

**DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES SUPERFICIALES Y EVALUACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO DE LAS VIAS
CONSTRUIDAS POR EL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO CON ASFALTO
MODIFICADO CON CAUCHO RECILADO DE LLANTA (GCR), EN LAS
LOCALIDADES DE FONTIBÓN, BOSA Y TEUSAQUILLO, EN LA CIUDAD DE
BOGOTÁ.**

**NELSON EDUARDO VARGAS JIMENEZ
FABIO ALONSO RODRIGUEZ**

Monografía

Ingeniero Juan Pablo Nieto

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA
2014**

RESUMEN

El presente documento pretende dar a conocer cuál ha sido el comportamiento estructural y superficial que han tenido las vías construidas con mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho reciclado de llanta (GCR) en algunos tramos de vía ubicados en las localidades de Bosa, Teusaquillo y Fontibón de la ciudad de Bogotá D.C.

El punto de partida lo constituye la información suministrada por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), ente encargado de la contratación y la supervisión de los trabajos de pavimentación con esta nueva tecnología de asfaltos modificados.

El documento ha sido dividido en dos grandes capítulos, en el primero de ellos se relacionan las generalidades que incluyen el planteamiento del problema, justificación, objetivos y antecedentes sobre el tema de la aplicación de mezclas con asfaltos modificados con caucho, así como el marco legal que rige en nuestra ciudad para el diseño y la construcción de este tipo de pavimentos, normatividad existente etc. De otra parte un marco de referencia en donde se exponen los métodos de evaluación superficial y estructural utilizados para el desarrollo de esta investigación y un marco demográfico que sirve de guía y ubicación del contexto donde se desarrollaron los trabajos por parte de los contratistas del IDU.

Por último se ha planteado un segundo capítulo de resultados en donde se plasma lo obtenido a través de las inspecciones visuales, mediciones y evaluaciones realizadas y análisis hechos a los resultados de los ensayos de laboratorio practicados, así como las conclusiones y recomendaciones dadas, posteriores a la experiencia.

INDICE GENERAL

TABLA DE CONTENIDO.....	2
1. GENERALIDADES.....	6
1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	6
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.4. JUSTIFICACION.....	7
1.5. OBJETIVOS.....	7
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	7
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	7
1.6. ANTECEDENTES	8
1.7. ALCANCE	9
LO QUE SE PRETENDE A TRAVÉS DEL DOCUMENTO ES REALIZAR UNA EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFÁLTICA Y EL ESTADO SUPERFICIAL DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO A TRAVÉS DE LA EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL POR LA METODOLOGÍA PCI Y QUE ESTE SIRVA DE PASO PARA PODER DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DE ESTE TIPO DE MEZCLAS FRENTE A LAS SOLICITACIONES DE TRANSITO DE CADA SECTOR.	9
1.8. MARCO DE REFERENCIA.....	9
1.8.1.1. Utilización del caucho.....	10
1.8.1.2. Los neumáticos	11
1.8.1.3. Grano de caucho reciclado (GCR).....	12
1.8.1.4. Algunas aplicaciones en Latinoamérica.....	13
1.9. MARCO TEÓRICO.	14
1.9.1. <i>ASFALTO MODIFICADO CONVENCIONAL</i>	14
1.9.2. <i>ASFALTO QUÍMICAMENTE MODIFICADO</i>	16
1.9.3. <i>INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU)</i>	17
1.10. MARCO CONCEPTUAL.	19
1.10.1. <i>ASFALTO PROPIEDADES FÍSICAS</i>	19
1.10.2. <i>ASFALTO PROPIEDADES QUÍMICAS</i>	19
1.10.3. <i>APLICACIÓN DEL GCR EN LOS PAVIMENTOS</i>	20
1.10.3.1. Proceso por vía húmeda.....	20
1.10.3.2. Proceso por vía seca.....	22
1.10.4. <i>EVALUACIÓN SUPERFICIAL. METODOLOGÍA PCI</i>	24
1.10.4.1. <i>MATERIALES E INSTRUMENTOS</i>	25
1.10.4.2. Muestreo y unidades de muestra.....	25
1.10.4.3. Procedimiento de inspección	26
1.10.5. <i>EVALUACION ESTRUCTURAL VIGA BENKELMAN</i>	26
1.10.5.1. Equipo requerido.....	27
1.10.5.2. Procedimiento en el campo.....	28
1.11. MARCO LEGAL	29
1.11.1. <i>RESOLUCION 2397 (ABRIL 25 DE 2011) SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE DE BOGOTA</i>	30

1.11.2. RESOLUCIÓN NÚMERO 6981 (DICIEMBRE 27 DE 2011) SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE DE BOGOTA	31
1.11.3. RESOLUCION 3649 (SEPTIEMBRE 16 DE 2009) INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU).....	33
1.12. MARCO DEMOGRÁFICO.	34
1.12.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.	34
1.12.2. LOCALIDAD DE FONTIBÓN	35
1.12.2.1. Tramo estudio Calle 17 entre Carrera 96B y Carrera 96G	36
1.12.3. LOCALIDAD DE TEUSAQUILLO	38
1.12.3.1. Tramo estudio Carrera 45 entre Calle 57 y Calle 58 A.....	39
1.12.4. LOCALIDAD DE BOSA	40
1.12.4.1. Tramo estudio Calle 59 Sur entre Carrera 77L y Carrera 78A	41
2. RESULTADOS	42
2.1 METODOLOGIA PCI.....	42
2.1.1. PRIMERA ETAPA	42
2.1.1.2 Muestreo y unidades de muestra.....	43
2.1.2. EVALUACION ESTADO SUPERFICIAL CALLE 17 ENTRE CARRERA 96B Y CARRERA 96G.....	43
2.1.2.1. Información preliminar	43
2.1.2.2. Ubicación	43
2.1.2.3. Transito	43
2.1.2.4 Información construcción de pavimento.....	44
2.1.2.5. Muestreo y unidades de muestra.....	45
2.1.2.6. Procedimiento de inspección	48
2.1.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN EVALUACION ESTADO SUPERFICIAL CL 17 ENTRE KR 96B Y KR 96G	48
2.1.3.1. Determinación del índice de estado del pavimento	48
2.1.4. EVALUACION ESTADO SUPERFICIAL DE LA CALLE 59 ENTRE CARRERA 77L Y CARRERA 78A	53
2.1.4.1. Información preliminar	53
2.1.4.2. Ubicación	54
2.1.4.3. Transito	54
2.1.4.4 Información construcción de pavimento.....	54
2.1.4.5. Muestreo y unidades de muestra.....	56
2.1.5. RESULTADOS OBTENIDOS EN EVALUACION ESTADO SUPERFICIAL CL 56 ENTRE KR 77L Y KR 77N.....	59
2.1.5.1. Determinación del índice de estado del pavimento	59
2.1.6. EVALUACION ESTADO SUPERFICIAL KR 45 ENTRE CL 57 Y CL 58A	61
2.1.6.1. Información preliminar	61
2.1.6.2. Ubicación	61
2.1.6.3. Transito	61
2.1.6.4. Información construcción de pavimento.....	62
2.1.6.5. Muestreo y unidades de muestra.....	63
2.1.7 RESULTADOS OBTENIDOS EN EVALUACION DEL ESTADO SUPERFICIAL CL 17 ENTRE KR 96B Y KR 96G	65
2.1.7.1. Determinación del índice de estado del pavimento	65

2.2. RESULTADOS EVALUACION ESTRUCTURAL VIGA BENKELMAN..... 68
2.2.1. *EVALUACION FUNCIONAL*..... 68
2.2.2. *EVALUACION ESTRUCTURAL*..... 69
2.2.3. *DIAGNÓSTICO*..... 69

1. GENERALIDADES

1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En Colombia y en el mundo entran en desuso miles de toneladas de llantas por año , la mayoría son quemadas de manera ilegal y clandestina, algunas para recuperar el refuerzo metálico y otras como combustible en hornos industriales, así mismo hay que tener en cuenta que las que son dispuestas en basureros y otros ambientes expuestos tienen un periodo de biodegradación de aproximadamente 800 años; de otra parte el incremento en el flujo vehicular sobre las vías construidas ha generado un mayor deterioro en la malla vial de la ciudad, lo que está demandando pavimentos de mejor desempeño y duración, que sean resistentes al agrietamiento y a la fatiga, por lo anterior se ha hecho necesario mejorar las características del cemento asfáltico mediante la utilización racional y técnica de modificadores como el grano de asfalto reciclado de llanta (GCR). Entidades como el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá han decidido implementar estas nuevas tecnologías en la construcción de algunos segmentos viales de la ciudad, con el fin de dar respuesta a la necesidad de incrementar la competitividad en los pavimentos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Qué patologías se presentan en las carpetas asfálticas de las vías objeto de este estudio, cuyo componente de ligante en la mezcla asfáltica está modificado con GCR (grano de caucho reciclado)?
- ¿Cuál ha sido el comportamiento superficial y estructural que han presentado estos segmentos viales construidos con mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado de llanta?
- ¿Qué tipo de intervención basada en la evaluación de la condición superficial realizada por la metodología PCI requiere esta vía para poder recuperar el nivel de servicio del diseño inicial?

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las vías que han sido intervenidas por el Instituto de Desarrollo Urbano con mezclas asfálticas modificadas con asfalto con GCR (grano de caucho reciclado), como parte de un plan piloto en el cual se han construido tramos experimentales en los Distritos de Conservación que rehabilitan y conservan la infraestructura del transporte urbano, deben ser susceptibles de seguimientos y estudios de comportamientos superficiales y estructurales con el fin de evaluar los beneficios de

las mismas frente a las mezclas convencionales y la futura implementación de las mismas en todos los proyectos de pavimentación de la ciudad.

1.4. JUSTIFICACION

Desde hace algunos años se ha buscado una metodología para mejorar las propiedades y la durabilidad de las mezclas asfálticas, estas eventuales mejoras se deberán traducir en un aumento en la vida útil del pavimento, lo que ha de ser complementado con un análisis beneficio-costos, sin contar que utilizar el GCR en mezclas asfálticas contribuye además con la necesidad de darle una solución de disposición final a gran parte de material de llantas de desecho que se producen en Colombia y que en la ciudad de Bogotá fácilmente se puede estar hablando de 2.5 millones de ellas al año.

El Instituto de Desarrollo Urbano IDU ha realizado experimentos sobre pistas de prueba en algunos segmentos viales de la ciudad de Bogotá, en todas estas obras se implementó GCR (Grano de caucho reciclado) como componente de la mezcla asfáltica, con el objetivo de generar mayor durabilidad del pavimento, por lo anterior se ha planteado a través de este documento realizar un proceso de evaluación y diagnóstico, por medio de la metodología PCI “PAVEMENT CONDITION INDEX”, a las vías que hacen parte del proyecto en las localidades de Suba, Fontibón, Teusaquillo, Kennedy y Tunjuelito.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Diagnosticar y evaluar el comportamiento, estado superficial y posibles daños estructurales del pavimento flexible construido con grano de caucho reciclado de llanta (GCR) y puesto en servicio por el Instituto de Desarrollo Urbano IDU en las localidades de Suba, Teusaquillo, Tunjuelito, Kennedy y Fontibón, la ciudad de Bogotá

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar un inventario del estado superficial del pavimento flexible de los tramos objeto de estudio, a través del levantamiento de fallas con el fin de evaluar la condición superficial por medio de la metodología PCI y establecer el tipo de intervención requerida.
- Determinar la capacidad estructural de los segmentos viales construidos con asfalto modificado con grano de caucho reciclado de llanta a través de la medida continua de sus deflexiones con el método de Viga Benkelman.

- Identificar los posibles pros y contras que pueden presentar este tipo de mezclas asfálticas en una vía con altos niveles de tráfico pesado en la ciudad.

1.6. ANTECEDENTES

La composición de un neumático es principalmente caucho, el cual puede ser natural y/o sintético, un refuerzo de acero y fibra textil, de otra parte los elementos químicos que hacen parte del mismo son el carbono e hidrogeno en su mayoría; las llantas usadas presentan problemas asociados con la resistencia a su trituración y compactación, durabilidad y baja eficiencia para almacenar y transportar debido a su volumen, por lo anterior su disposición final se complica y a veces se encuentran almacenadas o quemándose al aire libre, los problemas de salud y medio ambiente asociados a este tema han generado que se busquen alternativas de reutilización de estos materiales, para que en lugar de convertirse en un desecho o combustible altamente toxico, se procese hasta obtener una materia prima llamada Grano de caucho reciclado (GCR), en Bogotá empresas como RENOVA SAS realizan procesos que hacen posible la disposición de caucho de llanta en cantidades industriales y con las cantidades requeridas.

La inclusión del material de grano de caucho reciclado en asfaltos modificados en la ciudad de Bogotá, nace como parte de un programa de investigación que realizo el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) durante el año 2005, con el fin de mejorar el comportamiento de las mezclas bituminosas colocadas en la malla vial.

Durante los últimos doce años el IDU en conjunto con la Universidad de los Andes, han venido desarrollando una investigación cuyo objetivo ha sido estudiar la factibilidad de la aplicación, establecer los beneficios y proponer especificaciones iniciales para la aplicación de mezclas asfálticas, cuyo asfalto haya sido modificado con material de caucho reciclado de llanta. Actualmente existen dos procesos usados en la elaboración de concreto asfálticos en los que se incorpora desecho de llantas usadas, denominados como proceso húmedo y proceso seco; él GCR se obtiene de forma económicamente viable con el uso de llantas de desechos, las cuales que deben ser molidas hasta obtener tamaños de partícula apropiados, él resultado de esta molienda recibe el nombre de grano de caucho reciclado ó GCR.

La inclusión de este material en la mezcla asfáltica contribuye además con la solución del problema ambiental que generan las llantas al finalizar su vida útil ya que estas constituyen un residuo difícil de eliminar.

El primer corredor vial escogido por el IDU en el año 2005 para llevar a cabo el proyecto se encuentra ubicado sobre la KR 96 entre la Avenida Calle José celestino Mutis (AC 63) y la CI 67 A, para la ejecución de esta obra vial se llevó a cabo una completa caracterización de la subrasante y de las capa granulares existentes. Sobre el corredor fueron colocadas cinco (5) tipos de mezclas con ligantes diferentes pero de igual granulometría, entre las mezclas colocadas se incluyeron dos tipos de mezclas con ligantes comerciales modificados con polímeros para que

sirvieran de comparativo con las mezclas objeto del estudio. Terminada la construcción de la pista de prueba, se dio inicio a un año de auscultación y seguimiento de los tramos construidos.

Actualmente en el caso de Bogotá D.C., la ciudad cuenta con una especificación para la Aplicación de Grano de Caucho Reciclado (GCR) en mezclas asfálticas en caliente (vía húmeda) por medio de la Resolución No. 3649 del 16 de Septiembre de 2009 del (Instituto de Desarrollo Urbano).

1.7. ALCANCE

El presente documento va a tener una cobertura de los tramos de vía ubicados en las localidades de: Suba (Kr 141 A Bis Barrio Bilbao), Teusaquillo (Kr 45 Barrio Nicolás de Federman), Tunjuelito (Av. Boyacá x Av. Villavicencio) y Kennedy (Cl 59 Sur), en el área urbana de Bogotá, proyectos que fueron realizados por el IDU y dentro de los cuales se utilizó mezcla asfáltica con material de caucho reciclado de llanta.

El punto de partida, lo constituye la información suministrada por el Instituto de Desarrollo Urbano, con respecto a estudios previos, fecha de construcción y diseños de estas vías, que hacen parte de los tramos de prueba de asfalto modificados con GCR.

Lo que se pretende a través del documento es realizar una evaluación y diagnóstico del estado actual de la carpeta asfáltica y el estado superficial de la estructura de pavimento a través de la evaluación de la condición superficial por la metodología PCI y que este sirva de paso para poder describir el comportamiento de este tipo de mezclas frente a las solicitudes de tránsito de cada sector.

1.8. MARCO DE REFERENCIA

1.8.1. MARCO HISTORICO

El caucho puede ser natural o sintético. El de origen natural se elabora a partir del látex, que es una resina blanca lechosa que sale de la corteza del árbol de caucho. Este, si bien es originario de Brasil, fue llevado a Inglaterra en 1876 y de allí fue exportado a otras zonas bajo dominio británico, determinando que hoy las principales plantaciones más o menos un 90 % del mercado mundial se encuentren en el sudeste asiático, principalmente en Malasia. (Batasso, González, Rivera, & Rebollo). El difunto Charles McDonald fue el padre de pavimento de asfalto-caucho. Es importante recordar a Charlie y reconocer su papel, ya que con el paso del tiempo, es fácil olvidar cómo empezó todo, él desarrolló los conceptos que llevaron al producto de pavimento de asfalto-caucho que se utiliza hoy en día. Charlie fue asistido por Joe Cano que más tarde continuó el trabajo de Charlie y fue Joe quien diseñó el asfalto de la mezcla de caucho clasificado, ahora ampliamente utilizado para la superficie de pavimentación de las carreteras

principales. La reutilización de neumáticos es de amplio uso y difusión en aquellos países que poseen normativas ambientales claras y eficientes.

1.8.1.1. Utilización del caucho

En un principio las utilidades de esta materia prima eran pocas, fue el comerciante de ferretería Charles Goodyear (1800 – 1860) quien descubrió que mezclándolo con el azufre y calentándolo, se evitaba que fuese tan pegajoso cuando estaba caliente y tan rígido cuando enfriaba, a partir de este proceso llamado vulcanización se comenzó a fabricar una gama muy amplia de productos como aislamiento para cables eléctricos, mangueras, cintas transportadoras y de manera destacada cubiertas para transporte de automóviles, camiones, aviones, etc. Hacia fines de siglo XIX Michelin en Francia, Dunlop en Inglaterra y Goodrich en Estados Unidos fabricaron las primeras cubiertas para automóviles. (Batasso, González, Rivera, & Rebollo)

Adecuadas reglamentaciones limitan el uso de los neumáticos, debido al deterioro que se produce en el dibujo del mismo, estando su vida útil relacionada con la calidad del neumático en general, el tipo de caucho y el uso y tratamiento que el mismo reciba.

Según el Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (Cempre Uruguay, 1998), editado por CEMPRE en Uruguay, “el proceso de regeneración de la cubierta implica la separación de la goma vulcanizada de los demás componentes y su digestión con vapor y productos químicos, como álcalis, mercaptanos o aceites minerales. El producto de esta digestión es refinado en molinos hasta la obtención de un manto uniforme, o extrusado, para obtener un material granulado, la goma regenerada se usa en compuestos destinados a productos con menor exigencia en cuanto a desempeño, tales como alfombras, protectores, suelas de calzado, neumáticos industriales y para bicicletas”.

Se puede enumerar su uso en otros fines, como por ejemplo vallas de seguridad, cercos de contención de arena en las playas, paragolpe de embarcaciones, hamacas, juegos, etc. En particular se destaca que Estados Unidos se ha comenzado a exigir en las licitaciones públicas que las empresas constructoras utilicen un porcentaje de 5 % de neumáticos trozados o en polvo en las obras a construir.

De acuerdo a la molienda se originan distintos tamaños de partículas de caucho. Actualmente en Alemania, donde las cubiertas también se queman o terminan en los vertederos, los científicos de la Universidad de Chemnitz han descubierto un procedimiento por el cual después de moler la goma se la funde con plástico propileno, que permite fabricar un material resistente a la tracción, extensible y fácil de trabajar, con el que se pueden producir por ejemplo paragolpes de vehículos.

Según el citado manual del CEMPRE en Estados Unidos, Japón y Alemania se están ensayando diversos procesos de pirolisis con el objetivo de transformar los hidrocarburos presentes en los neumáticos en nuevos materiales como aceite y negro humo, enmarcado dentro de la obtención de materia prima pura.

