

Evaluación geotécnica y condiciones climático-ambientales en carreteras destapadas

Geotechnical Evaluation and Climatic-Environmental Conditions in Gravel Roads

Carlos Hernando Higuera Sandoval*
 Jorge Andrés Burgos Ocaión **
 Sandra Milena Uribe Sandoval **

Resumen

Describe las metodologías para la evaluación geotécnica de los elementos que constituyen la vía, como la estructura del pavimento y los taludes, y para la evaluación geotécnica de una fuente de materiales; metodologías que son aplicables a carreteras destapadas o de bajos volúmenes de tránsito. Cada metodología se presenta en un diagrama de flujo, para que el ingeniero encargado de realizar los estudios pueda aplicarla de manera fácil y ordenada. Estas metodologías son producto del proyecto de investigación titulado “Carreteras destapadas: nociones de diseño, construcción y mantenimiento, evaluación geotécnica y condiciones climático-ambientales”, desarrollado por el Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial (Grinfravial).

Palabras clave: pavimento, Geotecnia.

Abstract

It describes the geotechnical evaluation's methodologies for the road elements, such as the pavement and the slopes' structure, and the geotechnical evaluation for the materials sources. These methodologies are applicable to the gravel roads or the low traffic volumes' roads. Each methodology is presented in a flow chart, so that the engineer in charge to make the studies can apply it, easily and orderly.

Key words: pavement, Geotechnical

* Ingeniero en Transporte y Vías; Especialista en Vías Terrestres; Especialista en Carreteras; Especialista en Transportes Terrestres; Magíster en Ingeniería de Vías Terrestres; Profesor de la Escuela de Transporte y Vías de la Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Director de la Escuela de Transporte y Vías; Investigador del Grupo Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial (GRINFRAVIAL). Correo electrónico: carlos.higuera@uptc.edu.co

** Ingenieros en Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

I. Introducción

En la actualidad, en Colombia los estudios para la construcción de la red secundaria son parciales, y para la red terciaria son deficientes, lo cual conlleva un manejo inadecuado de recursos; por esta razón se requiere que las entidades a cargo de la red vial, secundaria y terciaria, que se encuentra sin una estructura de pavimento completa, apliquen una metodología para el diseño, construcción y mantenimiento de esta. Al tener en cuenta lo anterior, el Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial (GRINFRAVIAL), de la Escuela de Transporte y Vías, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, ha adelantado el proyecto de investigación titulado “Carreteras destapadas: nociones de diseño, construcción y mantenimiento”, en su línea de investigación No.2: Diseño de infraestructura vial; dicha investigación fue patrocinada por la Dirección de Investigaciones (DIN), de la UPTC.

Colombia cuenta con 162 036 km de vías, distribuidas así, según su importancia: la red primaria es de 16 527 km (10,2%) y la red secundaria y terciaria es de 145 409 km (89,8%) [1]. Las entidades que están a cargo de la administración de la red vial nacional son: el INVIAS, que responde por toda la red primaria; los departamentos responden por 71 528 km (el 44,14%); los municipios están a cargo de 34 918 km (21,4%); caminos vecinales, 26 811 km (16,55%), y por último las vías privadas, 12 252 km (7,56% de la red) [2].

En la actualidad las vías secundarias y terciarias son construidas con criterios diversos, adoptados según el constructor o entidad administradora, por lo cual se incurre en errores en los diseños de los proyectos.

De acuerdo con esto, se requiere obtener una metodología para la evaluación geotécnica y climático-ambiental, de fácil aplicación en las vías secundarias y terciarias, que se adecúe a las diferentes características que componen el suelo colombiano y sirva como base de diseño, pues las entidades municipales no tienen una guía que permita realizar, adecuadamente, la evaluación geotécnica y climático-ambiental.

Con el desarrollo de la metodología se busca proveer a los ingenieros diseñadores de vías de una guía metodológica en la cual se puedan basar para unificar conceptos y así garantizar diseños acordes con las condiciones que prevalecen en nuestro país; a la vez que se permite que todas las entidades administradoras de la red vial secundaria y terciaria tengan criterios específicos de diseño, aspecto que redundará en mejores registros en cuanto a construcción, control del mantenimiento y conservación. Igualmente, con la implementación de la presente metodología se busca optimizar los procesos y recursos, para evitar los sobrecostos y lograr una mejor administración de estos, lo que contribuirá al crecimiento en obras que beneficien la comunidad.

