



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

BOGOTÁ
HUMANANA

idu

BOLETÍN TÉCNICO No 4

RESULTADOS DE LOS TRAMOS TESTIGO INTERVENIDOS CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO - GCR



Marzo de 2015

Instituto de Desarrollo Urbano
Subdirección General de Desarrollo Urbano
Dirección Técnica Estratégica

Contenido

1. Resumen
2. Introducción
3. Investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para el desarrollo de la infraestructura urbana terminada
4. Adaptación, aplicación y seguimiento de las tecnologías de la construcción de pavimentos.
5. Resultados
6. Conclusiones

William Fernando Camargo Triana
Dirección General

Juan Carlos Montenegro Arjona
Subdirección General de Desarrollo Urbano

Sully Magalis Rojas Bayona
Dirección Técnica Estratégica

Grupo de Investigación y Desarrollo

Diana Patricia Beltrán
Martha Jimena Bayona
Jhon Jairo Cifuentes Díaz
Vicente Edilson Leal Moreno
Oscar Mauricio Velásquez
Jorge Luis Burgos Rosas
Juan Pablo Nieto Mora

Calle 22 # 6-27
Sede alterna: Calle 20 No. 9-20
Código postal: 110311
Teléfono: (571) 338 6660

1. RESUMEN

El Instituto de Desarrollo Urbano (*IDU*), es la Entidad encargada de garantizar la ejecución, eficiente y eficaz de los proyectos de infraestructura de los sistemas de movilidad de la ciudad de Bogotá D.C. asociados al desarrollo urbano integral. Es así, que para lograr este objetivo, el IDU entre las actividades adelantadas, ha desarrollado **desde el año 2002 una serie de actividades tendientes al proceso de investigación, seguimiento y análisis del comportamiento de algunas estructuras de pavimento que conforman la malla vial urbana de la ciudad.** Producto de lo desarrollado, a la fecha el IDU, ha logrado conformar una estructura experimental de seguimiento, sobre toda la superficie de la ciudad en zonas dispersas y estratégicas, para lo cual se ha dispuesto de aproximadamente de 154 km-carril que equivalen al 1% de la extensión de toda la malla vial urbana de Bogotá, siendo este uno de los procesos a gran escala adelantados para el análisis del comportamiento de pavimentos en Colombia.

Dentro de esta estructura experimental, además de evaluar materiales convencionales, se han incorporado nuevas tecnologías entre las cuales se incluyen mezclas tibias, mezclas con grano de caucho y concretos reciclados.

La etapa de evaluación del comportamiento de dichos materiales, definida en un periodo de tiempo, contempla la toma de datos de diagnóstico, tales como: levantamiento de fallas, cálculo del IRI, medición de deflexiones, medición de transferencia de carga y determinación de espesores, así como los aspectos relacionados con su construcción, las propiedades de los materiales que conforman la estructura y solicitaciones de tráfico. **Este trabajo ha permitido desarrollar especificaciones técnicas para nuevas tecnologías en Bogotá, con el fin de incentivar el uso de tecnologías ambientalmente sostenibles.**

2. INTRODUCCIÓN



En Bogotá D.C, la red vial está conformada por el subsistema vial y de transporte. El subsistema vial está compuesto por la malla vial arterial, intermedia y local.

El sistema de transporte de la ciudad está conformado por diferentes modos de transporte masivo y sus respectivas infraestructuras complementarias, concebidos para lograr un funcionamiento integrado, interdependiente y complementario de la ciudad.

