

# Efectos del flujo del agua superficial y subterránea en la estructura de los pavimentos flexibles.

## Effects of flow of surface and groundwater in the structure of flexible pavements.

Jessica Melissa Garzón Rodríguez, Estudiante de Ingeniería Civil, Fernando Alberto Baez Pastrana, Estudiante de Ingeniería Civil.  
*Universidad La Gran Colombia, Colombia.*

*jessicamelissa.garzon@ulagrancolombia.edu.co, ferchogol8910@hotmail.com,*

*Mentor: Christian Camilo Gutiérrez Angulo, IC, Magister en Geotecnia  
Profesor Universidad La Gran Colombia, Colombia, christiancamilo.gutierrez@ugc.edu.co*

*Resumen— Existe un gran problema en países como Colombia y México en donde las condiciones climáticas, el flujo del agua de escorrentía y de infiltración, el crecimiento del parque automotor, las condiciones desfavorables de algunos suelos, y en lo técnico la no realización de estudios y ensayos completos, conllevan a efectos negativos como lo es la destrucción prematura de los pavimentos.*

*En el siguiente artículo se presenta una revisión de algunos estudios donde se discute el papel fundamental que juegan los efectos que provienen del flujo del agua y del intemperismo para la realización y un buen mantenimiento de los pavimentos flexibles; esta revisión se da en el contexto nacional e internacional haciendo referencia al Seminario Internacional de Geotecnia aplicada en Obras de Infraestructura realizado en la ciudad de Chihuahua (México).*

*Palabras claves— escorrentía, infiltración pavimento flexible.*

*Abstract— There is a big problem in countries like Colombia and Mexico where the climatic conditions, the flow of runoff and infiltration, growth of the fleet, unfavorable conditions in some soils, and technically non studies and trials full, leading to negative effects such as the premature destruction of pavements.*

*The article reviews some studies where the fundamental role of effects that come from the flow of water and weathering to carry and good maintenance of flexible pavements discussed is presented ; this review is given on the*

*national and international context referring to the International Geotechnical Seminar applied Infrastructure Works realized in the city of Chihuahua ( Mexico ).*

*Keywords— run-off, infiltration, flexible pavement.*

### I. INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de los pavimentos en el mundo, la red vial de países como Colombia y México se han visto en la necesidad de ser mejorada, con el fin de satisfacer el servicio del usuario, enfrentando cambios en los cuales se permitiría alcanzar una máxima eficiencia en el diseño de estos; por lo anterior se deben considerar las variables para la optimización de la construcción, sin olvidar que una de ellas está presente desde el inicio y es el agua.

Un pavimento es la superestructura de las vialidades, formado por una estructura multicapa y está constituida por la capa de superficie la cual recibe las cargas del tráfico, seguidas por unas capas del cuerpo llamadas base y sub-base apoyadas sobre una plataforma de soporte denominada sub-rasante<sup>1</sup>, como se puede observar en la figura N°1; entre sus características principales están: resistente a las cargas, ante los agentes

---

<sup>1</sup> Montejo Fonseca, Alfonso, Ingeniería de pavimentos para carreteras, Bogotá, Universidad Católica de Colombia, 2006.

del intemperismo, al deslizamiento y desgaste, la durabilidad y tener un excelente drenaje.

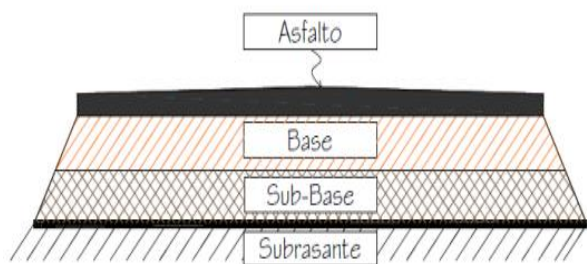


Figura N°1. Sección típica de un pavimento flexible.<sup>2</sup>

El pavimento también protege la sub-rasante de los agentes atmosféricos, cuyos efectos más importantes son la variación de la humedad del suelo y el nivel de las aguas subterráneas que está sujeta a variaciones estacionales. Los revestimientos vegetales de taludes y el sistema de drenaje también contribuyen a mantener el terreno en las mejores condiciones resistentes.

