

Gerencia de infraestructura

Diseño e implementación de un sistema de gestión vial y de espacio público para Bogotá, Colombia

Ing. Miguel Angel Benzádon,
Gerente Regional para Latinoamérica
Ing. Jorge Duarte, Director de Proyecto
Ing. Marcela Hernández, Ingeniera Investigadora
TNM Limited

Resumen

La Compañía TNM - Technology and Management ha desarrollado un sistema de gestión vial y de espacio público dirigido a la administración de la red vial urbana, de las áreas destinadas al espacio público peatonal, así como de los puentes vehiculares y peatonales de la ciudad de Bogotá - Colombia, el cual a su vez incluye la calibración de modelos de deterioros de pavimentos mediante la medición directa y periódica de las variables que influyen en dicho deterioro. El diseño de este sistema se encuentra orientado a proveer una herramienta sistemática que permita a la Administración Distrital determinar el alcance de las actuaciones de mantenimiento y rehabilitación sobre la infraestructura vial y de espacio público en cualquier instante del tiempo, a priorizar dichas actuaciones y a optimizar los recursos disponibles, con miras a mantener un nivel de servicio dado en términos de su estado funcional y estructural.

El principal insumo para realizar la gestión proyectada sobre la infraestructura de malla vial consiste en los datos de inventario y diagnóstico relevados por diversos consultores, durante los últimos 5 años, obtenidos utilizando tecnologías y equipos de última generación tales como el deflectómetro de impacto y el rugosímetro láser. Esta información se encuentra debidamente organizada y almacenada en una base de datos. De igual forma, dentro de los inventarios y diagnósticos realizados, se encuentra incluida la infraestructura asociada al espacio público, en la cual se consigna información de andenes, sardineles, separadores, ciclorutas y mobiliario urbano. Con relación a la información de puentes, aún no se cuenta con un inventario de ellos, pero se han definido las variables a recolectar para llevar a cabo una gestión adecuada de los mismos.

Palabras clave: gestión vial, urbanismo, espacio público, sistemas de información.

Abstract:

The Company TNM - Technology and Management has developed a system of road and public space management directed to the administration of the urban road network, of areas destined to pedestrian public space, as well as pedestrian and traffic bridges of the city of Bogota - Colombia, which at the same time includes the pavements deterioration models by means of periodic measurement of variables that influence in that deterioration. The design of this system is oriented to provide a systematic tool that permit to the Local Administration to determine the scope of the actions of maintenance and rehabilitation on the road infrastructure and urban public space at any time, to prioritize projects and to optimize the available resources, looking to maintaining a level of service given in terms of its structural and functional condition.

The main intake to carry out the management on the infrastructure of road network consists of the data of inventory and diagnosis relieved by diverse consultants, during the last 5 years, obtained using last generation technologies such as the falling weight deflectometer (FWD) and the international roughness index (IRI). This information is properly organized and stored in a database. Similarly, the inventory and diagnosis contains the associated infrastructure of public space, such as, decks, bus stops, pedestrian crossings, bike paths and general urban furniture. Regarding the bridge information, there is no inventory of them yet, but they have defined the variables to collect to carry out an adequate management for this infrastructure.

Keywords: urbanism, public space, information system, road management.

Introducción

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), encargado de la administración de la infraestructura de la ciudad de Bogotá – Colombia, ha decidido contar con un sistema de administración vial y de espacio público, incluyendo los puentes vehiculares y peatonales, capaz de manejar información de una red vial extensa como la de la ciudad de Bogotá, el cual le permite utilizar criterios de decisión y definir alternativas realistas que contribuyen con la eficiencia en la toma de decisiones, de una manera dinámica y flexible, dejando de lado aspectos políticamente coyunturales y estableciendo un programa de acción técnica óptimo desde el punto de vista económico, considerando las condiciones de restricción de presupuesto en las que generalmente trabaja la administración pública. Además, el sistema se encuentra libre de las restricciones de propiedad, de tal manera que se puede adelantar cualquier modificación, adaptación o mejora sin necesidad de recurrir a un consultor externo. Esto conduce a la reducción de costos por mantenimiento y actualización.

El sistema de gestión vial y de espacio público trabaja bajo los siguientes parámetros:

- Inventario físico y geométrico de los elementos que componen la infraestructura administrada.
- Estado de condición superficial y estructural de los pavimentos, elementos de espacio público y puentes vehiculares y peatonales.
- Modelo de deterioro de la estructura del pavimento, con el objeto de poder proyectar el estado de condición superficial y estructural en cualquier momento a través del tiempo.
- Alternativas de intervención basadas en los conceptos de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, rehabilitación y reconstrucción de la infraestructura gestionada con miras a obtener un cierto nivel de servicio durante un horizonte de tiempo dado.
- Modelo de costos unitarios asociados a las alternativas de intervención planteadas.
- Modelo de priorización de recursos a partir del presupuesto oficial destinado a las labores de mantenimiento y conservación vial, de espacio público y puentes, con base en análisis de tipo económico, social y ambiental, teniendo en cuenta parámetros tales como la jerarquía urbana, jerarquía social, índice de condición y uso del suelo.
- Modelo de seguimiento de la calidad y estabilidad de las intervenciones de conservación proyectadas sobre la infraestructura gestionada.