De acuerdo a las estimaciones realizadas por el IDU, a diciembre de 2013, **la red vial de Bogotá, alcanza aproximadamente 15.400 kilómetros-carril, de los cuales el 93,25% (14.361 km-carril) corresponden al subsistema vial y el 6,75% (1.039 km-carril) al subsistema de transporte.**

Ahora bien, en Bogotá, el IDU es la entidad encargada de garantizar el eficiente y eficaz desarrollo urbano integral de los proyectos de infraestructura de los sistemas de movilidad y espacio público, asegurando su funcionalidad y sostenibilidad para atender las necesidades de accesibilidad, conectividad y articulación urbano regional, contribuyendo con la productividad y competitividad de la ciudad y mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

Entre sus funciones tiene la de realizar la investigación constante de nuevas tecnologías, técnicas y normas en materia de gestión y desarrollo de la infraestructura para los sistemas de movilidad y espacio público construido.

Para lo cual, le fue necesario establecer un **PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO** que permitiera identificar, estructurar y ejecutar las actividades necesarias para suplir las necesidades de investigación, desarrollo e innovación tecnológica, que se presentan dentro del campo de la infraestructura vial, de tal manera que permitiera conectar los avances tecnológicos y la investigación aplicada con las obras de la ciudad mediante la normalización y transferencia de tecnología.

La parte inicial de este documento presenta el modelo de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías aplicado para el desarrollo de la infraestructura urbana. La segunda parte describe la estructura experimental de seguimiento al comportamiento de algunas estructuras de pavimento que conforman la red vial urbana. Finalmente, la última sección presenta los resultados y conclusiones más relevantes que se han obtenido con este trabajo.

3. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA URBANA TERMINADA

Entre los productos del **PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**, se ha elaborado un **PROTOCOLO DE ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVOS PRODUCTOS, TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS PARA DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA URBANA TERMINADA**, este protocolo formula los parámetros, criterios y procedimientos básicos para la evaluación e implementación de nuevos productos, técnicas y tecnologías, para el desarrollo de la infraestructura urbana a cargo del IDU, que sean de interés de particulares ofrecer y del IDU implementar.

Este procedimiento consta de las siguientes etapas:

- **Etapas de presentación:** Consiste en determinar a partir de la descripción y análisis económico (*costos: directo, instalación, operación, mantenimiento y oportunidad*) de la técnica, producto o nueva tecnología que presente un oferente al IDU, si es necesaria, ofrece beneficios y bondades, y cuenta con viabilidad económica para el desarrollo de la infraestructura vial urbana.
- **Etapas de diseño y ejecución:** Corresponde a la selección y diseño de un tramo testigo en la malla vial de la ciudad, para la incorporación y evaluación técnica de la propuesta bajo condiciones reales de operación. Los objetivos de esta etapa son: 1) mediante el desarrollo de ensayos de laboratorio y pruebas de campo controladas, hacer el seguimiento que permita durante un lapso de tiempo determinado, establecer las bondades o limitaciones de la propuesta en evaluación. 2) Evaluar las técnicas de construcción o materiales mediante la comparación con otros ya conocidos.
- **Etapas de monitoreo:** Para la evaluación del desempeño y comportamiento de la estructura de pavimento a lo largo del tramo testigo se define según el producto, técnica o tecnología, las características relevantes a evaluar y los equipos requeridos para medir dichas características así como el número de ensayos y la frecuencia de toma de información. Con base en la información obtenida se elaboran informes periódicos de la información de diagnóstico tomada y procesada para cada uno de los tramos testigo.
- **Etapas de generación de normativa:** Según las necesidades del IDU y los resultados obtenidos a partir de la ejecución del tramo de testigo, se determina la viabilidad de desarrollar una especificación técnica, en cuyo caso se ejecuta un estudio complementario en laboratorio. Con los resultados de la etapa experimental se complementa el borrador de especificación técnica y se adopta dicha especificación técnica.

4. ADAPTACIÓN, APLICACION Y SEGUIMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

A. Tramos testigo para pavimentos

Se definen tramos testigo para la ciudad de Bogotá, aquellos segmentos de la red vial de la ciudad que se han empleado para el seguimiento, evaluación y adaptación de nuevas tecnologías o materiales para la infraestructura vial, así mismo, se definen como elementos para la generación y calibración de curvas de deterioro, lo anterior dentro del planteamiento de modelos de deterioro para pavimentos. El segmento está definido como la mínima unidad espacial representativa del eje de la red vial.