La capacidad de soporte de la sub-rasante, en las condiciones más desfavorables de humedad, impone las características y espesores de las capas del pavimento; la deformabilidad de una explanada natural justifica en muchas ocasiones la utilización de una capa de suelo seleccionado de mejor calidad, o bien la mejora de las cualidades de la explanada mediante estabilizaciones, mezclas o adiciones de otros materiales.

En relación con la resistencia, sensibilidad al agua y a la eventual acción de la helada, en los países donde ocurre: los suelos de la sub-rasante deben seleccionarse con criterios más estrictos que para el resto del terraplén. Es necesario también un mayor grado de compactación y estimación de la capacidad de soporte mediante ensayos apropiados.

Los pavimentos se clasifican según su uso en flexibles, rígidos, semirrígido, compuesto y capa asfáltica gruesa; y de acuerdo con su funcionamiento bajo las cargas del tráfico para bajo, medios y altos volúmenes de tránsito; en este artículo se revisaran los pavimentos de tipo flexible o asfálticos.

La necesidad de investigar sobre el comportamiento del flujo del agua en los pavimentos flexible, justifica este artículo, cuya intención primordial es realizar una revisión y análisis de los efectos de la infiltración y la escorrentía desde la sub-rasante, que constituye el punto

<sup>2</sup> Fuente: Evaluación superficial de algunas calles de la ciudad de Loja. Loja 2009. Página 4.

de partida para mejorar la estructura del pavimento y que se conforme una adecuada capa asfáltica.

## II. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES REALIZADAS

En la primera mitad del siglo XX, las carreteras más importantes tenían, entre la sub-rasante y el asfalto, las denominadas intermedias; hoy en día llamadas: sub-base y base, dando a entender que la sub-rasante o explanación es el cimiento de la estructura de los pavimentos; es así que la estabilidad de esta capa debe ser lo más uniforme posible desde el punto de vista de capacidad portante y permeabilidad.

De la idea anteriormente expuesta debe desprenderse la conveniencia de proteger la sección estructural de los pavimentos asfálticos de los efectos del agua interior y exterior que pudieran penetrar en ella. Este efecto siempre es nocivo por más que se extremen las precauciones para evitar y controlar su presencia ya que puede causar efectos muy graves.

Los métodos de diseño por lo general consideran la ocurrencia de fallos, sin embargo los más comunes se producen por las siguientes causas: ausencia o inadecuado sistema de sub-drenaje, filtración de aguas y colocación de la capa de asfalto con lluvia o exceso de agua en la capa de apoyo.

Estas apariciones de fallos traen deterioros tanto en la estructura como en la superficie, la cual es muy evidente, como se puede observar en la Figura N° 2.



Figura N°2. Estructura de pavimento flexible deteriorada por efectos dinámicos bajo presencia de agua de infiltración.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C. Pág. 22.

En cuanto a las temperaturas y precipitaciones tanto en Colombia como en México los países se han dividido en regiones climáticas con el fin que la variable clima se involucre en forma apropiada en el diseño de estructuras de pavimento.

#### A. INVESTIGACIONES EN EL CONTEXTO NACIONAL

En Colombia durante las décadas anteriores el primer enfoque en el diseño de pavimentos se basaba en la estabilidad más que en el flujo del agua y su respectivo drenaje, a través de los años, varios adelantos en la hidrología urbana se han desarrollado derivados del análisis de las relaciones entre la ciudad y el ciclo del agua (Torres, 2004)

La mayoría de los pavimentos construidos anteriormente se realizaron con diseños de drenaje muy lentos permitiendo que la estructura de estos contenga agua libre durante importantes periodos de tiempo, lo que da a entender que las bases y sub-bases estabilizadas y compactadas usadas normalmente en estos diseños son de baja permeabilidad.

Según las normas para Colombia la ley ha fijado al Instituto Nacional de Vías (INVIAS) la responsabilidad de apoyar a los entes territoriales tanto en aspectos de organización de las agencias viales como en los de transferencia de la tecnología; en cumplimiento de esto, el INVIAS ha preparado el manual de diseño de pavimentos asfálticos.