1.8.1.2. Los neumáticos

El veterinario escocés, John Boyd Dunlop, inventó los primeros neumáticos inflados en el 1888. Fijó tubos de goma a ruedas de madera y cubrió los puntos de contacto con lona gruesa. Montó estos primeros neumáticos en un triciclo e hizo un viaje de prueba, donde no se presentaron problemas. Luego, Dunlop sujetó piezas de goma en la lona para evitar el patinaje y probó estos neumáticos en una bicicleta. El resultado fue exitoso y se convirtió en el inicio de los neumáticos.

C.K. Welch inventó en 1891 el neumático con talón, lo que fue un gran adelanto en la historia de los neumáticos. En el mismo año, los hermanos Michelin patentaron neumáticos que pudieron ser montados o desmontados a mano. En 1904, Firestone y Goodyear Tire Company desarrollaron neumáticos con talón con costados rectos. A continuación, en el año 1908 casi todos los fabricantes de neumáticos en los EE.UU. usaron este método de producción.

Mientras tanto, en 1913, Britain desarrolló el neumático con estructura radial, que varió de la estructura diagonal anterior y en la que se usaron capas de tejido. Sin embargo, este método no se empezó a usar ampliamente hasta unos 35 años después, en 1948, cuando fue adoptado por Michelin. Las capas de tejido se hicieron de un grueso hilo de algodón. Debido a su alto precio, el ventajoso y resistente hilo de seda no pudo usarse en la fabricación de telas de cuerda para neumáticos. No obstante, en 1928, la empresa americana Dupont desarrolló la teoría básica de las reacciones sintéticas que se siguió perfeccionando rápidamente en los años 30. Antes de 1948, el tejido de rayón que ofreció ventajas en comparación con el tejido de algodón termo sensible, tuvo una participación en el mercado de un 75%.

En 1948 se inventó el nylon que compitió con el rayón hasta 1959. A partir de 1960, el nylon empezó a dominar el mercado. En 1962 apareció un nuevo tejido de algodón, el poliéster. En los años 70, el tejido de acero tomó el liderazgo y se extendió por los mercados europeos y americano en los 80. En 1972, Dupont inventó una fibra de poliamida con la denominación Kevlar, la cual era cinco veces más fuerte que el acero y gozaba de una buena estabilidad de forma, pero resultaba tan caro que su uso quedó limitado a neumáticos para vehículos de turismo selectos.

De esta manera, el desarrollo de materiales y procesos de producción, junto con la aceleración de los rendimientos de los vehículos fueron el punto de salida para un enfoque sobre las capacidades dinámicas de los neumáticos. En particular, a fin de ser paralelo al desarrollo de carreteras y coches, los neumáticos para vehículos turismo han sido diseñados para proporcionar una velocidad, control y seguridad mejorados. Los nuevos neumáticos económicos y de alto rendimiento continúan siendo desarrollados. Igual que en los automóviles mismos, los neumáticos han demostrado un desarrollo excelente en relación a las velocidades máximas de conducción. (Dunlop, 1888)

Los neumáticos se pueden clasificar en radiales y diagonales según la estructura de la carcasa. Los mismos centran un gran porcentaje de la industria del caucho constituyendo el 60 % de la producción anual del mismo.

Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar según sea el tipo de esfuerzo al que son sometidos, volviendo a su forma cuando el esfuerzo se retira.

El caucho natural se extrae a partir del árbol *Hevea Brasiliensis* que es un látex con partículas de caucho en suspensión. Después de un proceso de secado y de ahumado se utilizan diferentes productos. Hoy en día alcanza el 30 % del mercado de los cauchos, el resto lo ocupan los cauchos sintéticos.

Los tipos de caucho más empleados en la fabricación de los neumáticos son:

Cauchos naturales (NR)

Estireno – Butadieno (SBR)

Polibutadienos (BR)

Polisoprenos (IR)

1.8.1.3. Grano de caucho reciclado (GCR)

Estudios realizados con caucho natural y sintético en algunos países como Estados Unidos, España, Sudáfrica, entre otros, demostraron que el caucho sintético es el más apropiado para el uso en mezclas asfálticas. Estos estudios tuvieron como objetivo principal establecer de manera confiable la metodología a seguir para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas asfálticas con caucho producto del desecho de llantas usadas. Esta posibilidad además contribuye con la solución del problema ambiental que generan las llantas al finalizar su vida útil ya que estas constituyen un residuo difícil de eliminar. Este caucho es obtenido de forma económicamente viable empleando llantas de desechos que deben ser molidas hasta obtener tamaños de partícula apropiados. El caucho molido de esta forma recibe el nombre de grano de caucho reciclado ó GCR. El grano de caucho reciclado se puede obtener en procesos diferentes como son el recapado, la molienda a temperatura ambiente y la molienda criogena, estos procesos con creciente costo en el orden en que se los ha expuesto, representan distintas alternativas de obtención de granos de caucho, teniendo cada uno características propias, en México, Colombia, Chile y Perú se ha observado una alta utilización de GCR proveniente de los procesos de recapado o recauchutado, en donde mediante medios mecánicos, como amoladoras o desgastadoras, se obtiene el GCR sin mayores contaminaciones. Luego se muele a temperatura ambiente y se obtienen granulometrías que varían desde el milímetro hasta el entorno de los 10 milímetros.

Se pueden diferenciar dos procesos básicos de incorporación a los sistemas asfálticos:

- Vía húmeda incorporación GCR al asfalto.
- Vía seca incorporación del GCR a la mezcla de áridos. Tamaño máximo de ¼.

Las principales ventajas de la adición de caucho a los sistemas asfálticos son de acuerdo a la experiencia, las siguientes:

- a- No presenta solubilidad con el asfalto al ser sobrecalentado
- b- Puede humectarse con los componentes livianos del asfalto al hincharse como el polímero virgen
- c- El negro de humo da mayor resistencia al desgaste y al envejecimiento
- d- El GCR posee antioxidantes que actúan como estabilizador

e- Poseen aminas adicionadas durante el proceso de vulcanizado que favorecen la adherencia final.

f- Aceites aromáticos, propios del neumático y adicionados, que prolongan la vida del sistema

La tecnología disponible en Latinoamérica ha evolucionado de la siguiente forma:

1.8.1.3.1. Por vía húmeda

Mediante este proceso se modifica el ligante para fabricar posteriormente mezclas asfálticas en caliente. El proceso por vía húmeda requiere nuevos equipos en planta, como la unidad de mezclado y almacenamiento del asfalto-caucho, cambio de bombas y tuberías, y energía adicional para calentar la mezcla a mayores temperaturas con tiempos de reacción prolongados.

En el proceso húmedo, el GCR es mezclado con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada asfalto-caucho que es usada de la misma manera que un ligante modificado.

1.8.1.3.2. Por vía seca

En cuanto al mezclado se realizan mezclas con el árido fino. Actúa en general como agregado, con la particularidad que dado su bajo peso por unidad de volumen resulta fundamental hacer una valoración volumétrica, pues los aportes en exceso de GCR pueden producir segregación, pérdidas por abrasión excesiva, y mayores contenidos de vacíos.

Tradicionalmente las tecnologías que primero se han usado en este sentido son:

PlusRide, de origen Sueco; la **Genérica**, desarrollada por el Dr. Barry Takallou a fines del los 80, en mezclas densas en caliente usando del GCR y la llamada **Convencional**, desarrollada en España, empleando granulometrías convencionales, con menor consumo de asfalto y menor cantidad de caucho con adiciones menores al 2%.

1.8.1.4. Algunas aplicaciones en Latinoamérica

Las experiencias que se han registrado en Argentina y en resto de los países de la región, siguiendo las tecnologías descritas, se han dado en la formulación de Selladores asfálticos de fisuras, mezclas asfálticas en caliente, tratamientos superficiales y lechadas asfálticas o Slurry.

En Argentina se registran experiencias en la Ciudad de Buenos Aires, a través de AUSA, en la ciudad de La Plata, a través de la Municipalidad, en Santa Fe, Chaco, Neuquén y en la Provincia de Buenos Aires, con obras de sellado de fisuras y concretos asfálticos en caliente.

En México, Brasil, Costa Rica, Colombia, Chile, Perú y Ecuador, se ha participado en el uso de estas tecnologías con resultados más que alentadores desde el punto de vista del comportamiento mecánico, durabilidad, economía y menor impacto ambiental.

La incorporación del caucho en las obras viales en distintas regiones de Latinoamérica ha permitido el diseño de productos y mezclas con un adecuado nivel de prestación. La reducción de los vertederos de neumáticos usados puede disminuir sustancialmente.

Existe en la Argentina un Programa de reciclado de materiales en las obras viales (PROCQMA) de la SCYT de la UTN con 15 centros de investigaciones que promueve la ejecución de pliegos de especificaciones técnicas y ordenanzas a tal efecto.

El Grano de Caucho Reciclado – GCR, tiene variedad de usos como en la fabricación de autopartes, tapetes, césped sintético, pistas de atletismo, campos de futbol, parques infantiles, polideportivos, entrada de edificios, pistas hípcas, picaderos, bandas aislantes, juguetes, suelas de zapatos, mezcla con asfalto para carreteras (asfalto modificado).

La utilización de la llanta usada como materia prima para producción de pavimento asfáltico o asfalto modificado con Grano de Caucho Reciclado – GCR, con reconocido éxito de su aplicación en países como Canadá, Estados Unidos y todo Europa, entre otros, con base en la adición de caucho pulverizado (malla 20/ malla 30) durante la fabricación de pavimento asfáltico.

1.9. MARCO TEÓRICO.

Uno de los mayores problemas ambientales que enfrenta la ciudad de Bogotá y el país en general es la disposición final de material de llantas usadas, por lo anterior se han planteado muchas alternativas para estos desechos, entre las cuales se encuentra la incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas, lo cual ha sido de buena aceptabilidad desde hace algunas décadas en muchos países por los buenos resultados en el desempeño de los pavimentos asfálticos.

El grano de caucho reciclado se puede obtener en procesos diferentes como son el de recapado y la trituración mecánica a temperatura ambiente, donde es posible obtener granulometrías que varían desde 0,50 milímetros hasta el entorno de los 10 milímetros

Existen tres maneras básicas de emplear las llantas trituradas libres de acero y textiles en asfaltos modificados:

1.9.1. ASFALTO MODIFICADO CONVENCIONAL

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica. Esta plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito, sin embargo, el creciente incremento de volumen del tránsito y la magnitud de las cargas, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Por ejemplo, con los asfaltos convencionales, aun

con los grados más duros, no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado (ahuellamiento), especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Además, con la simple adopción de asfaltos más duros se corren el riesgo de fisuraciones por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Con ciertas mezclas abiertas, alternativa generada por razones de confort y seguridad, con los ligantes convencionales no se alcanzaría una resistencia mecánica suficiente a causa de una insuficiente cohesión y adhesividad, lo que unido al bajo contenido de ligante de estas mezclas podría redundar en una disminución en su durabilidad. Del mismo modo, las nuevas capas superficiales delgadas serían menos durables cuando se vean sometidas a altas intensidades de tránsito.

La fabricación de este tipo de asfalto consiste en mezclar el caucho con el tamaño de partícula apropiado junto con los demás agregados antes de adicionar el asfalto, y se conoce tradicionalmente como asfalto modificado por vía seca; en este proceso se puede incluir entre un 2 a un 15% de caucho con respecto a los agregados.

Las principales ventajas de este proceso son:

- I) No requiere de maquinaria especializada, ya que el caucho se mezcla de manera simple con los demás agregados
- II) Se aumenta la impermeabilidad del asfalto final
- III) Mejora las características reológicas del asfalto a diferentes temperaturas.

La principal desventaja de esta mezcla radica en la tendencia que tienen los agregados a separarse del asfalto durante el almacenamiento; en el asfalto tradicional la separación es de un 2-4%, pero con la adición de caucho esta puede llegar hasta un 25%, lo cual repercute en la calidad y homogeneidad del producto y reduce su tiempo de vida en almacenamiento. (Cámara de Comercio de Bogotá, 2006)

Ante las situaciones mencionadas, además de apelar a nuevas tecnologías constructivas y del resto de los materiales (áridos), una solución evidente fue mejorar algunas características de los asfaltos para lograr un mejor comportamiento de los pavimentos. Ello dio origen a nuevos asfaltos que genéricamente fueron denominados "Asfaltos Modificados".

Existen entonces asfaltos modificados por:

- Elastómeros
- Plastómeros
- Otros

Además de los Asfaltos Modificados con polímeros, algunos países emplean asfaltos especiales y multigrados, comúnmente denominados alto índice. Los polímeros del tipo SBS son, por lejos, los más utilizados siguiéndole en las preferencias los plastómeros del tipo EVA. El uso de asfaltos especiales o de alto índice no ha alcanzado hasta el momento el mismo crecimiento que los asfaltos modificados con polímeros pero se observan buenas perspectivas de crecimiento. Una crítica generalizada es que se ha enfatizado mostrar las ventajas técnicas de los asfaltos

modificados, pero se han realizado pocos estudios que tengan en cuenta la relación costo-beneficio.

Los asfaltos modificados se deben aplicar, en aquellos casos específicos en que las propiedades de los ligantes tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función para la cual fueron encomendados, es decir, en mezclas para pavimentos que están sometidos a sollicitaciones excesivas, ya sea por el tránsito o por otras causas como: temperaturas extremas, agentes atmosféricos, tipología del firme, etc. Si bien los polímeros modifican las propiedades reológicas de los asfaltos, estos deben mostrar ventajas en servicio; los campos de aplicación más frecuentes son:

- Mezclas drenantes: las mezclas drenantes tienen un porcentaje muy elevado de huecos en mezcla (superior al 20%) y una proporción de árido fino muy baja (inferior al 20%), por lo que el ligante debe tener una muy buena cohesión para evitar la disgregación de la mezcla. Además el ligante necesita una elevada viscosidad para proporcionar una película de ligante gruesa envolviendo los áridos y evitar los efectos perjudiciales del envejecimiento y de la acción del agua (dado a que este tipo de mezclas es muy abierta).
- Mezclas resistentes y rugosas para capas delgadas: La utilización de polímeros en este tipo de mezclas es para aumentar la durabilidad de las mezclas. Estos tipos de mezclas de pequeño espesor surgen dada a la rapidez de aplicación, lo que reduce al mínimo los tiempos de cortes de tráfico. Estas se utilizan para trabajos de conservación de rutas y vías urbanas, que exigen mezclas con alta resistencia y con una buena textura superficial.

La resistencia de estas mezclas se consigue con áridos de buena calidad, elevado porcentaje de filler (8 a 10%) y un asfalto modificado con polímeros.

La buena textura superficial para mejorar la adherencia de los vehículos se consigue mediante una granulometría discontinua (discontinuidad 2-6mm)

En este tipo de mezclas es de vital importancia la adherencias con la capa subyacente (esta también influye en la durabilidad). Estas también deben ser resistentes, para soportar la acción del tránsito y el desprendimiento de los áridos.

Estas mezclas son denominadas también microaglomerados y tienen espesores menores a los 30 mm.

1.9.2. ASFALTO QUÍMICAMENTE MODIFICADO

El asfalto químicamente modificado consiste en mezclar el caucho directamente con el pavimento (ligante), con lo cual se consigue una mayor homogeneidad. Las mejoras en las propiedades mecánicas y el incremento de la vida útil del mismo (entre 58 y 230%), hace que la relación beneficio-costo sea mayor comparada con la de un pavimento con una mezcla asfáltica convencional. Adicionalmente se reducen los problemas de separación de agregados, la cual llega a valores entre el 2 y 4%. (Cámara de Comercio de Bogotá, 2006) La utilización del GCR,

además de ayudar a solucionar la problemática ambiental generada por las llantas usadas, proporciona en sus compuestos caucho natural y cauchos sintéticos que le brindan al pavimento elasticidad y mayor resistencia a la fatiga.

Por otro lado, el negro de humo que estas contienen actúa como antioxidante en el ligante, atenuando su envejecimiento y por ende prolongando la capacidad cohesiva del mismo en el tiempo.

Se ha demostrado en estudios de la FHWA (Federal Highway Administración), que adicional al aumento de vida útil, se produce una disminución en los niveles de ruido generados por la fricción al agregar caucho de llanta triturada a las mezclas asfálticas, sea de manera convencional o modificada químicamente.

1.9.3. INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU)

La Resolución 3649 del 16 de Septiembre de 2009 emitida por el Instituto de Desarrollo Urbano resuelve en su Artículo Segundo adoptar la especificación técnica para la aplicación del grano de caucho reciclado (GCR) en mezclas asfálticas en caliente (vía húmeda). El objetivo de esta especificación hace referencia a la colocación del GCR en las mezclas asfálticas como un agente modificador del asfalto, este produce resultados de muy buena calidad si se parte de materiales bien estudiados y métodos de diseño y construcción correctos.

El GCR podrá ser el producto del raspado de llantas de vehículos en el proceso de reencauche, o del troceado de llantas.

La modificación del ligante puro con GCR deberá hacerse con un equipo que esté en capacidad de proporcionar una mezcla asfalto-caucho homogénea.

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

El diseño de la mezcla deberá realizarse de acuerdo a lo indicado en el numeral 510.3 de la sección 510.5 Mezclas asfálticas en caliente Densas, semidensas y gruesas.

En Bogotá según estudios realizados por parte del IDU, por medio de tramos de prueba utilizando mezclas asfálticas tipo MDC-2 y asfaltos con bajos porcentajes de caucho, se encontró que este mejora la rigidez, la resistencia bajo carga monotónica, al ahuellamiento, la fatiga, al envejecimiento, y disminuye la susceptibilidad térmica, esto gracias a que dentro de sus componentes se encuentran diversos tipos de polímeros, como el Látex, SBS, SBR y el negro de humo. Existen dos técnicas de utilización del grano de llanta triturado (GCR) para modificar las propiedades de mezclas asfálticas, vía húmeda y seca. Para la vía húmeda se estudia la dosificación del GCR y para el diseño de la mezcla se emplean criterios dinámicos y volumétricos, en vía seca las mezclas se diseñan por el método Marshall, considerando como parte del diseño parámetros como la ley de fatiga, resistencia a la deformación plástica, y módulos. Para el caso de Bogotá D.C., la ciudad cuenta con una especificación para la —Aplicación de Grano de Caucho Reciclado (GCR) en mezclas asfálticas en caliente (vía húmeda) según Resolución 3649 del 16 de Septiembre de 2009 (Instituto de Desarrollo Urbano

IDU y Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2011). Según la especificación técnica del IDU, el GCR puede ser el producto del raspado de llantas de camión, o vehículos ligeros en procesos de reencaucho, o del troceado de llantas, este deberá ser uniforme, libre de metal, u otros contaminantes. (Instituto de Desarrollo Urbano IDU y Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011). Deberá tener un tamaño inferior a 595 μ . Se recomienda los siguientes intervalos de valores para modificar el ligante:

Tabla 1. Intervalo de valores característicos para modificar el ligante con CR

VARIABLES	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO
Cantidad de GCR	% sobre el peso del ligante	10	20
Tiempo de Reaccion	min	55	75
Velocidad de agitacion en laboratorio	min	100	750
Temperatura de mezclado	°C	155	170

Fuente: Especificación técnica Aplicación de grano de caucho reciclado en mezclas asfálticas calientes por vía húmeda. Instituto de Desarrollo Urbano IDU. Alcaldía Mayor Santa fe de Bogotá D.C.2011.

