

2. GESTIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES BASADO EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA RED VIAL DE BOYACÁ, COLOMBIA

Andrés Leonardo Silva Balaguera
Diego Fernando Gualdrón Alfonso

2.1 Introducción

La red vial de Colombia se encuentra a cargo de entidades nacionales (Instituto Nacional de Vías “INVÍAS” y la Agencia Nacional de infraestructura “ANI”), y entidades territoriales como Departamentos y Municipios; donde la red vial es asignada de manera ponderada. Las vías de carácter primario están a cargo del INVÍAS y la ANI, quienes a su vez tienen parte de la red secundaria y terciaria. Las redes secundarias y terciarias se encuentran a cargo de los departamentos y municipios. En el caso de departamento de Boyacá, se cuenta con aproximadamente 17415 km en total, de los que se han definido 5176 Km en vía secundaria y terciaria a la gobernación del departamento; el restante es adjudicado a INVÍAS, ANI y en vías terciarias a las alcaldías municipales (Gobernación de Boyacá, 2020).

De los 2275 km de red secundaria, que se encuentran a cargo del Departamento de Boyacá el 43.6 % tienen superficie de rodadura en pavimento (asfalto o concreto), y el 56.4 % en afirmado (material granular) (Gobernación de Boyacá, 2020). Del total de las vías terciarias el 0.8 % está en pavimento (asfalto o concreto), el 82.6 % en afirmado y el 16.6% en material granular (tierra). Según la gobernación, el total de la red se encuentra en un estado 14% bueno, 57% regular y 29 % malo (Gobernación de Boyacá, 2016). En el Departamento de Boyacá existen rutas de transporte de carga y pasajeros muy importantes, que permiten establecer los diferentes flujos vehiculares con rutas de origen y destino departamentales, nacionales e internacionales, con un orden de importancia según los volúmenes transportados desde las áreas de desarrollo internas y externas. En la red vial secundaria del departamento, se movilizan un total de pasajeros anual de 5.297.712 y un total de carga anual de 24.100.440 toneladas. Información tomada del Plan Vial de Boyacá 2009.

Cabe reconocer, que el departamento no cuenta con bases de datos detalladas (información dispersa e incompleta) de la red vial a cargo. La información disponible está conformada por reportes de consultoría, construcción, interventoría y supervisiones (espesores, módulos de capas, procesos constructivos, materiales, auscultaciones, etc.). Una amplia cantidad de esta información, se encuentra almacenada en informes técnicos que hace, muchas veces, difícil su recuperación y uso en bases de datos espaciales. Más aún, con las referencias en que la gestión de infraestructura vial se fundamenta, hoy en día y en muchos países, en el uso de herramientas de análisis espacial y Geodatabases para mejorar la toma de decisiones.

En Colombia, un ejemplo de aplicación de las bases de datos espaciales, es el Sistema Integral Nacional de Carreteras (SINC), alimentado de información entregada por las entidades encargadas de la red vial. Este sistema busca georeferenciar la información de la infraestructura vial como un inventario (Ministerio de Transporte, 2015), se observa su aplicación en el INVÍAS, con el sistema HERMES. Esta información relevante y se recomienda generar una metodología, que con adecuado uso de tecnologías, herramientas computacionales y gestión de pavimentos optimice la condición actual de manera sustentada y con mejoras económicas a futuro. Metodología que puede centrarse como referencia para el desarrollo de la gestión vial a nivel departamental.

Debido a que Colombia es un país en desarrollo, la condición o estado de la red vial secundaria y terciaria actual es mayormente regular y mala, por lo que el enfoque de la gestión de vías se centra en construir toda la red vial posible. Los recursos a cargo de las entidades son pocos, por lo que se entiende una limitada información y recurrente toma de intervenciones sin bases técnicas de caracterización o adecuada gestión. La principal forma de priorizar recursos del departamento de Boyacá, se realiza mediante el plan vial departamental, en cual se evalúa principalmente bajo la cantidad de pasajeros y carga (comercio) en la red. Estas dificultades presupuestales también impactan posibles proyectos de mantenimiento de pavimentos que requieren de información primaria, asociada con estudios que no es posible contratar, razón por que en varias oportunidades se deben tomar decisiones con la información secundaria disponible y con un mínimo de información primaria que, a su vez, implique bajos costos.

2.1.1 Gestión de pavimentos

El buen servicio de un pavimento está representado en su capacidad para proporcionar a los usuarios comodidad, seguridad y economía. La recuperación del nivel de servicio de un pavimento en uso, por medio de obras de rehabilitación, se hace necesaria por una o más de las siguientes razones (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008):

- Incomodidad para la circulación vehicular.
- Exceso de defectos superficiales.
- Reducción de la adherencia entre la calzada y los neumáticos de los vehículos.
- Necesidad excesiva de servicios de mantenimiento rutinario.
- Costos de operación elevados para los usuarios.
- Capacidad estructural inadecuada para las solicitaciones del tránsito previsto

Las actividades requeridas para la rehabilitación de las estructuras de pavimento se hacen más importantes, en magnitud y costo, a medida que ellas se deterioran a causa de los efectos ambientales y el tránsito. El énfasis en la administración o gestión de pavimentos es la preservación de la inversión inicial, mediante la aplicación oportuna de tratamientos adecuados de mantenimiento y de rehabilitación para prolongar la vida de estas estructuras (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

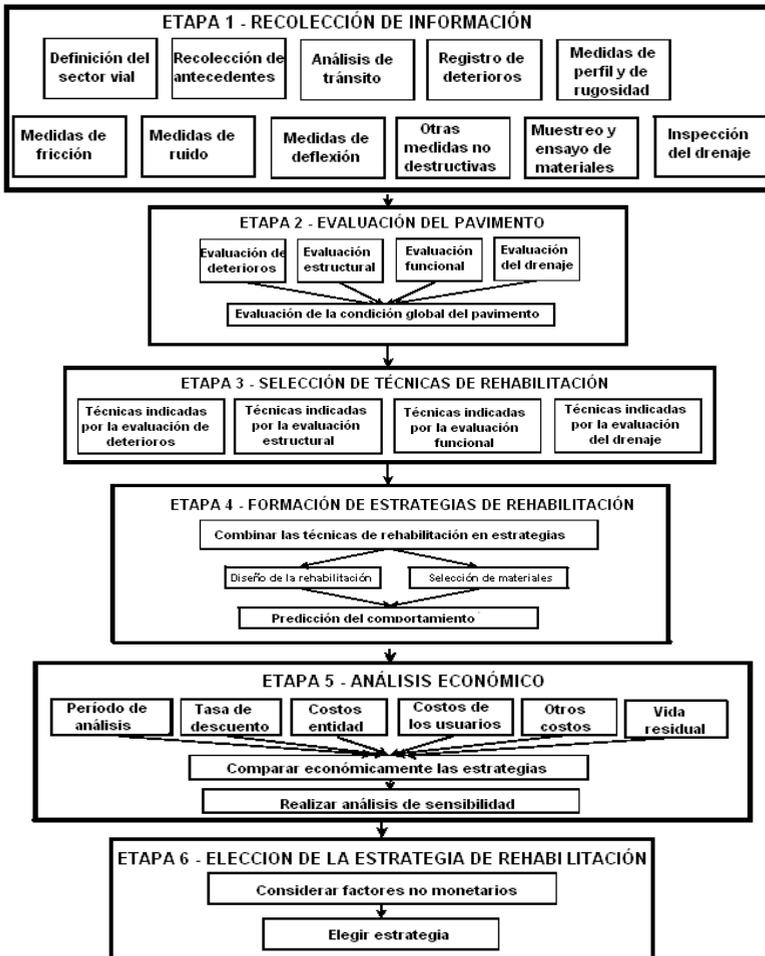
La gestión de pavimentos realiza el monitoreo de la condición de estos, en la fase de post-construcción, de forma preventiva se realiza el mantenimiento y rehabilitación bajo tratamientos especiales, y un análisis económico de alternativas. Un sistema de gestión de pavimentos, es un procedimiento de recolección, análisis, mantenimiento y reporte de información, que sirve de base en la toma de decisiones para optimizar las estrategias de mantenimiento en los pavimentos, buscando una condición servicial para un periodo de tiempo al menor costo posible (Vitillo, 2013).

En el estado actual de la práctica de la ingeniería de pavimentos, en el que las actividades de planeación, diseño, construcción, mantenimiento y rehabilitación se deben vincular dentro de un marco único de carácter integral, el diseñador de la estructura tiene la libertad de considerar múltiples estrategias alternativas de actuación durante un período de análisis relativamente prolongado -restringido únicamente por las limitaciones tecnológicas, ambientales y presupuestales- las cuales somete a un análisis de costos

durante el ciclo de vida, considerando las posibilidades y las restricciones, que resulten más favorables para la comunidad.

El INVÍAS recomienda el diseño y comparación de alternativas técnicamente viables de rehabilitación, de acuerdo con la capacidad estructural y funcional del pavimento por intervenir, así como la disponibilidad inmediata de fondos para su materialización, realiza un análisis de costos durante el ciclo de vida de ellas, suponiendo unas condiciones razonables de intervención en el futuro. De esta manera, propone el siguiente seguimiento para la selección de una rehabilitación adecuada al pavimento:

Figura 2-1 Proceso del diseño de la rehabilitación del pavimento



Fuente: (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008)

2.1.2 Prácticas existentes

A nivel mundial, el uso de Sistemas de Información Georreferenciada (SIG), ha tomado importante aceptación debido a la facilidad de integración de la localización de datos e introducción de información necesaria en la toma de decisiones para los proyectos. El sistema de datos georreferenciados, permite el ingreso y procesamiento de información en tiempo real, de parámetros establecidos en la evaluación del pavimento. Las aplicaciones de SIG con los Sistemas de Gestión de Pavimentos (SGP), llegan a una selección o interpretación de la priorización de recursos que otorgan el mayor beneficio a la región. La facilidad de consulta del SIG, brinda eficiencia en el manejo de información para las autoridades a cargo de la red vial (Adeleke, et al, 2015).

Los SGP, se enfocan principalmente en dos niveles; nivel de red y proyecto. El nivel de red comprende la posible infraestructura a cargo de una entidad y el nivel de proyecto un tramo definido dentro de la red o particular, que requiere mayor detalle en la evaluación del pavimento para su intervención. En los SGP, se analizan el tránsito promedio diario anual (TPDA) (Hafez, et al, 2017) y una evaluación técnica del pavimento (funcional y estructural) (Carlos Higuera, 2015). El análisis del TPDA en los tramos viales, ha permitido identificar las zonas con mayor influencia (Chen, et al, 2014) y su distribución vehicular, debido al impacto que este genera en el pavimento (Iliya Yut, et al, 2017). En algunos casos, estos estudios han permitido organizar el flujo de tránsito, de tal manera, que en la ciudad no afecten rápidamente las estructuras de pavimento (Sitányiová & Mužík, 2013). En otros parámetros importantes en el análisis del estado del pavimento, se contempla la red vial y condición topográfica de Nepal, similar a Colombia; donde se advierte que es importante evaluar la pendiente del terreno, debido a la estabilidad o susceptibilidad de falla en la infraestructura vial por los tipos de terrenos (Pantha, et al, 2010).

2.1.3 Evaluación técnica de los pavimentos

Los SGP, se enfocan en los parámetros que inciden en el pavimento como: tránsito, condición estructural (deflexión, módulo resiliente, estructuras de capas) y condición superficial del pavimento (Regularidad, fricción y auscultación) (Hafez et al., 2017). Estos parámetros miden detalladamente el estado del pavimento y así, se prevén las intervenciones a realizar para dar una mayor durabilidad a bajo costo.

2.1.3.1 Daños en el pavimento

El parámetro con mayor uso para la evaluación del pavimento a nivel internacional es la condición del pavimento (PCI), en la Tabla 2-1 se muestran algunos daños presentes en el pavimento flexible.

Tabla 2-1 Daños comunes en el pavimento flexible

Categoría	Tipo de daño
Grietas	Longitudinal, transversal, bloque, borde, reflectiva y fatiga
Deformación	Ahuellamiento, corrugado, depresiones y empuje
Deterioro	Baches, parches, pulimento, descascaramiento, fragilidad (piel de cocodrilo inicial) y bombeo
Material inadecuado	Segregación y sangrado

Fuente: (Kumar & Gupta, 2010)(M. M. E. Zumrawi, 2015)

El PCI fue desarrollado por la U.S. Army Corps of Engineering, y es una metodología de evaluación y clasificación de daños que mide de forma objetiva y ponderada los daños presentes en el pavimento. Se desarrolla con el tipo de daño, nivel de severidad y densidad sobre el pavimento. Es un indicador que va de 0 (Falla) a 100 (Bueno) y normalmente se evalúa en tramos seleccionados por el tipo de pavimento (U.S. Army Corps of Engineering, 2001).

