verificación relacionadas en la Tabla 30 y cumplir los requisitos ahí establecidos. Las probetas se deben elaborar con la mezcla definida como óptima mencionado en el numeral anterior.

**Tabla 30. Verificación del diseño de mezclas asfálticas con GCR**

| Propiedad                                     | Valor del criterio  | Norma de ensayo               |
|---|---|-------------------------------|
| Adherencia: mínima resistencia conservada (%) | 80  | ASTM D4867                    |
| Módulo resiliente (MPa)                       | Los documentos del proyecto definen los valores a cumplir | ASTM D1074                    |
| Resistencia a la fatiga                       |   | AASHTO T321<br>EN 12697-24+A1 |

Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.

Se solicita en el proyecto de norma que los ensayos de módulo dinámico y resistencia a la fatiga se deban realizar bajo condiciones de densidad, temperatura y frecuencia representativas de las condiciones reales de operación del pavimento, las cuales deben estar estipuladas en el diseño estructural del pavimento. Las probetas que se sometan a estos ensayos deben ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo (corto plazo) según la norma AASHTO R30.

También se especifica que la compactación de la mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR debe iniciarse inmediatamente después de su extensión, a la temperatura más alta posible, sin que se produzcan agrietamientos, desplazamientos o acolchonamientos en la mezcla. La temperatura mínima de compactación en obra será aquella que fue calibrada y definida en el tramo de prueba.

La compactación se debe hacer con equipos que permitan alcanzar los niveles de densidad requeridos y se deben seleccionar de tal forma que no se fracture el agregado y/o desplace la mezcla, y que tengan la capacidad de cambiar la dirección con suavidad sobre la mezcla ya compactada. La densidad final de la mezcla debe estar en el 95 % del valor medido en el ensayo de gravedad específica máxima teórica (Gmm).

Para los cilindros vibratorios el número de pasadas debe ser el mínimo posible, de tal forma que no se altere la resistencia de los agregados, ni se generen fracturas en los mismos.

En cuanto al porcentaje de asfalto residual promedio del lote (ART%), la norma especifica que este debe tener una tolerancia de tres por mil (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (ARF%).

$$ARF \% - 0,3\% \leq ART \% \leq ARF \% + 0,3\%$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (ARI%), no puede diferir del valor promedio (ART%) en más de medio por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ARF \% - 0,5\% \leq ART \% \leq ARF \% + 0,5\%$$

Un porcentaje de asfalto residual promedio (ART%) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el Constructor demuestre que no habrá problemas de comportamiento de la mezcla ni, en el caso de la capa de rodadura, problemas de inseguridad para los usuarios.

Con respecto al tamaño del proyecto se definieron en la norma que de acuerdo al volumen de mezcla asfáltica a colocar por mes se debe solicitar la evaluación del módulo resiliente y la resistencia a la fatiga con la periodicidad definida en la Tabla Nro. 31 para verificar concordancia con la hipótesis de diseño y conformidad del producto durante la ejecución de la obra.

**Tabla 31. Periodicidad de los ensayos según tamaño del proyecto**

| Ensayo   | Periodicidad   |  |   |
|--|--|--|---|
|  | Proyectos pequeños<br>( $< 1\,000\text{ m}^3/\text{mes}$ ) | Proyectos medianos<br>( $> 1\,000\text{ m}^3/\text{mes}$ y<br>$< 3\,000\text{ m}^3/\text{mes}$ ) | Proyectos grandes<br>$> 3\,000\text{ m}^3/\text{mes}$ |
| Los requisitos establecidos en las Tablas 2 y 3 deben verificarse según acuerdo entre Fabricante de la mezcla e Interventoría. | Al inicio del proyecto y cada 3 meses                      | Al inicio del proyecto y cada 3 meses  | Al inicio del proyecto y cada 3 meses                 |