Como es común saber los pavimentos exponen grandes superficies a condiciones ambientales desfavorables como la lluvia; cuando el contenido de agua aumenta de la base y la sub-base, disminuye la capacidad portante de su estructura afectando directamente sus características funcionales y por consiguiente la calidad del servicio, estudios han demostrado en el pasado que hasta un 70% de agua de escorrentía se puede infiltrar a través de la capa de rodadura teniendo el uso y deterioro normal de todo pavimento.

Es importante resaltar que las juntas y grietas sin sellar equivalentes a capas permeables y grietas en pavimentos flexibles permiten que el agua ingrese a la estructura del pavimento y se acumule debajo de la interfaz de la capa de rodadura y la base granular ocasionando una reducción de la resistencia del material

conduciendo a daños significativos en los pavimentos flexibles.

El Ingeniero Civil y Profesor Lisandro Beltrán Moreno, de la Universidad Nacional de Colombia 2004, analizó e hizo un artículo de las fallas de los pavimentos de Transmilenio, sin embargo en vista de la complejidad y extensión de los estudios, la Universidad Nacional conformó un grupo de trabajo integrado por ingenieros civiles especializados en varias áreas del conocimiento, entre los que se destacan los profesores Carlos I. Gutiérrez, Gabriel Gómez, Jorge Matiz, Álvaro J. González, Álvaro Correa, y el autor del artículo antes mencionado; en este se muestra las fallas que afectan los pavimentos de la Fase I del Sistema de Transporte Transmilenio, en donde el material fue un relleno fluido el cual absorbe el agua de infiltración por capilaridad destruyendo los enlaces entre granos aportados por el asfalto logrando junto con el movimiento rápido del agua con el fenómeno de bombeo acelerar el proceso de erosión para terminar con la pérdida del soporte total y fracturación bajo las cargas pesadas.

En el año 2009 en la ciudad de Bogotá D.C. los ingenieros Federico León Castaño Martínez, Jorge Betin, José N. Gómez Saenz y Fredy Reyes Lizcano de la Pontificia Universidad Javeriana realizaron una investigación para analizar un sistema de drenaje óptimo para la estructura de los pavimentos flexibles; para esto obtuvieron las carpetas asfálticas en el sector del Lago al norte de la ciudad, seleccionando así un material de soporte para más adelante poder comparar con los dos modelos experimentales; los cuales corresponden a un modelo de una estructura de pavimento flexible convencional y el otro a el modelo de este mismo pavimento flexible con adición de una base abierta que sirve de drenaje interno; estos modelos fueron realizados en el laboratorio.

Para elaborar este análisis fue necesario simular el comportamiento de una estructura de pavimento flexible con un cierto grado de utilidad, cuando debe absorber el agua de escorrentía; a continuación fueron realizados los moldes para visualizar y validar la situación desde el punto de vista del drenaje sin la inclusión de base abierta y con la inclusión de esta. Para la preparación de estos moldes fue necesaria la realización de las pertinentes pruebas de laboratorio con el fin de que la caracterización de los materiales tenga condiciones reales.

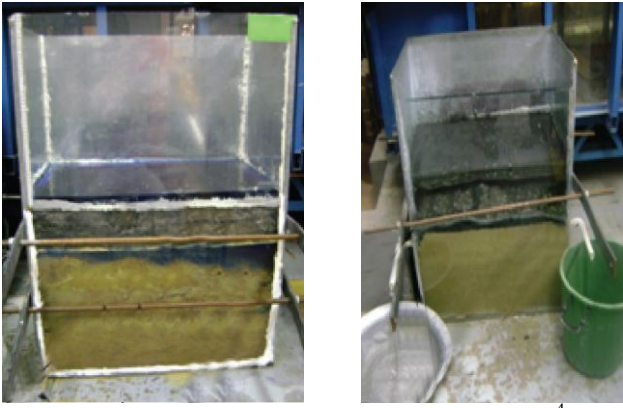


Figura N°3-4 Modelo experimental 1 y 2<sup>4</sup>

La figura N° 3 es el modelo convencional del pavimento al analizarla se puede verificar que el agua infiltrada queda en la mitad de la carpeta asfáltica y la base granular ya que la permeabilidad de esta base compactada es baja permitiendo un drenaje lento del agua; esta agua atrapada posteriormente absorbe las fuerzas ejercidas por el tráfico y esto es lo que genera la destrucción de la carpeta asfáltica; en la figura N° 4 se encuentra el modelo con la incorporación de la adición de base abierta o drenante el cual resulta ser un sistema satisfactorio para drenar el agua de infiltración ya que lo hace de una manera más rápida.