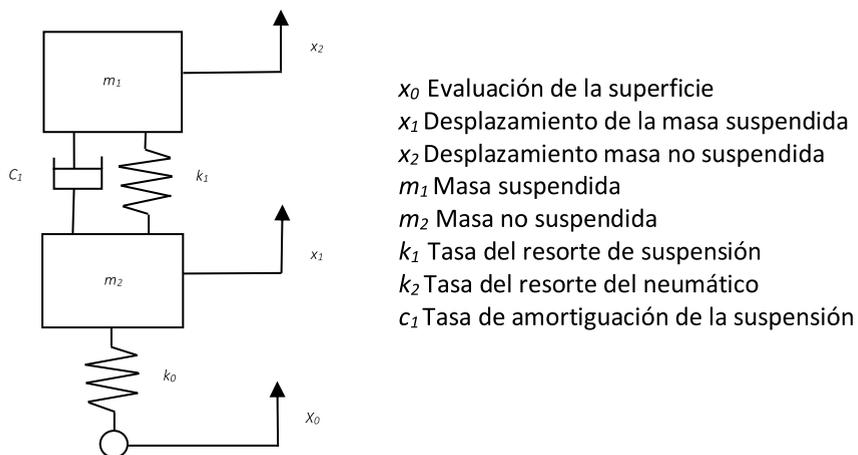
Actualmente, la normativa Colombia INVIAS, adopta la metodología francesa VIZIR para evaluar los daños del pavimento, en la que se interpretan daños tipo A y B relacionados con la condición estructural y funcional respectivamente. Con los daños inventariados, se obtienen los índices de fisuración (If) y deformación (Id) basados en los daños de tipo A, que combinados representan el índice de deterioro superficial (Is) del pavimento que va en un rango de 1 a 7, aunque debe ser corregido por el porcentaje de reparación presente en el pavimento (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Se han desarrollado comparaciones (Cerón-Bermúdez, 2006; Pinilla, 2007; Sierra Díaz & Rivas Quintero, 2016) entre ambas metodologías que permiten concluir favorabilidad por el PCI, debido a los rangos de clasificación que van desde 0 hasta 100, así mismo, se observa que la metodología PCI, evalúa la mayoría de daños conocidos para la superficie del pavimento. Como debilidad se observa del PCI, que la clasificación “daños”, es más compleja y detallada.

2.1.3.2 Regularidad en el pavimento

El segundo parámetro más evaluado es el de regularidad, mediante el índice de regularidad internacional (IRI) (m/km), que se aconseja sea menor a 1.5 m/km; el IRI modela un cuarto de carro a una velocidad de 80 km/h en una variación del perfil en forma longitudinal, fue desarrollado en 1986, con experimentos en vías de Brasil (1982), bajo el apoyo del banco mundial (Lavaud, 2011).

Figura 2-2 Modelo cuarto de carro. Muestra la estructura del equipo



Fuente: (Abulizi, Kawamura, Tomiyama, & Fujita, 2016)

2.1.3.3 Fricción o rozamiento transversal

El coeficiente de fricción o rozamiento transversal, se ha valorado con diferentes indicadores internacionales, mediante la micro y macro textura del pavimento. su valor está conectado con la seguridad y representa la adherencia del neumático con el pavimento (Alfar, 2016). El equipo *grip tester*, es muy utilizado, cuenta con un sistema de deslizamiento fijo que está diseñado para rotar proporcionalmente a una velocidad diferente, produciendo un deslizamiento de 14.5% con respecto a las ruedas motrices; esta relación es el punto crítico de fricción máxima con el que se diseñan los sistemas de frenos antibloqueo de los vehículos para activarse y desactivarse; normalmente es evaluado con una película de agua de 0.25 mm debajo de la rueda (Plati & Georgouli, 2014), y también es medido con el péndulo británico o la mancha de arena (Carlos Higuera, 2015).

La normatividad colombiana normaliza este parámetro con el índice de fricción internacional IFI, que es una escala de referencia basada en el modelo

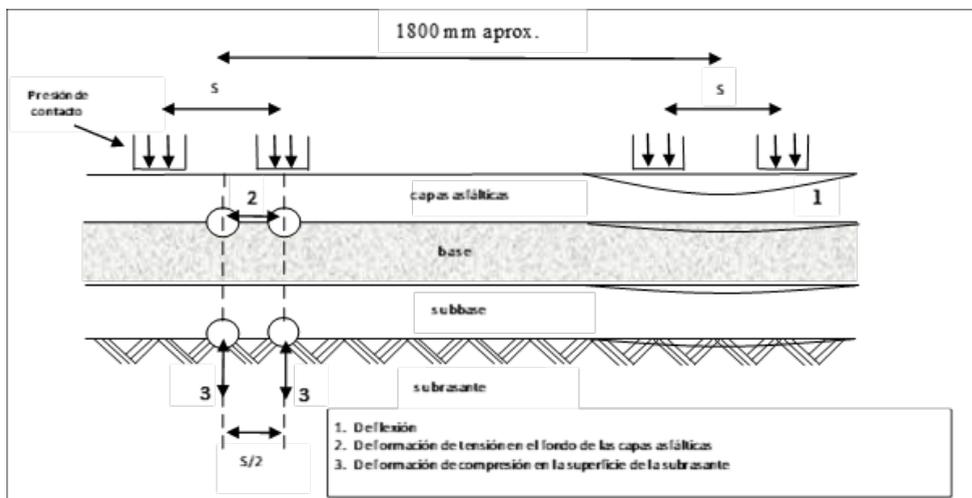
AICPR (Relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento), también denominada fricción superficial, donde se evalúa en primera instancia la seguridad del usuario, mediante el coeficiente de fricción (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

El IFI se expresa mediante dos números escritos dentro de un paréntesis y separados por una coma (F60, Sp), el primero detalla la fricción a 60 km/h, en tanto que el segundo representa la macro textura, mediante una constante de referencia de velocidad. El F60, es un número adimensional y el Sp es un número positivo, sin límites determinados, con unidades de velocidad (km/h) (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

2.1.3.4 Deflexión del pavimento (estructural)

La deflexión del pavimento no es un parámetro comúnmente medido en una gestión a nivel de red por su alto costo, a nivel de proyecto, es esencial para seleccionar las intervenciones adecuadas al pavimento (Los proyectos son tramos que se encuentran dentro de una red vial), se define como el desplazamiento vertical de la superficie del pavimento en respuesta a la aplicación de una carga externa, representa una respuesta total del sistema constituido por la estructura y la subrasante ante la aplicación de dicha carga. Cuando una carga se aplica sobre la superficie del pavimento, todas las capas se deflectan, desarrollándose esfuerzos y deformaciones en cada capa como lo ilustra la Figura 2-3 (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Figura 2-3 Deformaciones producidas por las cargas del tránsito.



Fuente: (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008)

Existen diferentes equipos de forma estandarizada para medir la deflexión a través de la aplicación de una carga y registro de las deflexiones, los cuales con una serie de sensores desplazados radialmente del centro de la carga establecen lo que se conoce como el “Cuenco de deflexión”. Los equipos más conocidos son el deflectómetro de rueda giratoria RWD (Rolling Wheel Deflectometer) (Zhang, Gaspard, & Elseifi, 2014) y el deflectómetro de impacto FWD (Falling Weight Deflectometer) (Carlos Higuera, 2015).

2.1.3.5 Evaluación geotécnica (Estructural)

Aunque la premisa global en la gestión de pavimentos es conocer las propiedades e indicadores de los pavimentos ya construidos, en algunos casos (organización o falta de información), se hace necesaria una evaluación geotécnica que permita identificar los espesores de las capas y sus características in situ. Se deben ubicar sondeos con ensayos destructivos y no destructivos, de acuerdo con la debilidad estructural (deflexión) y el nivel de degradación de la estructura (Carlos Higuera, 2015).

2.1.4 Aplicación espacial de la evaluación de pavimentos

La información antes mencionada (evaluación técnica), debe ser organizada y estructurada adecuadamente en el software de procesamiento, donde la entidad encargada interpreta los diferentes parámetros presentes en el pavimento y

procede al respectivo análisis e identificación de puntos o zonas de afectación (James Mahoney, et al, 2017). La gestión de pavimentos mediante SIG, es considerada la base de una adecuada administración, manejo y mantenimiento de la información (Huisman & A., 2009). En este marco, sí se considera el tránsito (TPDA) como parámetro constante de evaluación se observan parámetros complementarios en cada una de las aplicaciones del SGP:

Tabla 2-2 SIG mediante la aplicación de los diferentes parámetros

Parámetro evaluado	Obtención de información	Referencias
IRI	Evaluación del IRI, se observa variación en aumento cada año y una evaluación al detalla para cada tramo evaluado.	(Abulizi et al., 2016; Díaz-vilariño, González-jorge, Bueno, Arias, & Puente, 2016; Pantha et al., 2010)
PCI o daños superficiales	Evaluación de la condición superficial del pavimento en la red.	(Adeleke et al., 2015; Bazlamit, Ahmad, & Al-suleiman, 2017; Chen et al., 2014; Ghazi, Mustafa, Kokkas, & Smith, 2014; Hong, Perrone, Mikhail, & Eltahan, 2001; Ibraheem & Falih, 2012; Jiao, Bowen, & Siranc, 2012; Obaidat & Al-kheder, 2005; Rusu et al., 2015; Zhou et al., 2010; M. Zumrawi & Margani, 2017)
IRI y PCI	Comodidad del usuario y predicciones de los daños, regularidad y daños superficiales.	(Amador-Jimenez & Pooyan Afghari, 2015; Bonifacio R, 2015; Fernandez Seoane et al., 2006; Macea-Mercado, Morales, & Márquez-Díaz, 2016; Shamsabadi, 2014; Zapata Duque & Cardona Londoño, 2012)
Todas	Condición estructural y superficial.	(Babashamsi, Izz, Ceylan, & Ghani, 2016; Hafez et al., 2017; Iliya Yut, James Mahoney and Donald A. Larsen, 2017; Mohammed & Elhadi, 2009; Satria & Castro, 2016; SITÁNYIOVÁ & MUŽÍK, 2013; Zhang et al., 2014)

Fuente: Autores.

2.2 Desarrollo

2.2.1 Metodología SIG para SGP propuesta

La metodología desarrollada integra la normatividad vigente por el Ministerio de Transporte en Colombia, inicialmente realiza una priorización vial mediante el Plan Vial Departamental, y una selección final de intervención mediante la evaluación del estado del pavimento de los principales corredores (Propuesta gestión de pavimentos basado en SIG).

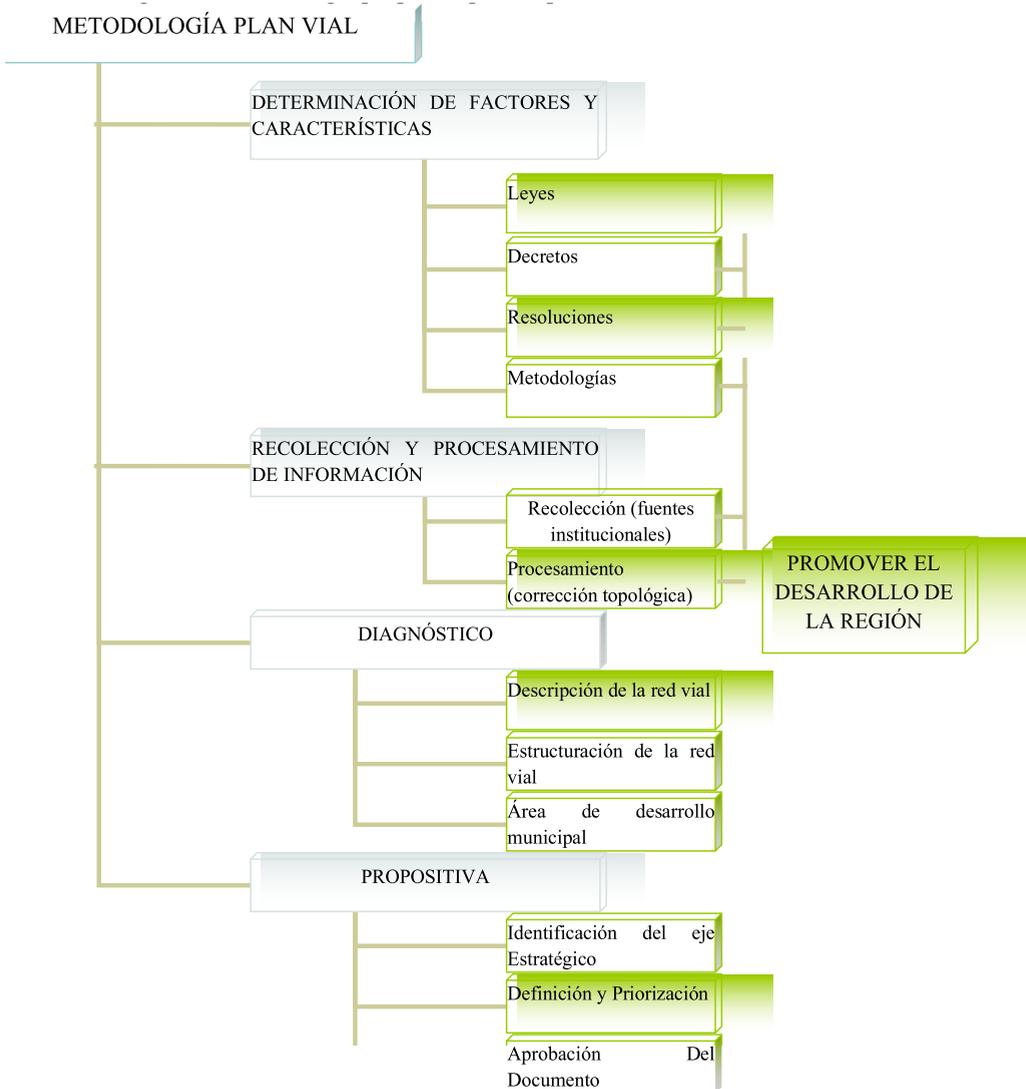
2.2.1.1 Priorización Vial

En el marco normativo se contempla de la Constitución Política de 1991, Ley 152 de 1994, ley 338 de 1997, Ley 1083 de 2006 y 1454 del 28 de junio de 2011, donde las entidades territoriales, tienen la responsabilidad de elaborar y desarrollar planes y programas sectoriales orientados a consolidar el progreso de su región, con inversiones públicas conducentes a la prosperidad general en el territorio.

La metodología o estrategia gubernamental para establecer el plan vial, se realiza mediante la determinación de factores y características, recolección y procesamiento de información, diagnóstico y propositiva. El Ministerio de Transporte, en un marco normativo y técnico, permite a los municipios o regiones, adaptarse a las variadas organizaciones, necesidades y capacidades operativas de los gobiernos municipales, brindando asistencia técnica e institucional en materia de proyectos de infraestructura y gestión vial.