La figura 1 presenta gráficamente el segmento vial.

La condición de tramo testigo se alcanza cuando se cumplen las siguientes características:

- 1) Control total en todas las etapas y capas de materiales que hacen parte de la estructura de pavimento.
- 2) Conocimiento del tránsito durante el periodo de seguimiento.
- 3) conocimiento del tipo de suelo de subrasante.

En caso de corresponder a la evaluación de materiales o procesos constructivos, se debe tener un segmento "control", el cual se emplea como referencia y comparación de materiales y métodos tradicionales.

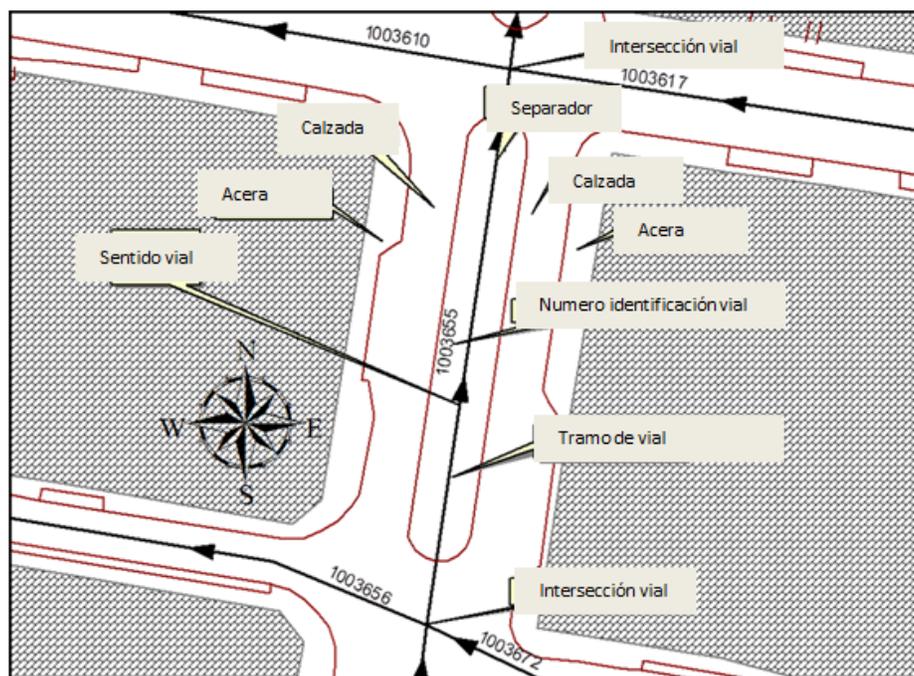


Figura 1. Segmento vial

B. Estrategia de Implementación

Para la materialización de tramos testigo, el IDU desarrolla dos estrategias, la primera corresponde a la generación de estudios especializados de investigación de laboratorio, seguimiento y pistas de prueba controladas, mediante contratos o estudios de consultoría; la segunda estrategia, corresponde a la incorporación en los contratos de obra (construcción y conservación), cláusulas en las cuales se da la opción de presentar tecnologías novedosas para el medio de la ingeniería vial nacional o local, si la alternativa presentada cuenta con el soporte técnico suficiente y los elementos necesarios que permitan su implementación, se da la posibilidad de que se generen tramos testigo.

Las condiciones que se requieren para que se generen tramos testigo en los contratos de obra, son las siguientes:

- 1) Duración mínima mayor a seis (6) meses y
- 2) Incluyan actividades de construcción, reconstrucción o rehabilitación.

Lo anterior, para garantizar el seguimiento por lo menos cada seis (6) meses de los parámetros definidos como elementos de control.