Los parámetros más importantes en el diseño de la estructura de un pavimento [2], en lo que se refiere al lugar en el que se va a colocar esta, son: el tránsito, la resistencia de la subrasante y los factores climático-ambientales; los dos últimos que se tratarán en el presente documento, se usan para determinar la categorización de la subrasante y la regionalización de la zona de proyecto, según la temperatura y la precipitación, como datos definitivos y necesarios para el diseño de la estructura. Los parámetros mencionados no se pueden obtener por métodos indirectos, sino que, para determinar la categorización de la subrasante, se requiere una investigación directa; en el caso de la regionalización, los factores climático-ambientales se establecen por medio del análisis directo de los datos de temperatura y precipitación, los cuales se pueden obtener para la zona del proyecto y son proporcionados por el IDEAM [3].

II. Metodología para realizar la evaluación geotécnica de la subrasante, para la estructura del pavimento [2]

La definición de los parámetros que controlan el diseño del pavimento se logra mediante el estudio de los diferentes suelos que servirán de fundación; la resistencia de la subrasante es el parámetro básico, dado que es fundamental para el dimensionamiento de la estructura del pavimento y

para predecir el funcionamiento estructural y funcional. La metodología para realizar la evaluación geotécnica de una estructura de

pavimento se muestra en la figura 1, en la cual se indican los pasos que se deben seguir para que su desarrollo sea consecutivo y ordenado.