La metodología seleccionada pretende ser utilizada en el Plan Vial para el departamento de Boyacá, el cual es un conjunto de acciones encaminadas a la generación de planes, diseños y operación de la infraestructura con el fin de orientar el desarrollo ordenado de la malla vial, el tránsito y del transporte de un municipio. Esta metodología permitirá obtener el acompañamiento en la definición de los entornos técnicos que deben prevalecer en la red y la forma de solicitar recursos para la inversión en la transformación de las condiciones que limitan el nivel de servicio ofrecido. Por lo tanto, la metodología debe responder a las especialidades y particularidades de cada zona de estudio, ajustándose al plan de ordenamiento instituido, considerando las características de su red vial, las competencias y funciones establecidas en el marco normativo vigente y la disponibilidad de recursos para su transformación, de forma que su implementación permita el mejoramiento del bienestar de la población y la creación de nueva infraestructura vial a través de generación de proyectos de gestión vial.

Figura 2-4 Metodología propuesta para la priorización de vías



Fuente: Autores.

La implementación de esta metodología busca dar cumplimiento a los siguientes propósitos:

- Desarrollo de capacidades institucionales y conocimientos técnicos aplicables a la gestión de la red de transporte a cargo de los departamentos y municipios.

- Fortalecimiento de la gestión en su rol de ente rector del sector transporte para desarrollar o actualizar el marco técnico y normativo para la gestión en la red vial municipal.
- Contar con un marco normativo y técnico de inversión y gestión en la red vial, flexible y adaptable a las condiciones y naturaleza de la demanda, y a los sistemas de planificación y programación vial.
- Actualizar y desarrollar Planes Viales Regionales y Municipales, reconociendo la red vial y las intervenciones necesarias para su operatividad en términos seguridad y niveles de confort, según corresponda a las demandas por infraestructura en cada municipio en particular, y
- Promover el desarrollo de las regiones y municipios a través de la implementación de planes, programas y proyectos viales que permitan la comunicación ágil, segura y económica, y así ofrecer condiciones en el costo del transporte que no afecten la competitividad de los productos que se producen en las regiones, frente a otras, a nivel nacional e internacional.

2.2.1.2 Propuesta Gestión De Pavimentos Basada En SIG

En los últimos años, los estudios del estado del pavimento han aumentado notablemente. Se observa un enfoque fundamental en los SGP, con en el continuo seguimiento y mantenimiento, para aumentar la vida del pavimento a bajo costo. Los SGP encuentran aportes significativos con la inclusión de una metodología SIG que facilita su análisis de manera general, simplificada, rápida y organizada.

Los SIG presentan importante utilidad en la representación gráfica de las vías presentes en una zona. La presentación de la información permite establecer en una determinada red o proyecto bajo sistemas de colores o condiciones específicas, el estado o necesidad que se requiere, así mismo, establecer para determinados puntos o lugares de interés una especie de “libreta” o estructura de información (geodatabase), que despliega su condición específica. La información es recolectada bajo la necesidad del proyecto a trabajar o directrices del encargado del sistema para fácil interpretación (Kmetz, 2011). Entre los principales aportes del SIG a la gestión de pavimentos se encuentran los siguientes:

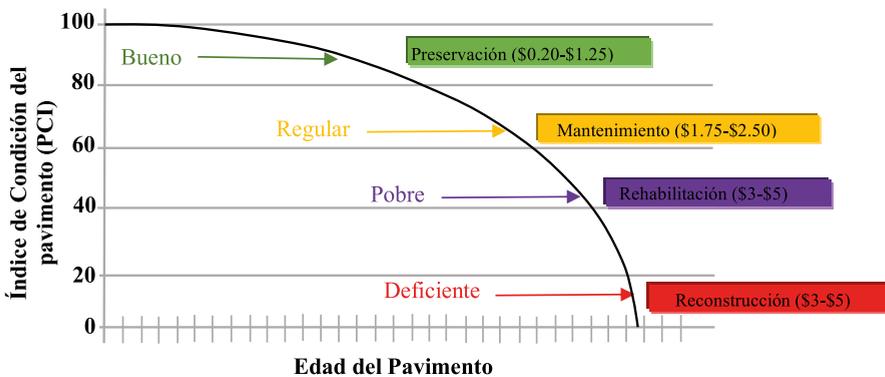
- “Capacidad de extracción rápida de información con facilidad de uso.
- Reduce los esfuerzos en recolección de información geoespacial.
- Se puede mejorar la actualización de datos, precisión y coherencia de la información presente.
- Se promueve la cultura para compartir información y trabajo en

equipo.

- El mapa obtenido entrega información segura y más organizada” (Mohd Zulkifli B. Mohd Yunus, 2010).
- Permite una selección de intervenciones de forma general y no únicamente localizada.
- Es apropiado para la integración carretera-operación-presentación, organiza y proyecta a futuro los datos o información del SIG.
- Entrega una presentación y evaluación confiable, siempre que la información base sea proporcionada correctamente.

Como se puede apreciar, la mayoría de evaluaciones del pavimento con SIG, el parámetro de mayor uso es el PCI. Por lo anterior, es necesario cuidar si se evalúa solo con este parámetro, pues como lo muestra la Figura 5., se pueden establecer acertadamente los límites de intervención (mantenimiento y reconstrucción), pero en la zona media de la gráfica (PCI entre 70 y 30), se debe complementar con el análisis estructural, para no incurrir en intervenciones inadecuadas como sucede con el estado superficial del pavimento (Zhang et al., 2014). Un análisis similar, lo presenta Edgar Armas, en el que detalla que la fase más importante de intervención, se centra en la intermedia, con mayor pendiente de deterioro del pavimento, ya que en esta fase con solamente una inversión cercana al 10% de la construcción total se puede recuperar y no incurrir en mayores costos (Armas, 2012).

Figura 2-5 Intervenciones a realizar según PCI (Los Ángeles-California).



Fuente: (Los Angeles County, 2017)

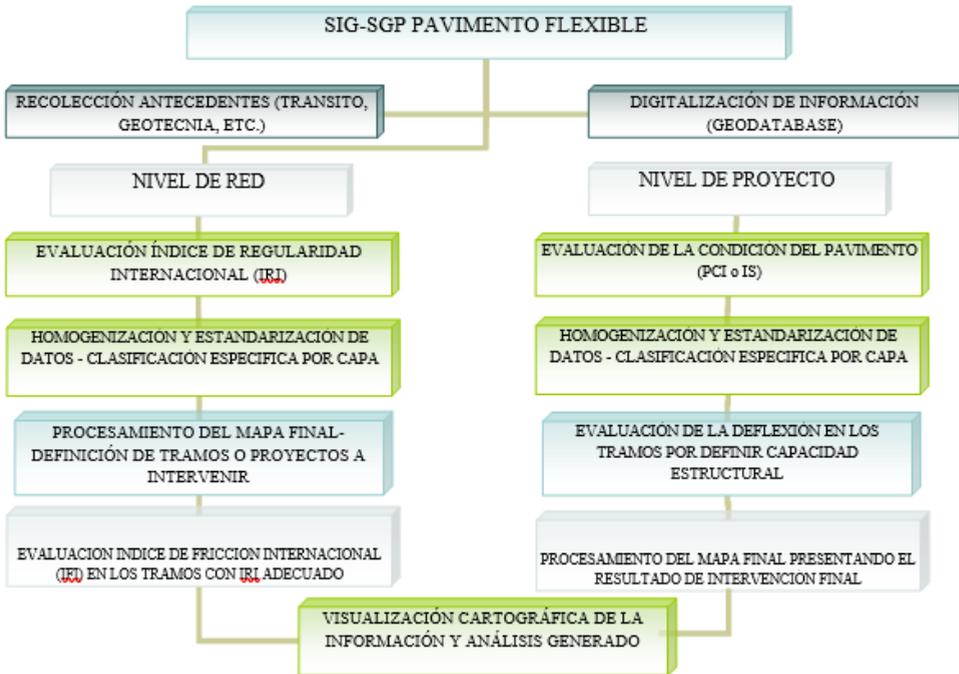
Aunque la aplicación de un solo parámetro como el PCI se ha desarrollado notablemente, cabe aclarar que como parámetro de análisis global o a nivel de red, puede dar acercamientos a las intervenciones a realizar, pero no se debe tomar como la fuente final para la toma de decisiones en la intervención

particular de cada tramo. Debido a la actual condición normativa en el país, donde el INVIAS tiene reglamentada la metodología francesa VIZIR, para la evaluación de daños del pavimento, se propone esta metodología en el desarrollo del proyecto.

Finalmente, el sistema de evaluación recomendado requiere de la recolección de información de forma estandarizada, adecuación de una base de datos espaciales, procesamiento de mapas y presentación de la información en los niveles de red y proyecto, sistema que debe buscar:

- A nivel de red realizar una evaluación de carácter funcional con el IRI, especificando así los puntos con mayor IRI, que seguramente presentarán daños en el pavimento y debilidad estructural. En la evaluación de red se pueden seleccionar los tramos específicos a intervenir, que deberán desarrollarse a nivel de proyecto. De igual forma, los tramos con IRI bajo o en buena condición, deberán ser evaluados con el IFI, permitiendo así identificar sectores de alto riesgo por poco coeficiente de fricción.
- A nivel de proyecto se debe complementar claramente la intervención a realizar ya sea mantenimiento o rehabilitación, donde la base de distinción será inicialmente el I_s obtenido con la metodología VIZIR, propuesta por el INVIAS. Si se evalúa el I_s , se obtendrán los sectores donde los resultados sean medio (3-4) y bajo (5-7), que con el parámetro estructural de deflexión del pavimento (módulos elásticos de las capas de pavimento) se identifican los tratamientos adecuados, para un I_s alto o de buena condición (1-2); se establecerá mantenimiento con tratamiento según los tipos de daños presentes en el pavimento. Si se debe rehabilitar, se recomiendan las metodologías de rehabilitación propuestas a nivel mundial que valoran la capacidad estructural presente en el pavimento.

Figura 2-6 Esquema propuesto para la gestión de pavimentos basada en sistemas de información geográfica pavimento flexible.



Fuente: Autores.

2.2.1.3 Estructura de la Geodatabase

La cantidad de datos que se espera utilizar en el proyecto, requieren un gran espacio de almacenamiento, por lo cual se selecciona la *Geodatabase tipo File Geodatabase* con capacidad de almacenamiento de 1 TB expandible. Se propone la estructura de datos compuesta por dos *feature datasets*, los cuales se definen en las categorías temáticas.

La provincia de Valderrama, del departamento de Boyacá se encuentra ubicada en el punto de encuentro de los orígenes Central y Este. Se utiliza el origen Bogotá por aquel que cubre un porcentaje mayor del área en estudio. Y se adopta el Marco geocéntrico nacional de referencia (MAGNA- SIRGAS), al ser el sistema horizontal de referencia, datum oficial de Colombia (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2005).

El *feature dataset* “Evaluación pavimento”, contiene los resultados de los análisis obtenidos para el trazado en estudio. En los *feature class*, tipo línea se

almacenan los datos por tramo, mientras que en los *feature class* de geometría de punto, se almacenan los resultados de campo obtenidos para cada uno de los puntos de muestreo realizados en el tramo de estudio.

El *feature dataset* “Priorización vial”, contiene la información cartográfica base (Delimitación municipal, ubicación de los centros poblados), el trazado y priorización inicial de la vía.

La información fue estandarizada y posteriormente incluida en la base de datos, siguiendo los parámetros de contenido y tipo presentados en el diccionario de datos. Los datos obtenidos en campo fueron recolectados mediante GPS en el sistema de coordenadas geográficas WGS 1984, y proyectadas en oficina en la fase de post proceso. Se llevaron carteras de campo en las cuales se consignó la información relacionada en la tabla XYZ posteriormente incluida en la geodatabase.

Figura 2-7 Base de datos estructurada en ArcGIS.



Fuente: Autores.

En el diccionario de datos se establece para cada *feature class*, la forma precisa para ingresar la información y los rangos en que se pueden presentar cada valor. Este, será definido por la entidad a cargo y el sistema establecido.

2.2.2 Implementación de la metodología propuesta

A nivel departamental, el plan vial articula las áreas productivas con los ejes de integración económica existentes, con el fin de potenciar las actividades regionales. La identificación adecuada del eje vial de la provincia está ligada a las capacidades, potencialidades y limitaciones que tengan cada uno de los municipios que la conforman, y la capacidad organizativa para enfrentar los retos económicos y sociales que garanticen un desarrollo dentro de la integración territorial.

Dicha identificación se realiza a través del conocimiento de los procesos que se dan sobre el territorio, a través del estudio de indicadores que permitan una caracterización idónea de la región, donde se interpretan aspectos físicos, económicos, y sociales.

El primer indicador corresponde a la caracterización física de la región, allí, se describen aspectos como regiones naturales, relieve, hidrografía, clima y recursos característicos, a través de los cuales es posible definir las áreas de desarrollo actuales e identificar las dificultades y ventajas de los municipios para su integración territorial.

Por su parte, la caracterización social está relacionada con los aspectos demográficos, tamaño de la población, distribución espacial de la población, composición urbana y rural, niveles de pobreza y los indicadores de calidad de vida de los habitantes de la provincia. A partir de estos datos es posible establecer las áreas de concentración poblacional al distinguir, los procesos de organización del territorio y relacionándolos con la actividad económica, lo cual constituye la base para el desarrollo de un sistema de priorización.