Tabla 2. Especificación de asfaltos modificados con GCR

Característica	UNIDAD	Norma de ensayo	minimo	maximo
Viscosidad Brookfield a163°C	Pa-s	ASTM D 4402/87	1.5	3
Penetracion a 25°C	0.1 mm	INV E 706	40	60
Punto de ablandamiento	°C	INV E 712	-	55
Pruebas al residuo despues de RTFOT				
Perdida de masa	%	INV E 720	-	1
Penetracion	%de la penetracion original	INV E 706	65	-
Recuperacion elastica	%		50	-

Fuente: Especificación técnica Aplicación de grano de caucho reciclado en mezclas asfálticas calientes por vía húmeda. Instituto de Desarrollo Urbano IDU. Alcaldía Mayor Santa fe de Bogotá D.C.2011

Si al menos una de las propiedades especificadas, no se llega a cumplir se deberá calcular el porcentaje óptimo de GCR para modificar un ligante puro, mediante un programa experimental siguiendo las recomendaciones señaladas en la tabla 1. Si la mezcla de asfalto no se usa dentro de las primeras 4 horas después del tiempo de reacción, manteniéndose a una temperatura superior a

155°C y es nuevamente calentada, esto se debe considerar como un ciclo de calentamiento, el número total de ciclos de calentamiento no debe ser superior a 2, mientras la mezcla se mantenga a altas temperatura se debe mantener en agitación constante, para evitar separación del GCR y el cemento asfáltico.

El IDU junto con la universidad de los Andes, desarrollaron una investigación entre los años 2001-2005, el objetivo de la investigación era estudiar la factibilidad de la aplicación, establecer los beneficios y proponer especificaciones iniciales. El corredor escogido por el IDU para llevar a cabo el proyecto se encuentra ubicado sobre la carrera 96, comprendido entre la calle 67A y la calle 63 más conocida como Avenida José Celestino Mutis. Como para toda obra vial, sobre el corredor escogido se llevó a cabo una completa caracterización de la subrasante y de las capa granulares existentes. Sobre el corredor fueron colocadas cinco (5) tipos de mezclas con ligantes diferentes pero de igual granulometría, entre las mezclas colocadas se incluyeron dos tipos de mezclas con ligantes comerciales modificados con polímeros para que sirvieran de comparativo con las mezclas objeto del estudio. Terminada la construcción de la pista de prueba, se dio inicio a un año de auscultación y seguimiento de los tramos construidos, Se examinaron los procesos por vía húmeda y vía seca.

1.10. MARCO CONCEPTUAL.

1.10.1. ASFALTO PROPIEDADES FÍSICAS

El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Su color varía entre café oscuro y negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación. (Alberca, 2011)

1.10.2. ASFALTO PROPIEDADES QUÍMICAS

Es de mucha utilidad un amplio conocimiento de la constitución y composición química de los asfaltos, para el control de sus propiedades físicas y así obtener un mejor funcionamiento en la pavimentación de vías. Al igual que el petróleo crudo el asfalto es una mezcla de numerosos hidrocarburos, parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos.

La mayoría de los hidrocarburos livianos se eliminan durante el proceso de refinación, quedando los más pesados y moléculas complejas. Al eliminar los hidrocarburos más ligeros de un crudo, los más pesados no pueden mantenerse en disolución y se van uniendo por absorción a las

partículas coloidales ya existentes, aumentando en volumen dependiendo de la destilación que se les dé. Los hidrocarburos constituyentes del asfalto forman una solución coloidal en la que un grupo de moléculas de hidrocarburos pesados (asfáltenos) se encuentran dispersas en un medio aceitoso más ligero (máltenos) compuesto por hidrocarburos saturados, resinas y aromáticos, sin que exista una separación entre estas dos fases sino una transición.

1.10.3. APLICACIÓN DEL GCR EN LOS PAVIMENTOS

El caucho de llantas usadas puede ser incorporado en las mezclas asfálticas por medio de dos métodos diferentes denominados proceso húmedo y proceso seco. En el proceso húmedo, el caucho actúa modificando el ligante, mientras que en el proceso seco el caucho es usado como una porción de agregado fino. Una de las principales características que presenta el cemento asfáltico modificado con GCR es el aumento en la viscosidad de la mezcla resultante, haciéndola más flexible a bajas temperaturas y menos plástica a altas. Entre los principales beneficios en los pavimentos están las mejoras a la deformación permanente, a la fatiga, y la resistencia al fisuramiento a bajas temperaturas.

1.10.3.1. Proceso por vía húmeda

En el proceso húmedo, el caucho actúa modificando el ligante. En este proceso, el GCR es mezclado con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada asfalto-caucho que es usada de la misma manera que un ligante modificado.

El cemento asfáltico que ha sido modificado con GCR es llamado asfalto-caucho y es el resultado de la interacción del GCR con el ligante, donde la reacción que ocurre entre los dos no es una reacción de tipo química. Cuando el cemento asfáltico y GCR son mezclados, el GCR reacciona con el cemento asfáltico hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos. El grado de modificación del ligante depende de muchos factores entre los cuales se encuentran el tamaño, textura y proporción del GCR, tipo del cemento asfáltico, tiempo y temperatura de mezclado, grado de agitación mecánica durante la reacción de la mezcla, el componente aromático del cemento de asfáltico, y el uso de otros aditivos. Ver ilustración No 1.

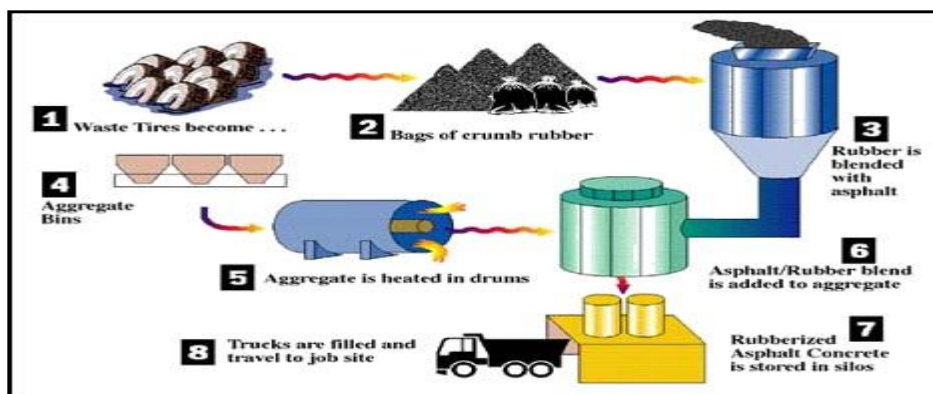


Ilustración 1. Esquema de fabricación de asfalto-caucho por vía húmeda. Tomado de (Universidad de los Andes - Instituto de Desarrollo Urbano, 2005)

La modificación del ligante producida es la reacción entre el cemento asfáltico y el GCR y esta implica la absorción de aceites aromáticos del cemento asfáltico por el GCR en las cadenas de polímero, las cuales comprenden los componentes principales de la estructura del caucho natural y sintético. Ver ilustración No 2

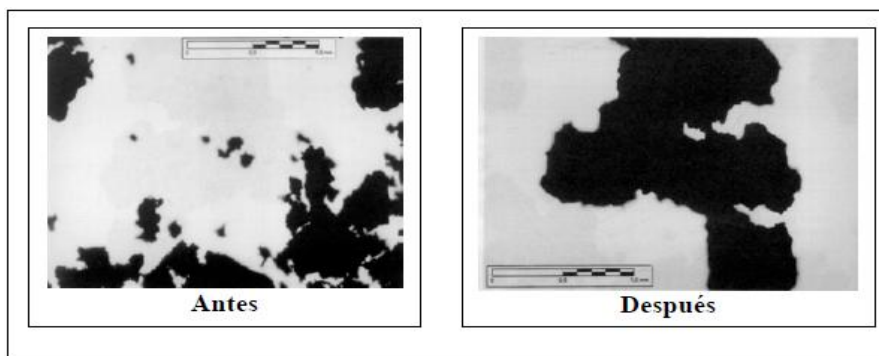


Ilustración 2. Partícula de caucho antes y después de ser mezclada con cemento asfáltico. Tomado de (Universidad de los Andes - Instituto de Desarrollo Urbano, 2005)

La reacción entre GCR y el cemento asfáltico puede ser aumentada ampliando el área superficial del GCR, la temperatura de mezclado y el tiempo de agitación. La viscosidad de la mezcla es el principal parámetro usado para supervisar la reacción. Para una reacción especificada, por razones económicas, el tiempo escogido deberá ser el mínimo a una temperatura seleccionada. Entre las tecnologías usadas en el proceso húmedo están: el mezclado por bachadas ó tecnología McDonald, mezclado continuo, y mezclado terminal. (Universidad de los Andes - Instituto de Desarrollo Urbano, 2005)

1.10.3.1.1. La Tecnología por bachadas

Consiste en una producción de mezclado de asfalto y caucho por bachadas. Las primeras aplicaciones en el proceso húmedo fueron bachadas y se basaron en la tecnología McDonald, que fue desarrollada a comienzos de los años 1960 por Charles McDonald, y patentada en los años

1970 por la Arizona Refining Company (ARCO) (Universidad de los Andes - Instituto de Desarrollo Urbano, 2005). Hoy en día existen numerosas patentes relacionadas con la tecnología McDonald, muchas de las cuales ya han expirado y otras cuantas todavía se encuentran vigentes.

1.10.3.1.2. La Tecnología continúa

Consiste en un sistema de producción de mezclado de asfalto y caucho de manera continua. La tecnología de mezclado continua fue desarrollada en Florida a finales de los años 1980 y es conocida como Florida Wet Process. En este proceso, un tamaño fino 0.18 mm (tamiz No. 80) de GCR es mezclado con el cemento asfáltico en un proceso continuo. La tecnología de Florida se diferencia del proceso McDonald en varios aspectos: emplea bajos porcentajes de GCR, entre 8 y 10 por ciento, el tamaño de la partícula de caucho requerida es más pequeña, disminuye la temperatura de mezclado, y acorta el tiempo de reacción. El proceso húmedo de Florida aún no ha sido patentado.

1.10.3.1.3. La Tecnología terminal

Es un proceso húmedo que brinda la capacidad de mezclar o combinar el cemento asfáltico con el GCR y conservar el producto durante amplios períodos de tiempo. Este producto asfalto-caucho tiene una amplia duración de almacenamiento y puede ser mezclado en la refinería donde se produce el cemento asfáltico por cualquiera de las dos tecnologías, continua o por batchadas.

1.10.3.1.4. Usos

El cemento asfáltico modificado con GCR mediante el proceso húmedo ha sido usado ampliamente como ligante en la reparación de grietas y sello de juntas, tratamientos superficiales, membranas retardantes de fisuras, y en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente. (Universidad de los Andes - Instituto de Desarrollo Urbano, 2005)

1.10.3.2. Proceso por vía seca

El proceso seco es cualquier método donde el GCR es adicionado directamente a la mezcla asfáltica caliente, siendo usualmente mezclado con los agregados antes de adicionar el cemento asfáltico. Este proceso se lleva a cabo cuando se quiere usar el GCR como un agregado en la mezcla asfáltica, por lo general, como un sustituto de una pequeña parte del agregado fino, el cual puede estar entre el uno y tres por ciento del peso total de los agregados en la mezcla. A diferencia del proceso húmedo, este proceso no requiere un equipo especial, sólo un sistema de alimentación que proporcione la cantidad adecuada de GCR y que sea suministrada en el momento indicado para que se mezcle con los agregados cuando estos alcancen cierta temperatura y antes de que el ligante sea adicionado. Cuando el cemento asfáltico y GCR son mezclados, el GCR reacciona con el ligante hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos, no siendo esta una reacción de tipo química. El grado de modificación del ligante depende de muchos factores, entre los cuales se encuentran el tamaño y textura del GCR,

la proporción y tipo del cemento asfáltico, el tiempo y temperatura de mezclado, el grado de agitación mecánica durante la reacción de la mezcla, el componente aromático del cemento asfáltico, y el uso de aditivos.

A diferencia del proceso húmedo, este proceso sólo requiere un sistema de alimentación que proporcione la cantidad adecuada de GCR, y que pueda agregarlo en el momento indicado para que se mezcle con los áridos cuando estos alcancen cierta temperatura; normalmente el GCR es mezclado con los áridos antes de que el ligante sea adicionado.

Las dos tecnologías más comunes en Estados Unidos para el uso del GCR por la vía seca son la tecnología PlusRide y la tecnología Genérica ó sistema TAK, otra tecnología muy popular es la que emplea granulometrías convencionales, la cual fue desarrollada en España y es actualmente usada en muchos países.

1.10.3.2.1. La tecnología PlusRide

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

1.10.3.2.2. La tecnología Genérica

Fue desarrollada por el Dr. Barry Takallou a finales de los años 1980 y a principio de los años 1990 para producir mezclas asfálticas en calientes con granulometría densa. Este concepto emplea tanto el GCR grueso como fino para emparejar la granulometría de los agregados obteniendo una mezcla asfáltica mejorada. En este proceso la granulometría del GCR es ajustada para acomodar la granulometría de los agregados. A diferencia de las mezclas PlusRide, la granulometría del GCR se divide en dos fracciones en la que la parte final se encarga de interactuar con el cemento asfáltico mientras la parte gruesa entra a comportarse como un agregado elástico en la mezcla asfáltica. El GCR puede llegar a necesitar una pre-reacción o pre-tratamiento con un catalizador para alcanzar una óptima hinchazón de la partícula. En este sistema, el contenido de GCR no debe exceder el 2 por ciento del peso total de la mezcla para capas de rodadura.

1.10.3.2.3. La tecnología Convencional

Fue desarrollada en España para usar el GCR en la mejora de mezclas asfálticas empleando granulometrías convencionales que no implican consumos elevados de cemento asfáltico, pero que aportan menos cantidad de caucho, aproximadamente un dos por ciento del peso total de los

agregados. Estas mezclas asfálticas han sido evaluadas dinámicamente en el laboratorio y colocadas en la vía con buenos resultados.

1.10.3.2.4. Usos

El proceso seco puede ser usado para mezclas asfálticas en caliente en granulometrías densas, abiertas o discontinuas. No puede ser usado en otro tipo de aplicaciones como mezclas en frío, sellos, o tratamientos superficiales por ser un proceso en el que no se modifica el ligante. (Universidad de los Andes - Instituto de Desarrollo Urbano, 2005)

1.10.4. EVALUACIÓN SUPERFICIAL. METODOLOGÍA PCI

El método PCI (*Pavement Condition Index*) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta.

Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles. Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA (*American Public Work Association*) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03).

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual del estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente. Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad).

Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento (Universidad de Piura, 2009)

Tabla 3. Rango de calificación del PCI

RANGO	CLASIFICACION
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy malo
10-0	Fallado

Fuente: Propia. Con base en los datos de consulta.

3. Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.
4. Identificar las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie del pavimento. Es necesario que las unidades de muestra sean fácilmente reubicables, a fin de que sea posible la verificación de la información de fallas existentes, la exanimación de variaciones de la unidad de muestra con el tiempo y las inspecciones futuras de la misma unidad de muestra si fuera necesario.
5. Seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar de la siguiente manera: considerando todas las unidades de muestra de la sección, considerando un número de unidades de muestras que nos garantice un nivel de confiabilidad del 95% o considerando un número menor de unidades de muestra.
- 5.1. Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor de PCI promedio en la sección. Este tipo de análisis es ideal para una mejor estimación del mantenimiento y reparaciones necesarias. (Universidad de Piura, 2009)

1.10.4.3. Procedimiento de inspección

1. Inspeccionar individualmente cada unidad de muestra seleccionada.
2. Registrar el tramo y número de sección así como el número y tipo de unidad de muestra (al azar o adicional).
3. Registrar el tamaño de unidad de muestra medido con el odómetro manual.
4. Realizar la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y registrando la información obtenida.
5. El método de medición se encuentra incluido en la descripción de cada falla.
6. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

1.10.5. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL VIGA BENKELMAN

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función.

Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una red aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial nacional o regional y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación.

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la ilustración No 3 (a), la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos

extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E").

Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuanto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito.

Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes, ver ilustración No 3 (b). (Hoffman & Del Aguila, 1985)

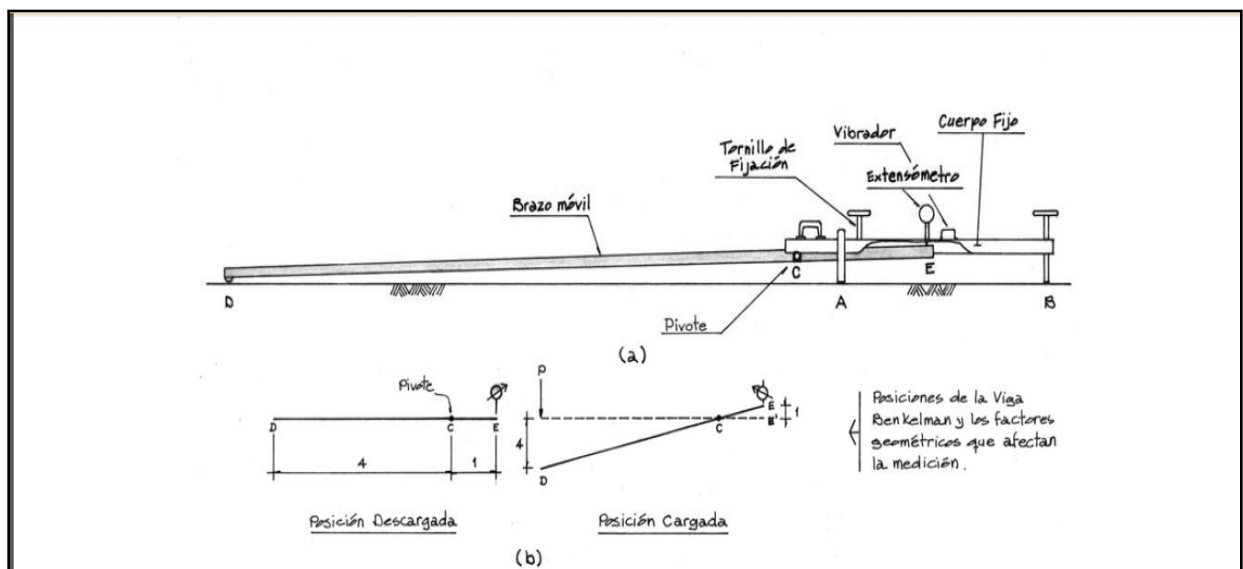


Ilustración 3. Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman. Tomado de ESTUDIOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS BASADOS EN LA INTERPRETACION DE CURVAS DE DEFLEXIONES (ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS). www.camineros.com

1.10.5.1. Equipo requerido

El equipo mínimo para la realización de ensayos de medición de deflexiones es el siguiente:

- i. Deflectómetro Viga Benkelman, tal como el modelo Soiltest HT-350 (con relación de brazos 1:2).
- ii. Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0.01 mm (Modelo Soiltest HT-300M).
- iii. Camión cargado, con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- iv. Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo (camioneta).
- v. Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.
- vi. Accesorios de medición y varios (Cinta métrica de 3 m, plumones de punta gruesa, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal o madera de 2m, alambre de amarre, etc.)

1.10.5.2. Procedimiento en el campo

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000 libras (4090 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida.

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver ilustración No 3 (a), punto "D").

Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca la Viga en la posición como si estuviera entre las llantas pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (ver ilustración No 4, b), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones. (Hoffman & Del Aguila, 1985)

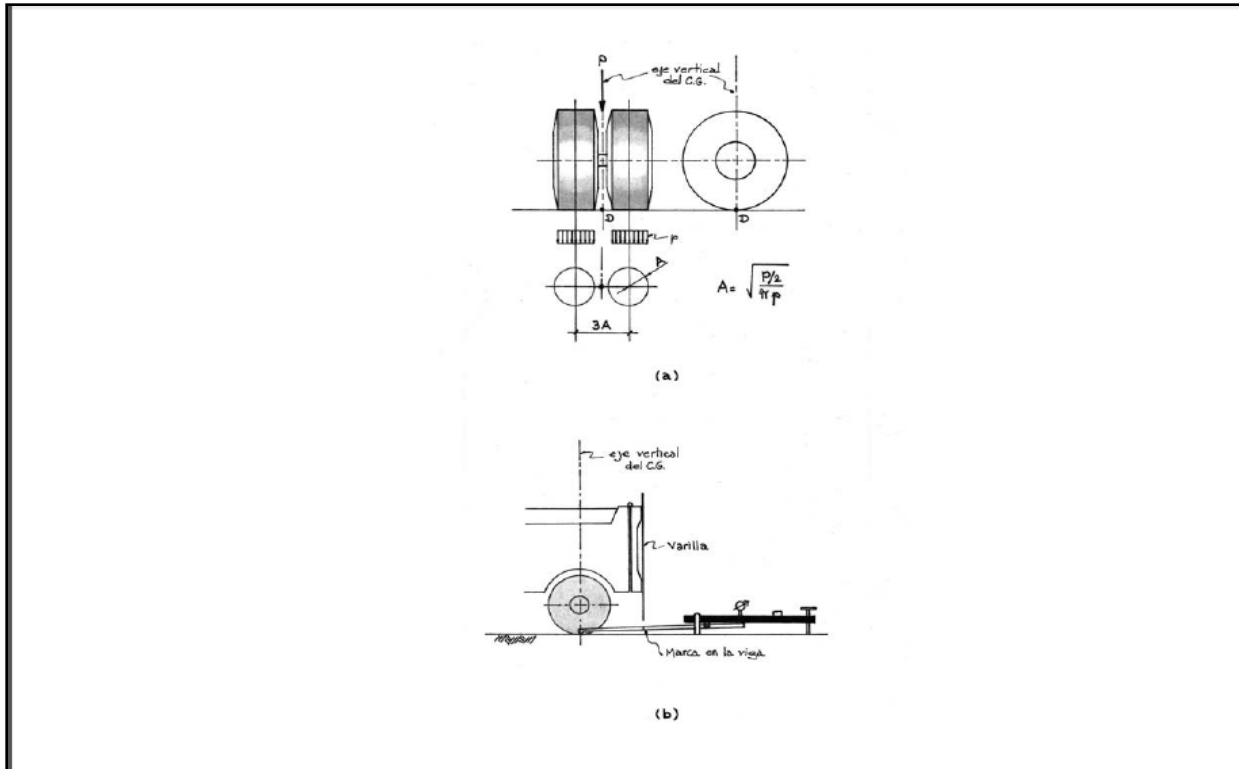


Ilustración 4. Configuración geométrica del sistema de carga en ensayos con la viga Benkelman. Tomado de ESTUDIOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS BASADOS EN LA INTERPRETACION DE CURVAS DE DEFLEXIONES (ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS).www.camineros.com

1.11. MARCO LEGAL

A partir del año 2012, en la pavimentación de las calles de Bogotá se incorporó contractualmente por parte del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) una tecnología afable para con el medio ambiente, el grano de caucho reciclado (GCR) , como un agente modificador del asfalto dentro de las mezclas asfálticas en caliente utilizar en la intervención de la malla vial de Bogotá; esta decisión se inspira en las Resoluciones 2397 y 6891 de 2011 de la Secretaría Distrital de Ambiente; en el Plan de Ordenamiento Territorial que aboga por un ecosistema urbano sostenible, productivo y de alta calidad ambiental y en las recomendaciones de la Mesa de Innovación Tecnológica y Producción Limpia del IDU.

Los nuevos pliegos licitatorios establecen que, desde la etapa de estudios y diseños, se incluya la utilización de RAP no inferior a un 10% del total de metros cuadrados y, de mínimo, el 5% de GCR, es decir que los contratistas de obra deberán usar materiales provenientes del aprovechamiento de llantas en un porcentaje no inferior al 5% de metros cuadrados del total de cada contrato de obra. Los porcentajes se incrementarán anualmente en 5 puntos, hasta completar la meta del 25%, como son porcentajes obligatorios, quien presente una propuesta con ellos no recibirá puntaje adicional.

1.11.1. RESOLUCIÓN 2397 (ABRIL 25 DE 2011) SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE DE BOGOTA

Por la cual se regula técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de escombros en el Distrito Capital. A continuación se relacionan los artículos para esta resolución inherentes al tema descrito en este documento:

ARTÍCULO 1°.- OBJETO. El objeto de la presente Resolución es regular técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de los escombros en el perímetro urbano del Distrito Capital.

ARTÍCULO 2°.- ÁMBITO DE APLICACIÓN. La presente norma les será aplicable a quienes generen, transporten, acopien, gestionen, y realicen tratamiento y/o aprovechamiento de escombros en el perímetro urbano de Bogotá D.C.

ARTÍCULO 3°.- DEFINICIONES. Adóptense las siguientes definiciones con miras a la correcta aplicación e interpretación de la presente Resolución:

Aprovechamiento: Es el proceso mediante el cual a través de la recuperación de los materiales provenientes de los residuos de construcción y demolición, se realiza su reincorporación al ciclo económico productivo en forma ambientalmente eficiente por medio de procesos como la reutilización y el reciclaje

Centros de tratamiento y/o aprovechamiento: sitio en donde se podrán realizar actividades de separación, clasificación, tratamiento y almacenamiento temporal de los escombros implementando las medidas ambientales que manejen los impactos generados.

Escombro: Todo residuo sólido sobrante de la actividad de la construcción, de la realización de obras civiles o de otras actividades conexas complementarias o análogas.

Generador: Persona natural o jurídica propietaria o administradora del bien público o privado en el que se desarrollen obras de excavación, construcción, demolición y/o remodelación o entidades responsables de la ejecución de obras públicas.

Reciclaje: Proceso mediante el cual se procesa y transforman los residuos de construcción y demolición, para valorizar su potencial de reincorporación como materia prima o insumos para la obtención de nuevos productos.

Reutilización: Es la prolongación de la vida útil de los escombros recuperados que se utilizan nuevamente, sin que para ello se requieran procesos adicionales de transformación.

Tratamiento: Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos de construcción y demolición, incrementando sus posibilidades de reutilización o y se minimiza los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana.

ARTÍCULO 4°.- OBLIGACIONES DE LAS EMPRESAS CONSTRUCTORAS. A partir de abril del año 2012 las entidades públicas que desarrollen obras de infraestructuras al interior del perímetro urbano del Distrito Capital deberán incluir desde la etapa de estudios y diseños los requerimientos técnicos necesarios con el fin de lograr la utilización de elementos reciclados provenientes de los centros de tratamiento y/o aprovechamiento de escombros legalmente constituidos y/o la reutilización de los generados por las etapas constructivas y de

desmantelamiento, en un porcentaje no inferior al 10%, del total de los metros cuadrados a construir por la entidad anualmente.

A partir de abril del año 2012 las empresas privadas que desarrollen obras de construcción al interior del perímetro urbano del distrito capital de carácter multifamiliar deberán incluir desde la etapa de estudios y diseños los requerimientos técnicos necesarios con el fin de lograr la utilización de elementos reciclados provenientes de los centros de tratamiento y/o aprovechamiento de escombros legalmente constituidos y/o la reutilización de los generados por las etapas constructivas y de desmantelamiento, en un porcentaje no inferior al 5%, del total de metros cuadrados del proyecto en componentes no estructurales.

Parágrafo 1.- Cada año dicho porcentaje aumentará en cinco (5) unidades porcentuales hasta alcanzar mínimo un 25%. En caso de agotamiento comprobado de las reservas de material o que la obra o proyecto no pueda cumplir por razones técnicas con dichos porcentajes deberá, previo al inicio de obra, presentar informe con su correspondiente sustento a la Secretaría Distrital de Ambiente.

Parágrafo 2.- Las entidades públicas podrán considerar como ítem de evaluación los porcentajes de material reciclado proveniente de escombros o su reutilización, dentro de sus procesos de contratación pública para el desarrollo de obras.

Parágrafo 3.- Para proyectos de conservación, se deberá reutilizar los materiales que componen la obra de infraestructura a conservar. Si esto no fuera posible, se deberá demostrar que los materiales que componen la actual obra no son aptos técnicamente para su reutilización en la nueva obra, en su actual estado ni con tratamientos posteriores.

ARTÍCULO 10°.- CALIDAD DEL MATERIAL RECICLADO. Los materiales resultantes del tratamiento de escombros deberán cumplir las especificaciones técnicas con el fin de ser utilizados como insumos para las obras de infraestructura y/o construcción, por tal motivo deberán estar certificados por un laboratorio acreditado.

ARTÍCULO 12°.- CONTROL Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL. La Subdirección de Control Ambiental al Sector Público, realizará la evaluación, control y seguimiento ambiental a las actividades relacionadas con el manejo integral de escombros y la ejecución y cumplimiento de lo dispuesto en la presente resolución.

1.11.2. RESOLUCIÓN NÚMERO 6981 (DICIEMBRE 27 DE 2011) SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE DE BOGOTA

Por la cual se dictan lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usados, y llantas no conforme en el Distrito Capital. A continuación se relacionan los artículos para esta resolución inherentes al tema descrito en este documento:

ARTÍCULO 1°.- OBJETO. La presente Resolución establece los lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usados y de llantas no conforme en obras de infraestructura del transporte urbano: vías vehiculares, peatonales, ciclovías, puentes, túneles, etc., del Distrito Capital.

ARTÍCULO 2º.- DEFINICIONES. Para la interpretación de los lineamientos contenidos en la presente resolución, se adoptaran las siguientes definiciones:

Aprovechamiento. Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos.

Centros de tratamiento y/o aprovechamiento. Sitios en donde se realizan actividades de almacenamiento temporal, separación, clasificación y transformación de llantas y neumáticos usados, y llantas no conforme, sujetos al cumplimiento del ordenamiento ambiental y demás disposiciones vigentes.

Generador. Persona natural o jurídica, pública o privada, que produce llantas y neumáticos usados, y llantas no conforme en las condiciones de que trata la resolución 1457 del 29 de julio de 2010, o aquella que la modifique, sustituya o derogue.

Reciclaje de llantas y neumáticos usados y llantas no conforme. Es el proceso mediante el cual se aprovechan y transforman las llantas usadas recuperadas y se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos.

Llanta y neumático usados. Toda llanta y neumático que ha finalizado su vida útil y se ha convertido en residuo sólido.

Llanta no conforme. Toda llanta que no cumple con los requisitos técnicos o que presenta defectos de fabricación para su uso normal y natural en vehículos automotores.

Tratamiento. Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de las llantas o neumáticos fuera de uso, incrementando sus posibilidades de aprovechamiento o para minimizar los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana.

Grano de caucho reciclado. (GCR) 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.

ARTÍCULO 3º.- ÁMBITO DE APLICACIÓN. Las disposiciones a que se refiere la presente resolución son de obligatorio cumplimiento para toda persona que ejecute y adelante procesos constructivos de obras de infraestructura del transporte urbano del Distrito Capital: vías vehiculares, peatonales, ciclovías, puentes, túneles, etc.

ARTÍCULO 4º.- PROGRAMA PILOTO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LLANTAS Y NEUMATICOS USADOS Y DE LLANTAS NO CONFORME EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE URBANO. A partir del segundo semestre del 2012, toda persona que ejecute y adelante procesos constructivos de obras de infraestructura del transporte urbano del Distrito Capital deberán prever el uso de materiales provenientes del aprovechamiento de llantas o neumáticos usados o llantas no conforme, en un porcentaje no inferior al 5% de metros cuadrados por cada contrato de obra, con excepción de aquellos que a la entrada en vigencia de la presente resolución tengan estudios y diseños aprobados.

El porcentaje de que trata este artículo aumentará anualmente en cinco (5) unidades porcentuales hasta alcanzar el 25%, y en todo caso, estos procesos constructivos serán reportados en los primeros quince (15) días de los meses de junio y diciembre de cada año a la Secretaría Distrital de Ambiente por medio del formulario que ésta entregue para el efecto. El primer reporte, será en junio de 2013.

PARÁGRAFO.- Las Secretarías de Ambiente, Movilidad y el Instituto de Desarrollo Urbano IDU, de manera conjunta, deberán coordinar y articular, conforme a sus competencias, las estrategias de organización, gestión, implementación, ejecución y seguimiento del presente plan piloto.

1.11.3. RESOLUCIÓN 3649 (SEPTIEMBRE 16 DE 2009) INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU)

Por el cual se adopta la especificación técnica para la aplicación de Grano de Caucho Reciclado (GCR) en mezclas asfálticas en caliente (vía húmeda). A continuación se relacionan los artículos para esta resolución inherentes al tema descrito en este documento:

ARTICULO SEGUNDO: Adoptar la especificación técnica para la aplicación del Grano de Caucho Reciclado (GCR) en mezclas asfálticas en caliente (Vía Húmeda) Versión 1.0.

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

La resolución 3649 del IDU describe de forma clara los objetivos, el alcance, los tipos de materiales, la condición para recibo de las obras, la forma para la producción de mezclas asfálticas con GCR, medidas y forma de pago.

De otra parte en esta se especifican las propiedades mínimas con las que debe cumplir el asfalto modificado con GCR Ver tabla No 4.

Tabla 5. Especificación de asfaltos modificados con GCR

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

Fuente: Contrato 053 de 2005 - estudio para el desarrollo de la infraestructura vial rural de Bogotá.

Así mismo se indican las recomendaciones por medio de las cuales se deberá calcular el porcentaje óptimo de GCR para modificar un ligante puro, cumpliendo en todo caso con las propiedades mínimas exigidas. Ver tabla No 5

Tabla 6. Intervalo de valores característicos recomendados para modificar el ligante con GCR

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

Fuente: Contrato 053 de 2005 - estudio para el desarrollo de la infraestructura vial rural de Bogotá.

1.12. MARCO DEMOGRÁFICO.

1.12.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

Santa Fe de Bogotá, D.C. es la ciudad capital de la República de Colombia y se constituye en el principal centro geográfico, político, industrial, económico y cultural del país.

A una altura de 2.630 metros sobre el nivel del mar, y con un área de 1587 Kms², es sede del Gobierno y la más extensa de las ciudades de Colombia. Aquí se concentra el 17% de la población total de la nación (6.4 millones de habitantes), con la característica de poseer los más altos índices educativos.

Bogotá es una ciudad de contrastes que combina fastuosamente la historia de nuestra nación, conservando el legado de otras épocas tanto en su arquitectura colonial y republicana como en la riqueza cultural de sus iglesias, teatros, museos y galerías de arte, con la modernidad de una ciudad que se proyecta hacia el mundo.

Su condición de capital de la República ha hecho que se haya extendido cada vez más para dar cabida a los miles de habitantes provenientes de todos los rincones del país y a extranjeros que encuentran en la ciudad un buen clima, gente amable y amplias posibilidades de negocios.

La ciudad de Bogotá cuenta con una clasificación geográfica interna en la que se destacan las 20 localidades las cuales hacen parte de una división política, administrativa y territorial. Así mismo se distinguen por tener competencias claras y criterios de financiación de recursos creados por el Concejo Municipal a iniciativa del Alcalde respectivo.

El 17 de diciembre de 1954 con la creación del Distrito Especial de Bogotá se anexaron a Bogotá seis municipios circunvecinos entre ellos Usaquén. En esta época la ciudad se había desarrollado

urbanísticamente en el cerco de la plaza de Bolívar lo que suscitó que se extendiera a Teusaquillo y Chapinero alcanzando lentamente a la localidad de Usaquén.

Bogotá inició el camino hacia la definición de las localidades mediante el Acuerdo 26 de 1972 el cual dividió en 18 localidades la población que tenía la ciudad en ese momento. Posteriormente, el Acuerdo 08 de 1987 la dividió en 19.

Por último el Acuerdo 02 de 1992 dividió en 20 localidades la ciudad quedando organizada respectivamente de la siguiente manera: 1. Usaquén, 2. Chapinero, 3. Santa Fe, 4. San Cristóbal, 5. Usme, 6. Tunjuelito, 7. Bosa, 8. Kennedy, 9. Fontibón, 10. Engativá, 11. Suba, 12. Barrios Unidos, 13. Teusaquillo, 14. Mártires, 15. Antonio Nariño, 16. Puente Aranda, 17. Candelaria, 18. Rafael Uribe, 19. Ciudad Bolívar y 20. Sumapaz. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007)

Los tramos viales objeto de estudio se encuentran ubicados en cinco de las 19 localidades de la ciudad de Bogotá, tal como se relacionan en la tabla a continuación:

Tabla 7. Ubicación segmentos viales objeto de estudio

Codigo de identificacion vial CIV	Localidad	Nomenclatura	Inicial	Final	Tipo de malla
9003155	Fontibon	CL 17	KR 96B	KR 96C	Intermedia (CML)
9003017	Fontibon	CL 17	KR 96C	KR 96G	Intermedia (CML)
9001312	Fontibon	CL 17	KR 96G	KR 96G	Intermedia (CML)
7007068	Bosa	CL 59 SUR	KR 77L	KR 77LBIS	Arterial (Rta A)
7007121	Bosa	CL 59 SUR	KR 77LBIS	KR 77LBISA	Arterial (Rta A)
7007167	Bosa	CL 59 SUR	KR 77LBISA	KR 78	Arterial (Rta A)
50008257	Teusaquillo	KR 45	CL 57	CL 57A	Intermedia (CML)
13000486	Teusaquillo	KR 45	CL 57A	CL 57B	Intermedia (CML)
13000348	Teusaquillo	KR 45	CL 57B	CL 58	Intermedia (CML)

Fuente: elaboración propia

1.12.2. LOCALIDAD DE FONTIBÓN

La localidad de Fontibón se encuentra localizada en la parte noroccidental de Bogotá. Al norte limita con la localidad de Engativá; al oriente con las localidades de Puente Aranda y Teusaquillo; al occidente con la ribera del río Bogotá y los municipios de Funza y Mosquera y al sur con la localidad de Kennedy. Como figura en el cuadro posterior, Fontibón tiene una extensión total de 3.327 hectáreas (ha), de las cuales 329 están clasificadas como suelo protegido. La localidad, no tiene suelo rural.