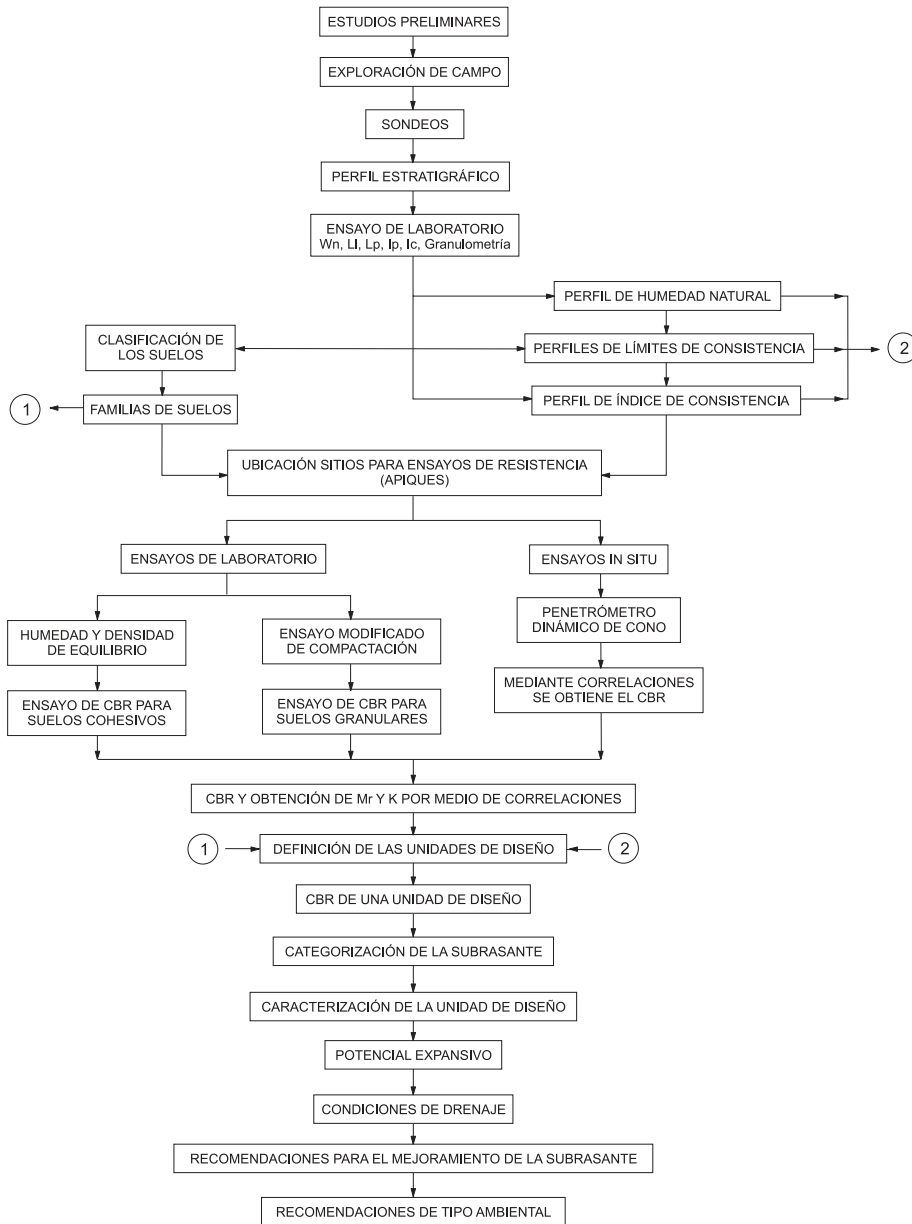


Figura 1. Metodología para realizar la evaluación geotécnica para la estructura del pavimento

A. Estudios preliminares. Estudio visual o visita de campo, geología (información acerca de fallas, tipos de suelo, cursos de agua, problemas de erosión y reptación, etc.), planos topográficos, pluviometría; dicha información se puede obtener a partir de fotos, fotogrametría, planos y estudios realizados en el área.

B. Exploración de campo. Suministra el material necesario para los ensayos en el laboratorio, y así determinar su estratigrafía y propiedades físicas.

C. Sondeos. Es una perforación que puede tener entre 5 cm y 35 cm de diámetro, y una profundidad de 1.5m, mínimo, por debajo del nivel de la subrasante; se recomienda que las muestras de suelo sean extraídas a lo largo del eje central de la futura vía, realizando sondeos a distancias longitudinales de máximo 300 m. Se realiza con el fin de extraer material cada 0,30 m de profundidad, para realizar tanto los ensayos de humedad como los de caracterización de los suelos encontrados (INV E-110-07) [4].

D. Apiques. La sección de los apiques debe ser, aproximadamente, de 1,0 m x 1,5 m, a una profundidad de, mínimo, 1,50 m bajo el nivel de la subrasante, a partir de la cual el efecto del tránsito es despreciable.

E. Elaboración del perfil estratigráfico. Es una representación gráfica de las diferentes capas y tipos de suelo que se encuentran en una perforación como los sondeos y apiques. El perfil debe contener la descripción cualitativa de los materiales que integran el suelo, además de la profundidad a la cual se encuentra cada uno de ellos.

F. Ensayos por realizar al material obtenido en un sondeo. Con el material extraído de cada apique se realizan diferentes ensayos de laboratorio, para ayudar a determinar el tipo de suelo.

G. Perfiles de humedad y límites de consistencia. Se realizan los perfiles de humedad y límite de consistencia, para observar las características del suelo del proyecto a lo largo de este.

H. Clasificación de los suelos. Con base en los

límites y en la granulometría se hace la clasificación de los suelos, que se puede realizar por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y por el sistema AASHTO.

I. Familias de suelos. Con los datos de IP% y LL% de cada uno de los sondeos, se entra en la carta de plasticidad se localizan como puntos cada uno de estos y se determinan las familias de suelos.

J. Ubicación de sitios para ensayos de resistencia (CBR o PDC). Pueden ser localizados en los puntos críticos dentro de una familia, como altos índices plásticos y límites líquidos.

K. Ensayos al material obtenido en un apique. Se analizan las muestras tomadas cada 0,30 m de profundidad, para determinar la humedad natural y elaborar los ensayos de caracterización de suelo. Para realizar las pruebas de resistencia y compactación se debe tomar una muestra mayor, procedente del estrato que se considere crítico.

L. Humedad y densidad de equilibrio. Son aquellos parámetros que se presentan en el terreno la mayor parte del año.

M. Ensayo de compactación. Proctor modificado, Norma INV E 142-07.

N. Ensayos in situ para determinar la resistencia de la subrasante. Existen métodos para determinar la resistencia de la subrasante, como el penetrómetro dinámico de cono, la prueba de placa, el ensayo de vibración o impacto, el ensayo del CBR y el ensayo del módulo resiliente.