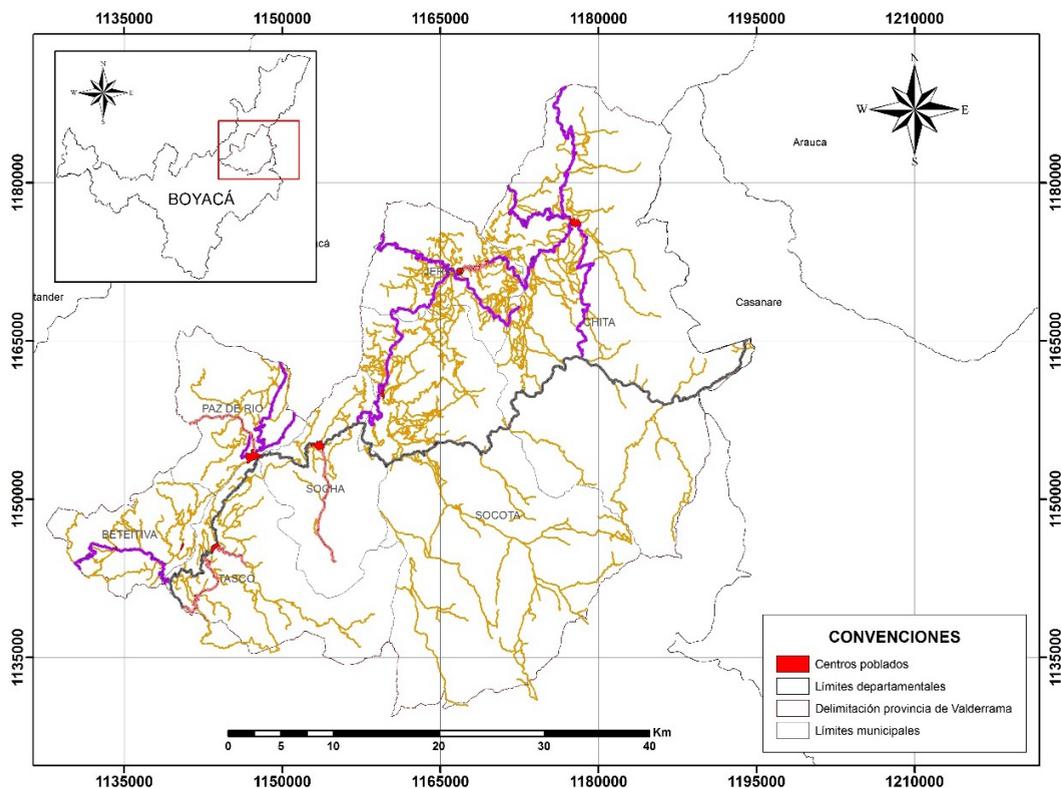
La evaluación de los indicadores económicos se realiza a través de los datos obtenidos referentes a la producción global y a los principales sectores productivos, a partir de los cuales se genera un perfil de la economía de la zona, simplificando dos o tres actividades productivas que correspondan a la identidad regional. Allí, se incluyen datos de localización de las áreas de producción y de los mercados de destino, volumen de comercialización y los principales productos que permitan obtener un diagnóstico socioeconómico, en el que a su vez se identifican las limitaciones para la comercialización de los productos.

Otro factor importante, es el referente a la organización espacial del transporte, en el que se describen los diversos modos de transporte que operan en la zona con la finalidad de evidenciar su importancia en el contexto nacional y departamental. Lo anterior, se establece mediante una medición de volúmenes

de carga movilizada y costo del flete por cada modo de transporte y está relacionado con la definición de la red vial requerida basada en las políticas de desarrollo social y económico, acordes a una estructura de ordenamiento territorial, la cual considera aspectos de tipo técnico como la conectividad, transitabilidad, pasajeros transportados, el tráfico proyectado y las características propias físicas de las vías que incluyen tipo de vía, jerarquía, ancho de calzada, material, estado, longitud, proyectos de infraestructura, existencia de bermas, obras de drenaje, puentes, señalización, tipo de terreno y tipo de superficie.

El análisis de dichos factores, permitió identificar para la validación de la metodología planteada para el eje de la provincia Valderrama (Ruta 64), que cuenta con una estructura de pavimento flexible.

Figura 2-8 Eje estratégico y vías a cargo de la provincia de Valderrama.



Fuente: (TOVAR & SILVA-BALAGUERA, 2017)

2.2.2.1 Priorización de las vías departamentales de la provincia de Valderrama

El procedimiento de definición del orden de intervención de la red vial de la provincia, se realiza mediante un análisis matricial, que incluye la normalización de resultados y aplicación de factores de ajuste, que evalúan el nivel de importancia como vía estratégica, pertenencia a un eje vial estratégico y el impacto ambiental que genera. Estos aspectos son incluidos dentro de cuatro dimensiones centrales que componen los indicadores de evaluación y reúnen la información recopilada durante la fase diagnóstica.

- **Indicadores Técnicos:** Considera criterios de transitabilidad de la vía, tráfico proyectado a 10 años, frecuencia de los servicios de transporte público y conectividad con otros municipios, buscando la facilitación de las actividades sociales y productivas.
- **Indicadores de conectividad Intermodal:** Relacionados con la longitud de vías que se conectan al tramo y que mejoran la accesibilidad y la comunicación entre centros urbanos a través del modo de transporte carretero.
- **Indicadores Económicos:** Miden la importancia económica de la vía, a partir de criterios como, la carga que transita sobre la vía, por la incidencia del flete de transporte en el precio del producto y por su rol articulador, a centros turísticos en su área de influencia, que permiten el mejoramiento de la accesibilidad y la comunicación entre centros productivos, centros de provisión de materia prima e insumos, centros de distribución de bienes y acceso a uso de puntos de servicio.
- **Indicadores Sociales:** Evalúan el índice de pobreza a partir del balance general de las condiciones de vida de la población, con el fin de comparar con aquella que se ve beneficiada por el servicio que presta el tramo, y orientar las intervenciones hacia las zonas de mayor pobreza.

Tabla 2-3 Criterios e indicadores de priorización de vías departamentales

INDICADOR TÉCNICO		
CONECTIVIDAD CON MUNICIPIO	Articulación del sistema urbano regional (Número de municipio que articula)	Ficha 2
PASAJEROS TRANSPORTADOS	TPD	Ficha 11
TRANSITABILIDAD	Se considera de mayor prioridad un camino que permanece mayor número de días intransitable durante el año)	Ficha 2
TRÁFICO PROYECTADO	Tráfico proyectado a 10 años	Ficha 11

Fuente: Metodología Plan Vial Departamental.

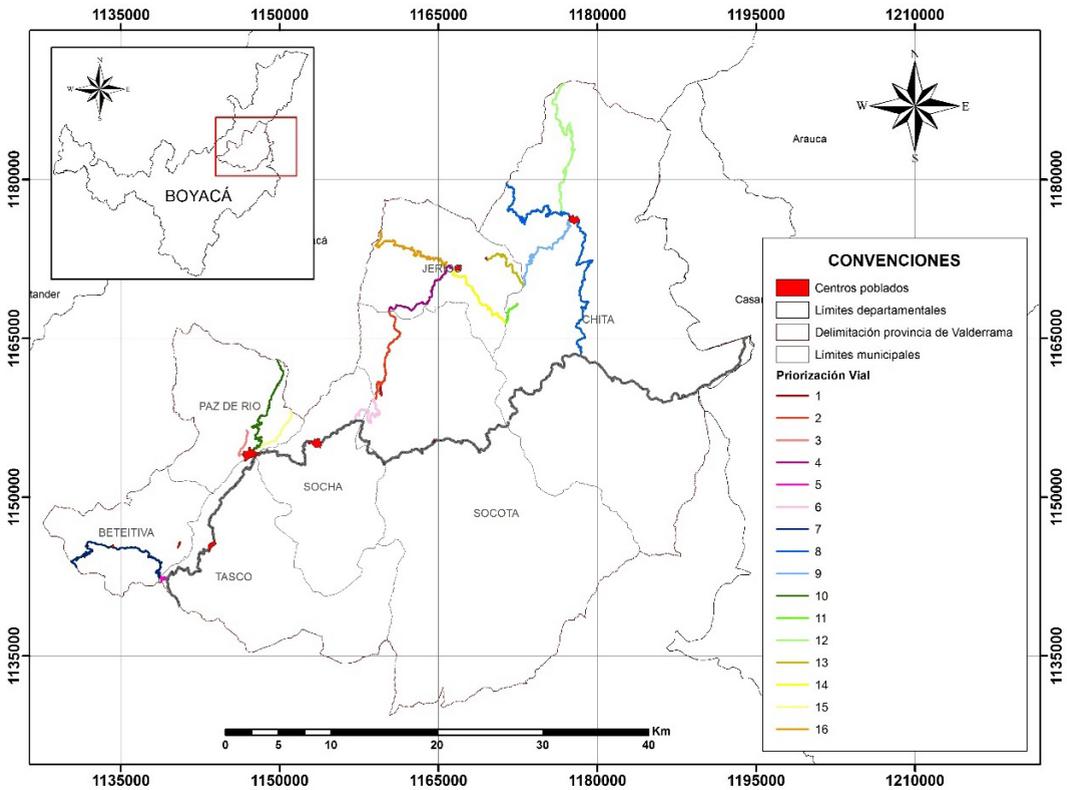
Tabla 2-4 Continuación Criterios e indicadores de priorización de vías departamentales

CONECTIVIDAD INTERMODAL		
CARRETERA	Longitud de vías terciarias a cargo del departamento, que se conectan al tramo de vía secundaria en evaluación.	Ficha 3
INDICADORES ECONÓMICOS		
CARGA	Carga que transita por la vía (función de articulación económica de la vía)	Ficha 11
CALIFICACIÓN ÁREA DESARROLLO NORMALIZADO	Áreas de especialización productiva y diferenciadas por su nivel de dinamismo	Ficha 23
ARTICULACIÓN CON CENTROS TURÍSTICOS	(la categoría del centro turístico la define la gobernación)	Centro turístico de categoría 1 = 1 Centro turístico de categoría 2 = 0,8 Centro turístico de categoría 3 = 0,6
INDICADORES SOCIALES		
ÍNDICE DE POBREZA MULTIDIMENSIONAL NORMALIZADO	Indicador de pobreza=nivel de pobreza del municipio/nivel de pobreza del departamento.	Ficha 18
POBLACIÓN BENEFICIADA NORMALIZADA	Promedio de la normalización de la población de cada municipio origen destino para cada vía	Ficha 18
DOTACIÓN	Número de centros educativos, plazas de mercado, obras de infraestructura que se encuentren presentes en cada una de las vías	Ficha 28

Fuente: Metodología Plan Vial Departamental.

A partir de la evaluación de los indicadores, se obtuvo el orden de priorización de las vías de la provincia que se muestra en la Figura 2-9.

Figura 2-9 Mapa priorización de vías departamentales en la provincia de Valderrama.



Fuente: (TOVAR & SILVA-BALAGUERA, 2017).

Para llevar a cabo dicha priorización, se recomienda a la entidad interesada, identificar los parámetros de acuerdo a sus propios intereses, ya que la metodología anteriormente planteada, contempla intereses nacionales y particulares del departamento de Boyacá, de acuerdo al sistema y organización de fichas establecidas por la gobernación.

2.2.2.2 Evaluación técnica del pavimento

El informe del contrato de consultoría número 40 de 2013, desarrollado por el INVIAS, presenta una evaluación completa de la Ruta 64, entre los municipios de Belén-Socha y Sácama. Estableciéndose como punto de comparación, se realiza la evaluación comparativa de los resultados obtenidos en él, para el tramo comprendido entre el municipio de Paz del Río atravesando el municipio de Socha, PR25+000 hasta PR42+000 (vía en pavimento asfáltico) de la Ruta 64.

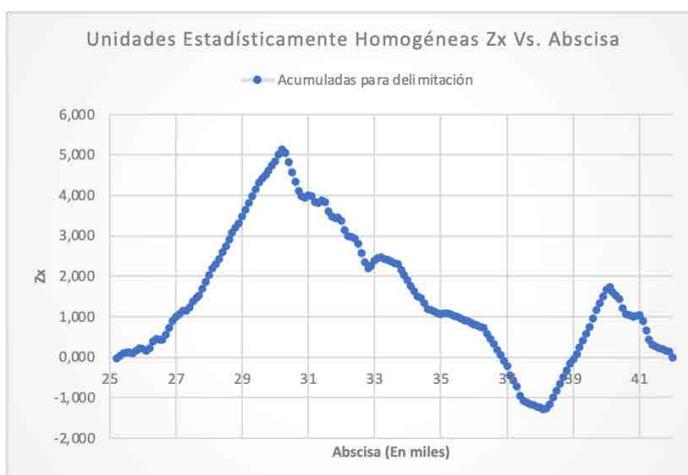
Siguiendo la metodología propuesta, inicialmente, se debe evaluar el IS con la metodología visir y finalmente, la deflexión, para establecer el reforzamiento estructural definitivo y los tramos que lo requieran. De esta forma, los métodos estadísticos usados para una selección objetiva de tramos y puntos críticos son:

2.2.2.2.1 Sectorización de tramos

Las intervenciones a realizar en un pavimento requieren de una adecuada sectorización que permita mejoras económicas en intervenciones globales, y no específicamente localizadas. Para ello, la guía de rehabilitación recomienda una sectorización objetiva en su Anexo E, mediante la metodología de diferencias acumuladas propuesta en el apéndice J en la guía de la AASHTO en 1993 (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008), en la que se seleccionan tramos estadísticamente homogéneos o de similar comportamiento.

El método consiste en identificar variaciones de pendiente con respecto a los valores del parámetro a evaluar, la cual se relaciona con la totalidad de datos y se observa específicamente con el cambio de signo en la pendiente. La Figura 2-10, presenta el ejemplo de la sectorización en la evaluación del índice superficial (Is) de la Ruta 64.