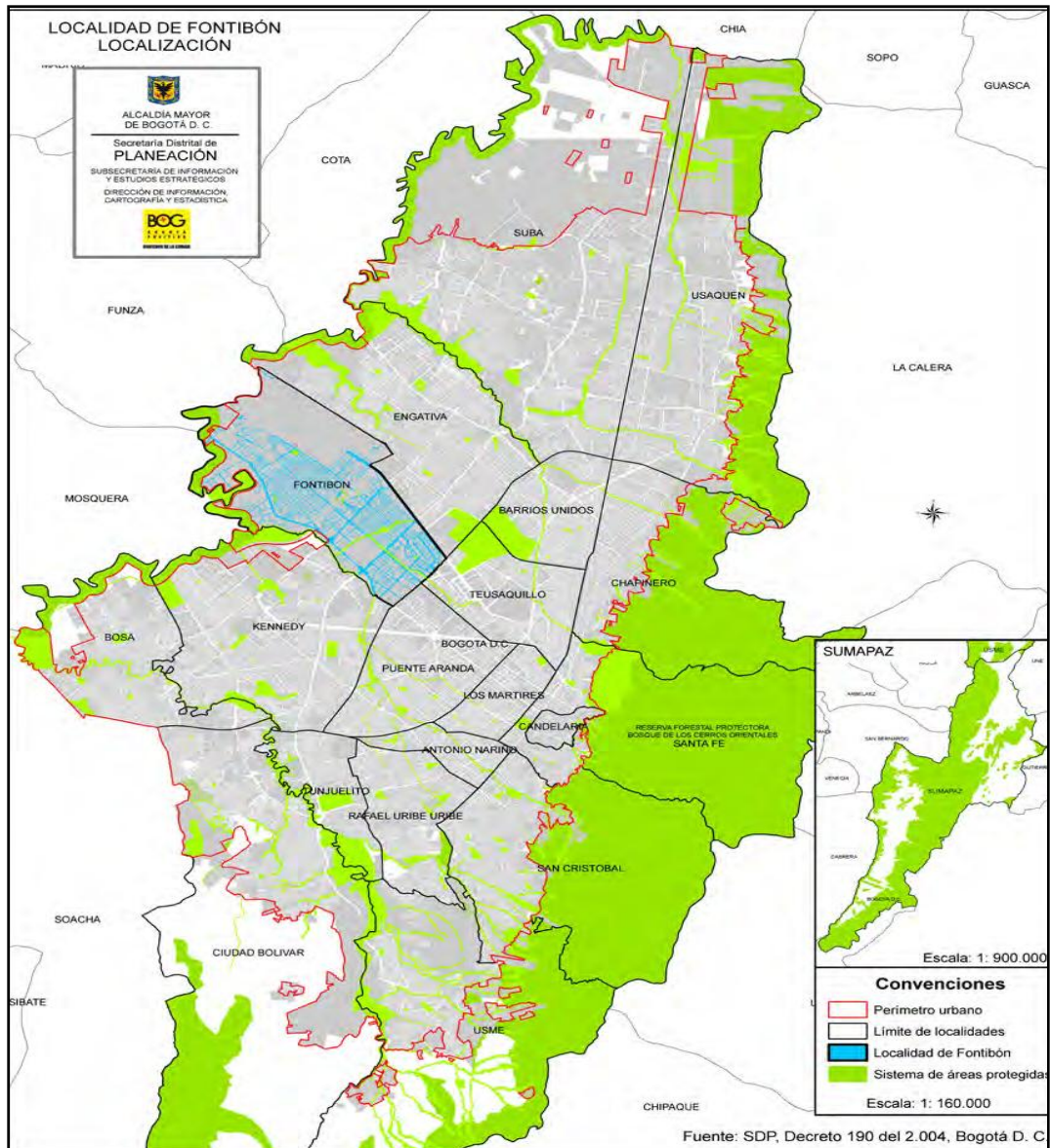


Ilustración 5. Mapa de ubicación Localidad de Fontibón. Tomado de “Diagnostico de los aspectos físicos demográficos. Secretaria Distrital de Planeación 2009”.www.sdp.gov.co

1.12.2.1. Tramo estudio Calle 17 entre Carrera 96B y Carrera 96G

El tramo de vía construido por el Instituto de Desarrollo Urbano con asfalto modificado con grano de caucho reciclado, corresponde a los segmentos viales identificados como aparece a continuación:

Tabla 8. Identificación segmentos Fontibón

CIV	LOCALIDAD	DIRECCION	Inicial	Final	Tipo de malla
9003155	9	CL 17	KR 96B	KR 96C	Intermedia (CML)
9003017	9	CL 17	KR 96C	KR 96G	Intermedia (CML)
9001312	9	CL 17	KR 96G	KR 96G	Intermedia (CML)

Fuente: elaboración propia

La ubicación espacial de los segmentos viales objeto de este estudio, intervenidos por el IDU con asfalto modificado con GCR se puede observar en la siguiente ilustración:

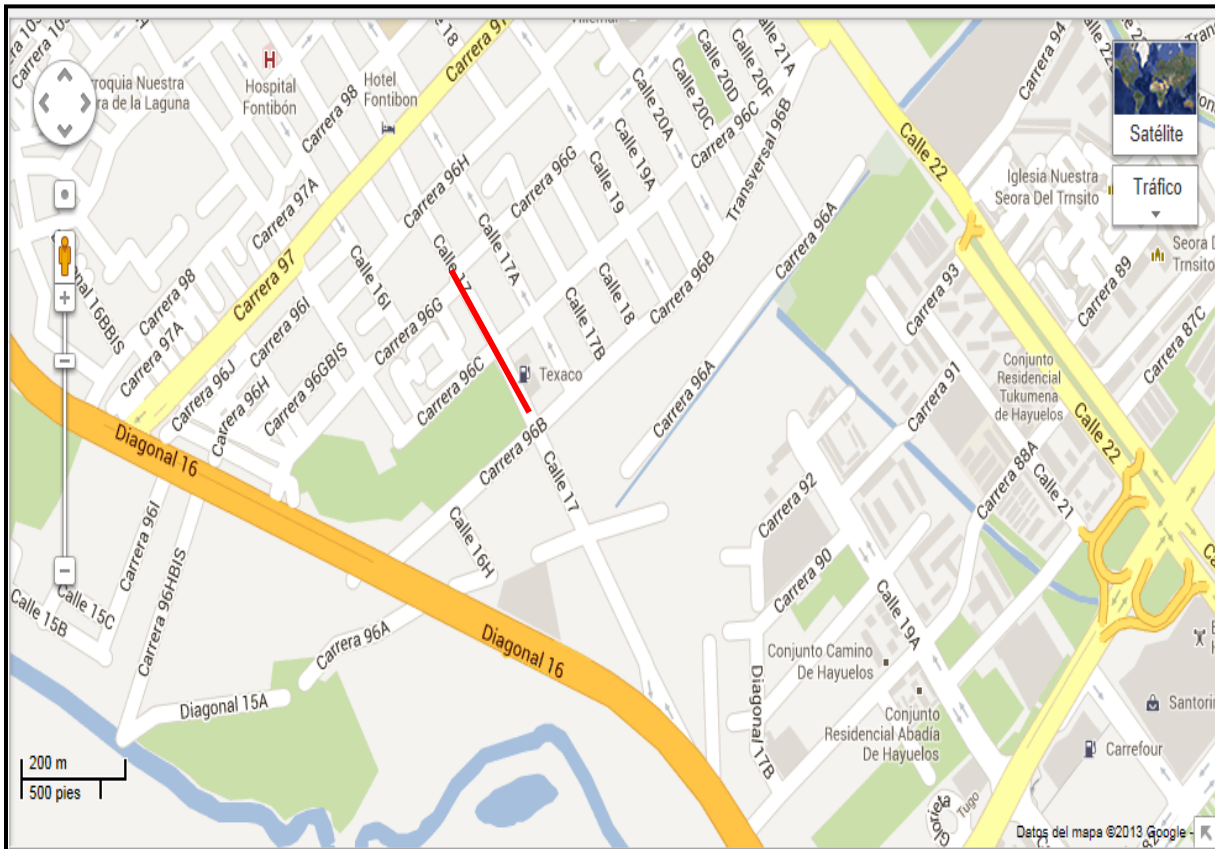


Ilustración 6. Mapa de ubicación segmentos viales estudio Localidad de Fontibón. Tomado de .www.googlemaps.com

1.12.3. LOCALIDAD DE TEUSAQUILLO

La localidad de Teusaquillo se ubica en el centro de Bogotá y limita, al occidente, con la carrera 68, que la separa de las localidades de Fontibón y Engativá; al sur, con la calle diagonal 22A, que la separa de la localidad de Puente Aranda; al norte, con la calle 63 que la separa de la localidad de Barrios Unidos y al oriente con la avenida Caracas que la separa de la localidad de Santa Fe y Chapinero. Como se observa en el siguiente cuadro. Teusaquillo tiene una extensión total de 1.419 hectáreas (ha), de las cuales 150 se clasifican como áreas protegidas. Teusaquillo no tiene suelo rural.

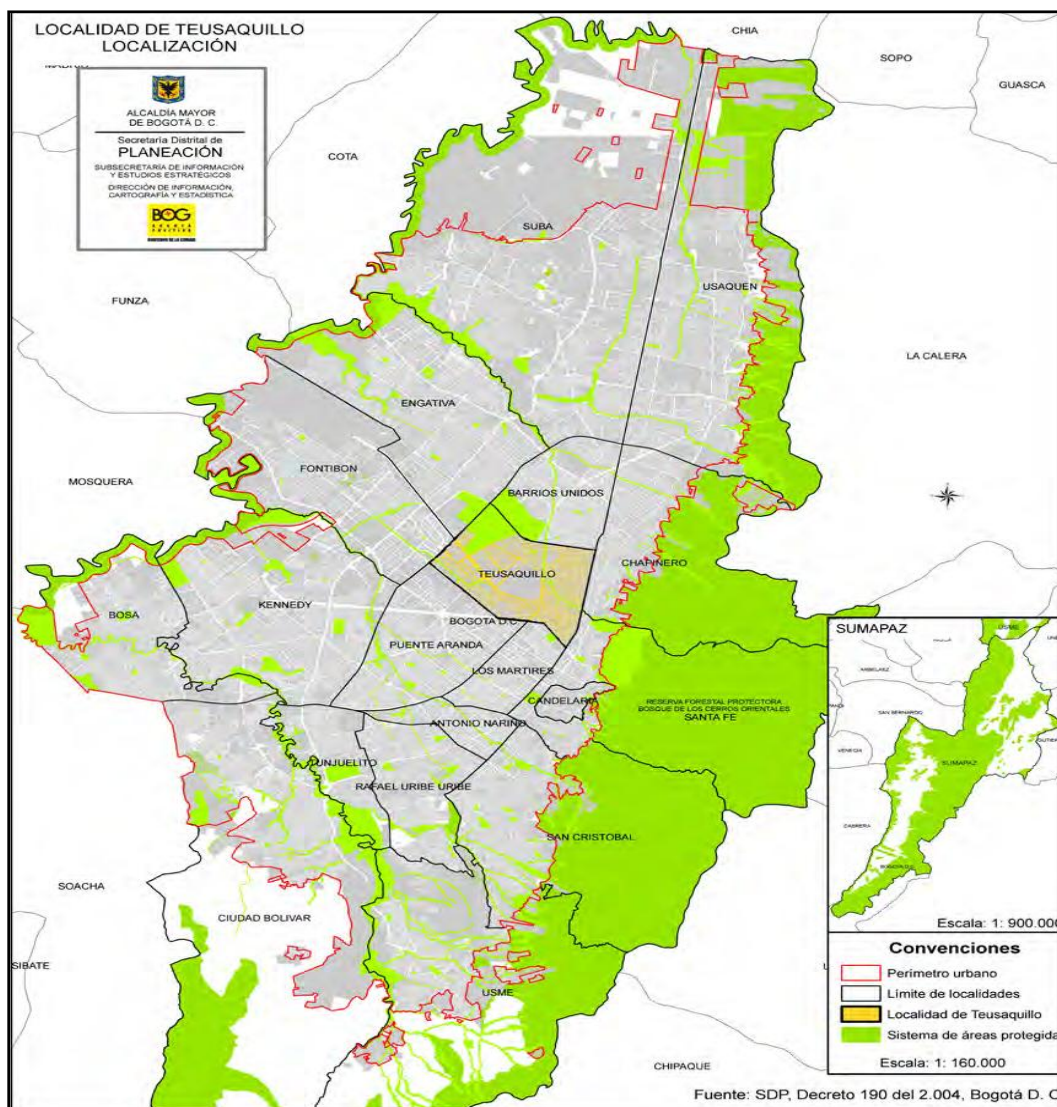


Ilustración 7. Mapa de ubicación Localidad de Teusaquillo. Tomado de “Diagnostico de los aspectos físicos demográficos. Secretaria Distrital de Planeación 2009”. www.sdp.gov.co

1.12.3.1. Tramo estudio Carrera 45 entre Calle 57 y Calle 58 A

El tramo de vía construido por el Instituto de Desarrollo Urbano con asfalto modificado con grano de caucho reciclado, corresponde a los segmentos viales identificados como aparece a continuación:

Tabla 9. Identificación segmentos Teusaquillo

CIV	LOCALIDAD	DIRECCION	Inicial	Final	Tipo de malla
50008257	13	KR 45	CL 57B	CL 58A	Intermedia (CML)
13000486	13	KR 45	CL 57A	CL 57B	Intermedia (CML)
13000548	13	KR 45	CL 57	CL 57A	Intermedia (CML)

Fuente: elaboración propia

La intervención con asfalto modificado con grano de caucho reciclado para esta vía se realizó solamente en la calzada occidental (2).

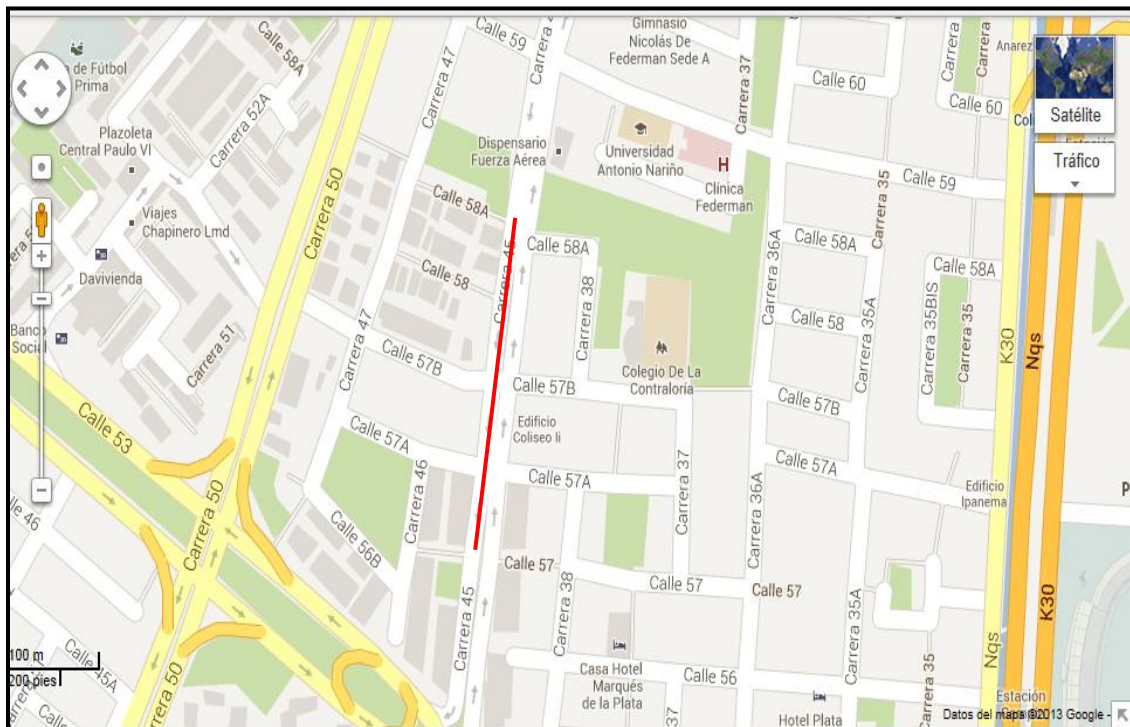


Ilustración 8. Mapa de ubicación segmentos viales estudio Localidad de Teusaquillo. Tomado de www.googlemaps.com

1.12.4. LOCALIDAD DE BOSA

Bosa está localizada al sur occidente de la ciudad y limita por el norte con la localidad de Kennedy; por el sur con la localidad de Ciudad Bolívar y el municipio de Soacha; por el oriente con las localidades de Kennedy y Ciudad Bolívar, y por el occidente con el municipio de Mosquera. Tiene una extensión total de 2.394 hectáreas (ha), de las cuales 508 ha., se clasifican como áreas protegidas; la localidad de Bosa no tiene suelo rural.

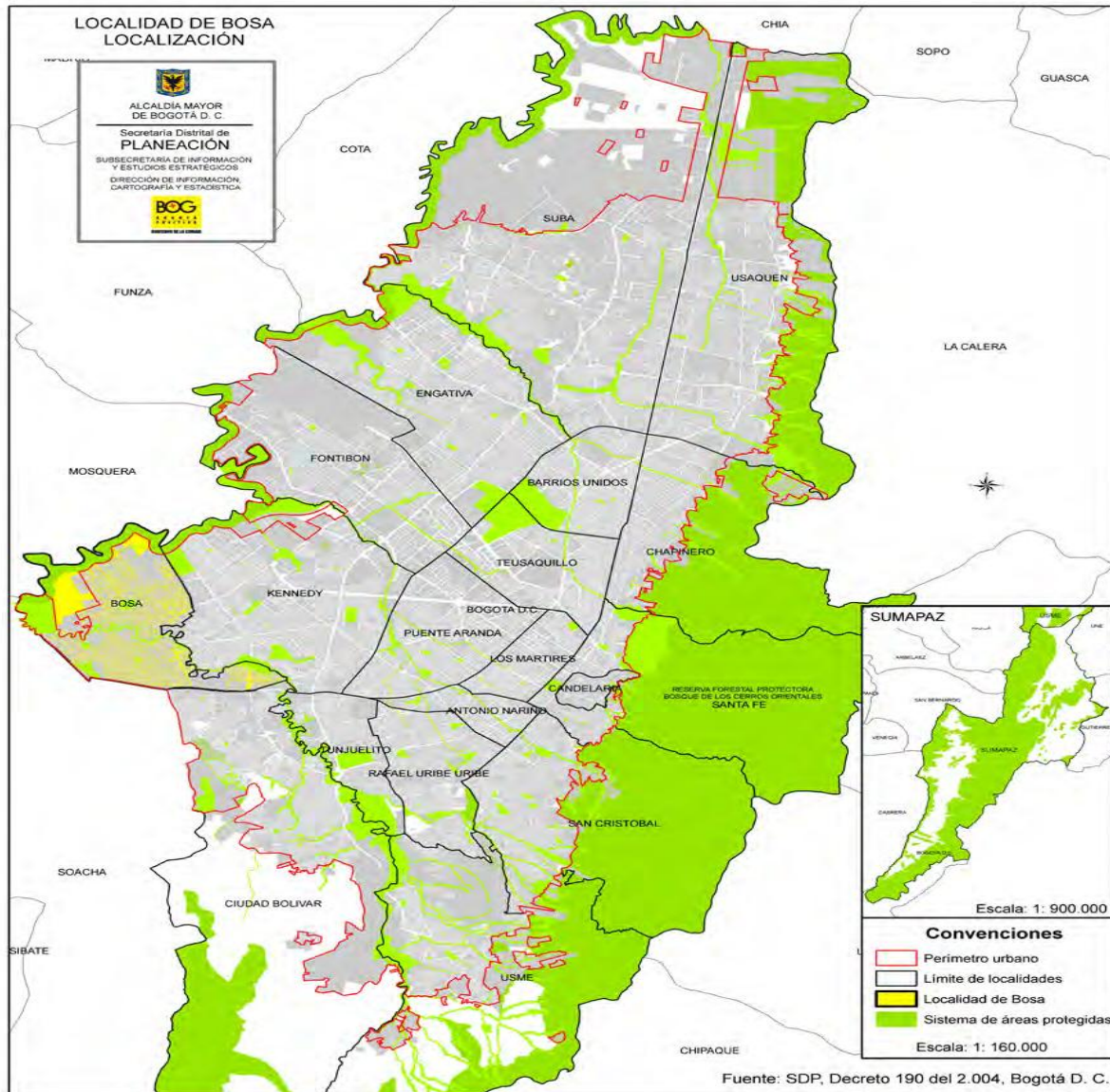


Ilustración 9. Mapa de ubicación Localidad de Bosa.. Tomado de “Diagnostico de los aspectos físicos demográficos. Secretaria Distrital de Planeación 2009”.www.sdp.gov.co

1.12.4.1. Tramo estudio Calle 59 Sur entre Carrera 77L y Carrera 78A

El tramo de vía construido por el Instituto de Desarrollo Urbano con asfalto modificado con grano de caucho reciclado, corresponde al segmento vial identificado como aparece a continuación:

Tabla 10. Identificación segmentos Bosa

LOCALIDAD	CIV	DIRECCION	Inicial	Final	Tipo de malla
7	7006943	CL 59 S	KR 78	KR 78A	Arterial (Rta A)
7	7007068	CL 59 S	KR 77LBISA	KR 77N	Arterial (Rta A)
7	7007121	CL 59 S	KR 77LBIS	KR 77LBISA	Arterial (Rta A)
7	7007167	CL 59 S	KR 77L	KR 77LBIS	Arterial (Rta A)

Fuente: elaboración propia

La ubicación espacial del segmento vial objeto de este estudio, intervenidos por el IDU con asfalto modificado con GCR se puede observar en la siguiente ilustración:

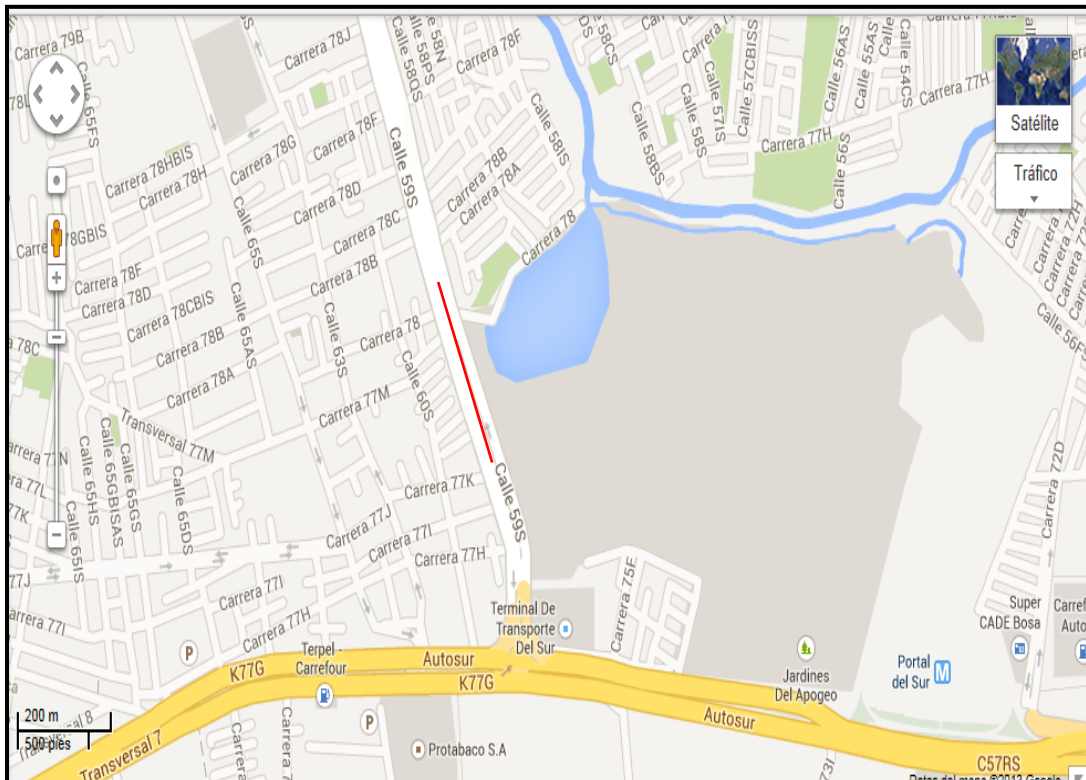


Ilustración 10. Mapa de ubicación segmentos viales estudio Localidad de Bosa. Tomado de .www.googlemaps.com

2. RESULTADOS

2.1 METODOLOGÍA PCI

2.1.1. PRIMERA ETAPA

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual por medio de una inspección visual se identificaron los daños presentados en los diferentes segmentos viales , teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos, los datos obtenidos fueron registrados en el documento donde se registro toda la información obtenida : fecha, ubicación, tramo, sección, tamaño de la unidad de muestra, tipos de fallas, niveles de severidad, cantidades, y nombres de los profesionales encargados de la inspección. Ver ilustración No 15.