O. Prueba del penetrómetro dinámico de cono – PDC (INV E-172-07). Permite determinar, mediante correlación, el valor de la capacidad de soporte de la subrasante a través del parámetro CBR.

P. Definición de las unidades de diseño. Se deben tener en cuenta varios criterios como humedad y límites de Atterberg, familias de suelos, parámetros de resistencia de la subrasante y la expansión.

Q. Determinación de la resistencia de una unidad de diseño. Los criterios más difundidos de selección del CBR para una unidad de diseño son: Criterio del Instituto del Asfalto y Criterio de la media.

R. Categorización de la resistencia de la subrasante. Se puede apreciar en el cuadro 1.

Cuadro 1.

Clasificación de la subrasante	CBR (%)
S 1	2
S 2	3-5
S 3	6-10
S 4	11-20
S 5	> 20

Fuente: Guzman, (2007).

S. Potencial expansivo de la subrasante [6]. Se puede determinar a través de los valores del índice de plasticidad (IP%) y el límite de contracción (Lc%). También se puede establecer como se muestra en la norma INV E-127-07, o del límite líquido (LL%) y el índice de plasticidad (IP%), como se puede ver en el cuadro 2; del mismo modo, se puede obtener por medio del ensayo de CBR.

T. Condiciones de drenaje de la subrasante. En la subrasante se pueden utilizar filtros y drenes; la

necesidad de estos se determina de acuerdo con el nivel freático, si está a menos de 1,5 m del nivel de la subrasante, profundidad hasta la cual, ha de suponerse, se disipan los esfuerzos inducidos y se requiere la implementación de filtros y drenes.

III. Metodología para realizar la evaluación geotécnica de un talud para una carretera [7]

En Colombia, debido a la topografía de alta montaña, generalmente se maneja un alto volumen de cortes en laderas (taludes) o de terraplenes en la construcción de carreteras, por lo cual estos elementos consumen una gran parte de los recursos de construcción de la vía; al considerar lo anterior tiene que dársele un alto grado de importancia al diseño de estos, pues de su mal o buen diseño depende la pérdida o no de recursos y hasta de vidas humanas. En el diseño se requiere determinar los parámetros que van a definir las dimensiones y características del talud, lo cual se logra mediante el estudio de los diferentes suelos que van a conformarlo.

La metodología que se desarrolla para realizar el estudio geotécnico se muestra en la figura 2, donde se indican, de forma secuencial y ordenada, los pasos requeridos para su desarrollo.