Con el sistema de gestión se pretende, mediante la captura y actualización de los datos de inventario y diagnóstico, evaluar técnica y económicamente los proyectos de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, rehabilitación y reconstrucción requeridos por la infraestructura de la ciudad de Bogotá, planeando estratégicamente la inversión bajo los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las actividades de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico o rehabilitación necesarias en cualquier elemento de la malla vial, espacio público o puentes de Bogotá, con base en un nivel de servicio deseado.
- Conocer en cualquier instante la condición de la malla vial, espacio público y puentes de acuerdo con las intervenciones programadas.
- Establecer las necesidades presupuestales generadas por estas actividades.
- Dar las herramientas para priorizar las inversiones requeridas de acuerdo a un horizonte temporal de acuerdo a las políticas de la entidad.
- Definir una metodología que relacione los costos de inversión en la infraestructura vial y de espacio público de la ciudad, incluyendo los puentes vehiculares y

peatonales, con el impacto y efecto sobre los usuarios de la red, de manera tal que se pueda establecer un criterio de valoración social de los proyectos viales y de espacio público urbanos.

-Contar con un sistema que permita la utilización tanto de metodología AASHTO, como de metodología mecanicista, para la definición de las actividades de rehabilitación en la malla vial.

-Contar con una herramienta que permita a la Entidad determinar el QUÉ HACER, DÓNDE, CUÁNDO HACERLO y CON QUÉ COSTO, tanto en la infraestructura vial como en la infraestructura de espacio público y puentes.

-Recopilar e incorporar en este sistema de gestión la experiencia en políticas de priorización de recursos para mantenimiento y rehabilitación que maneja el IDU.

-Contar con un módulo de gestión para la infraestructura vial rural.

1. Etapas del Proyecto

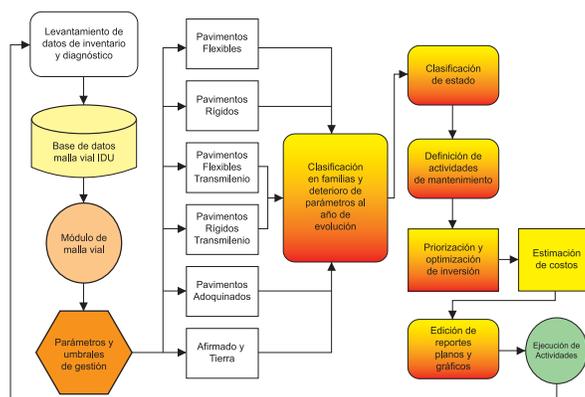
El sistema de gestión fue desarrollado bajo un plan de trabajo establecido por el IDU, el cual contó con las siguientes fases:

1.1 Fase de Análisis:

Esta fase comprendió la recolección de información relacionada con los objetivos planteados, en cada una de las áreas del IDU que hacen uso del sistema de Gestión Vial y de Espacio Público y la definición de los requerimientos funcionales del sistema, los cuales fueron documentados mediante sendos escritos que incluyen los procesos y procedimientos en forma de flujos gráficos, como el modelo que se muestra a continuación, el cual corresponde al flujo para la gestión de la malla vial :

Flujo para la gestión de la malla vial

Figura 1



Fase de Diseño:

Durante esta fase se definió la estructura del sistema de acuerdo a los requerimientos funcionales definidos en la fase de análisis, incluyendo el diseño de los casos de uso, diseño de la base de datos, la cual se estructuró bajo motor ORACLE 10 y el diseño de los modelos conceptuales de malla vial, espacio público y puentes. De igual forma, se estableció el Plan de Pruebas para la posterior verificación del normal funcionamiento de la aplicación. La entidad estableció a JAVA como lenguaje de desarrollo (estándar de codificación propuesto), teniendo en cuenta que el mismo no requiere de compra y actualización de licenciamiento. A continuación, a manera de ejemplo se presenta el modelo conceptual de puentes, a partir del cual, se pudo estructurar la base de datos referenciada:

1.2 Fase de Construcción:

A partir del diseño del sistema se construyó la aplicación, actividad que incluyó la implementación de las pruebas, utilizando para ello datos reales de inventario y diagnóstico suministrados por la entidad, aplicados a "prototipos" desarrollados para este fin y cuyo resultado fue satisfactorio. Dado que el IDU hasta ese momento almacenaba la información en una base de datos primaria en motor SQL Server 7.0, se tuvo que migrar los datos a la nueva estructura diseñada en la fase anterior.

e implementación, las cuales comprendieron entre otras actividades exposiciones magistrales sobre la utilización de la herramienta, elaboración y presentación de la documentación técnica tales como manuales del sistema, manuales de usuario y diccionario de términos técnicos, así como el manual de instalación y mantenimiento dirigido al área administradora de los sistemas de la entidad.