| Ensayo                                | Periodicidad  |  |   |
|---------------------------------------|---|--|---|
|                                       | Proyectos pequeños (< 1 000 m <sup>3</sup> /mes)                            | Proyectos medianos (> 1 000 m <sup>3</sup> /mes y < 3 000 m <sup>3</sup> /mes) | Proyectos grandes > 3 000 m <sup>3</sup> /mes                                 |
| Resistencia a la deformación plástica | Al inicio del proyecto y cada 3 meses                                       | Al inicio del proyecto y cada 3 meses  | Al inicio del proyecto y cada 3 meses   |
| Resistencia a la humedad              | Al inicio del proyecto y cada 500 m <sup>3</sup> de mezcla suelta producida | Al inicio del proyecto y cada 1 500 m <sup>3</sup> de mezcla suelta producida  | Al inicio del proyecto y cada 2500 m <sup>3</sup> de mezcla suelta producida. |
| Módulo resiliente                     | Al inicio del proyecto y cada 3 meses                                       | Al inicio del proyecto y cada 3 meses  | Al inicio del proyecto y cada 3 meses   |
| Resistencia a la fatiga               | Al inicio del proyecto y cada 4 meses                                       | Al inicio del proyecto y cada 4 meses  | Al inicio del proyecto y cada 4 meses   |

*Fuente: ICONTEC (2016). Proyecto de Norma 044.*

Luego de referenciar los apartes y tablas más importantes de las especificaciones IDU, Artículos y Normas INVIAS, relacionados con el tema de la utilización del grano de caucho en mezclas asfálticas y al compararlas con el proyecto de norma que elaboró el ICONTEC, podemos decir con certeza que con el proyecto norma que posteriormente será una Norma Técnica Colombiana, se está garantizando que las mezclas que se proyecten utilizar hacia el futuro cumplirán con todos los estándares de calidad en su producción, se debe recomendar que las entidades en sus documentos normativos se acojan a los lineamientos definidos aquí, ya que si bien algunas entidades tiene su propia especificación, quedan algunos vacíos en algunos aspectos de orden técnico que son complementados por la existencia de la nueva norma.

Igualmente se debe realizar un estricto seguimiento a las pista de prueba, ensayos de laboratorio y trazabilidad a las obras ya realizadas que involucren el uso de grano de caucho, con el fin de ajustar parámetros en caso de requerirse.

## 9. Conclusiones y recomendaciones

- Con el presente trabajo de aplicación se logró observar que la aplicación de las resoluciones 1457 de julio de 2010 del anterior Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, llamado ahora Ministerio de ambiente y desarrollo Sostenible, la 6981 de diciembre 2011 de las Secretarías distritales de Ambiente y Movilidad y la 1198 de septiembre de 2015 de la Autoridad Nacional de Licencias ambientales por la cual se aprueba un sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas, así como los Decretos 442 de 2015 y 265 de 2016 por medio del cual se creó el Programa de aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas en el Distrito Capital, se han estado implementando de forma gradual tanto en el IDU como en el INVIAS.
  
- Se han elaborado nuevas normas y especificaciones técnicas que regulan la colocación de mezclas asfálticas con grano de caucho, la colocación de esta mezcla se hace actualmente en un bajo porcentaje del volumen total de la mezcla a aplicar, esto según los pliegos de licitación que actualmente se elaboran y se publican por parte de las entidades, es necesario pues que las entidades modifiquen estos porcentajes logrando que el 100% de la mezclas aplicadas en el país contengan el grano de caucho por múltiples ventajas:
  - o Desde el punto de vista ambiental, menos contaminación.
  - o Desde el punto de vista de calidad de la mezcla, mejora las propiedades mecánicas, previene el envejecimiento de la mezcla, menos ruido, previene el desgaste y mejora la susceptibilidad térmica entre otros aspectos.
  - o Desde el punto de vista económico, requiere de menos mantenimiento.

- Si partimos del hecho que en Colombia se desechan cada año un poco mas de 100 toneladas en llantas usadas, tendríamos suficiente toneladas de llantas para atender todos los proyectos que en la actualidad se adelanta tanto a nivel nacional como distrital y de ciudades capitales.
- Con los sistemas de recolección de llantas implementados hasta el momento en el país por las diferentes agremiaciones y entidades que velan por la conservación del medio ambiente, que evitan que estas terminen abandonadas en cualquier lote de las ciudades, es necesario aumentar las plantas con los sistemas de reciclaje para la obtención de grano de caucho por regiones, ya que la capacidad instalada en un momento determinado se puede ver afectada con el consumo que se pueda dar cuando el 100% de los proyectos la requieran. Es bueno resaltar con muchas de estas llantas están siendo recolectadas también para usarlas como combustible en los hornos para la producción de clinker.
- Del seguimiento al proyecto de norma que se adelanta en el ICONTEC se puede concluir que la Norma técnica Colombiana cubrirá todos los aspectos necesarios para la colocación de este tipo de mezclas, las especificaciones técnicas del IDU y del INVIAS de los años 2011 y 2013 respectivamente no son tan claras en algunos aspectos, como si lo es el proyecto de norma, por lo que es necesario que en el futuro las entidades se acojan a la NTC que ofrece todas las garantías para que la mezcla aplicada sea de optima calidad.