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO						
PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA.						
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO					ESQUEMA	
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL	ÁREA MUESTREO (m ²)				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
INSPECCIONADA POR			FECHA			
<input type="text"/>			<input type="text"/>			
No.	Daño	No.	Daño			
1	Piel de cocodrilo.	11	Parcheo.			
2	Exudación.	12	Pulimento de agregados.			
3	Agrietamiento en bloque.	13	Huecos.			
4	Abultamientos y hundimientos.	14	Cruce de vía férrea.			
5	Corrugación.	15	Ahuellamiento.			
6	Depresión.	16	Desplazamiento.			
7	Grieta de borde.	17	Grieta parabólica (slippage)			
8	Grieta de reflexión de junta.	18	Hinchamiento.			
9	Desnivel carril / berma.	19	Desprendimiento de agregados.			
10	Grietas long y transversal.					
Daño	Severidad	Cantidades parciales		Total	Densidad (%)	Valor deducido

Ilustración 11. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica.Tomado de PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS.www.camineros.com

2.1.1.2 Muestreo y unidades de muestra

El muestreo se llevo a cabo siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

1. Se realizo división de cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo y siguiendo el procedimiento de “Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección” indicado en el “PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS” tomado de www.camineros.com.
3. Se dividieron los tramos o secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.
4. Se identificaron las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que nos permitió a los evaluadores identificarlas fácilmente sobre la superficie del pavimento.
5. Se seleccionaron las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar considerando todas las unidades de muestra de la sección, o considerando un número de unidades de muestras que nos garantice un nivel de confiabilidad del 95%.

2.1.2. EVALUACIÓN ESTADO SUPERFICIAL CALLE 17 ENTRE CARRERA 96B Y CARRERA 96G

2.1.2.1. Información preliminar

Como una explicación general del tramo en estudio, donde se llevó a cabo la inspección visual; anotamos que pertenece a las vías clasificadas dentro del inventario de la malla vial del IDU como “CORREDORES DE MOVILIDAD LOCAL” que corresponden a los segmentos viales que conforman una red local, la cual permite la accesibilidad, movilidad y conectividad de los barrios con el sector y de éste con el resto de la ciudad.

2.1.2.2. Ubicación

El tramo de estudio se ubica en la Calle 17 entre Carrera 96B y Carrera 96G, Localidad de Fontibón, Bogotá DC.

2.1.2.3. Transito

La Calle 17 en este tramo de vía hace parte del corredor de acceso a los Barrios Centrales de la localidad de Fontibón, así como a su centro histórico (parque principal, Alcaldía etc.), por lo tanto presenta flujo vehicular de trafico de rutas de buses municipales, así como tráfico pesado de camiones de gran tamaño y alto flujo de vehículos particulares.

El flujo vehicular que circula en la red de pavimento es constante, es decir, no hay variaciones significativas del tránsito. Se puede considerar que en los 311.8 metros de pavimento, el tráfico es el mismo.

Se analizaron cinco (5) unidades de muestra para esta vía, el punto de inicio es la intersección con la Carrera 96B, el punto final del tramo se encuentra sobre la intersección de la Carrera 96G, ver ilustración 12.



Ilustración 12. Identificación satelital tramo de estudio Calle 17, Localidad de Fontibón. Tomado de [www.google.com](http://www.google.com/maps)


2.1.2.4 Información construcción de pavimento

Según la información recibida a través de la Dirección Técnica Estratégica del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) la construcción de la estructura de pavimento de este tramo de vía se llevo a cabo durante el mes de Diciembre de 2012, en la pavimentación se utilizaron 323.95 M3 de asfalto modificado con grano de caucho reciclado (GCR) .

Como parte de este diagnostico se contrato al laboratorio Macrovias para que realizara la toma y el análisis de sobre la carpeta asfáltica de la Calle 17, obteniendo un espesor promedio de carpeta asfáltica de 12.78 cm y una densidad de 2229 Kg/m³, tal como se registra en la tabla 14.

Los ensayos realizados a la muestra tomada a través de núcleos corresponden a Gravedad específica Bulk y densidad de mezclas asfálticas compactas no absorbentes empleando especímenes saturados y con superficie seca. En el anexo No 2 de este documento se presentan todos los resultados obtenidos de los ensayos realizados por el laboratorio contratado MACROVIAS SAS.

Tabla 11. Resultados de laboratorio segmentos estudio Fontibón

		HOJA DE CALCULO: GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y CON SUPERFICIE SECA						
Código	MV-FT-073-00	Fecha de edición	2012-08-01	Versión	0	Copia controlada	SI	NO
CLIENTE:	INGENIERO NELSON VARGAS			ÓRDEN DE TRABAJO	OT-001-2014			
PROYECTO:	TESIS DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR			INFORME:	INF-0001-2014			
PROCEDENCIA:	PLANTA NO ESPECIFICADA			MUESTRA No:	7-8			
LOCALIZACIÓN	LOCALIDAD DE FONTIBON (CL 17 ENTRE KR 96B Y KR 96G)			NORMA CLIENTE:	INVIAS-2007			
DESCRIPCION:	NUCLEOS MEZCLA ASFALTICA TIPO GAP GRADEP GG-1 CON ASFALTO CAUCHO			CLASE DE MATERIAL:	MEZCLA ASFÁLTICA			
FECHA DE TOMA:	2013/12/13	FECHA DE INGRESO:	2013/12/13	FECHA DE ENSAYO:	2013/12/23			
DETERMINACIÓN	7	8						
Localización	LOCALIDAD DE FONTIBON (CL 17 ENTRE KR 96B Y KR 96G).CIV:9003155	LOCALIDAD DE FONTIBON (CL 17 ENTRE KR 96B Y KR 96G).CIV:9003155						
Capa No	UNICA	UNICA						
Espesor en vía (cm)	N.E	N.E						
Espesor (cm)	12.74	12.54						
	12.76	12.39						
	12.8	12.44						
	12.83	12.49						
	Promedio	12.78	12.47					
Temperatura del agua (°C)	25	25						
Densidad del agua (g/cm³)	0.997075	0.997075						
Peso seco del espécimen (gr)	2701.2	2644.3						
Peso en el agua del espécimen (gr)	1493.9	1464.3						
Peso S.S.S. del espécimen (gr)	2705.9	2647.1						
Gravedad específica Bulk medida	2.229	2.236						
Factor de corrección por temperatura	1,00	1,00						
Gravedad específica Bulk corregida a 20°C	2.229	2.236						
Densidad de la muestra (kg/m³)	2.222	2.229						

Fuente: Propia, resultados de ensayos de laboratorio realizados.

2.1.2.5. Muestreo y unidades de muestra

El muestreo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

Teniendo en cuenta que el tramo de vía corresponde a tres Códigos de identificación vial (CIV) según el inventario del IDU y que hacen parte de una sola pavimentación con un solo diseño y con un solo proceso constructivo, se han definido tres (5) unidades de muestra así:

- Unidad de muestra No 1. CIV 9003155 Cl 17 entre KR 96B y KR 96C, desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+038, carril sentido oriente-occidente, con unas dimensiones de 38 m * 6 m, para un área total de 228 m², como se puede apreciar en la ilustración No 13.

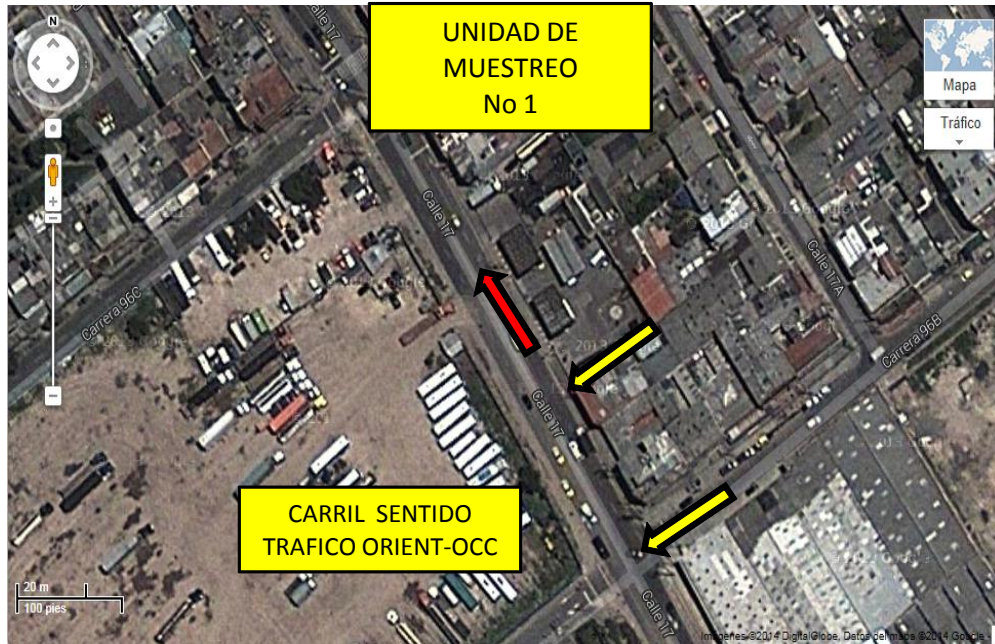


Ilustración 13. Identificación satelital unidad de muestreo 1, Localidad de Fontibón. Tomado de www.google.com/maps

- Unidad de muestra No 2. CIV 9003155 Cl 17 entre KR 96B y KR 96C, desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+038, carril sentido occidente-oriente, con unas dimensiones de 38 m * 6 m, para un área total de 228 m², como se puede apreciar en la ilustración No 14.



Ilustración 14. Identificación satelital unidad de muestreo 2, Localidad de Fontibón. Tomado de www.google.com/maps

- Unidad de muestreo NO 3 , CIV 9003017 Cl 17 entre KR 96C y KR 96G , desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+038, carril sentido oriente-occidente, con unas dimensiones de 38 m * 6 m, para un área total de 228 m², como se puede apreciar en la ilustración No 15.

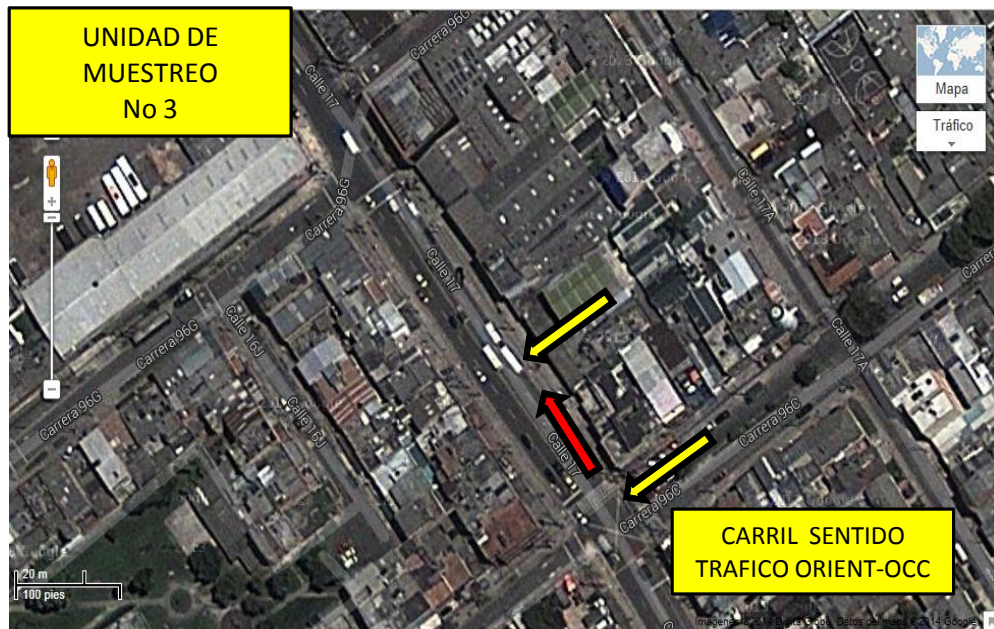


Ilustración 15. Identificación satelital unidad de muestreo 3, Localidad de Fontibón. Tomado de [www.google.com](http://www.google.com/maps)

- Unidad de muestreo NO 4 , CIV 9003017 Cl 17 entre KR 96C y KR 96G , desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+038, carril sentido occidente-oriente, con unas dimensiones de 38 m * 6 m, para un área total de 228 m², como se puede apreciar en la ilustración No 16.

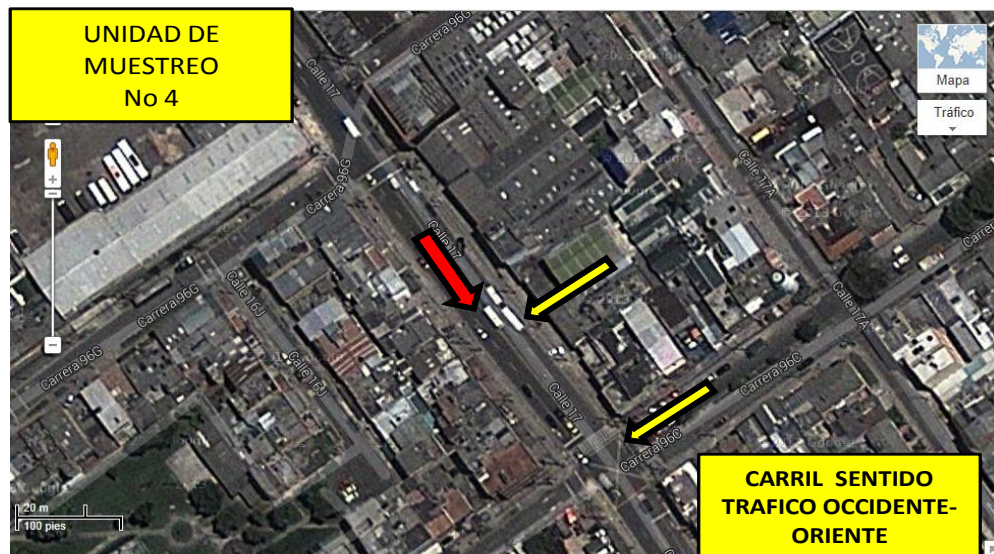


Ilustración 16. Identificación satelital unidad de muestreo 4, Localidad de Fontibón. Tomado de [www.google.com](http://www.google.com/maps)

- Unidad de muestra No 5. CIV 9002903 Cl 17 entre KR 96G y KR 96G, con unas dimensiones de 16.80 m * 12m, para un área total de 201.6m², como se puede apreciar en la ilustración No 17.

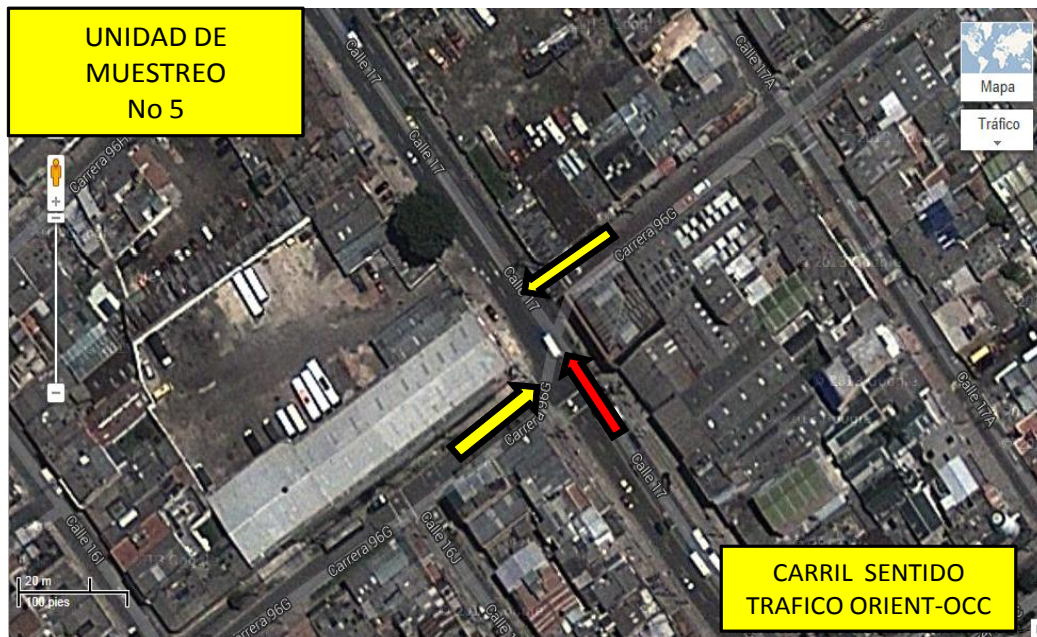


Ilustración 17. Identificación satelital unidad de muestreo 5, Localidad de Fontibón. Tomado de [www.google.com](http://www.google.com/maps)

2.1.2.6. Procedimiento de inspección

1. Inspeccionar cada unidad de muestra seleccionada.
2. Registrar el tramo y número de sección así como el número de unidad de muestra.
3. Realizar la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y llenando la información obtenida en las hojas de registro (ilustración No 15). Los tipos de fallas y el grado de severidad fueron tomados del “MANUAL DE DAÑOS EN VÍAS CON SUPERFICIE ASFALTICA “www.camineros.com.”
4. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

2.1.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN EVALUACION ESTADO SUPERFICIAL CL 17 ENTRE KR 96B Y KR 96G

2.1.3.1. Determinación del índice de estado del pavimento

A continuación se explican los datos de campo obtenidos durante la inspección visual de fallas en la CL 17 entre Kr 96b y Kr 96G; así como el cálculo del índice de condición de pavimento de

2.1.4.2. Ubicación

El tramo de estudio se ubica en la Calle 59 entre Carrera 77L y Carrera 78A, Localidad de Bosa, Bogotá DC. Ver ilustración 22.