Por otra parte, se documentó de manera precisa el código fuente de la aplicación, especificando una descripción de los algoritmos, variables y restricciones en temas de uso, seguridad y encriptamiento de los datos.

2. Componentes del sistema

La aplicación está compuesta por una serie de módulos generales para la gestión, los cuales se particularizan para cada una de las infraestructuras a gestionar, como son la malla vial, el espacio público y los puentes. Dentro de éstos módulos se tienen:

2.1 Módulo de captura de información:

El módulo de captura de información permite capturar de la base de datos diseñada para el proyecto los elementos que conforman la parte de la red vial o de espacio público que se quiere gestionar. El módulo de captura de información cuenta con una interface gráfica para ejecutar la selección de los datos según las necesidades de cada usuario, llevando consigo un registro histórico de los elementos seleccionados y gestionados.

2.2 Módulo de parámetros generales:

El módulo de parámetros generales consiste en una base de datos temporal que almacena variables parametrizables, la cual permite almacenar diferentes juegos o "sets" de parámetros. De esta manera, el usuario puede hacer corridas sobre las mismas selecciones de elementos de malla vial, espacio público o puentes, bajo diferentes aspectos con sólo seleccionar un nuevo juego de parámetros sin necesidad de entrar en cada ítem para modificarlo.

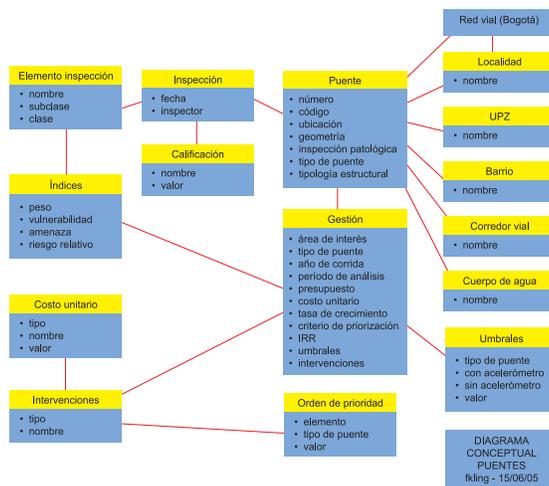
1.3 Fase de capacitación e implementación del sistema:

Una vez probado mediante los prototipos, el sistema entró en producción mediante las actividades de capacitación

Dentro de las variables consideradas como parámetros se encuentran: el presupuesto anual y multianual disponible, definición de grupos de trabajo para el mantenimiento rutinario, insumos para los precios unitarios de las actividades referentes al mantenimiento

Figura 2

Modelo conceptual de puentes



rutinario, mantenimiento periódico y rehabilitación, parámetros ingenieriles tales como umbrales de intervención, costos de los usuarios, costos de espera, costos de accidentalidad, rentabilidad, costo de inversión y de beneficio económico, beneficio social y ambiental, composición y crecimiento vehicular, así como los factores daño de los vehículos de acuerdo a la jerarquía de los corredores viales analizados incluyendo los corredores del sistema de transporte masivo TRANSMILENIO.

2.3 Módulo de deterioro:

El módulo de deterioro permite capturar la información periódica relevada mediante el proyecto “calibración de las curvas de deterioro de los pavimentos de Bogotá” para la alimentación de los diferentes modelos de deterioro con los cuales se proyecta el comportamiento del pavimento a través del tiempo, reflejando el desempeño de la estructura vial tanto en el aspecto superficial como estructural. Adicionalmente, el sistema cuenta con modelos de deterioro lineales estimados para la proyección de las variables de diagnóstico referentes a la infraestructura de espacio público y puentes. El módulo cuenta con diferentes submódulos como se muestra a continuación:

2.4 Submódulo de curvas de deterioro de familias:

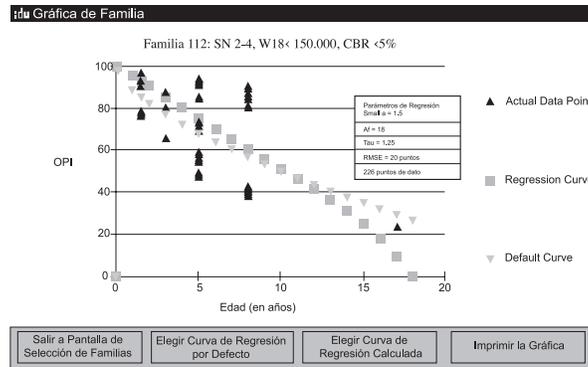
A partir de la capacidad estructural del pavimento expresada por el número estructural SN, el nivel de tráfico proyectado expresado mediante el número de ejes equivalentes y la capacidad de soporte de la subrasante, este submódulo permite ubicar cada uno de los elementos viales que conforman la malla vial de Bogotá en familias “típicas” de deterioro, con el objeto de contar con proyecciones confiables al deteriorar los parámetros en el tiempo para los procesos de gestión de pavimentos multianual.