## 10. Referencias y/o bibliografía

*ASTM International (2009). Designation: D6114/D6114M-09, Standar Specification for Asphalt – rubber Binder*

*Cámara de comercio de Bogotá. 2006. Guía para el manejo de llantas usadas, un sector transporte con operación más limpia (1 ed). Bogotá D.C.*

*CMT Características de los materiales, parte 4, Materiales para pavimentos, título 5, Materiales asfálticos, aditivos y mezclas (N-CMT-4-05-004/08) (México - 2008) Secretaria mexicana de comunicaciones y transportes 2008, 16 de Diciembre.*

*Ingeniero Bernardo Salas. Presentación Asfalto Modificado con grano de caucho reciclado (GRC). Bernardo Salas (Vicepresidencia comisión técnica permanente de contratación SCI), Licitación Pública LP-PRE-DO-031-2015 Proyecto de Pliego de Condiciones. Bogotá D.C.*

*Instituto de Desarrollo Urbano ID. Sección 560-11, Especificación técnica: Mezclas asfálticas en caliente con asfaltos modificados con caucho.*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Julio 2015). Acta N° 1, Estructuración del plan de trabajo, tema grano de caucho reciclado (GCR).*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Julio 2015). Acta N° 2, Grupo de trabajo grano de caucho reciclado (GCR).*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Agosto 2015).Acta N° 3,  
División de normalización, comite166 pavimentos, Acta 090.*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Agosto 2015).Acta N° 4,  
Grupo de trabajo grano de caucho reciclado (GCR).*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Septiembre 2015).Acta N°5,  
Grupo de trabajo grano de caucho reciclado (GCR).*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Octubre 2015).Acta N° 6,  
Grupo de trabajo grano de caucho reciclado (GCR).*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Noviembre 2015).Acta N° 7,  
Grupo de trabajo grano de caucho reciclado (GCR).*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Diciembre 2015).Acta N°8,  
Grupo de trabajo grano de caucho reciclado (GCR).*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Enero 2016).Acta N° 9,  
Grupo de trabajo grano de caucho reciclado (GCR).*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Febrero 2016).Acta N° 10,  
Grupo de trabajo grano de caucho reciclado (GCR).*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Marzo 2016).Acta N° 11, Grupo de trabajo grano de caucho reciclado (GCR).*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC Junio 2016).División de normalización, comité 166 pavimentos, Acta N°098*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (Julio 2016). División de normalización, comité 166 pavimentos, Acta N°099.*

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC (2016). Proyecto de norma técnica Colombiana 044-16, Mezclas asfálticas en caliente con asfalto modificado con grano de caucho reciclado.*

*INVIAS (2013). Artículo 467-13 particular, .Mezclas Asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR).*

*INVIAS (2013). Artículo E-824-13, Diseño de mezclas de concreto asfáltico elaboradas con asfalto-caucho.*

*Ministerio de medio ambiente vivienda y desarrollo territorial (2006-2009).manual de producción más limpia y buenas prácticas ambientales, reciclaje y aprovechamiento de llantas. ISBN 978-958-8513-10-2, p. (5).*

*Pavimentos sustentables. Camino hacia ellos!  
<http://liganteasfaltico.blogspot.com.co/p/llantas-usadas-en-pavimentos.html>*

*U.S Department of transportation, federal Highway Administration. Guía para seleccionar el tipo de mezcla asfáltica en caliente HMA para pavimentos. México, editorial: Asociación mexicana del Asfalto A.C.*

*Vivo en Italia, Reciclaje de llantas usadas: la nueva economía ecológica de México.*<http://www.vivoenitalia.com/linea-de-reciclaje-de-llantas-usadas/>

[www.redverde.co/index.html](http://www.redverde.co/index.html)