2.1.4.3. Transito

La Calle 59 en este tramo de vía arteria de acceso al sector de Bosa que inicia desde la Autopista Sur y va hasta la Carrera 86, por lo tanto presenta flujo vehicular de trafico de rutas de buses alimentadores de Transmilenio, municipales y algunos intermunicipales que prestan servicio a la vecina localidad de Soacha, así como tráfico pesado de camiones de gran tamaño y alto flujo de vehículos particulares.

El flujo vehicular que circula en la red de pavimento es constante, es decir, no hay variaciones significativas del tránsito. Se puede considerar que en los 185.28 metros de pavimento del tramo evaluado, el tráfico es el mismo.

Se analizaron tres unidades de muestra para este tramo de vía, el punto de inicio es la intersección con la Carrera 77L, el punto final del tramo se encuentra sobre la intersección de la Carrera 78A, ver ilustración 18.

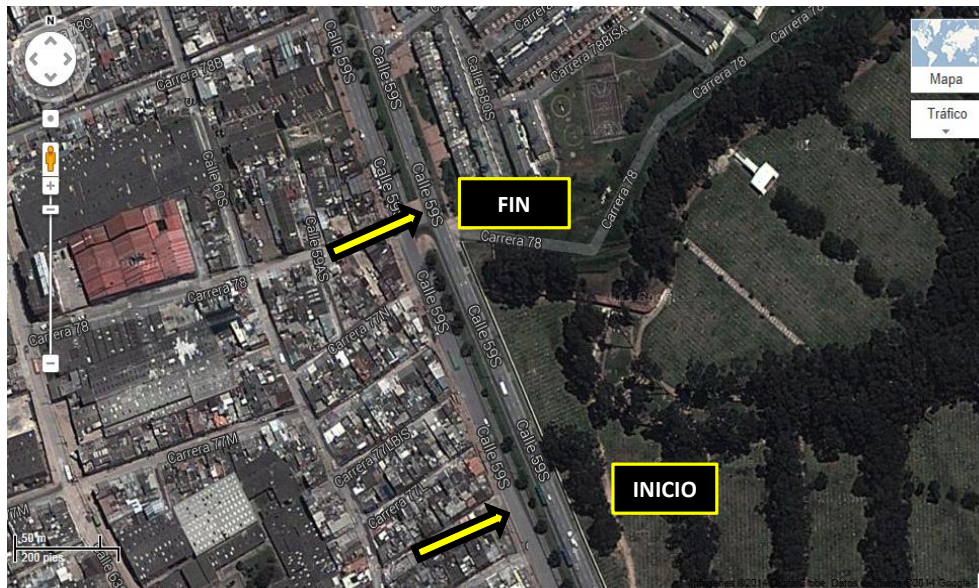


Ilustración 18. Ubicación satelital tramo de estudio CL 59 Localidad de Bosa. Tomado de [www.google.com](http://www.google.com/maps)


2.1.4.4 Información construcción de pavimento

Según la información recibida a través de la Dirección Técnica Estratégica del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) la construcción de la estructura de pavimento de este tramo de vía se llevo a cabo durante los meses de Marzo y Abril de 2012, en la pavimentación se utilizaron 200 M3 de asfalto modificado con grano de caucho reciclado (GCR) .

Como parte de este diagnostico se contrato al laboratorio Macrovias para que realizara la toma y el análisis de sobre la carpeta asfáltica de la Calle 59, obteniendo un espesor promedio de carpeta asfáltica de 14.57 cm y una densidad de 2209 Kg/m³, tal como se registra en la tabla 19.

Los ensayos realizados a la muestra tomada a través de núcleos corresponden a Gravedad específica Bulk y densidad de mezclas asfálticas compactas no absorbentes empleando especímenes saturados y con superficie seca. En el anexo No 2 de este documento se presentan todos los resultados obtenidos de los ensayos realizados por el laboratorio contratado MACROVIAS SAS.

Tabla 17. Resultados de laboratorio segmentos estudio Localidad de Bosa

		HOJA DE CALCULO: GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y CON SUPERFICIE SECA						
Código	MV-FT-073-00	Fecha de edición	2012-08-01	Versión	0	Copia controlada	SI	NO
CLIENTE:	INGENIERO NELSON VARGAS		ÓRDEN DE TRABAJO	OT-001-2014				
PROYECTO:	TESIS DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR		INFORME:	INF-0001-2014				
PROCEDENCIA:	PLANTA NO ESPECIFICADA		MUESTRA No:	5-6				
LOCALIZACIÓN	LOCALIDAD DE BOSA (CL 59 SUR ENTRE KR 77LBIS Y KR 78A)		NORMA CLIENTE:	INVIAS-2007				
DESCRIPCION:	NUCLEOS MEZCLA ASFALTICA TIPO GAP GRADEP GG-1 CON ASFALTO CAUCHO		CLASE DE MATERIAL:	MEZCLA ASFÁLTICA				
FECHA DE TOMA:	2013/12/13	FECHA DE INGRESO:	2013/12/13	FECHA DE ENSAYO:	2013/12/23			
DETERMINACIÓN	5	6						
Localización	LOCALIDAD DE KENNEDY (CL 59 SUR ENTRE KR 77LBIS Y KR 78A). CIV: 7006943	LOCALIDAD DE KENNEDY (CL 59 SUR ENTRE KR 77LBIS Y KR 78A). CIV: 7007167						
Capa No	UNICA	UNICA						
Espesor en via (cm)	N.E	N.E						
Espesor (cm)	13.65	15.36						
	13.84	15.44						
	13.77	15.29						
	13.74	15.47						
	Promedio	13.75	15.39					
Temperatura del agua (°C)	25	25						
Densidad del agua (g/cm ³)	0.997075	0.997075						
Peso seco del espécimen (gr)	1267.7	1308.9						
Peso en el agua del espécimen (gr)	703.4	715.6						
Peso S.S.S. del espécimen (gr)	1270.8	1311.2						
Gravedad específica Bulk medida	2.234	2.198						
Factor de corrección por temperatura	1,00	1,00						
Gravedad específica Bulk corregida a 20°C	2.234	2.198						
Densidad de la muestra (kg/m ³)	2.228	2.191						

Fuente: Propia, resultados de ensayos de laboratorio realizados

2.1.4.5. Muestreo y unidades de muestra

El muestreo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

Teniendo en cuenta que el tramo de vía corresponde a cuatro (4) Códigos de identificación vial (CIV) según el inventario del IDU y que hacen parte de una sola pavimentación con un solo diseño y con un solo proceso constructivo, se han definido tres (6) unidades de muestra así:

- Unidad de muestra No 1. CIV 7007167 Cl 59 Sur entre KR 77L y KR 77L Bis , desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+030, calzada (2) sentido occidente - oriente, con unas dimensiones de 30.8 m * 7 m, para un área total de 215.6 m², como se puede apreciar en la ilustración No 19.



Ilustración 19. Identificación satelital unidad de muestreo 1, Localidad de Bosa. Tomado de [www.google.com](http://www.google.com/maps)

- Unidad de muestra No 2. CIV 7007167 Cl 59 Sur entre Cl 59 entre KR 77L y KR 77L Bis, desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+030, calzada (4) sentido occidente - oriente, con unas dimensiones de 29.6 m * 7 m, para un área total de 207.2 m², como se puede apreciar en la ilustración No 20.



Ilustración 20. Identificación satelital unidad de muestreo 2, Localidad de Bosa. Tomado de www.google maps.com

- Unidad de muestra No 3. CIV 7007121 C1 59 Sur entre KR 77LBis y KR 77L Bis A, desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+029, calzada (2) sentido occidente - oriente, con unas dimensiones de 29.6 m * 7 m, para un área total de 207.2 m², como se puede apreciar en la ilustración No 21.



Ilustración 21. Identificación satelital unidad de muestreo 3, Localidad de Bosa. Tomado de www.google maps.com

- Unidad de muestra No 4. CIV 7007121 Cl 59 Sur entre KR 77LBis y KR 77L Bis A, desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+030, calzada (4) sentido oriente - occidente, con unas dimensiones de 29.6 m * 7 m, para un área total de 207.2 m², como se puede apreciar en la ilustración No 22.



Ilustración 22. Identificación satelital unidad de muestreo 4, Localidad de Bosa. Tomado de [www.google.com](http://www.google.com/maps)

- Unidad de muestra No 5. CIV 7007068 Cl 59 Sur entre KR 77LBis A y KR 77N, desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+030, calzada (2) sentido occidente -oriente, con unas dimensiones de 30.05 m * 7 m, para un área total de 210 m², como se puede apreciar en la ilustración No 23.

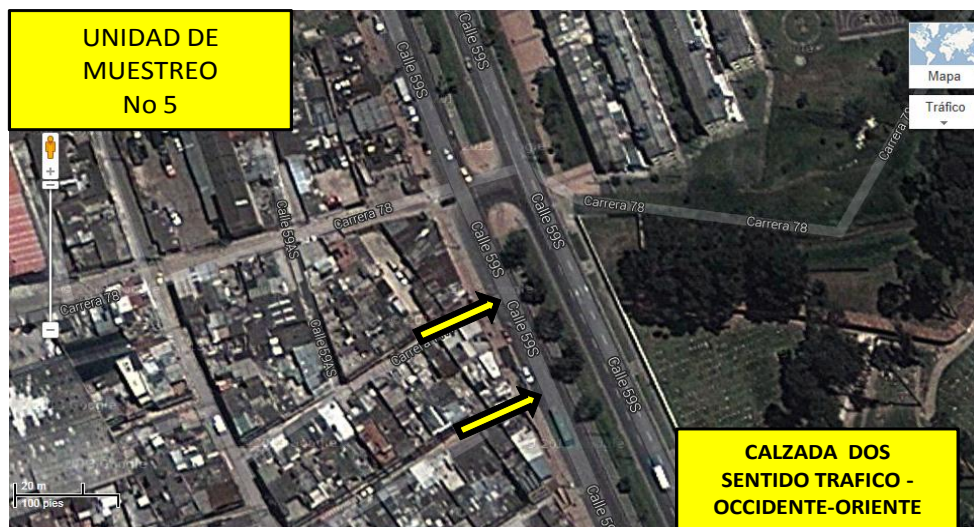


Ilustración 23. Identificación satelital unidad de muestreo 5, Localidad de Bosa. Tomado de [www.google.com](http://www.google.com/maps)

- Unidad de muestra No 6. CIV 7007068 Cl 59 Sur entre KR 77LBis A y KR 77N, desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+030, calzada (4) sentido oriente -occidente, con unas dimensiones de 30.05 m * 7 m, para un área total de 210 m², como se puede apreciar en la ilustración No 24.

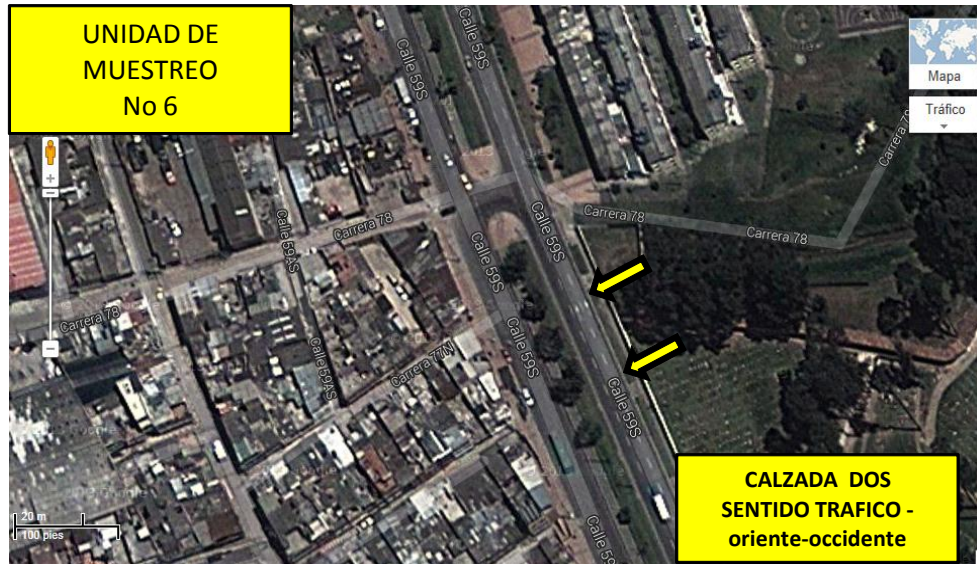


Ilustración 24. Identificación satelital unidad de muestreo 6, Localidad de Bosa. Tomado de [www.google.com](http://www.google.com/maps)

2.1.5. RESULTADOS OBTENIDOS EN EVALUACIÓN ESTADO SUPERFICIAL CL 56 ENTRE KR 77L Y KR 77N

2.1.5.1. Determinación del índice de estado del pavimento

A continuación se explican los datos de campo obtenidos durante la inspección visual de fallas en la CL 59 entre Kr 77L y Kr 77N; así como el cálculo del índice de condición de pavimento de cada unidad de muestra analizada. El registro fotográfico de la inspección realizada en las unidades de muestra para este tramo de vía, se encuentran detalladas en el anexo 1.

2.1.5.1.1. Unidad de muestreo No 1

La unidad de muestra U1 tiene 215.6 m² y pertenece al CIV 7007167 Cl 59 entre KR 77L y KR 77L Bis (calzada No 2 occidente –oriente), el mismo corresponde a un solo tipo de mezcla asfáltica aplicada modificada con grano de caucho reciclado de llanta (GCR), la estructura diseñada y construida se mantiene a lo largo de todo el segmento, por lo que no se presentan cambios de sección dentro de su área

Para esta unidad de muestra no se encontraron fallas, por lo anterior no se reporta ningún registro de formato de campo, en general el estado superficial de este tramo de vía se encuentra en muy buen estado.

2.1.5.1.2. Unidad de muestreo No 2

La unidad de muestra U2 tiene 215.6 m² y pertenece al CIV 7007167 Cl 59 entre Cl 59 entre KR 77L y KR 77L Bis calzada (4) sentido oriente - occidente, el mismo corresponde a un solo tipo de mezcla asfáltica aplicada modificada con grano de caucho reciclado de llanta (GCR), la estructura diseñada y construida se mantiene a lo largo de todo el segmento, por lo que no se presentan cambios de sección dentro de su área

Para esta unidad de muestra no se encontraron fallas, por lo anterior no se reporta ningún registro de formato de campo, en general el estado superficial de este tramo de vía se encuentra en muy buen estado.

2.1.5.1.3. Unidad de muestreo No 3

La unidad de muestra U3 tiene 207.2 m² y pertenece al CIV 7007121 Cl 59 Sur entre KR 77LBis y KR 77L Bis A calzada (2) sentido occidente - oriente, el mismo corresponde a un solo tipo de mezcla asfáltica aplicada modificada con grano de caucho reciclado de llanta (GCR), la estructura diseñada y construida se mantiene a lo largo de todo el segmento, por lo que no se presentan cambios de sección dentro de su área

Para esta unidad de muestra no se encontraron fallas, por lo anterior no se reporta ningún registro de formato de campo, en general el estado superficial de este tramo de vía se encuentra en muy buen estado.

2.1.5.1.4. Unidad de muestreo No 4

La unidad de muestra U4 tiene 207.2 m² y pertenece al CIV 7007121 Cl 59 entre KR 77LBis y KR 77L Bis A calzada (4) sentido oriente - occidente, el mismo corresponde a un solo tipo de mezcla asfáltica aplicada modificada con grano de caucho reciclado de llanta (GCR), la estructura diseñada y construida se mantiene a lo largo de todo el segmento, por lo que no se presentan cambios de sección dentro de su área

Para esta unidad de muestra no se encontraron fallas, por lo anterior no se reporta ningún registro de formato de campo, en general el estado superficial de este tramo de vía se encuentra en muy buen estado.

2.1.5.1.5. Unidad de muestreo No 5

La unidad de muestra U5 tiene 210 m² y pertenece al CIV 7007068 Cl 59 Sur entre KR 77LBis A y KR 77N calzada (2) sentido occidente -oriente, el mismo corresponde a un solo tipo de

mezcla asfáltica aplicada modificada con grano de caucho reciclado de llanta (GCR), la estructura diseñada y construida se mantiene a lo largo de todo el segmento, por lo que no se presentan cambios de sección dentro de su área

Para esta unidad de muestra no se encontraron fallas, por lo anterior no se reporta ningún registro de formato de campo, en general el estado superficial de este tramo de vía se encuentra en muy buen estado.

2.1.5.1.6. Unidad de muestreo No 6

La unidad de muestra U6 tiene 210 m² y pertenece al CIV 7007068 Cl 59 Sur entre KR 77LBis A y KR 77N calzada (4) sentido oriente -occidente, el mismo corresponde a un solo tipo de mezcla asfáltica aplicada modificada con grano de caucho reciclado de llanta (GCR), la estructura diseñada y construida se mantiene a lo largo de todo el segmento, por lo que no se presentan cambios de sección dentro de su área.

Para esta unidad de muestra no se encontraron fallas, por lo anterior no se reporta ningún registro de formato de campo, en general el estado superficial de este tramo de vía se encuentra en muy buen estado.

2.1.6. EVALUACIÓN ESTADO SUPERFICIAL KR 45 ENTRE CL 57 Y CL 58A

2.1.6.1. Información preliminar

Como una explicación general del tramo en estudio, donde se llevó a cabo la inspección visual; anotamos que pertenece a las vías clasificadas dentro del inventario de la malla vial del IDU como “CORREDORES DE MOVILIDAD LOCAL” que corresponden a los segmentos viales que conforman una red local, la cual permite la accesibilidad, movilidad y conectividad de los barrios con el sector y de éste con el resto de la ciudad.

2.1.6.2. Ubicación

El tramo de estudio se ubica en la KR 45 entre Calle 57 y Calle 58A, Localidad de Teusaquillo, Bogotá DC. La aplicación de mezcla asfáltica modificada con GCR se llevo a cabo solo en la calzada numero dos (2) de esta vía.

2.1.6.3. Transito

La Carrera 45 en este tramo de vía acceso al sector de los Barrios Nicolás de Federman y Pablo VI presenta flujo vehicular de trafico medio, no hay presencia de rutas de buses, ni de tráfico pesado, si se presenta flujo de vehículos particulares.

El flujo vehicular que circula en la red de pavimento es constante, es decir, no hay variaciones significativas del tránsito. Se puede considerar que en los 275.5 metros de pavimento del tramo evaluado, el tráfico es el mismo.

Se analizaron tres unidades de muestra para este tramo de vía, el punto de inicio es la intersección con la Calle 57, el punto final del tramo se encuentra sobre la intersección de la Calle 58A, ver ilustración 25.



Ilustración 25. Ubicación satelital tramo de estudio KR 45 Localidad de Teusaquillo. Tomado de [www.google.com](http://www.google.com/maps)

2.1.6.4. Información construcción de pavimento


Según la información recibida a través de la Dirección Técnica Estratégica del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) la construcción de la estructura de pavimento de este tramo de vía se llevo a cabo durante el mes de Febrero de 2012, en la pavimentación se utilizaron 89.52 M3 de asfalto modificado con grano de caucho reciclado (GCR).

Como parte de este diagnostico se contrato al laboratorio Macrovias para que realizara la toma y el análisis de sobre la carpeta asfáltica de la Calle 59, obteniendo un espesor promedio de carpeta asfáltica de 11.97cm y una densidad de 2283 Kg/m³, tal como se registra en la tabla 20.