Mediante procesos de regresión, el sistema permite deteriorar cada parámetro de gestión de manera particular en cada familia típica, encontrando los valores con los cuales se alimenta el sistema para la programación de las actividades de mantenimiento periódico y rehabilitación. (figura 3)

Mediante este sistema, se proyectan variables de diagnóstico superficial tales como el IRI, el inicio y progresión de las fallas superficiales, el número estructural SN, entre otros.

Pantalla de Familia Típica - Curva de Deterioro

Figura 3



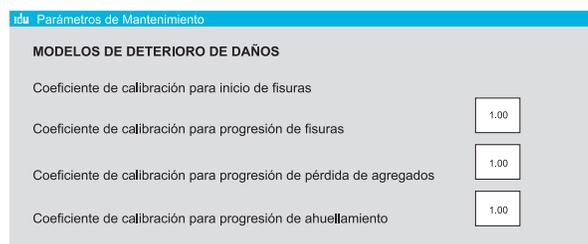
Submódulo de curvas de deterioro de las fallas superficiales:

Teniendo en cuenta que el proyecto de calibración de las curvas de deterioro particulares para Bogotá requiere de un proceso que conlleva tiempo y alta inversión, se ha introducido en la aplicación los modelos de deterioro del sistema HDM-4, como un modelo alterno por defecto, tanto para pavimentos flexibles como para pavimentos rígidos. Para tal fin, se implementaron las fórmulas que presenta dicho modelo para los daños más relevantes en los pavimentos de la ciudad, las cuales contemplan variables como el tránsito que ha circulado por la vía, la capacidad estructural del pavimento, características de las capas del pavimento, aspectos ambientales de la ciudad, entre otros.

Los coeficientes de calibración de dichos modelos se han considerado como valores por defecto que pueden ser modificados por los usuarios en la ventana de parámetros del módulo de mantenimiento para ajustar cada curva al comportamiento real de progreso de las fallas en la ciudad. A manera de ejemplo se presenta en la figura un modelo de la pantalla de parámetros del sistema en la cual se podrán ajustar los coeficientes de calibración de las curvas de deterioro.

Pantalla de parámetros para modificar los coeficientes de calibración de los modelos de deterioro de los daños del sistema HDM-4

Figura 4



2.5 *Submódulo de curvas de deterioro para la infraestructura de espacio público:*

A partir de la vida útil esperada para los elementos que componen la infraestructura de espacio público tales como andenes, sardineles, separadores, ciclorutas, alamedas, árboles y mobiliario urbano, se han diseñado modelos de deterioro lineales, cuyas variables pueden ser parametrizadas por el usuario de acuerdo al comportamiento observado directamente bajo el uso de estos elementos. Por lo tanto, al igual que para los pavimentos, se podrá proyectar el estado superficial

y estructural del espacio público, el cual se califica y cuantifica a través de índices de estado, como se observa en la figura 5.

2.6 *Submódulo de Curvas de deterioro para la infraestructura de puentes vehiculares y peatonales:*

El modelo de deterioro aplicado a la infraestructura de puentes vehiculares y peatonales se alimenta de información periódica reportada por acelerómetros instalados en los diferentes componentes del puente tales como la superestructura, infraestructura y cimentación, datos estos que se administran bajo una estructura de datos particular manejada por la Universidad Nacional de Colombia. Los datos periódicos referidos son llevados a un factor denominado S, el cual representa la relación entre la frecuencia reportada por el acelerómetro y la frecuencia característica del componente evaluado. De esta forma, es posible predecir cuándo un componente de un puente requiere ser intervenido. En la figura 6 se puede observar un modelo deterioro típico para un componente de un puente y el efecto de las intervenciones:

Para el caso en que el puente no tenga instalado un acelerómetro, se han estimado modelos de deterioro lineales con base en umbrales de los índices de calificación de estado, los cuales van de 1 a 5 y la vida útil del puente, tal como se muestra en la figura 7.

2.7 *Módulo de intervenciones requeridas:*

Mediante la aplicación de éste módulo se determinan las acciones tanto de mantenimiento periódico y rutinario como de rehabilitación y reconstrucción requeridas por la red vial, el espacio público o los puentes seleccionados, teniendo en cuenta los parámetros de estado superficial y estructural, los parámetros de sollicitación de tráfico y los deterioros proyectados.