C. Estrategia de seguimiento

Los parámetros técnicos de control definidos para el seguimiento de los tramos testigo, corresponden a aquellos que permiten evaluar condiciones estructurales, superficiales y funcionales. Los anteriores parámetros se evalúan mediante análisis

deflectométrico con equipos FWD para la condición estructural, evaluación superficial de fallas siguiendo la metodología PCI y la definición del IRI como parámetro funcional.

D. Primera experiencia

Como parte de un programa de investigación para mejorar el comportamiento de las mezclas bituminosas que se colocan en la ciudad de Bogotá D.C, para el año 2001 el IDU con la Universidad de los Andes de Colombia y apoyo financiero del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), desarrolló el estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas.

El estudio inicio con el proceso de recopilación de información y continuó con la etapa de laboratorio en la cual se evaluaron las propiedades mecánicas de las

mezclas asfálticas mejoradas con caucho, y el efecto en la vida útil que esta aporta al pavimento. Posteriormente con base en las mejores condiciones logradas se decidió probar los resultados obtenidos en laboratorio mediante el empleo del carrusel de fatiga.

Para el año 2003 se continuó con la segunda fase del estudio, con el propósito de desarrollar a escala real el proceso de producción, diseño, construcción y seguimiento con la implementación de un tramo testigo. La figura 2 presenta la localización y características del tramo testigo.

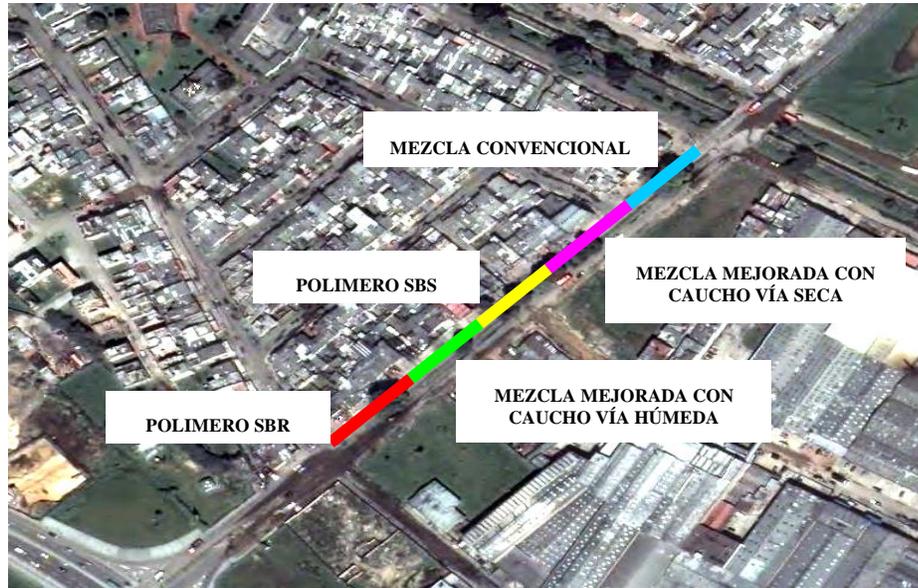


Figura 2. Construcción de un tramo experimental en servicio para evaluar el comportamiento de mezcla con GCR (2004)

*El tramo testigo implementado correspondió a la selección de 5 segmentos viales continuos con ancho de calzada de 7 metros y **una longitud total de 270 metros, este se encuentra ubicado en el sector de Álamos.***

Sobre cada segmento se instalaron diferentes mezclas asfálticas para evaluar su comportamiento: mezcla convencional, mezcla asfáltica mejorada con caucho vía seca, mezcla asfáltica con polímero SBS, mezcla asfáltica mejorada con caucho vía húmeda y mezcla asfáltica con polímero SBR.