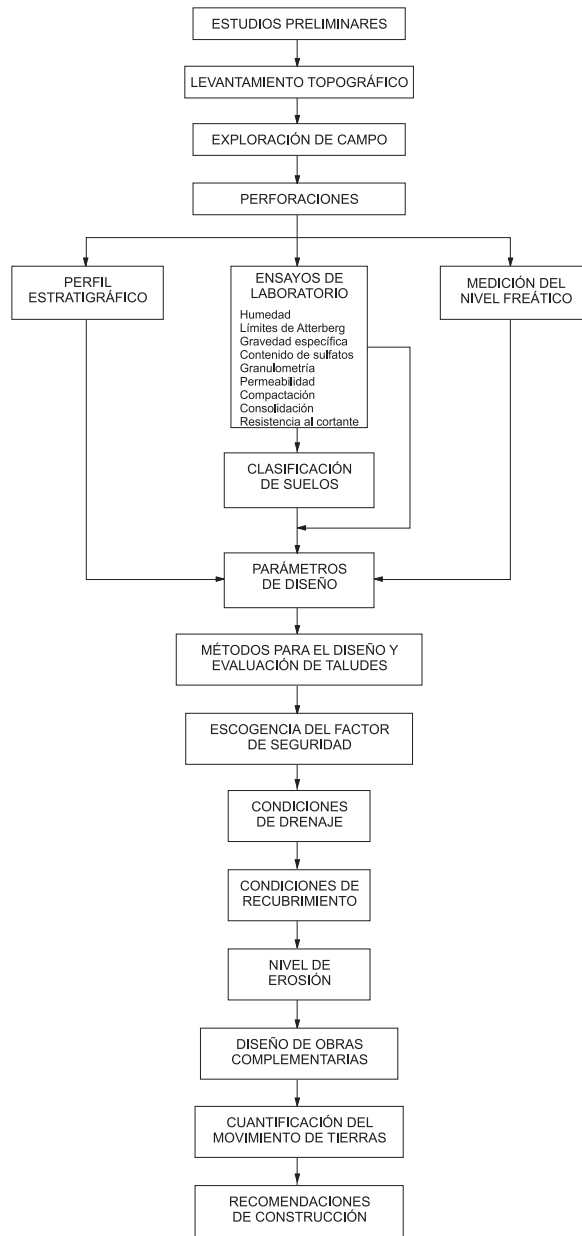


Figura 2. Metodología para realizar la evaluación geotécnica de un talud

A. Estudios preliminares. En la evaluación geotécnica de un talud es muy importante utilizar la información existente, con el fin de entender las propiedades topográficas, geológicas, climáticas y ambientales. La información que se

puede analizar previamente proviene de fotografías aéreas, imágenes de satélites, sensores remoto, planos topográficos, mapas geológicos y estudios geotécnicos realizados en las zonas aledañas.

B. Estudio topográfico. Los levantamientos topográficos tienen los siguientes objetivos: establecer coordenadas o puntos de las perforaciones; obtener detalles topográficos, especialmente de aquellos factores ocultos por la vegetación; determinar los perfiles topográficos para los análisis de estabilidad; delimitar un marco de referencia sobre el cual puedan compararse los movimientos futuros del terreno.

C. Exploración de campo. Para la obtención de la información geotécnica básica de los diversos tipos de suelo deben efectuarse trabajos de campo, que suministran el material necesario para los ensayos en el laboratorio, y así determinar su estratigrafía y propiedades físicas, datos fundamentales en el diseño y construcción de un talud.

D. Perforaciones. El espaciamiento de las perforaciones depende del tamaño de la zona; de esta forma, para una talud donde no han ocurrido movimientos se sugiere un sistema de cuadrícula de perforaciones, y en taludes que han tenido movimientos se requieren perforaciones por dentro y por fuera del movimiento. La profundidad de las perforaciones debe permitir la identificación de los materiales estables por debajo de los movimientos reales o potenciales y los estratos débiles.

E. Perfil estratigráfico. El perfil debe contener la descripción cualitativa de los materiales que integran el suelo, además de la profundidad a la cual se encuentra cada uno de ellos; esta información debe ser registrada de tal forma que su manejo se haga de forma ágil, comprensible y ordenada.

F. Ensayos de laboratorio. Los ensayos de laboratorio comúnmente realizados son los de clasificación de suelos, compresibilidad y resistencia.

G. Determinación del nivel freático. Se hace generalmente de observaciones en apiques o sondeos.

H. Clasificación de los suelos. Con base en los límites y en la granulometría, se hace la clasificación de los suelos, que se puede realizar por el Sistema

Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y por el sistema AASHTO.

I. Parámetros de diseño de taludes. Resistencia al cortante, permeabilidad, sensibilidad, expansividad, erosionabilidad.

J. Diseño del talud. El diseño de un talud consiste en definir su altura pendiente y los elementos topográficos, con base en parámetros geotécnicos.

K. Escogencia del factor de seguridad. La base para el diseño de un talud es escoger un factor de seguridad; los valores mínimos recomendados son dados según el caso bajo el cual falle el talud y la cantidad de posibles pérdidas que haya.

L. Condiciones de drenaje. El drenaje es un sistema que tiende a controlar el agua y sus efectos, disminuyendo fuerzas que producen movimiento o aumento de las fuerzas resistentes; entre estos sistemas se encuentran los canales, subdrenes, galerías y pozos.

M. Condiciones de recubrimiento. Las medidas de protección incluyen el concreto lanzado, los bloques de mampostería, la protección con piedras, el recubrimiento con productos sintéticos; estos recubrimientos pueden complementarse con prácticas de cobertura vegetal.

N. Nivel de erosión o falla. La erosión es un fenómeno ocasionado por acción de fuerzas hidráulicas que actúan sobre las partículas de suelo, produciendo su desprendimiento y posterior transporte.