Según la información de las condiciones del drenaje de pavimentos (AASHTO, 1993), estas tienen en cuenta el tiempo requerido para que el 50% del agua libre sea drenada de la estructura, según los resultados obtenidos por los autores en el modelo experimental 2 se tiene que el método analizado para el control de las aguas de infiltración de las estructuras de pavimento flexible e implementado ya por otros (Cedergren, 1987), tiene una calidad de drenaje excelente, con lo cual se controla eficientemente el fenómeno del bombeo y generación de sub-presión hidrostática, y por lo tanto se evitaría la destrucción o deterioro prematuro del pavimento. Sin embargo este método experimental no es tan funcional porque solo previene la infiltración del agua hacia la base desde la capa de rodadura, sin tener en cuenta la infiltración en el resto de su estructura para lo que se recomendaría implementar sistemas adicionales y convencionales que permitan el control del agua.

Con esta investigación se observa la situación actual del sistema de drenaje empleado en la construcción de pavimentos flexibles en el país lo cual nos permite

<sup>4</sup> Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C. Pág. 24-25.

evidenciar la importancia que tiene drenar eficiente y rápidamente estas estructuras.

Entre otras investigaciones realizadas está el trabajo de grado sobre los pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano realizado por el estudiante Mario Alejandro Castro Espinosa de la Pontificia Universidad Javeriana el cual muestra implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible que ayudan a contrarrestar los efectos negativos de la urbanización en el ciclo hidrológico. Por medio de estos se mejora la calidad del agua lluvia o escorrentía en el sitio donde se produce y se puede obtener beneficio gracias al almacenamiento, no solo para el aprovechamiento del agua en las actividades diarias, sino en el control de inundaciones que con el cambio climático y la impermeabilidad de las zonas urbanizadas día a día se hace más presente (Ferguson, 2005).

## B. INVESTIGACIONES EN UN CONTEXTO INTERNACIONAL

La Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. (AMAAC) es una agrupación de carácter técnico y científico con el objetivo principal de realizar investigaciones y desarrollo tecnológico en materia de asfaltos; sin embargo la mayoría de investigaciones realizadas en México han sido por la Universidad Autónoma de México (UNAM).

El diseño de pavimentos en México es importante, pues día a día la infraestructura debe crecer, por tal motivo, el Instituto de Ingeniería de la UNAM se dio a la tarea de desarrollar su propio método para el diseño de pavimentos, el pavimento que ha sido utilizado tradicionalmente es el asfáltico.

El método desarrollado por la UNAM lo podemos analizar mediante el trabajo de grado del estudiante Carlos Alberto Jiménez García, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacateco, México D.F. 2009 en el cual hace una descripción del método Dispav 5 el cual es un programa interactivo que permite diseñar pavimentos bajo ciertos parámetros; entre las mejoras incluidas, respecto al método original publicado en 1974 está la incorporación de un método para determinar las deformaciones permanentes acumuladas como el agrietamiento a fatiga en las capas ligadas con asfalto sin embargo en estas incorporaciones ni en los métodos anteriores se tiene en cuenta a la hora de

elaborar el diseño el efecto causado por el factor del agua en la estructura.

Investigaciones de los Ingenieros Alfonso Rico Rodríguez, Rodolfo Téllez Gutiérrez y Paul Garnica Anguas del Instituto Mexicano del Transporte (1998) parten del hecho de que se reconoce que no existe un método de análisis y diseño de pavimentos flexibles que esté basado en teorías propias y coherentes, es por esto que en la práctica mexicana todavía se aplican tecnologías antiguas lo que dificulta lograr buenas estructuras de pavimentos; porque ya no solo es el agua y sus efectos más directos la causa de los más evidentes destrozos, hoy en día son otros los elementos nocivos como lo puede ser la acción de las cargas repetidas lo que induce la posibilidad de fallas por fatiga y por efecto de la deformación acumulativa.