Figura 2-10 Unidades homogéneas índice superficial Ruta 64



Fuente: Autores.

En la Figura 2-10., se identifican claramente los tramos que se presentan para el índice superficial del pavimento evaluado en la Ruta 64, detallados en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5 Tramos seleccionados índice superficial Ruta 64

Tramo	Abscisa inicial	Abscisa fin	Longitud	IS promedio	Desviación estándar
1.000	PR25+000	PR30+2000	5.2	3.327	0.834
2.000	PR30+200	PR38+200	8	1.538	1.102
3.000	PR38+200	PR40+100	1.9	3.895	0.567
4.000	PR40+100	PR42+000	1.9	1.368	1.116

Fuente: Autores.

Para la determinación de un valor representativo, se recomienda identificar un nivel de confiabilidad para los datos, debido a que se espera un comportamiento estadístico normal en la muestra de los datos del pavimento, se puede realizar mediante la siguiente ecuación:

$$X_{rep} = \bar{X} + Z * S, \text{ Donde: } (3)$$

Xrep= Valor representativo

Z= Coeficiente de confiabilidad

S= Desviación estándar

Tabla 2-6 Nivel de confianza y coeficiente de confiabilidad

Nivel de confianza (%)	Coeficiente de Confiabilidad Z
99	2.58
98	2.33
97	2.17
96	2.05
95	1.96
90	1.65
80	1.28
50	0.67

Fuente: (Borja, 2012)

Para el proyecto se recomienda un nivel de confianza del 90%, considerando intervenciones específicas en los puntos críticos que sobrepasen este valor.

Tabla 2-7 Tramos seleccionados índice superficial Ruta 64

Tramo	Abscisa inicial	Abscisa fin	Xrep
1.000	PR25+000	PR30+200	4.7
2.000	PR30+200	PR38+200	3.35
3.000	PR38+200	PR40+100	4.83
4.000	PR40+100	PR42+000	3.21

Fuente: Autores

2.2.2.2.2 Puntos críticos o valores extremos

De igual forma, para cada tramo, se deben identificar puntos con condiciones externas que sobrepasen la media de los datos, más la desviación estándar. Para realizar esta evaluación, se recomienda la ecuación 7.1., obtenida del método de Pep-Grubbs, uso específico para detectar puntos externos en una distribución normal (Ribeiro, Augusto, & Andrade, Joyce Costa, 2011).

$$T_{critico} = \frac{X_i - \bar{X}}{S}, \text{ Donde: } (4)$$

Tcritico= Ponderación numérica

Xi= Dato de referencia

\bar{X} = Media aritmética de los datos

S= Desviación estándar

De esta forma, los valores que entreguen un Tcrítico superior al 1.65 (coeficiente de confiabilidad), según el valor especificado por el encargado de la gestión de pavimentos, se debe evaluar específicamente. Se recomienda identificar prioritariamente los valores por encima de 1.65, debido a que los valores menores pueden llegar a la misma o mejor condición de la que se encontraba el pavimento con la intervención escogida, mientras que, para la condición crítica, es necesario detallarlos específicamente. De igual forma, cuando se presenten valores consecutivos en buen estado o menores de -1.65, se puede establecer la no intervención de ese tramo debido a su buen estado.

De la evaluación del índice superficial para la Ruta 64, se obtienen los puntos en la Tabla 8, puntos en condición de buen estado o crítico, comparado con el tramo de referencia. Para realizar una validación se realiza visita de campo al tramo y a las unidades específicas consideradas por esta evaluación, evaluación base desarrollada a finales de 2014.

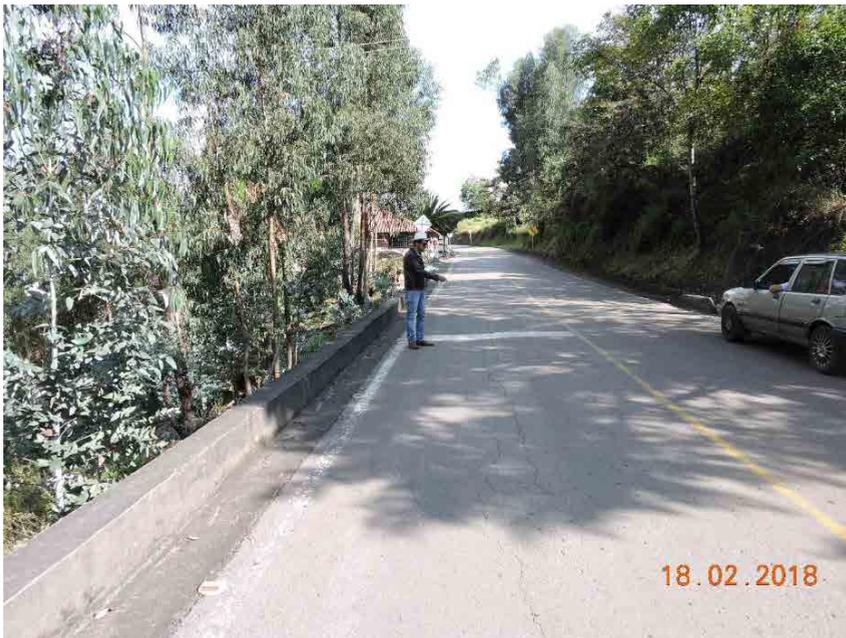
Tabla 2-8 Puntos extremos para el tramo evaluado Is Ruta 64

Abscisa	Índice superficial	Tramo	Evaluación
PR31+000	4.00	2	Crítico
PR31+400	4.00	2	Crítico
PR32+900	4.00	2	Crítico
PR39+000	3.00	3	Buen estado
PR39+600	5.00	3	Crítico
PR40+100	2.00	3	Buen estado

Fuente: Autores.

Sí, se entiende que la afectación vial aumenta anualmente en el pavimento flexible y que la metodología de daños evalúa tramos de la red, se observa en la evaluación desarrollada (febrero de 2018), un aumento en el deterioro superficial de forma puntual, aunque no muy alejado del valor encontrado para el año 2014, evidencia registrada por las siguientes fotografías.

Figura 2-11 PR31+000– Daño puntual debido a inestabilidad (Muro de contención)



Fuente: Autores.

Figura 2-12 PR32+900 – Altas deformaciones en el pavimento



Fuente: Autores.

Como se observa en la anterior figura, el PR32+00, presenta ahuellamiento, fisuras longitudinales y transversales, depresiones del pavimento importantes mejoradas en algunos tramos con parcheo. Así mismo, se observa debilidad estructural en todo el tramo mediante fisuras en media luna constantes en el carril izquierdo sentido Paz del Río – Socha.

Figura 2-13 Abscisa PR40+100 – Estado del tramo bueno, no presenta daños relevantes



Fuente: Autores.

Habiéndose validado la información representada por el estado superficial del pavimento, se procede a hacer la sectorización por cada uno de los factores a evaluar en el presente proyecto.

2.2.2.2.3 Sectorización de tramos por parámetro para la Ruta 64

- IRI, el índice de regularidad internacional no fue evaluado en el presente proyecto.
- Condición de la subrasante, la evaluación del CBR en campo, fue desarrollada por la metodología del PDC (Penetrómetro dinámico de cono). La subrasante presenta un comportamiento de CBR estadísticamente normal en 4 tramos, observado que:

Tabla 2-9 Tramos seleccionados CBR

Tramo	Abs. inicial	Abs. final
1	PR25+000	PR27+300
2	PR27+300	PR30+000
3	PR30+000	PR36+500
4	PR36+500	PR42+000

Fuente: Autores.

Tabla 2-10 Puntos extremos para el tramo evaluado Deflexión Ruta 64

Abscisa	CBR (%)	Tramo	Evaluación
PR36+750	40	4	Buen estado
PR37+000	5	4	crítico
PR38+000	40	4	Buen estado

Fuente: Autores.

- El tramo 1, presenta un buen CBR con 27 % en promedio, aunque muestra dos puntos críticos en el PR26+300 y PR27+300 con 10%, y uno regular en el PR25+600 del 15%, estableciéndose una desviación del 13%.
- El tramo 2 el CBR es de 20%, sin ninguna variación de datos.
- El tramo 3 presenta una buena condición con 40% de CBR entre los PR30+500 hasta el PR33+250. Tiene una zona crítica con 15% de CBR del PR33+500 hasta el PR33+750. El promedio del tramo es de 28% con desviación del 10.7%.
- El tramo 4 presenta el CBR más crítico de todo el pavimento con 5% en el PR37+000, de igual PR41+500 es crítico con 10%. El promedio

del tramo es de 18% con desviación del 8% y se presentan las mejores condiciones en el PR36+750 con CBR de 40% y en el PR38+000 con CBR de 40%. El estado más crítico del tramo evaluado es el PR37+000, que cuenta con un CBR de 5%.

- Deflexión, la deflexión como parámetro de capacidad estructural, se midió mediante el cuenco de deflexión obtenido por el método análogo y de carga estática (viga benkelman), con un vehículo C2 (volqueta sencilla). La medida se desarrolló en el carril izquierdo y derecho del tramo evaluado. Para el análisis metodológico aquí presentado, se tomará en cuenta la deflexión más crítica de los dos carriles evaluados (selección de carril de diseño), presentada debajo de la rueda externa (Do – deflexión crítica por las repeticiones de carga).

La deflexión se comporta estadísticamente normal, con desviación estándar promedio de 0.14 mm.

Tabla 2-11 Tramos seleccionados Deflexión

Tramo	Abscisa inicial	Abscisa fin
1	PR25+000	PR31+000
2	PR31+000	PR37+800
3	PR37+800	PR40+300
4	PR40+300	PR42+000

Fuente: Autores.

- El tramo 1, presenta una deflexión alta con 1.268 mm y desviación estándar de 0.14 mm. El PR 27+300 muestra el punto más crítico con una deflexión de 1.540 mm. El PR30+800 con 1.010 mm y el PR31+000 con 1.010 mm el mejor estado en el tramo según la metodología de GUBBS(Ribeiro et al., 2011).
- El tramo 2, presenta una deflexión promedio de 0.783 mm con desviación estándar de 0.17 mm, presentando cinco puntos altos con valores de 1.09 mm y 1.17 mm.
- El tramo 3, presenta la deflexión más alta del proyecto evaluado con 1.353 mm y desviación estándar de 0.17 mm, evidencia dos puntos con el mejor estado con deflexiones de 0.930 mm y 1.05 mm.
- El tramo 4, presenta un comportamiento constante estadísticamente, con valor de deflexión de 0.686 mm y deflexión estándar de 0.11 mm. Es el tramo con la mejor condición de la deflexión.

Tabla 2-12 Puntos extremos para el tramo evaluado Deflexión Ruta 64

Abscisa	Deflexión (mm)	Tramo	Evaluación
PR27+300	1.540	1	Crítico
PR30+800	1.010	1	Bajo
PR31000	1.010	1	Bajo
PR32+300	1.090	2	Alto
PR32+400	1.090	2	Alto
PR32+500	1.170	2	Alto
PR32+600	1.170	2	Alto
PR32+700	1.090	2	Alto
PR40+200	1.050	3	Bajo
PR40+300	0.930	3	Bajo

Fuente: Autores.

- Fricción, El presente proyecto no realizo la evaluación de fricción.

2.2.2.2.4 Umbrales de evaluación para cada parámetro

Los umbrales propuestos para cada parámetro evaluado entregan una escala adecuada para el encargado en la gestión de pavimento, y corresponden a las metodologías establecidas para Colombia:

- Is, El índice de deterioro superficial se evalúa en tres rangos de estado como lo detalla la Tabla 2-13

Tabla 2-13 Umbral índice de deterioro superficial VIZIR

RANGO	CALIFICACIÓN	DETALLE
1 y 2	Bueno	Limitados fisuramientos y deformaciones, que presentan un buen aspecto general y que, probablemente, no requieran en el momento más que acciones de mantenimiento rutinario.
3 y 4	Regular	Fisuramientos de origen estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos sin fisuramientos, pero con deformaciones de alguna importancia. Está lo suficientemente degradado como para poner en marcha tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad.

RANGO	CALIFICACIÓN	DETALLE
5,6 y 7	Deficiente	Presentan abundantes fisuramientos y deformaciones de origen estructural, cuyo deficiente estado superficial posiblemente exija la ejecución de trabajos importantes de rehabilitación.

Fuente: (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

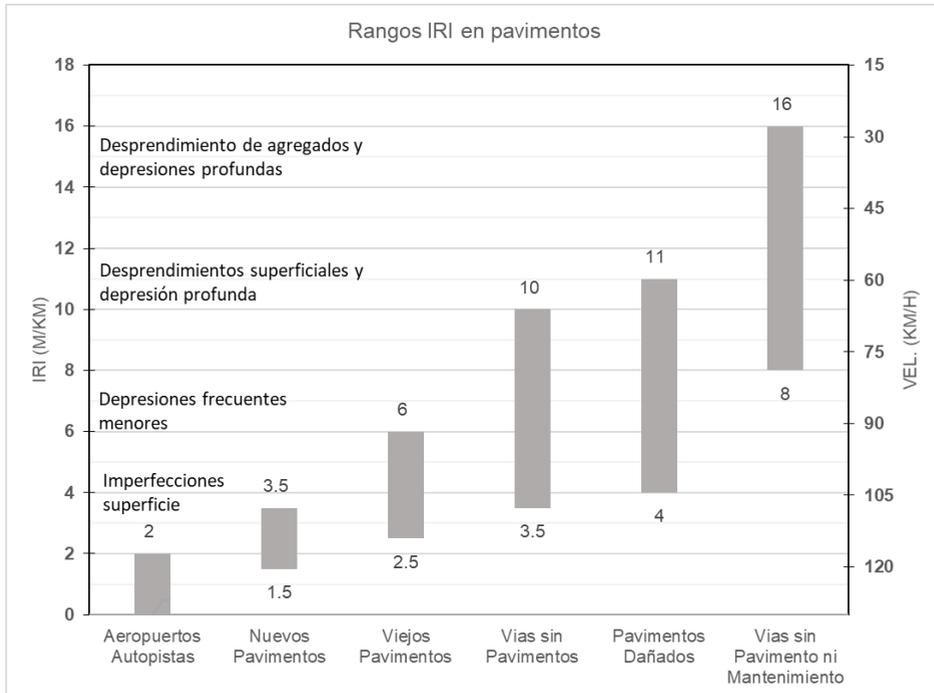
- IRI, Los umbrales de regularidad superficial propuestos por el INVIAS, se muestran en la Tabla 2-14 , los rangos específicos para cada pavimento en la Figura 2-14.