O. Diseño de obras complementarias. Los métodos de protección están dirigidos a la construcción de estructuras para evitar que la amenaza genere riesgos; entre otros métodos se pueden nombrar las bermas en el talud y las trincheras o barreras.

P. Cuantificación del movimiento de tierras. El problema del movimiento de tierras está en función de la inclinación de un talud o un terraplén; casi siempre la inclinación más adecuada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse.

IV. Metodología para realizar la evaluación geotécnica de una fuente de materiales

En la figura 3 se puede encontrar el diagrama que conduce al desarrollo de la metodología, en forma resumida, ordenada y fácil de entender.

La extracción de materiales pétreos para la construcción es importante en cualquier lugar del mundo, ya que de esta actividad depende el buen desarrollo de las obras de infraestructura que impulsan el crecimiento de un país.

Las fuentes de materiales son sitios en donde se pueden extraer, económicamente, materiales para la

producción de agregados pétreos idóneos y útiles para la construcción de obras de infraestructura vial y obras civiles en general, por medio de diferentes procesos de extracción, los cuales dependen del tipo y origen de los materiales.

Las fuentes de materiales suministran, principalmente, materiales pétreos, que constituyen uno de los insumos fundamentales en el sector de la construcción tanto de vías como de otras obras; por tanto, su valor económico representa un factor significativo en el costo total de cualquier proyecto. Es importante tener en cuenta la evaluación geotécnica para las fuentes de materiales en el desarrollo de un proyecto vial.

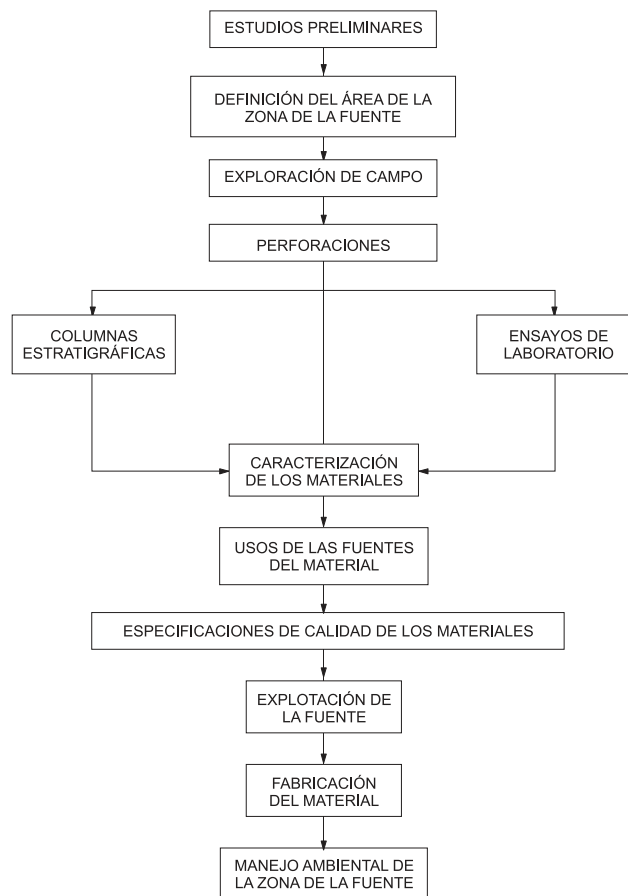


Figura 3. Metodología de la evaluación geotécnica de una fuente de materiales

A. Estudios preliminares. Consisten en obtener información secundaria, a partir de aspectos como: la geología, la topografía, fotografías aéreas o estudios realizados en el sitio donde está ubicada la posible fuente de material. Dicha información puede ayudar a tomar decisiones en cuanto a la localización de la fuente de materiales, y a los métodos de exploración geotécnica y de explotación del material.

B. Definición del área de la zona de la fuente. Para la localización de una fuente de materiales se deben tener en cuenta varios aspectos, como la calidad de los materiales extraíbles, la accesibilidad a la fuente de material, las distancias de acarreo de los materiales a la obra y que la explotación no ocasione problemas legales o ambientales.