De la idea antes expuesta debe desprenderse la conveniencia de proteger la estructura del pavimento por tal razón siempre se debe analizar la posibilidad de efectuar obras de drenaje y sub-drenaje que protejan adecuadamente esa sección estructural.

### III. ACTUALIDAD

En la actualidad, la tecnología de los pavimentos ha logrado un alto desarrollo científico, sin embargo en países como Colombia y México no se ha instrumentado como debería ser, es por esto que aún la mayoría de métodos utilizados en estos países son empíricos; en las tecnologías de la ingeniería civil, la falta de desarrollos teóricos confiables ha de suplirse en dos ámbitos distintos: la experimentación en el laboratorio y la instrumentación de prototipos para obtener directamente normas de comportamiento.

Actualmente el Instituto Mexicano del Transporte (2011) indica que la metodología para la conservación de los pavimentos flexibles se debe realizar un procedimiento razonable para corregir los efectos del flujo del agua sea el rellenado, con una previa limpieza de las grietas, esto se realiza con materiales tales como lechada de mortero, asfaltos o resinas, con estas acciones se pretende proteger el paso del agua hacia las capas inferiores o el bombeo hacia la superficie de la capa de la sub-base.

### IV. CONCLUSIÓN

A partir de la revisión realizada del tema se puede concluir que el agua es quizás el factor que más influye

en el deterioro de los pavimentos por lo que se debe considerar su rápido desalojo de la vialidad, a fin de evitar su concentración superficial y dentro de la estructura.

Existe una gran cantidad de técnicas para el manejo de las aguas en los pavimentos; alternativamente como en vez de redirigir el agua que no se absorbe en superficies impermeables, se puede optar por hacer esas superficies más permeables. Las superficies pavimentadas pueden aumentar su permeabilidad con una selección adecuada de materiales con este objetivo puede utilizarse concreto poroso, asfalto permeable o adoquinado, sin embargo para cumplir con su vida útil requiere de un mantenimiento constante.

Por lo tanto, el ingeniero posee varias alternativas y combinaciones para el control, tanto del agua superficial como del agua subterránea.

Cabe resaltar que la protección contra las aguas de escorrentía e infiltración debe considerarse una labor rutinaria en toda construcción adecuada.

Como resultado de la evolución tecnológica, los métodos tradicionales de diseño han sufrido innumerables mejoras. Estas mejoras han ayudado también a la rama de la ingeniería civil; debe reconocerse que el problema del flujo del agua en los pavimentos flexibles no está hoy teóricamente resuelto de manera satisfactoria.

Es trabajo del lector emplear la mejor alternativa para combatir los efectos, a fin de comparar resultados y proponer estructuras más eficientes.

### AGRADECIMIENTOS

Este artículo es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por esto agradecemos principalmente a Dios, por habernos dado la vida, a nuestros padres quienes a lo largo de toda nuestra vida han apoyado y motivado nuestra formación académica, creyeron en nosotros en todo momento y no dudaron de nuestras habilidades, a nuestro mentor disciplinar el Ingeniero Christian Camilo Gutiérrez Angulo, al asesor metodológico el docente Roy Morales, a la Universidad La Gran Colombia, Facultad de Ingeniería; y al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Sede Chihuahua Facultad de Ingeniería por su apoyo en la realización del Seminario Internacional en Geotecnia aplicada a Obras de Infraestructura.