(a)



(b)



(c)



Figura 3. Tramo testigo: (a) flujo vehicular, (b) condición inicial del pavimento, (c y d) proceso constructivo, (e) condición final y (f) inicio seguimiento

Luego de un año de seguimiento, el tramo con mezcla con ligante asfalto-caucho ha presentado los mayores índices de durabilidad en relación con la mezcla no modificada y modificada con polímeros, por lo tanto se evidenció los beneficios que ofrece la modificación de ligantes con desechos de llantas. Como resultado de todo el proceso se desarrollaron las especificaciones técnicas generales para el empleo del GCR en la

elaboración de mezclas asfálticas, situación que activo la iniciativa para su uso masivo en las obras de construcción y conservación que actualmente se desarrollan en la red vial de Bogotá. Adicionalmente con el desempeño que ha presentado se logró la adopción para su aplicación en la red vial nacional de Colombia.

E. Calibración curvas de deterioro

Teniendo en cuenta el interés del IDU de disponer de modelos de predicción ajustados a las condiciones de Bogotá, que hagan más realistas y confiables las estimaciones de la evolución del deterioro de los pavimentos a futuro, permitiendo establecer planes de conservación que optimicen los recursos disponibles y minimicen los costos de operación de la red vial, a partir del año 2002 dio inicio al desarrollo del estudio de calibración de curvas de deterioro para los pavimentos de Bogotá, el cual se ha venido desarrollando por fases. Producto de este estudio al año 2007 se logró tener los primeros modelos de deterioro para pavimentos flexibles, rígidos y en afirmado, basados en los modelos de deterioro de

HDM-4 y los modelos de deterioro particulares para pavimentos en adoquín.

La calibración de los modelos de deterioro que predice HDM-4 se llevó a cabo la metodología de ventanas, la cual agrupa segmentos con características homogéneas y edades diferentes, con el objeto de constituir las curvas de deterioro que representen el conjunto.

Para el desarrollo de la calibración de los modelos fue necesaria la implementación de 1027 segmentos testigo como muestra para que la calibración tuviera un nivel de confiabilidad importante.

Tabla 1.
Tramos testigo para curvas de deterioro para pavimentos

Tipo superficie	Número de segmentos muestra	Número de pistas de calibración
Flexible	562	377
Rígido	318	291
Adoquín	47	46
Afirmado	100	40
Total	1027	754

Sobre estos segmentos testigo se realizó trabajo de campo con el levantamiento de fallas, cálculo del IRI, medición de deflexión (*pavimentos flexibles*) con Falling Weight Deflectometer (*FWD*), medición de transferencia de carga (*pavimentos rígidos*) con *FWD*, toma de espesores con georradar y núcleo.

F. Condición actual

Desde el año 2008, el IDU optó por incluir en los contratos de obra (*construcción y conservación*), cláusulas en las cuales se da la opción de presentar tecnologías novedosas para el medio de la ingeniería vial nacional o local, con la construcción de segmentos testigos a los cuales se les hace seguimiento por medio de la toma de los siguientes datos de diagnóstico: levantamiento de fallas, cálculo del IRI utilizando equipos clase I ó II para medir el perfil, medición de deflexión (*pavimentos flexibles*), medición de transferencia de carga (*pavimentos rígidos*) y determinación de espesores, así como los aspectos relacionados con su construcción, las propiedades de los materiales que conforman la estructura y solicitaciones de tráfico.

Producto de lo anterior, **a la fecha el IDU cuenta con 236 segmentos testigos en seguimiento**. En la tabla 2 se relacionan el número de segmentos viales que se encuentran en seguimiento, asociado a los nuevos productos, técnicas y tecnologías que se han aplicado y aquellos con materiales y técnicas convencionales:

Adicional al análisis del comportamiento de los nuevos productos, técnicas y tecnologías aplicadas en los tramos testigos, la información de diagnóstico tomada se incluye al estudio de curvas de deterioro para complementar y ajustar a condiciones más reales el desempeño de las estructuras de pavimentos de Bogotá D.C.