C. Exploración de campo. La valoración de las fuentes de materiales permite establecer el potencial de explotación, así como decidir el uso de estos y estimar la vida útil de las fuentes, aun cuando la valoración de las rocas o suelos contenidos en las fuentes suele ser muy difícil de establecer en forma cuantitativa.

D. Perforaciones. Como en todos los estudios hechos al suelo para cualquier fin, los sondeos con barrenos helicoidales y los apiques o pozos a cielo abierto son los más empleados. Para ubicar las perforaciones que se hacen a una fuente de materiales se deben tener en cuenta las características específicas de la fuente en estudio, que se obtienen a través de los estudios previos. La cantidad de perforaciones y la muestra por extraer dependen del uso que se le pretenda dar al suelo de la fuente y de los ensayos que sea necesario realizar.

E. Ensayos de laboratorio y caracterización de los materiales. Los ensayos por realizar con el material obtenido de la perforación a una fuente de materiales, además de los necesarios para su clasificación, son los relacionados con la reacción del material en caso de que sea mezclado con otros, por ejemplo, asfalto.

F. Posibles usos de la fuente de materiales. De las fuentes se pueden obtener materiales como

mampuestos, triturados, gravilla, arena, recebo, rajón o piedras de enchape.

G. Recomendaciones de explotación de las fuentes de materiales. La explotación de bancos de roca o suelo se hace utilizando determinados equipos, adecuados para cada caso particular, según tres factores fundamentales: disponibilidad del equipo, tipo de material y distancia de acarreo.

H. Recomendaciones de fabricación del material. Cuando se trata de trabajos de pavimentación es usual someter los materiales a diversos tratamientos, como eliminación de desperdicios, disgregación, cribado, trituración y lavado.

V. Metodología para la evaluación de las condiciones climático-ambientales [2]

La figura 4 muestra de manera clara y concisa la forma como se puede desarrollar la evaluación climático-ambiental para cualquier proyecto.

Las condiciones medioambientales son importantes en el *deseño* de los pavimentos, siendo compleja la interacción de los factores climáticos con los materiales y las cargas. Factores como la precipitación y la temperatura afectan el contenido de humedad del pavimento y de la subrasante, que incide directamente en la capacidad de soporte de las capas del pavimento y, finalmente, en el *deseño* de este.

En el diseño de cualquier clase de pavimento, sea afirmado, flexible o articulado, se deben evaluar las condiciones climático-ambientales y evitar el uso de materiales sensibles al agua o a la temperatura, pues el clima afecta la durabilidad de los materiales que conforman las capas de un pavimento y los diferentes suelos, especialmente los más susceptibles al agua.

Debido a la ubicación de Colombia en una zona intertropical de bajas latitudes, a la altura y la complejidad del relieve, a la influencia de los mares, la extensión del territorio y los vientos locales, se presenta en el país una diversidad de climas, desde

selva tropical, con altas temperaturas y precipitaciones, hasta zonas desérticas y zonas con nieves perpetuas.

en la zona tropical y a su sistema montañoso, respectivamente.

En algunas partes del país se presentan temperaturas altas y uniformes durante todo el año, y en otras estas desciende a valores muy bajos, en algunos casos inferiores a 0 °C; esto se debe a la posición del país

En cuanto a la precipitación, el territorio colombiano presenta un régimen muy variado, observándose promedios anuales menores a 500 mm y valores superiores a los 8000 mm.