Los ensayos realizados a la muestra tomada a través de núcleos corresponden a Gravedad específica Bulk y densidad de mezclas asfálticas compactas no absorbentes empleando especímenes saturados y con superficie seca. Ver tabla No 18.

En el anexo No 2 de este documento se presentan todos los resultados obtenidos de los ensayos realizados por el laboratorio contratado MACROVIAS SAS.

Tabla 18. Resultados de laboratorio segmentos estudio Localidad de Teusaquillo

		HOJA DE CALCULO: GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS Y CON SUPERFICIE SECA						
Código	MV-FT-073-00	Fecha de edición	2012-08-01	Versión	0	Copia controlada	SI	NO
CLIENTE:	INGENIERO NELSON VARGAS			ÓRDEN DE TRABAJO	OT-001-2014			
PROYECTO:	TESIS DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR			INFORME:	INF-0001-2014			
PROCEDENCIA:	PLANTA NO ESPECIFICADA			MUESTRA No:	2-3			
LOCALIZACIÓN	LOCALIDAD DE TEUSAQUILLO (KR 45 ENTRE CL 57 Y CL 58A)			NORMA CLIENTE:	INVIAS-2007			
DESCRIPCION:	NUCLEOS MEZCLA ASFALTICA TIPO GAP GRADEP GG-1 CON ASFALTO CAUCHO			CLASE DE MATERIAL:	MEZCLA ASFALTICA			
FECHA DE TOMA:	2013/12/13	FECHA DE INGRESO:	2013/12/13	FECHA DE ENSAYO:	2013/12/23			
DETERMINACIÓN	2							
Localización	LOCALIDAD DE TEUSAQUILLO (KR 45 ENTRE CL 57 Y CL 58A).CIV:13000429	LOCALIDAD DE TEUSAQUILLO (KR 45 ENTRE CL 57 Y CL 58A).CIV:13000348						
Capa No	UNICA	UNICA						
Espesor en vía (cm)	N.E	N.E						
Espesor (cm)	12.15	11.87						
	12.17	11.67						
	12.22	11.88						
	12.09	11.74						
	Promedio	12.16	11.79					
Temperatura del agua (°C)	25	25						
Densidad del agua (g/cm³)	0.997075	0.997075						
Peso seco del espécimen (gr)	1134.5	1078.6						
Peso en el agua del espécimen (gr)	642.2	608.5						
Peso S.S.S. del espécimen (gr)	1136.9	1080.3						
Gravedad específica Bulk medida	2.293	2.286						
Factor de corrección por temperatura	1,00	1,00						
Gravedad específica Bulk corregida a 20°C	2.293	2.286						
Densidad de la muestra (kg/m³)	2.287	2.279						

Fuente: Laboratorio

2.1.6.5. Muestreo y unidades de muestra

El muestreo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

Teniendo en cuenta que el tramo de vía corresponde a cuatro (3) Códigos de identificación vial (CIV) según el inventario del IDU y que hacen parte de una sola pavimentación con un solo diseño y con un solo proceso constructivo, se han definido tres (3) unidades de muestra así:

- Unidad de muestra No 1. CIV 13000548 KR 45 ENTRE CALLE 57 Y CALLE 57 A, desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+030, calzada (2) sentido Norte - Sur, con unas dimensiones de 30 m * 7 m, para un área total de 210 m², como se puede apreciar en la ilustración No 26.

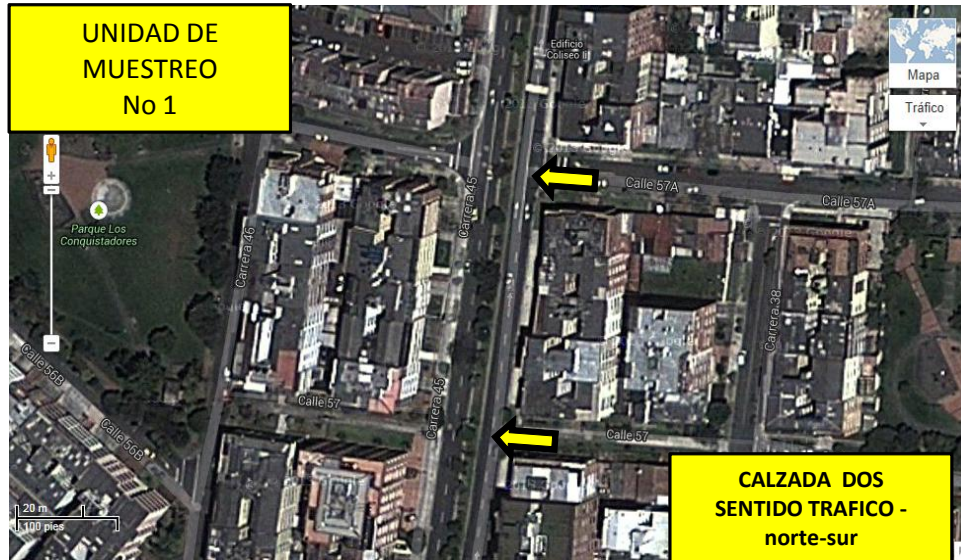


Ilustración 26. Identificación satelital unidad de muestreo 1, Localidad de Teusaquillo. Tomado de www.google maps.com

- Unidad de muestra No 2. CIV 13000486 KR 45 ENTRE CALLE 57 A Y CALLE 57 B, desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+030, calzada (2) sentido Norte - Sur, con unas dimensiones de 30 m * 7 m, para un área total de 210 m², como se puede apreciar en la ilustración No 27.

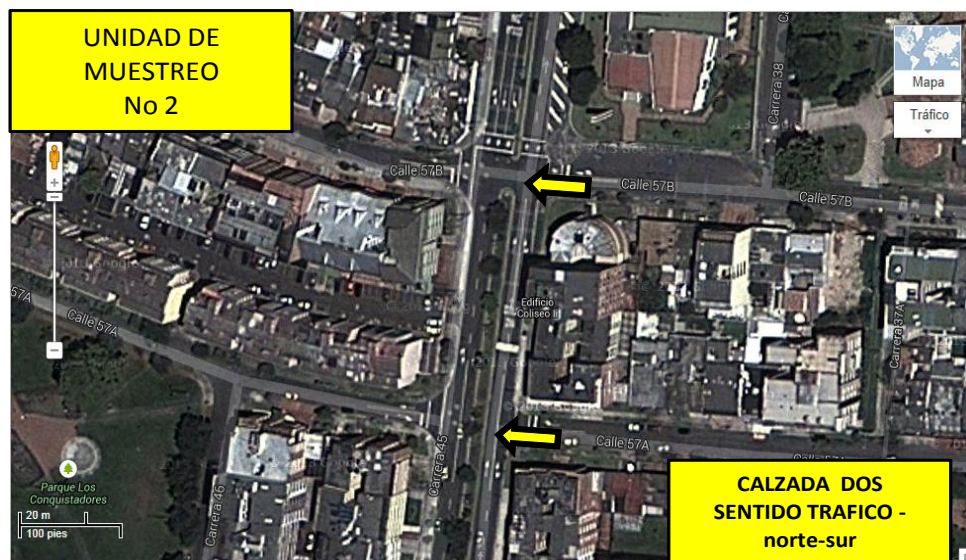


Ilustración 27. Identificación satelital unidad de muestreo 2, Localidad de Teusaquillo. Tomado de www.google maps.com

- Unidad de muestra No 3. CIV 50008257 KR 45 ENTRE CALLE 57 B Y CALLE 58, desde abscisa inicial K0+000 hasta K0+030, calzada (2) sentido Norte - Sur, con unas dimensiones de 30 m * 7 m, para un área total de 210 m², como se puede apreciar en la ilustración No 28.

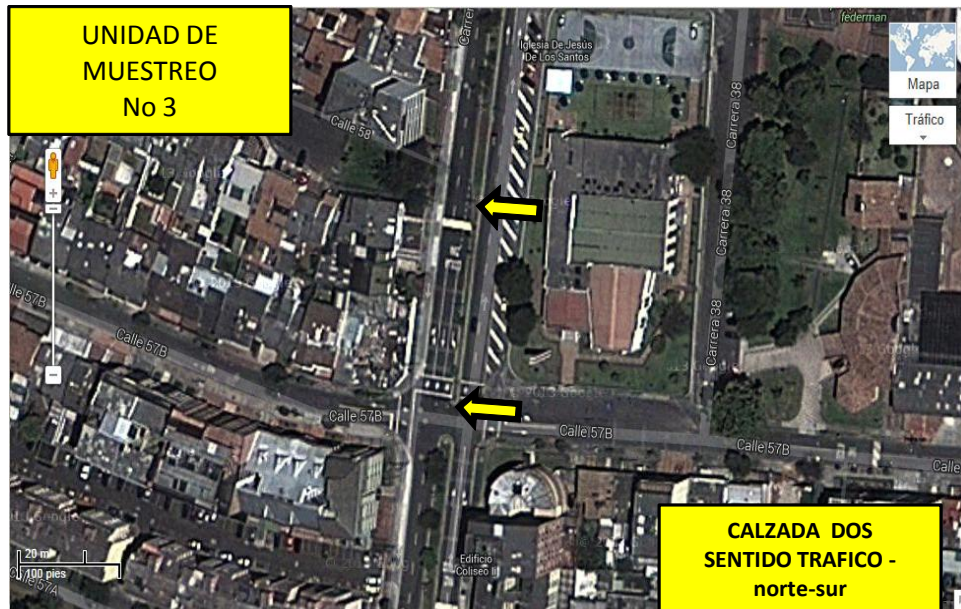


Ilustración 28. Identificación satelital unidad de muestreo 3, Localidad de Teusaquillo. Tomado de www.google.com/maps

2.1.7 RESULTADOS OBTENIDOS EN EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL CL 17 ENTRE KR 96B Y KR 96G

2.1.7.1. Determinación del índice de estado del pavimento

A continuación se explican los datos de campo obtenidos durante la inspección visual de fallas en la KR 45 entre CL 57 y CL 58 A; así como el cálculo del índice de condición de pavimento de cada unidad de muestra analizada. El registro fotográfico de la inspección realizada en las unidades de muestra para este tramo de vía, se encuentran detalladas en el anexo 1.

2.1.7.1.1. Unidad de muestreo No 1

La unidad de muestra U1 tiene 210.00 m² y pertenece al CIV 13000348 KR 45 ENTRE CL 57 Y CL 57 A (calzada No 2 sentido norte-sur), el mismo corresponde a un solo tipo de mezcla asfáltica aplicada modificada con grano de caucho reciclado de llanta (GCR), la estructura diseñada y construida se mantiene a lo largo de todo el segmento, por lo que no se presentan cambios de sección dentro de su área

longitudinales o transversales, o parches en mal estado ni deformaciones tipo abultamiento o hundimientos a lo largo y ancho de la calzada.

2.2.2. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Dentro del estudio, se empleó la Viga Benkelman para establecer la condición estructural del pavimento. Dicho ensayo no destructivo permite establecer las características de rigidez de las capas de la estructura del pavimento existentes, aspectos fundamentales en la modelización de las intervenciones enfocadas a la rehabilitación o aceptación de un pavimento. Ver ilustración No 29.



Ilustración 29. Registró fotográfico toma de deflexiones con Viga Benkelman. Fuente: Propia laboratorio

2.2.3. DIAGNÓSTICO

El estado superficial del pavimento no refleja daños tales como agrietamientos, piel de cocodrilo o fisuramiento transversal o longitudinal dados muchas veces por la rigidez de la estructura del

pavimento o cuando se encuentran zonas débiles ya sea por juntas o ampliaciones generadas en la vía.

- Los segmentos evaluados, están caracterizados por presentar un solo ancho de vía que no genera ni se aprecian juntas de construcción que debiliten la estructura y puedan generar posteriores agrietamientos longitudinales.
- En los segmentos, donde la sección transversal está conformada por una calzada de doble sentido, no se presentan abultamientos o hundimientos de la banca, ni en los bordes internos o externos. Este tipo de patología obedece a la presencia de árboles, los cuales demandan constantemente humedad del suelo, sometiéndolo a frecuentes cambios volumétricos que no es el caso. El estado de la rodadura asfáltica en este sector es aceptable, dado que no se aprecian agrietamientos.
- En general en los segmentos, conformada en una única calzada, no exhiben reparaciones superficiales de ningún tipo, aspecto indicativo de una debilidad estructural de las capas estructurales frente a las sollicitaciones del tráfico. Esto último es concordante con el mayor volumen de vehículos pesados, proyectado para la mayoría de los segmentos analizados.

Dado que el buen aspecto de las vías en todos los segmentos es generalizado en todos sectores con calzada sencilla, no se evidencia desprendimiento de la carpeta por lo tanto no amerita restauración ni se presentan áreas afectadas.

No hay la necesidad de reparar o realizar algún tipo de tratamiento en las capas asfálticas existentes en los segmentos de estudio. No se recomienda tratar la carpetas existentes por otras capas que muestren una mejor textura o acabado de las mismas debido a que no se nota en ellas algún de daño aun estando las carpetas a la acción y exposición directa del tráfico.

Cabe además resaltar, que las alternativas propuestas para el diseño de las vías, están enfocadas a controlar las deformaciones por acción de las cargas del tráfico. Sin embargo, debe tenerse presente que los abultamientos y/o hundimientos de la superficie son consecuencia de las variaciones de humedad a las cuales se ve sometida la estructura por lo tanto es un aspecto que se debe tener en cuenta con el fin de controlar deformaciones en el futuro inmediato.

Los resultados obtenidos en la toma de deflectometrías con la viga Benkelman se encuentran en el Anexo 3 de este documento.

CONCLUSIONES

La metodología PCI para evaluación superficial de pavimentos flexibles determina la condición del pavimento a partir de una descripción y cuantificación de fallas encontradas, ponderando las mismas con una severidad y dependiendo también de las cantidades, el estado superficial de los pavimentos del tramo de vía de la localidad de Bosa (CI 59 Sur) en cada una de sus 6 unidades de muestra (UM) definidas presenta unas condiciones inmejorables y no se registraron fallas durante la inspección visual sobre la carpeta asfáltica, por lo anterior podemos aseverar que el rango de calificación del PCI para este tramo es “Excelente”.

En las cinco unidades de muestra definidas para la Calle 17 Localidad de Fontibón, las cuales fueron determinadas dos (2) UM por cada carril dependiendo el sentido del tráfico para los CIV 9003155 y 9003017, y una (1) UM para el tercer Código 9002903 en el cual el área si permitía tomar una sola (UM), se encontraron fisuras longitudinales y transversales aisladas con extensiones menores y tipo de severidad baja, por lo anterior los valores deducidos obtenidos de las curvas de valor deducido de fallas del anexo 4, los valores obtenidos estuvieron por debajo del rango inicial 0, por lo tanto se puede decir que esta vía también corresponde a un rango de PCI entre 85 y 100 (Excelente)

En las tres (3) UM definidas para la inspección de la Kr 45 en la localidad de Teusaquillo se encontraron fisuramientos longitudinales concentrados en el costado del separador existente de la vía, este tipo de fallas corresponden a posibles desplazamientos del alineamiento original del sardinel que hace parte de la estructura del separador existente, situación debida a la presencia de raíces arbóreas que causan fenómenos como la perdida de humedad natural de las bases de la estructura de pavimento (deseccación), sin embargo a pesar de la presencia de este tipo de fallas en la vía , el estado superficial de la misma es óptimo y las fisuras se encuentran selladas en caliente , por lo que no deberían presentarse áreas de afectación más grandes.

Con base en los resultados obtenidos a partir de la toma de deflexiones con el método de la Viga Benkelman, se puede expresar en conclusión, que el 100% del área está en buenas condiciones, es decir no presenta deterioros en la estructura como piel de cocodrilo, grietas longitudinales o transversales, o parches en mal estado ni deformaciones tipo abultamiento o hundimientos a lo largo y ancho de la calzada, en ninguno de las UM evaluadas.

Con base en la deflectometría practicada, se evidencia que no hay la necesidad de reparar o realizar algún tipo de tratamiento en las capas asfálticas existentes en los segmentos de estudio. Tampoco se recomienda tratar la carpetas existentes por otras capas que muestren una mejor textura o acabado de las mismas debido a que no se nota en ellas algún de daño aun estando las carpetas a la acción y exposición directa del tráfico, ni siquiera en los casos como el de la CL 17 que presenta un alto flujo vehicular de tráfico pesado (camiones y buses), ni en el caso de la CL 56 que soporta cargas del tipo de tráfico de buses alimentadores del sistema de transporte masivo Transmilenio.

Las evaluaciones realizadas y los resultados obtenidos con los métodos aplicados nos confirman lo que dice la teoría sobre los asfaltos modificados con grano de caucho reciclado de llanta (GCR), que las carpetas asfálticas construidas con este componente presentan una menor reflexión de grietas, una mayor resistencia al ahuellamiento y una mayor resistencia a la fisuración por fatiga a cargas repetitivas.

El grano de caucho reciclado de llantas (GCR) puede ser utilizado confiablemente para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, lo anterior usándolo como un modificador del ligante, es decir “proceso por vía Húmeda “descrito en este documento.

Los ligantes y mezclas con asfalto modificado con GCR constituyen una gran alternativa al problema ambiental con la disposición de sobrantes de llantas.

A pesar de todas las bondades que pueden presentar este tipo de mezclas asfálticas , hay que tener en cuenta que los costos de una mezcla asfáltica mejorada con GCR son mayores que los de una mezcla asfáltica convencional.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberca, M. (2011). *ASFALTO*. Recuperado el 06 de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/62788741/Asfalto-1>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (28 de 08 de 2007). *ESTRUCTURA DE LAS LOCALIDADES*. Recuperado el 06 de 2013, de <http://archive.today/x0ew>
- Batasso, H. G., González, R., Rivera, J., & Rebollo, O. (s.f.). *UTILIZACIÓN DE CAUCHOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Recuperado el 19 de 06 de 2013, de <http://www.frlp.utn.edu.ar/lemac/Publicaciones/Del%202003/Utilizacion%20de%20cauchos%20en%20mezclas%20asfalticas-XII%20CILA.pdf>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2006). *GUÍA PARA EL MANEJO DE LLANTAS USADAS*. Recuperado el 06 de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/198552387/Guia-Para-El-Manejo-de-Las-Llantas-Usadas>
- Cempre Uruguay. (1998). *MANUAL DE GESTIÓN INTEGRAL RESIDUOS SOLIDOS URBANOS*. Recuperado el 19 de 06 de 2013, de <http://www.cempre.org.uy/>
- Dunlop, J. B. (1888). *HISTORIA DE LOS NEUMATICOS*. Recuperado el 19 de 06 de 2013, de <http://www.hankooktire-eu.com/es/tecnologia/historia-de-los-neumaticos.html>
- Hoffman, M., & Del Aguila, P. (1985). *ESTUDIOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS BASADOS EN LA INTERPRETACIÓN DE CURVAS DE DEFLEXIONES*. Recuperado el 06 de 2013, de <http://www.camineros.com/docs/cam039.pdf>
- Instituto de Desarrollo Urbano IDU y Alcaldía Mayor de Bogotá. (2011). *ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO MODIFICADO EN BOGOTÁ*. Recuperado el 06 de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/98336080/Asfalto-modificado-con-grano-de-caucho-reciclado-en-Bogota>

Universidad de los Andes - Instituto de Desarrollo Urbano. (12 de 2005). *SEGUNDA FASE DE LAS MEJORAS MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DESECHOS DE LLANTAS*.

Recuperado el 06 de 2013, de

file:///C:/Users/Ing%201/Downloads/mejoras_mecanicas_mezclas_asfalticas_desechos_llantas_segunda.pdf

Universidad de Piura. (05 de 10 de 2009). *CALCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE*. Recuperado el 06 de 2013, de

http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1350/ICI_180.pdf?sequence=1