Figura 5

Elementos del espacio público y modelos de deterioro de los índices de condición

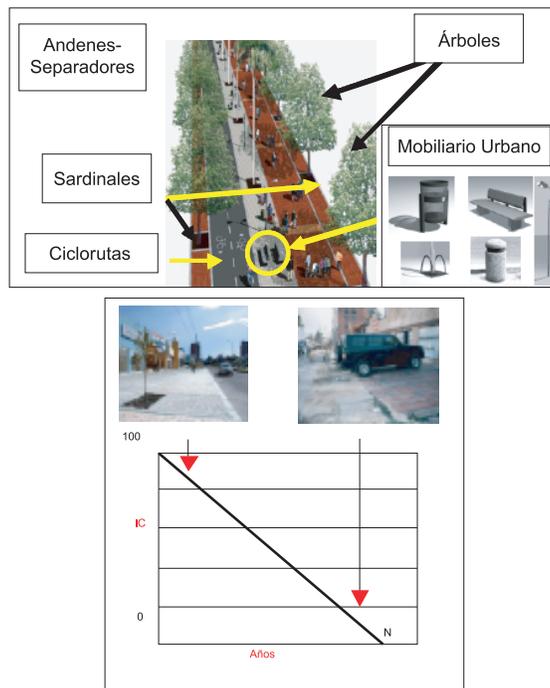
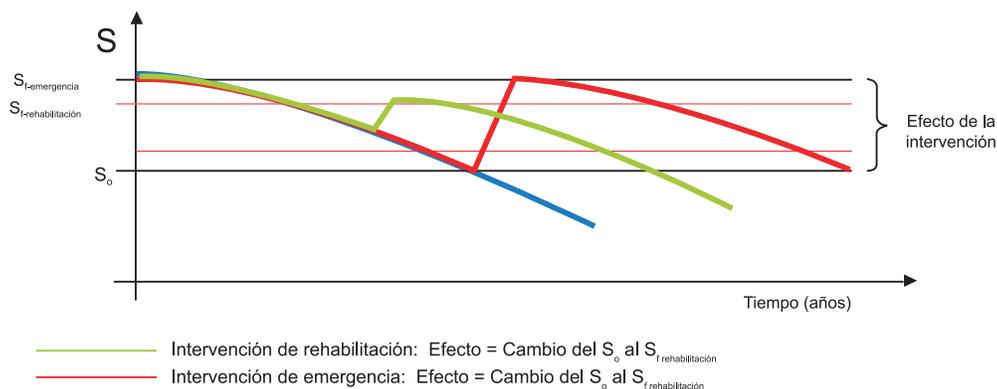


Figura 6

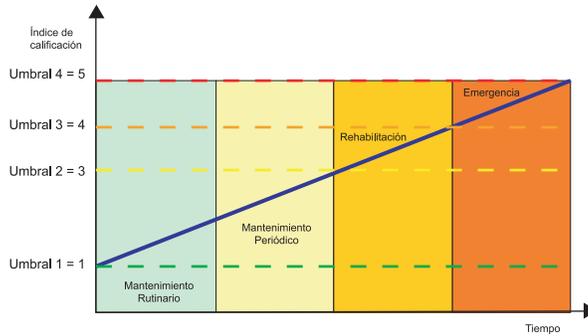
Modelo de deterioro del componente de un puente y efecto de las intervenciones



Para definir el tipo de intervención a implementar, se utilizan flujos de decisión, los cuales, clasifican primero la infraestructura en colores a partir de los datos de diagnóstico y luego con la patología específica de cada elemento, se define el alcance de la actividad de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico o rehabilitación.

Modelo de deterioro del puente a partir del índice de calificación

Figura 7



En el caso que un elemento de malla vial requiera actividades de rehabilitación o reconstrucción para cumplir con el nivel de servicio establecido durante el período de análisis de la gestión, el sistema calcula la nueva estructura a través de dos metodologías: AASHTO y mecanicista. Con la metodología AASHTO se encuentra el espesor efectivo de concreto asfáltico, "Full Depth" necesario para soportar las cargas de tránsito y con la metodología mecanicista se analizan el comportamiento elástico de la estructura, revisando los esfuerzos y deformaciones admisibles en cada una de las capas del pavimento y dimensionando los espesores de refuerzo requeridos. Estas metodologías aplican tanto para pavimentos flexibles como para pavimentos rígidos. En cuanto a las vías en afirmado