Tabla 2-14 Niveles de IRI para evaluar la lisura de pavimentos asfálticos de carreteras en servicio

CLASIFICACIÓN	IRI (m/km)		CONDICIÓN TÍPICA
	TRÁNSITO BAJO NT1	TRÁNSITO MEDIO Y ALTO NT2 Y NT3	
Bueno	< 2.5	< 2.0	Pavimento con gran regularidad superficial; circulación muy cómoda
Aceptable	2.5 – 4.0	2.0 – 3.5	Pavimento algo rugoso; el valor superior es advertido por los usuarios al circular a la velocidad de operación de la vía
Pobre	4.0 - 5.5	3.5 – 5.0	Rugosidad notoria; incomodidad para los conductores de los vehículos pesados
Muy pobre	> 5.5	> 5.0	Pavimento muy rugoso y carente de confort para todos los usuarios

Fuente: (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008)

Figura 2-14 Escala de un pavimento según el IRI



Fuente: (Lavaud, 2011).

- Deflexión, para interpretar los umbrales de la deflexión en un pavimento, es necesario hacer una evaluación estructural, en la que se identifiquen las capas y estableciendo los índices de requerimiento estructural para las cargas que representa el tránsito durante el periodo de diseño. En este caso, el valor admisible que representa la vida de un pavimento es la deflexión, y se obtiene mediante la ecuación planteada por Yang Huang (Carlos Higuera, 2007), que entrega la deflexión vertical admisible en la superficie del pavimento:

$$\Delta_z \text{ adm} = 26.32202 * N^{-0.2438}, \quad (5)$$

Donde:

$\Delta_z \text{ adm}$ = Deflexión vertical en la superficie de la estructura admisible, mm

N= Número de ejes equivalentes de 8.2 ton cd pd

Según el estudio de tránsito y proyección presentada, se espera un paso de 578,264 de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño, en el

periodo de diseño. Para el presente proyecto la deflexión admisible para el año 2024 será de:

$$\Delta_{z adm} = 26.32202 * 578264^{-0.2438} = 1.036 \text{ mm}$$

IFI, para Colombia, los umbrales de deslizamientos se presentan según el tipo de tránsito para vías en pavimento nuevo flexible. De igual forma, no se recomienda un índice inferior a 0.35 (Leiva, 2005), debido a la inseguridad que ofrece.

Tabla 2-15 Umbral de deslizamiento para pavimento nuevo flexible

TIPO DE SECCIÓN	COEFICIENTE MÍNIMO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO		
	NT1	NT2	NT3
Glorietas; curvas con radios menores de 200 metros; pendientes mayores o iguales a 5% en longitudes de 100 metros o más; zonas de frenado frecuente	0.50	0.55	0.60
Otras secciones	0.45	0.50	0.50

Fuente: (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Sin embargo, según estudios realizados en Reino Unido, el nivel de deslizamiento mínimo debe analizarse para diferentes casos en la red vial, como se presentan en la siguiente tabla (Transportation Research Board of The National Academies, 2009).

Tabla 2-16 Lugares y niveles encontrados para Reino Unido

Cat. del sitio	Definición	Nivel encontrado para 50 km/hr							
		0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65
A	Autopista								
B	Doble calzada sin evento								
C	Calzada única sin evento								
Q	Cercanías y cruces en enlaces menores y mayores, cercanía a glorietas								
K	Cercanía a paso peatonales y otras situaciones de alto riesgo								
R	Glorieta								
G1	Inclinación 5 a 10% más larga que 50 m.								
G2	Inclinación > 10% más larga que 50 m								
S1	Radio de curvatura <500 m - Calzada única								
S2	Radio de curvatura <500 m - Doble calzada								

Fuente: (VINER, SINHAL, & PARRY, 2004)

2.2.2.2.5 Análisis espacial de los datos

La sectorización espacial permite al ingeniero a cargo, realizar una adecuada intervención en campo, homogenizando el tratamiento o recuperación del pavimento.

Inicialmente, se debe realizar la organización de la información en tablas de Excel, facilítenlas cuales facilitan su ingreso al software ArcGIS. De igual forma, la definición del alineamiento del tramo evaluado se lleva a cabo, a partir del levantamiento topográfico, desde el que se inicia el procesamiento, inclusión e información mediante las herramientas de Linear Referencing.

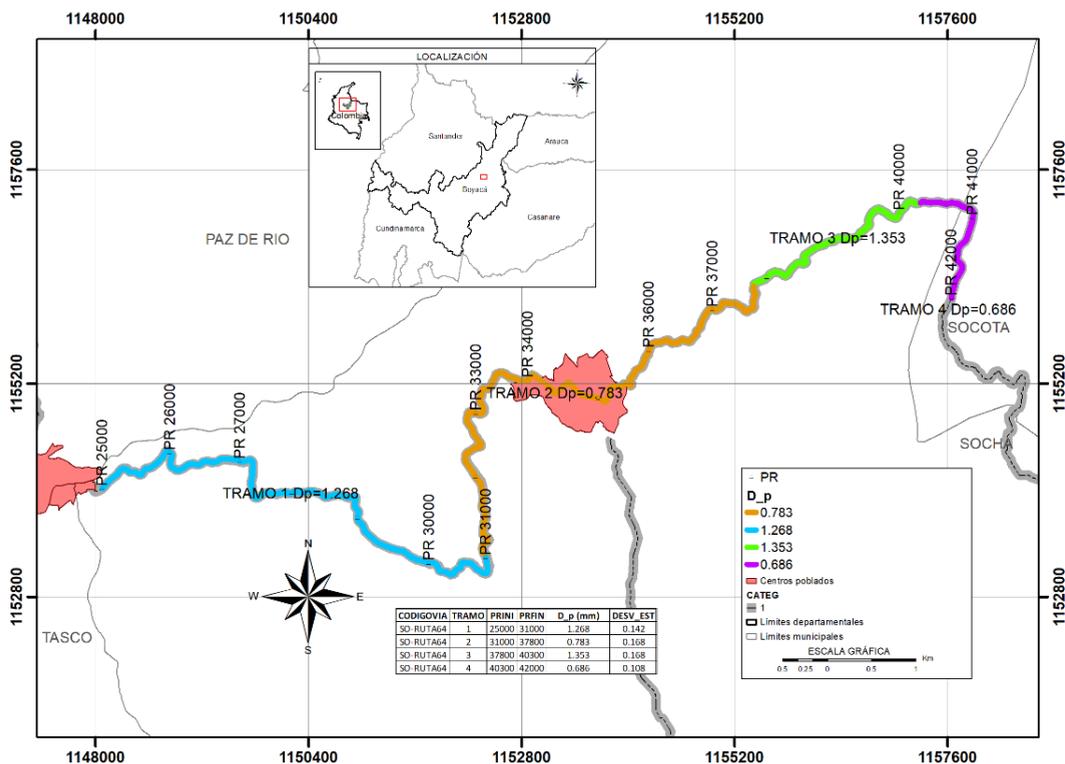
Mediante la herramienta *Calibrate Routes* o *Create Routes*, se adecua el alineamiento para el procesamiento de información, que se desarrolla inicialmente para cada parámetro mediante la herramienta *Make Route Event Layer*, en forma lineal, es decir, dar los valores de cada parámetro en cada tramo estadísticamente establecido.

Finalmente, mediante la herramienta *Overlay Route Event* (requiere el manejo de información en forma de tabla - ingresada en ArcGIS), se establece la

interrelación de parámetros para la selección de los tramos finales, o los que definirán las intervenciones a realizar.

La información anteriormente mencionada, debe ser ingresada a la geodatabase, y se procede a realizar un análisis individual por cada tramo seleccionado según la metodología planteada.

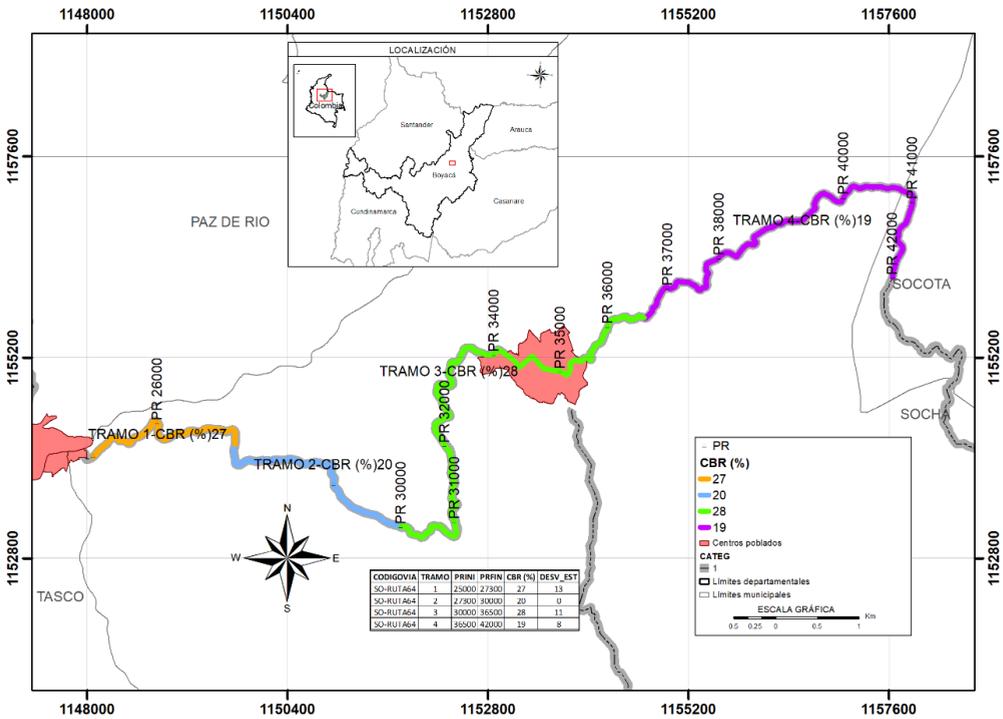
Figura 2-15 Mapa sectorización de tramos - Deflexión



Fuente: Autores.

La deflexión, ya que la máxima permitida en los 10 años de diseño, debe ser 1.036 mm, se presenta en una necesidad de intervención estructural. El tramo 4, presenta una deflexión en buena condición, similar al tramo 3. Los tramos que requieren intervención urgente son el número 1 y el número 3.

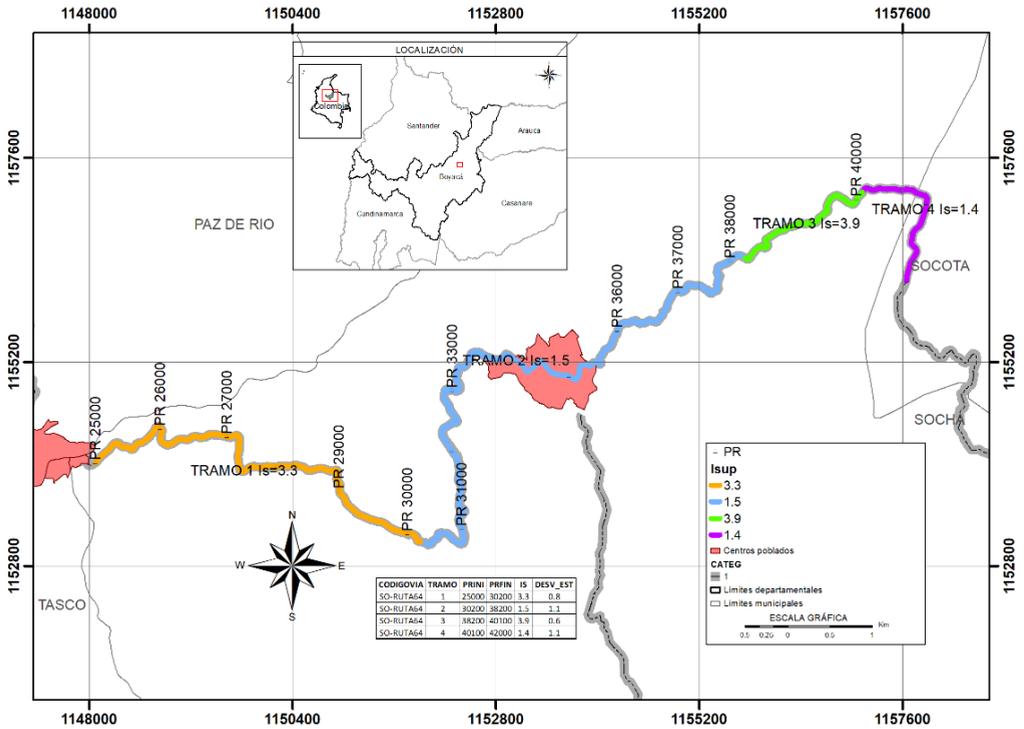
Figura 2-16 Mapa sectorización de tramos - CBR



Fuente: Autores.