## REFERENCIAS

- [1] AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). Guide for Design of Pavement Structures, Washington, D. C.
- [2] Alfonso, Montejo F., (2006) “Ingeniería de Pavimentos” Tomo I y III, 3era edición, Colombia, Bogotá.
- [3] Beltrán Moreno, L., (2004) “Las fallas de los pavimentos de Transmilenio” Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C. Número 57, pp. 10,11. Mayo 9 de 2004
- [4] Bonilla, L. A., (2000) “Propuesta para Optimizar las Estrategias de Conservación de las Carpetas Asfálticas en las Carreteras” Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil.
- [5] Castaño, F., Herrera, J., Gómez, J., Reyes, F. (2009). Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá, D.C.
- [6] Castro, M., (2011) “Pavimentos Permeables Como Alternativa De Drenaje Urbano” Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá, D.C.
- [7] Cedergren, H., “Drainage of Highway and Airfield pavements”. Robert E. Krieger Publishing Company. pp. 9, U.S.A., 1987.
- [8] Corro, S., Magallanes, R., Prado, G., “Instructivo para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras” Series Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 444., UNAM, México, D.F., 1981.
- [9] Corro, S., Prado, G., “Diseño Estructural De Pavimentos Asfálticos, Incluyendo Carreteras De Altas Especificaciones” Instituto de Ingeniería, UNAM, 1999.
- [10] Department Of The Army And The Air Force, “Pavement Desing For Road, Streets, And Open Storage Areas, Elastic Layered Method”. USA, October, 1994.
- [11] “Estudio E Investigación Del Estado Actual De Las Obras De La Red Nacional De Carreteras: Manual Para La Inspección Visual De Pavimentos Flexibles” Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Bogotá, D.C., 2006.
- [12] Figueroa, A., Flórez, C., León, M., Muñoz, E., Ojeda, B., Reyes, F., Rodríguez, J., “Manual Para El Mantenimiento De La Red Vial Secundaria (Pavimentada Y En Afirmando)” Ministerio de Transporte, Pontificia Universidad Javeriana.
- [13] Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), “Estado De La Malla Vial A 31 De Diciembre De 2013” Bogotá, 2009.
- [14] Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), Universidad de Los Andes., “Manual de Diseño de Pavimentos para Bogotá” Bogotá D.C., Colombia., 2002.
- [15] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), “Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con Bajos, Medios y Altos volúmenes de Tránsito” Bogotá D.C., Colombia., 2002.
- [16] Jiménez, C., “Diseño De Pavimentos Flexibles: Método Del Instituto De Ingeniería De La UNAM” Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco, México, D.F., 2009.
- [17] Lin S. J., Lytton R., “Rainfall Infiltration Drainage, and Load” Carryng Capacity of Pavements, Transportation Research Record (TRR), No. 993, USA, 1984.
- [18] Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado) Revisado en: <http://web.mintransporte.gov.co/pvr/images/stories/documentos/pavimentos1>
- [19] Montejo, A., “Ingeniería De Pavimentos Para Carreteras” Bogotá, Universidad Católica de Colombia, 2006.
- [20] Rico, A., “Agrietamiento Longitudinal En Carreteras” Tópicos de Geotecnia, Universidad Nacional Autónoma de México., Pp. 61-95., 1987.
- [21] Rico, A., Mendoza, A., Téllez, R., y Mayoral, E. (1998). Algunos aspectos comparativos entre los pavimentos flexibles y rígidos. XIIIa Reunión Nacional de Vías Terrestres. Oaxtepec, Mor. Agosto.
- [22] Rico, A., Del Castillo, H., “La Ingeniería De Suelos En Las Vías Terrestres”, Chapter 7, pp. 427-442., México City: Ediciones Limusa SA., 1974.
- [23] Rico, A., Téllez, R., Garnica, P., “Pavimentos Flexibles. Problemática, Metodologías De Diseño Y Tendencias” Publicación Técnica No. 104, Secretaria De Comunicaciones Y Transportes Instituto Mexicano Del Transporte, Sanfandila, Qro, 1998.
- [24] Rico, A., “Visión personal de algunas cosas” Libro homenaje a José Antonio Jiménez Salas. Geotecnia en el año 2000. 2000. <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/Libro/lb6.pdf>
- [25] Rondón, H., Reyes, F., (2007) “Metodologías De Diseño De Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances Y Limitaciones” Universidad Militar Nueva Granada, Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Bogotá, D.C.

- [26] Sabogal, F., (1992) "Pavimentos" Tomo I, Universidad La Gran Colombia, Bogotá, D.C.
- [27] Téllez, R., Villamil, J., (1991) "Catálogo De Deterioros En Pavimentos Flexibles De Carreteras Mexicanas" Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No 21, Sanfandila, Qro, México.