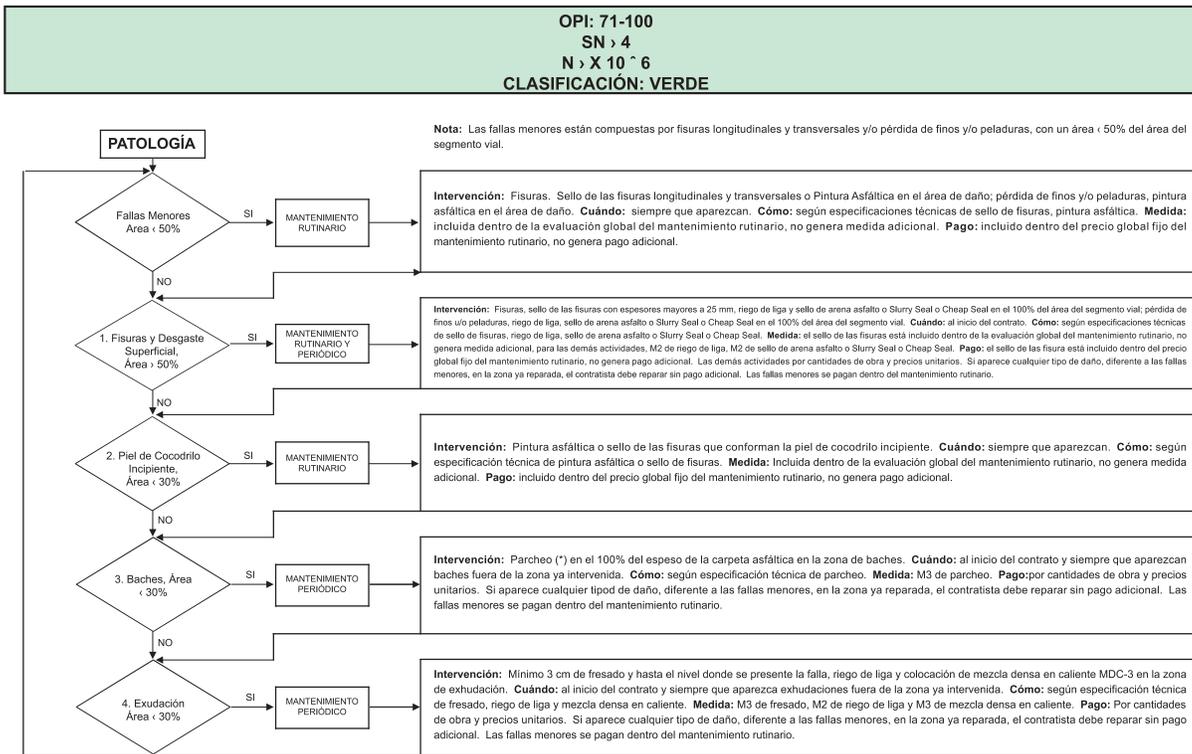
el sistema determina las acciones que se deben llevar a cabo para que la vía mantenga un nivel de servicio aceptable. Por otro lado, se considera la posibilidad de pavimentación de estos segmentos ya sea en pavimento rígido, en pavimento flexible o en pavimento articulado, dependiendo de los ejes equivalentes proyectados en el período de análisis.

2.8 Módulo de generación de alternativas, evaluación económica y optimización:

Basados en parámetros tales como: intervenciones requeridas, determinadas por el módulo anterior y

Flujo de decisión para la definición del tipo de intervención

Figura 8



niveles de servicio definidos por la entidad a través del usuario, este módulo determina varias alternativas de intervención, sobre las cuales realiza el cálculo de los costos correspondientes con los análisis de precios unitarios parametrizables por el usuario. Posteriormente se realiza la optimización de recursos teniendo en cuenta variados escenarios con y sin restricciones presupuestales, de tal forma que las soluciones generadas se puedan comparar de manera técnica y económica. Dentro de los criterios de priorización implementados se encuentran los siguientes:

•Criterios de priorización de elementos de malla vial:

Para la priorización de los elementos de la malla vial se tuvieron en cuenta cinco criterios: a) importancia dentro de la movilidad urbana; b) disminución de los costos de operación vehicular; c) análisis de la relación beneficio – costo incremental; d) índice de condición superficial y estructural proyectado y e) costo de agencia o menor costo. Para el cálculo de los costos de operación vehicular, la herramienta se basa en el modelo VOC implementado por el sistema HDM-4, realizando los ajustes necesarios para una malla vial urbana a los parámetros de las ecuaciones de velocidad, longitud de cola y tiempos de espera, las cuales se basan en la evolución del índice de regularidad superficial IRI.

•Priorización de elementos de espacio público: Para la priorización de los elementos de espacio público se tuvieron en cuenta cuatro criterios: a) jerarquía urbana; b) jerarquía social, c) índice de condición superficial y d) costo de agencia o menor costo.

•Priorización de puentes: Dadas las características particulares de esta infraestructura, los puentes se priorizan bajo un solo criterio denominado índice de riesgo relativo, el cual, combina el índice de vulnerabilidad, el cual es calculado a partir de la patología de cada uno de los elementos que constituyen la estructura y el índice de amenaza, estimado con base en los agentes externos que solicitan el puente tales como los sismos, corrientes de agua, ubicación dentro de la malla vial y cargas impuestas por los vehículos. A mayor índice de riesgo relativo, el puente se constituye en prioridad para ser intervenido.

Tanto para los elementos de malla vial como para los elementos de espacio público, el usuario puede definir el criterio de priorización y combinar los resultados, con el objeto de poder optimizar los recursos disponibles.

2.9 *Módulo de retroalimentación:*

El diseño del sistema de gestión vial y espacio público de Bogotá considera un módulo de retroalimentación, el cual permite al usuario conocer la incidencia de las intervenciones estimadas, priorizadas y optimizadas, con el objetivo de conocer si las mismas permiten obtener el nivel de servicio deseado durante el período de análisis. Por otra parte, le permite al usuario realizar análisis del comportamiento de la infraestructura estudiada bajo varios escenarios, permitiéndole tomar decisiones de manera acertada y oportuna.

2.10 *Módulo de reportes:*

El sistema es completamente versátil en la generación de reportes los cuales fueron diseñados para ser generados en forma de tablas, de diagramas estadísticos y de planos y mapas geo-referenciados. Los resultados pueden ser exportables a hoja de cálculo tipo excel.