La condición de subrasante, presenta cuatro tramos, el tramo 1 y 3 presentan un CBR similar, al igual que el tramo 2 y 4. Es importante observar que se presentan condiciones adecuadas con CBR de una regular resistencia.

Figura 2-17 Mapa sectorización de tramos - Índice Superficial



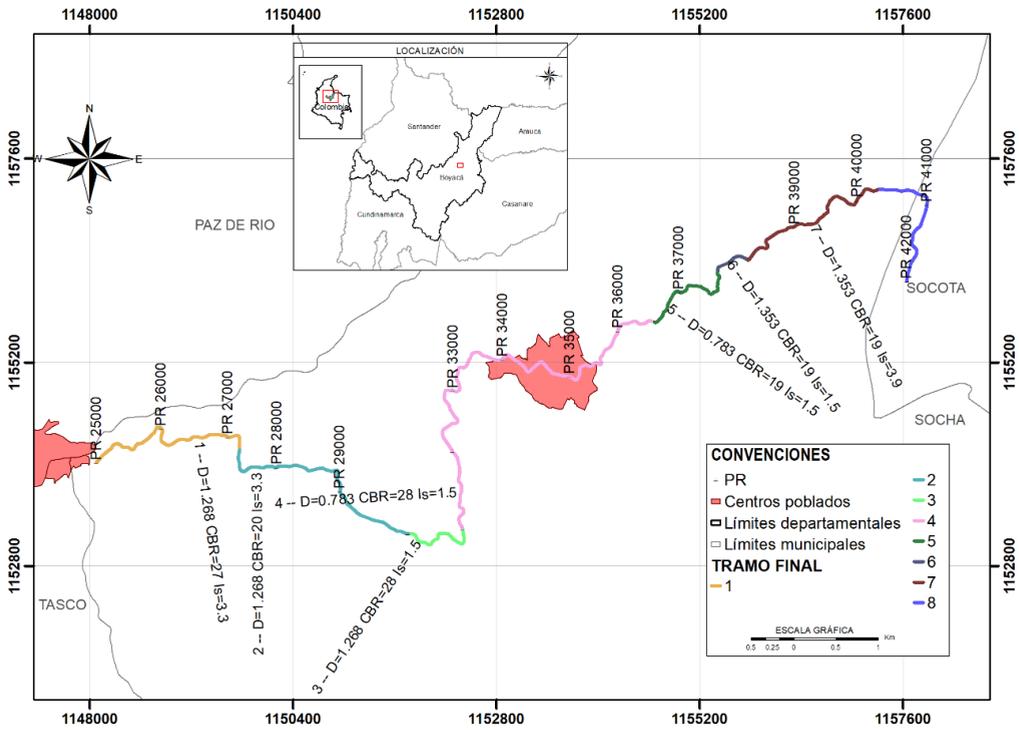
Fuente: Autores.

El tramo número 2 y 4, presenta un estado o condición buena, con un índice superficial inferior a 2. El tramo 1 y 3 se observan Is cercanos a 4.

Se puede apreciar, que la metodología planteada se sustenta como lógica, debido a que los tramos considerados en buen estado por el Is de la metodología VIZIR, contiene deflexiones del pavimento adecuadas, lo que demuestra que, en este caso, la necesidad de rehabilitación no es necesaria. El anterior resultado, concuerda con la metodología, que, para tramos regulares y malos, se les debe analizar estructuralmente o mediante la deflexión.

En la evaluación global o tramos finales, se establece que las unidades homogéneas, en este caso, serán representadas en forma jerárquica por la condición estructural del pavimento (Deflexión), el estado de la subrasante (CBR) y finalmente por el estado funcional (Is).

Figura 2-18 Mapa sectorización de tramos total



Fuente: Autores.

Tabla 2-17 Tramos finales de intervención, de acuerdo a análisis espacial.

TRAMO	ABSINI	ABSFIN	Is _{sup}	DES _{V_EST} _Is	D _p	DES _{V_EST} _D	CBR	DES _{V_EST} _CBR
1	PR25+000	PR27+300	3.3	0.8	1.268	0.142	27	13
2	PR27+300	PR30+000	3.3	0.8	1.268	0.142	20	0
3	PR30+000	PR31+000	1.5	0.8	1.268	0.142	28	11
4	PR31+000	PR36+500	1.5	1.1	0.783	0.168	28	11
5	PR36+500	PR37+800	1.5	1.1	0.783	0.168	19	8
6	PR37+800	PR38+200	1.5	1.1	1.353	0.168	19	8
7	PR38+200	PR40+300	3.9	0.6	1.353	0.168	19	8
8	PR40+300	PR42+000	1.4	1.1	0.686	0.108	19	8

Fuente: Autores.

2.2.2.2.6 Intervenciones propuestas

Para la selección de intervenciones, inicialmente, se debe identificar el tipo general de intervención que requiere el pavimento detallado en la Tabla 18; selección realizada con el análisis espacial. La intervención específica puede seleccionarse según la Tabla 19, donde se presentan las intervenciones puntuales por daño, presente en la superficie de pavimento flexible. La selección de intervención específica está muy ligada al levantamiento de daños, en este proyecto evaluado con la metodología VIZIR, es necesario retomar la información para los tramos seleccionados de diseño e interpretar cada daño con su posible solución, como no se presenta en el informe únicamente se establecerá la intervención general.

Tabla 2-18. Costo probable según la intervención del pavimento

PCI	INTERVENCIONES	COSTO (\$ US)
100-70	Preservación	0.2 hasta 1.25
70-50	Refuerzo	1.75 hasta 2.50
50-25	Rehabilitación	3 hasta 5
0-25	Reconstrucción	3 hasta 5

Fuente:(Los Angeles County, 2017).

Para los tramos evaluados, se debe detallar en cada tramo de intervención el daño con mayor presencia, así mismo, es necesario seleccionar dicha intervención con predominio por mejorar el daño más grave presente del pavimento de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 2-19 Matriz de decisión para el mantenimiento de pavimento flexible

Daños pavimento flexible	Bajo		Moderado		Alto	
	Ocasi.	Frecu.	Ocasional	Frecuente	Ocasional	Frecuente
Piel de cocodrilo**	3, 1	3, 6	6, 3, 11, 4	6, 5	13, 6, 11	15, 13
Grieta de borde	1, 2	2, 1	2, 13	2, 13	13	13
Grieta longitudinal	2, 1	2, 6, 1	2, 6	2, 6	13, 2, 6	6, 2, 13
Aleatorio/Grieta en bloque	2, 1	2, 3	2, 6	2, 6	6, 11, 12	12, 6, 14
Descascaramiento/Envejecimiento	3, 1, 6	3, 6, 5	6, 7	6, 7	6, 11, 5	6, 12, 11
Deformación	1, 8, 13	13, 1, 8	8, 13, 6, 2	8, 13, 6, 2	8, 11, 6, 13	8, 14, 13
Ahuellamiento	1	1	8 + 6	8 + 6	8 + 6, 12	8, 14, 13
Exceso de asfalto	1	1, 6	6, 1, 8	6, 8	8 + 6	8 + 6 or 12***
Grieta transversal	2, 1	2	2, 6	2, 6	2, 6	2, 6, 13

Tratamientos de pavimento: 1) No hacer nada; 2) Sello / Relleno de fisuras; 3) Sello de riego negro; 4) Sello de arena-asfalto; 5) Lechada asfáltica; 6) Capa de sellado; 7) Tratamiento superficial; 8) Fresado; 9) Reciclaje en frío en el lugar; 10) Reciclaje en caliente en el lugar; 11) Superposición fina de mezcla fría; 12) Superposición fina de mezcla caliente; 13) Parcheo; 14) Superposición gruesa; 15) Reconstrucción Total. *De acuerdo con las recomendaciones de los ocho Superintendentes de Mantenimiento del Distrito y la División de Materiales e Investigación. **Cabe de posibilidad de ineficiencias en los tratamientos que no sean 13, 14 y 15 serán mínimas y de corta duración. ***Los proyectos del programa de extensión de pavimento son típicamente de 2 pulgadas de grosor y se consideran el grosor máximo de este tratamiento.

Fuente: (M. Johanns and J. Craig, 2002).

- Intervención para preservación, el tramo 4 y 5, tienen un comportamiento favorable con buenas condiciones en subrasante (CBR), y estado superficial (Is) desde el PR31+000 hasta el PR37+800, la deflexión promedio crítica es establecida por la deflexión media, más la desviación estándar, para dichos tramos 0.783 mm más 0.168 mm, lo que establece una deflexión total crítica en los tramos de 0.951 mm. Realizando una comparación con la deflexión admisible 1.036 mm, se presenta una reserva del 8.2% que, aunque es baja cumple con la resistencia solicitada por las cargas. Para estos tramos se espera una intervención alta de preservación.

Los daños presentes en el tramo son fisuras longitudinales, fisuras transversales, fisuras en el borde y piel de cocodrilo. El daño de mayor frecuencia es la fisura longitudinal, el caso más crítico, es la piel de cocodrilo en zonas puntuales. Teniendo en cuenta que el mantenimiento requerido no supera el 15% de daño en área, es de sellado de fisuras con la contemplación de una posible capa de sellado.

De igual forma, el tramo número 8, que comprende del PR40+300 hasta el PR42+000, presenta condiciones apropiadas en subrasante (CBR), estado

superficial (Is) y deflexión. La deflexión cuenta con una reserva del 23%. Es el tramo con mejor estado del proyecto evaluado, y seguramente requerirá valores bajos de preservación.

Los daños presentes en el tramo, corresponden a fisuras longitudinales y piel de cocodrilo. El daño de mayor frecuencia es la fisura longitudinal, el caso más crítico es la piel de cocodrilo, en una zona puntual. El mantenimiento requerido ya que no supera el 10% de daño en área, es de sellado de fisuras.

- Intervención para rehabilitación, para los tramos con un estado crítico se requiere establecer una nueva estructura de pavimento, la recomendación es que se desarrolle mediante el método mecanicista (mecánica de pavimentos). La mecánica de pavimentos considera las propiedades de los materiales a partir del modelo de retro cálculo, identificando la estructura del pavimento actual y desarrollando su evaluación mediante los controles de fatiga, ahuellamiento y deflexión.

Para el presente proyecto, no se puede realizar la modelación estructural debido a que la medición es mediante viga benkelman. Por tal motivo, la selección de rehabilitación será desarrollada de acuerdo al propuesto por los tramos en esta condición se visualizan en la siguiente tabla:

Tabla 2-20 Tramos para rehabilitación.

TRAMO	ABSINI	ABSFIN	I _{sup}	DESV_ EST_Is	D _p	DESV_ EST_D	CBR	DESV_ EST_CBR
1	PR25+000	PR27+300	3.3	0.8	1.268	0.142	27	13
2	PR27+300	PR30+000	3.3	0.8	1.268	0.142	20	0
3	PR30+000	PR31+000	1.5	0.8	1.268	0.142	28	11
6	PR37+800	PR38+200	1.5	1.1	1.353	0.168	19	8
7	PR38+200	PR40+300	3.9	0.6	1.353	0.168	19	8

Fuente: Autores.

Los tramos 1, 2 y 3, comprenden desde el PR25+000 hasta el PR31+000, a pesar de tener cambios en el CBR, presentan una condición crítica de la deflexión del pavimento y se pueden prever como la primera estructura.

Los tramos 6 y 7, se presentan del PR37+800 hasta el PR40+300 con condición de CBR regular y crítica, respecto a la deflexión, esta combinación de tramos será la segunda estructura.

Es claro que el comportamiento de los materiales de subrasante alcanza valores altos, por lo que se realizó la revisión de la obtención del CBR, verificando que el valor obtenido por el método de campo del PD. Bajo esta afirmación, se detalló cada apique para identificar los valores de la evaluación del CBR en laboratorio, con muestra inalterada para los diferentes sectores:

Tabla 2-21 Tramos CBR muestra inalterada.

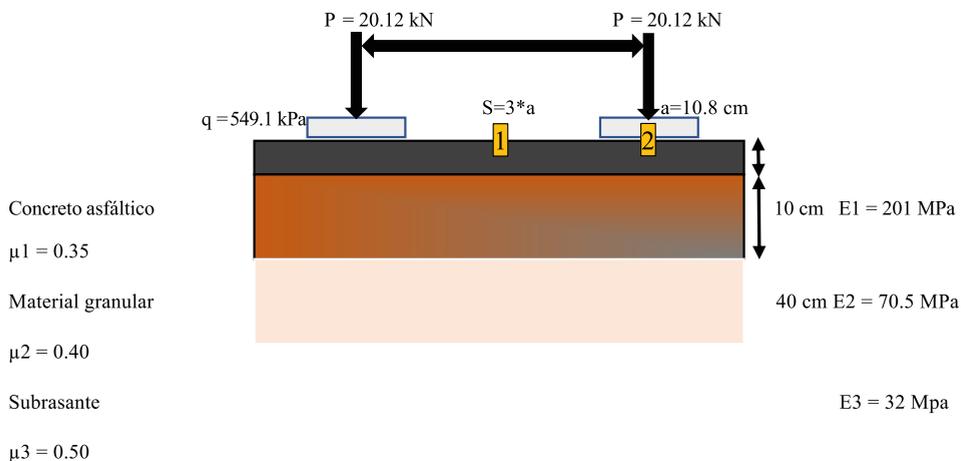
TRAMO	ABSINI	ABSFIN	CBR	DESV_ EST_CBR	CBR DE DISEÑO
1-3	PR25+000	PR31+000	4.8	1.6	3.2
6-7	PR37+800	PR40+300	6.1	0.1	6

Fuente: Autores.

Mediante el modelo de retro cálculo con la deflexión obtenida en el centro y a 25 cm, se realiza una modelación iterativa que permite establecer los módulos de las capas presentes en el pavimento. Inicialmente, se debe contar con el tamaño de la estructura en este caso 10 cm de asfalto y 40 cm de material granular para todo el proyecto (estructura de acuerdo al estudio geotécnico). El modelo se realiza en el software BISAR 3.0, que se encuentra definido por el método SHELL.