Tabla 2.
Tramos testigo en seguimiento

Tecnología	Número de segmentos*
Mezclas asfálticas GCR	13
Mezclas asfálticas tibias	4
Mejora subrasantes con Geoceldas	3
Concreto Hidráulico con Fibras en acero	1
Mezclas asfálticas PVC	1
Mezclas asfálticas convencionales	214

Nota: *La cifra es variable constantemente, considerando la periodicidad de la construcción de nuevos tramos testigo.

5. Resultados

Producto de la estrategia implementada de tramos testigo, se tienen la disponibilidad en la superficie de Bogotá sobre zonas dispersas y estratégicas de aproximadamente de **154 km-carril de tramos testigo, que equivalen al 1% de la extensión de toda la red vial urbana de Bogotá**, para el análisis y seguimiento de nuevas técnicas o tecnologías, así como, para el desarrollo de curvas de comportamiento de pavimentos.

Por otra parte, el seguimiento y documentación de los tramos sobre los cuales se aplicaron materiales o técnicas constructivas novedosas en el medio local, permitió la adaptación y posterior adopción de técnicas como es el caso de éxito de las mezclas asfálticas mejoradas con grano de caucho reciclado de llantas usadas, material que actualmente cuenta con especificación técnica para Bogotá D.C. desde el año

2010 y que se constituyó en el soporte para la generación de la especificación aplicable a nivel nacional.

Dentro del mismo esquema de implementación, se tiene previsto la incorporación y generación de especificaciones técnicas para los materiales que fueron objeto de tramos testigo y que están en seguimiento actualmente, garantizando la incorporación y renovación tecnológica a la ciudad.

Implementar un modelo de deterioro de pavimentos que permita predecir el comportamiento de los mismos a través del tiempo, con lo cual el IDU tendría una herramienta adecuada para estimar el alcance de las acciones de conservación para alcanzar un cierto nivel de servicio durante un período de tiempo dado a partir de datos de inventario y diagnóstico.

6. CONCLUSIONES

Como meta y objetivo de implementar los modelos de deterioro para pavimentos, que permita predecir el comportamiento de los mismos a través del tiempo, constituye una herramienta mediante la cual el IDU podría estimar el alcance de las acciones de conservación para alcanzar un nivel de servicio definido, durante un período de tiempo dado a partir de datos de inventario y diagnóstico. Así mismo, establecer la oportunidad de intervención sobre corredores viales, alcanzando niveles de planeación de recursos que permita soportar cualquier toma de decisión.

El esquema presentado se encuentra articulado dentro del programa de investigación y desarrollo, entregando elementos que complementan objetivos comunes, como son la actualización constante de especificaciones técnicas, el seguimiento de proyectos y la optimización de recursos.

El esquema desarrollado permite generar espacios para la investigación aplicada, teniendo como laboratorio la red vial, bajo estándares de seguimiento y control que garanticen el proceso de adaptación y adopción de técnicas, tecnologías o materiales de manera responsable.

REFERENCIA

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2014). *Toma de información de diagnóstico para los tramos testigo - Fase I*, Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2014). *Instructivo: protocolo de adopción y adaptación de nuevos productos, técnicas y tecnologías para desarrollo de la infraestructura urbana terminada*, Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2014). *Guía: toma de información técnica de inventario, diagnóstico y ensayos para la gestión de la infraestructura vial y espacio público*, Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2014). *Anexo técnico: diagnóstico para conservación de infraestructura vial v5.0*, Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2013). *Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público v3.0*, Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2007). *Calibración de las curvas de deterioro de los pavimentos - Fase III*, Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2005). *Segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba*, Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2005). *Calibración de las curvas de deterioro de los pavimentos - Fase II*, Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2003). *Calibración de Curvas de Deterioro de Bogotá - Fase I*, Bogotá, Colombia.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2002). *Estudio de las Mejoras Mecánicas de Mezclas Asfálticas con Desechos de Llantas*, Bogotá, Colombia.