El sistema permite al usuario conformar estos reportes de tal manera que se puedan visualizar los diferentes componentes de la gestión, entre ellos los siguientes:

- Reportes de deficiencia del estado de la infraestructura seleccionada para la gestión.
- Reporte de justificación de priorización de la inversión.
- Reporte de programación de la inversión.
- Reporte de resultados de la retroalimentación de estado después de escoger la alternativa de intervención.
- Plan de inversión a corto, mediano y largo plazo, de acuerdo al período de análisis establecido por el usuario.

Por el gran contenido de información que se genera en estos reportes, se diseñó un mecanismo de almacenamiento ordenado de estos, de manera que los usuarios no los almacenen en la memoria de su equipo sino en la memoria del servidor de producción.

2.11 *Módulo de visualización de información (inventario filmico – mapas geo-referenciado):*

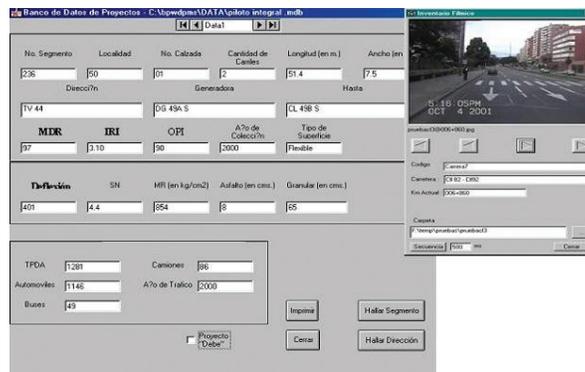
Como una herramienta adicional al módulo de reportes, el sistema cuenta con el diseño de un módulo de visualización de información con dos componentes, la visualización del inventario filmico y la visualización de mapas geo-referenciados.

El inventario filmico consiste en una serie de fotografías tomadas de manera secuencial en cada

tipo de infraestructura, las cuales serán cargadas por el sistema. De esta forma, se podrá acceder a observar los cuadros relevados en el inventario fílmico, mediante una botonera “Ver Imágenes”, tal cual se aprecia en la figura 9. Dependiendo de la cantidad de cuadros tomados para cada proyecto, se puede apreciar de forma secuencial, como si se tratara de un video o se verá una vista única en la medida de no disponerse de una secuencia. El usuario puede definir el tiempo entre cada foto, en milésimas de segundo.

Pantalla de archivo de banco de datos para inventario fílmico

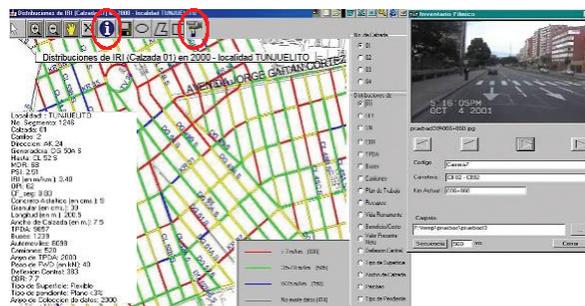
Figura 9



De igual forma, el módulo de visualización tiene la opción de ver mapas geo-referenciados de los elementos que conforman la malla vial, el espacio público y los puentes de la ciudad, en los cuales se dispondrá de la opción para visualizar los cuadros de fotos desde la barra de herramientas, presionando el ícono de una cámara de video, teniendo la ventaja que conforme el usuario se ubica referencialmente en un proyecto, puede apreciar en detalle las características del mismo, al presionar el ícono de información, tal cual se aprecia en la figura 10.

Pantalla de mapas para visualización de archivos

Figura 10



3. Descripción general del entorno tecnológico

El sistema de gestión vial y de espacio público de Bogotá fue diseñado con una arquitectura de tres niveles el cual permite la construcción de sistemas multiusuario de gran rendimiento y seguridad para el acceso a la información a través de interfaces cliente servidor y/o vía web. La arquitectura de tres niveles fue estructurada como se muestra en la figura 11.

El nivel de servicios o servidor de aplicaciones es el segundo nivel de la arquitectura o nivel intermedio que permite ser la interfaz entre el nivel de base de datos y el nivel de aplicaciones. Es también denominado nivel de aplicaciones por que en él se encuentra almacenada toda la lógica e inteligencia de la aplicación. Este nivel se desarrolló en el lenguaje de programación JAVA 2 Enterprise Edition (J2EE) el cual permite que sus componentes funcionen sobre cualquier plataforma abierta de servidores de aplicaciones basadas en JAVA 2.

Dentro de la figura se puede observar claramente los elementos que conforman todo el sistema, y su ubicación dentro de la arquitectura de 3 capas: nivel de base de datos, nivel de servicios y nivel de aplicaciones. El nivel de base de datos se constituye en el primer nivel de la arquitectura o nivel primario, el cual se encuentra conformado por los componentes de almacenamiento de información. Esto permite que el sistema de gestión vial y de espacio público funcione indistintamente con cualquier motor de base de datos siempre y cuando éste maneje el lenguaje estructurado de consultas ORACLE. Además, con este nivel, el sistema podrá recuperar y consultar información de otras fuentes de datos o bases de datos externas, por lo cual el diseño de la aplicación incorporó las interfaces necesarias para permitir el acceso a estas fuentes de datos externas. Por otra parte, el sistema permite almacenar los parámetros globales, variables de ejecución y los parámetros utilizados en cada una de las ejecuciones de los procesos.