- Primera estructura, la deflexión crítica es de 1.410 mm en el centro de la carga para el carril izquierdo, a 25 cm de la aplicación de la carga la deflexión presentada es de 0.645 mm. El módulo elástico de la mezcla asfáltica corresponde a una resistencia media (201 MPa), y el módulo resiliente de la subrasante es de 32 Mpa de acuerdo a la correlación de 10 veces el CBR propuesta por Wiseman et al (1977). Mediante la modelación e interacción en el software se entrega la siguiente estructura:

Figura 2-19. Modelación 1 estructura de pavimento 1.



1. Deflexión medida viga Benkelman
2. Deflexión máxima en la estructura de pavimento

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-22. Resultados modelación 1.

Punto	Def (mm)	Desfase	Def (mm)
1	1.409	25 cm	0.92
2	1.648	N/A	N/A

Fuente: Autores

Para efectos de comparación, se realiza la modificación del módulo, en la carpeta asfáltica y la subrasante, acercándose al comportamiento de la deflexión medida en campo para 25 cm.

Tabla 2-23. Modelación 2 estructura de pavimento 1.

Capa	Nombre	Espesor(cm)	E (Mpa)	μ
CA	Carpeta Asfáltica	10	137	0.35
MG	Material Granular	40	59.5	0.40
SBR	Subrasante	N/A	40	0.50

Fuente: Autores

Tabla 2-24. Resultados modelación 2.

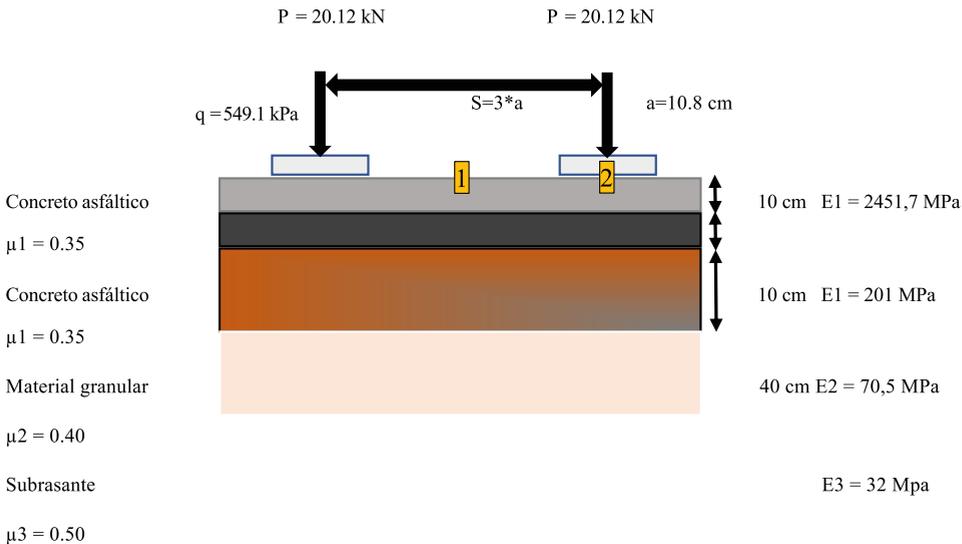
Punto	Def (mm)	Desfase	Def (mm)
1	1.411	25 cm	0.832
2	1.772	N/A	N/A

Fuente: Autores.

Como se observa, el comportamiento de la deflexión en el centro y a 25 cm, no es exacto al obtenido en campo, sin embargo, el mayor acercamiento lo presenta el segundo modelo. El modelo número 1., presenta valores de resistencia más adecuados a lo esperado para cada material encontrado en campo, razón por la cual se da mayor validez; este modelo presenta una deflexión máxima de 1.648 mm bajo la llanta.

Para el modelo número 1, se propone una rehabilitación de una mezcla asfáltica con módulo elástico de 2451,7 Mpa (25000 km/cm²) de 10 cm de espesor.

Figura 2-20. Rehabilitación propuesta PR25+000 hasta PR31+000



1. Deflexión medida viga Benkelman
2. Deflexión máxima en la estructura de pavimento

Fuente: Autores.

Tabla 2-25. Resultados Rehabilitación.

Punto	Def (mm)	Desfase	Def (mm)
1	0.948	25 cm	0.772
2	0,935	N/A	N/A

Fuente: Autores.

De acuerdo a la solicitud de deflexión de 1.036 mm, para el tránsito establecido, se observa que la rehabilitación propuesta ofrece una reserva del 8.5 % con 0.948 mm de deflexión máxima.

- **Segunda estructura**, la deflexión crítica es de 1.521 mm, en el centro de la carga para el carril izquierdo, a 25 cm de la aplicación de la carga la deflexión presentada es de 0.726 mm. El módulo elástico de la mezcla asfáltica corresponde a una resistencia baja (137 MPa) y el módulo resiliente de la subrasante es de 60 Mpa de acuerdo al CBR.

Tabla 2-26. Modelación 2 estructura de pavimento 1.

Capa	Nombre	Espesor(cm)	E (Mpa)	μ
CA	Carpeta Asfáltica	10	137	0.35
MG	Material Granular	40	40.3	0.40
SBR	Subrasante	N/A	60	0.50

Fuente: Autores.

Tabla 2-27. Resultados modelación 2.

Punto	Def (mm)	Desfase	Def (mm)
1	1.522	25 cm	0.756
2	1.890	N/A	N/A

Fuente: Autores.

De acuerdo a lo presentado, el comportamiento de la deflexión en el centro y a 25 cm es similar a la obtenida en campo. El modelo muestra una deflexión máxima de 1.890 mm bajo la llanta. Para una solución adecuada y de igual forma, similar al anterior proceso, se propone una rehabilitación de una mezcla

asfáltica con módulo elástico de 2451,7 Mpa (25000 km/cm²) de 10 cm de espesor.

Tabla 2-28. Rehabilitación propuesta PR37+800 hasta PR40+300

Capa	Nombre	Espesor(cm)	E (Mpa)	μ
CA	Carpeta Asfáltica	10	2451.7	0.35
CA	Carpeta Asfáltica	10	137	0.35
MG	Material Granular	40	40.3	0.40
SBR	Subrasante	N/A	60	0.50

Fuente: Autores.

Tabla 2-29. Resultados modelación 1.

Punto	Def (mm)	Desfase	Def (mm)
1	0.894	25 cm	0.680
2	0.871	N/A	N/A

Fuente: Autores.

De acuerdo a la solicitud de deflexión de 1.036 mm para el tránsito propuesto, se observa que la rehabilitación planteada ofrece una reserva del 13.7 % con 0.894 mm de deflexión máxima.

2.3 Discusión

La metodología basada en análisis espacial para la gestión de pavimento flexible establecida, involucra información secundaria (tránsito, geotecnia, informes de obra, cartografías, auscultaciones y deflexión) y primaria (georreferenciación y auscultación), en la selección de intervenciones viales de forma adecuada y confiable.

Los resultados, en cuanto a intervención, presentados por la metodología propuesta, no difieren con respecto a los obtenidos en la evaluación desarrollada por el INVAS. Los principales aportes se generan en la organización y presentación de la información, sectorizando los diferentes parámetros (Índice superficial, CBR y Deflexión), es decir, una nueva forma de interpretación de la información actual del pavimento.

La gestión de pavimentos mediante sistemas de información geográfica, permite integrar análisis estadísticos, facilita la identificación de puntos críticos, reduce tiempos de evaluación y los costos de inversión, evita la subjetividad e identifica fallas en la construcción.

La aplicación de metodologías estadísticas para la selección de tramos e identificación de puntos críticos, son de útil aplicación al encargado de la gestión de pavimentos, ya que, aumenta la objetividad en la selección de intervenciones finales para los tramos viales. En la evaluación de la infraestructura vial se requiere identificar de forma obligatoria los puntos críticos asociados al drenaje (obras de arte, cunetas, bombeos, etc.), geología (fallas, materiales, etc.) y geotecnia (taludes, licuefacción, etc.), puntos que se deben intervenir previamente al mantenimiento específico de la estructura de pavimento.

La recolección de la información que se realiza mediante una base de datos espaciales, lleva a una reducción en tiempos de evaluación y facilidad de acceso en procesos futuros. El manejo de dicha información mediante SIG, permite una evaluación del pavimento de manera histórica y zonificada.

Se ha verificado en diferentes investigaciones que una gestión de pavimentos adecuada a la red vial, reduce el costo en 2 o hasta 3 veces del valor de reconstrucción del pavimento, además de que facilita contar con una mejor condición del pavimento respecto a la obtenida bajo una rehabilitación; evidenciado finalmente en el aumento de la vida del pavimento.

Cuando los parámetros de evaluación de la estructura (auscultación y deflexión), resultan en mal estado, se debe analizar únicamente su rehabilitación o reconstrucción, ya que, al mejorar su condición se optimizaría directamente la condición funcional (regularidad y fricción). De esta forma, no habrá sobrecostos por recolección de información innecesaria.

Es recomendable tener el adecuado equipo y personal en la instalación de los materiales que conforman la estructura de pavimento, debido al alto impacto que ello representa en la resistencia y comportamiento del pavimento (Dungana, Dubjur, Choden, Dorji, & Dema, 2016). Así mismo, seleccionar intervenciones con materiales que permitan una mayor durabilidad.

Teniendo en cuenta que las entidades nacionales han adoptado parámetros de aplicabilidad importante a nivel internacional como IRI, IFI y deflexión; se recomienda propender en la evaluación superficial del pavimento por el

PCI, que ha sido estudiado en varios países y detalla de manera importante el estado de los daños del pavimento con su respectivo mantenimiento.

Finalmente, es importante crear una cultura de la conservación vial a través de las universidades, centros de investigación y entidades territoriales, ya que una carretera adecuadamente conservada, garantiza crecimiento y desarrollo de la economía, nacional, regional y local (Armas, 2012). Así mismo, se requiere, que las entidades territoriales inicien con la recolección y estandarización de información (geodatabase) para establecer un SGP basado en SIG, que permita mejorar el estado de la infraestructura vial a cargo. En su fase inicial a nivel de red se recomiendan los parámetros como IRI o PCI, que históricamente revelen el comportamiento del pavimento.

2.4 Conclusiones y recomendaciones

- El SIG aplicado en un SGP, demuestra ser una herramienta de facilidad en acceso, organización geoespacial general y puntual, actualización e interpretación muy útil de la información en presente, pasado y futuro; que finalmente se ve reflejado en las decisiones de intervención y bajo costo para el mantenimiento y durabilidad de los pavimentos.
- La priorización de la red vial, facilita la selección de vías que requieren de evaluación técnica del pavimento, por medio de la selección de ejes estratégicos de acuerdo a indicadores técnicos, conectividad intermodal, impacto social y económico de la región.
- Una metodología reducida en la evaluación del pavimento facilita la selección de intervenciones en los tramos viales de manera más económica y rápida, considerando la importancia de la recolección, organización, verificación, procesamiento y adecuada presentación de la información. Facilita el trabajo del encargado de la gestión de pavimentos.
- A pesar de que la metodología planteada ayuda en la objetividad de intervención, es importante la experiencia del encargado en la selección de alternativas de mantenimiento.
- Los parámetros para la evaluación del estado del pavimento se recomienda desarrollarlos de forma general (red), hasta particular (proyecto), según la siguiente secuencia: IRI, IFI, PCI Y DEFLEXIÓN de acuerdo al nivel que se desee llegar. Las condiciones que siempre deben analizarse son el estado de la subrasante (geotecnia) y el drenaje.
- En la recolección del PCI en campo, puede desarrollarse una mejora importante si se permite que la comunidad comparta información en tiempo real a la base de datos. Las aplicaciones mediante teléfonos móviles, tabletas, internet, etc., facilitan la conexión, siempre que

dicha información sea codificada y verificada por un experto para una alta confiabilidad.

- El cálculo del CBR mediante el PDC, permite una visibilidad de la sectorización de los materiales presentes, pero no puede ser usado en el análisis mecanicista, debido a su alto margen de error. La evaluación de la subrasante mediante el ensayo de CBR de laboratorio de una muestra inalterada, es el procedimiento adecuado para establecer el comportamiento del material.
- El cálculo de los módulos de la estructura del pavimento por retro-cálculo pueden establecerse mediante un cuenco de deflexión más preciso como el entregado por el FWD o deflectómetro de impacto. En el presente proyecto se obtuvieron con base en el ensayo de viga benkelman, que solo puede comparar la deflexión en el centro de las llantas y a 25 cm de esta.
- Para la evaluación de la estructura de pavimento, el método mecanicista establece resultados más acordes a los materiales presentes y las sollicitaciones de cargas generadas por el tránsito.
- El encargado de la red vial debe identificar las posibles afectaciones del suelo a la infraestructura, mediante la geología y geotecnia del sector. Así mismo, se recomienda realizar adecuadamente los estudios, construcción y mantenimiento del drenaje vial.
- Es importante la actualización constante de la base de datos, teniendo en cuenta que la información del proyecto evaluado es del año 2015, y la estructura del pavimento sufre deterioro constantemente, así como, las intervenciones variarán en cada periodo de evaluación.
- Se recomienda la recolección de información histórica o constante para la red vial según la base de datos propuesta, principalmente la información respecto al espesor de las capas y los módulos estructurales de cada capa; ya que dicha información es muy importante para un análisis de la rehabilitación, mediante el método mecanicista. De igual forma, una evaluación histórica permite identificar las principales fallas en la construcción y conservación, así como, la mejora continua en los diferentes procesos que permitan una mayor durabilidad de la estructura del pavimento.