Por último, el tercer nivel o nivel de aplicaciones está conformado por los componentes que constituyen la interfaz gráfica del usuario. Para éste caso en particular, el tercer nivel cuenta con dos componentes independientes que le permiten el acceso a través de un sistema cliente servidor y otro vía “Web”. Cualquiera de los dos componentes accederá de forma directa y exclusiva a los componentes del nivel desarrollados en el nivel de servicios. El componente cliente servidor permite a los usuarios autorizados realizar todas y cada una de las funcionalidades y operaciones desarrolladas para el sistema de información, mientras que el desarrollo del

componente "Web" permite a los usuarios autorizados la generación y visualización de los informes definidos en el área de análisis y del componente de visualización cartográfica.

4. Metodología de desarrollo de la aplicación

Como se mencionó anteriormente, la metodología de desarrollo de la aplicación fue la metodología RUP, la cual, a través de iteraciones progresivas, le permite tanto al personal especialista en temas de gestión de infraestructura como al personal especialista en análisis y diseño de software interactuar de manera conjunta con el objetivo de obtener un producto adecuado desde el punto de vista técnico y con la mayor calidad desde el punto de vista operativo. En la figura 12 se detallan las iteraciones realizadas enmarcadas dentro de las fases del proyecto ya descritas.

5. Beneficios derivados del proyecto

El sistema de gestión vial y espacio público descrito en el presente documento, ya en producción, ha traído

innumerables beneficios al IDU, dentro de los cuales se destacan los siguientes:

- Desarrollo de un verdadero programa de planeación estratégica para la administración e inversión de los recursos destinados a la conservación de la infraestructura vial, de espacio público y puentes, mediante la gestión integral de todos sus componentes.
- Conocimiento del estado real de la infraestructura y de las necesidades de inversión para mantener un nivel de servicio adecuado en un período de tiempo definido.
- Conocimiento de la influencia de los criterios de priorización en la toma de decisiones sobre la infraestructura a intervenir, en especial, el referente a la disminución de los costos de operación vehicular y su influencia en la economía de la ciudad.
- Conocimiento de la evolución del deterioro de la infraestructura, en especial la referente a la estructura de pavimento, permitiendo proyectar el estado superficial y estructural de la infraestructura con y sin la aplicación de intervenciones.
- Optimización de los escasos recursos destinados a la conservación de infraestructura, mediante la aplicación de tecnologías de mantenimiento proyectadas a mediano y corto plazo.
- Organización estructurada de los datos de inventario y diagnóstico que han sido relevados sobre la malla vial y espacio público durante los últimos cinco años y consecución de recursos para el levantamiento del inventario de puentes vehiculares y peatonales, cubriendo de esta forma toda la infraestructura administrada.
- Obtención de una herramienta sistemática libre de restricciones técnicas, con opciones de mejoramiento y actualización de acuerdo a las políticas particulares de cada administración distrital.

Figura 11

Arquitectura de tres capas

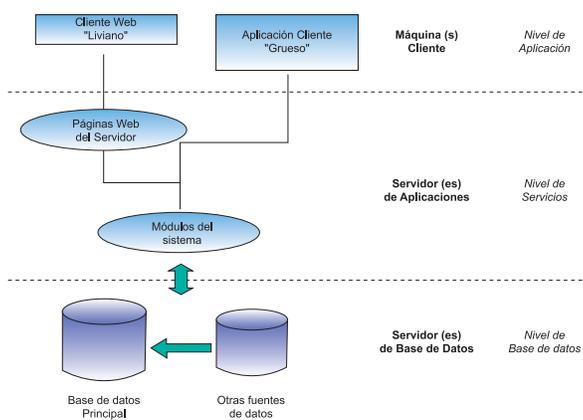
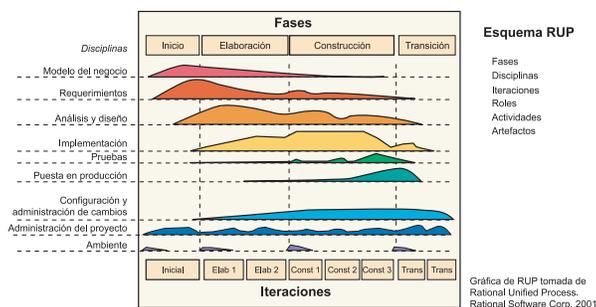


Figura 12

Metodología de desarrollo del software RUP



5. Bibliografía

1. Especificaciones generales de construcción de carreteras. INVIAS. 1996 – 2002.
2. DE SOLMINIHAC, Hernán. Gestión de infraestructura vial. Segunda edición ampliada. Chile. 2001.
3. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. 1993
4. Metodología de evaluación de daños superficiales VIZIR. Guía Metodológica para la rehabilitación de pavimentos. INVIAS.
5. REYES LIZCANO, Fredy Alberto. Diseño racional de pavimentos. Primera edición. Colombia. 2003.