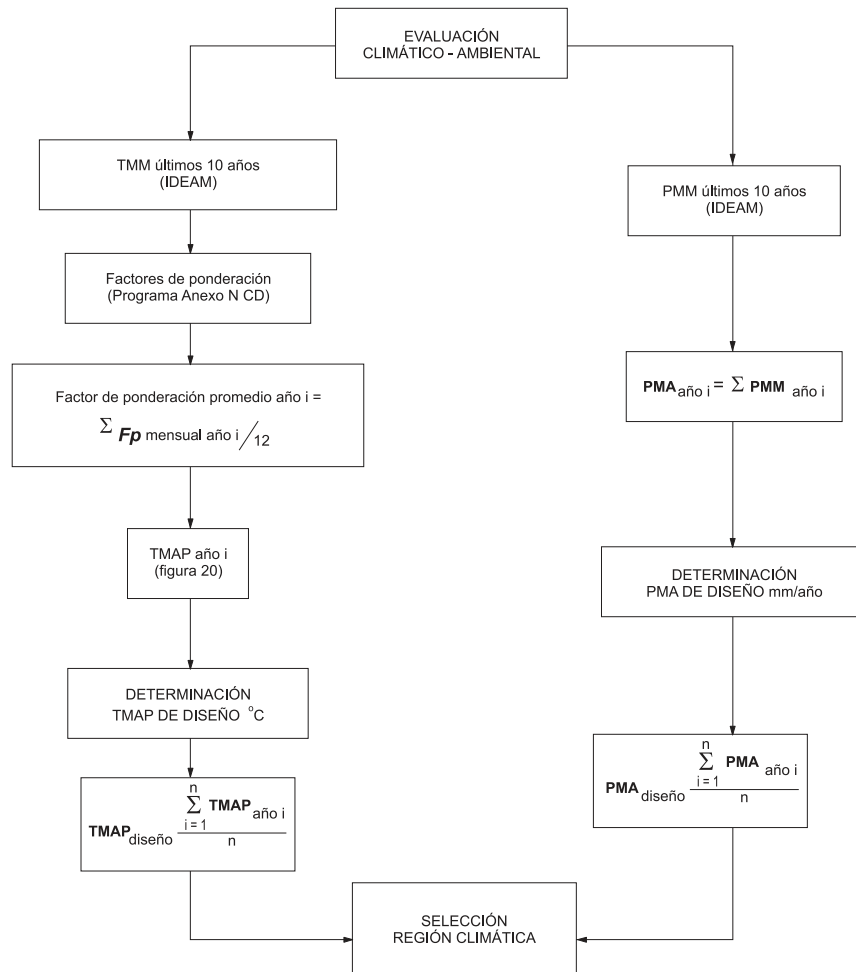


Figura 4. Metodología para la evaluación climático-ambiental.

La información, tanto de las temperaturas como de las precipitaciones medias mensuales, es suministrada por el IDEAM. Con base en los datos de la zona en la que se está desarrollando el proyecto, se hace el desarrollo de la evaluación climático-ambiental mediante el diagrama presentado.

VI. Conclusiones

El resultado del presente trabajo fue el desarrollo de las metodologías para la evaluación geotécnica de los elementos que constituyen la vía, dentro de los cuales se encuentran la estructura del pavimento y los taludes; además del desarrollo de la metodología para la evaluación geotécnica de las fuentes de materiales. Los resultados de esta investigación se pueden aplicar en carreteras de bajos volúmenes de tránsito.

La utilización de la metodología para determinar las condiciones climático-ambientales asegura el conocimiento del comportamiento de las estructuras de pavimentos, que pueden ser afectadas por la variación de las condiciones de humedad y de temperatura.

Las metodologías propuestas garantizan que los estudios de geotecnia de un proyecto vial tengan todas las variables para su diseño completo y estén acordes con las especificaciones de diseño que se utilicen.

Agradecimientos

Los autores expresamos los más sinceros agradecimientos a Escuela de Transporte y Vías de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por el apoyo brindado en la elaboración del presente trabajo, y a todos los miembros del Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial (GRINFRAVIAL), por su colaboración constante.

Referencias

- [1] C. H. Higuera Sandoval. *Estadísticas de carreteras de Colombia*. Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería. Uptc. Tunja, 2006.
- [2] C. H. Higuera Sandoval. *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras*. 2 vols. Guías de clase. Escuela de Transporte y Vías. Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 2008.
- [3] IDEAM, Instituto de Estudios Ambientales. 2007.
- [4] INVÍAS, Instituto Nacional de Vías. *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Bogotá, 2007.
- [5] M. Polanco de Hurtado; J. Ruiz de Murgueitio. *Manejo de suelos expansivos en carreteras*. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad del Cauca. Popayán. 2002.
- [6] J. Suárez Díaz. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Ingeniería de suelos Ltda. Publicaciones UIS. Bucaramanga, 1998.

Bibliografía

- J. A., BURGOS OCACIÓN; S. A., URIBE. SANDOVAL. *Carreteras destapadas: nociones de diseño, construcción y mantenimiento – evaluación geotécnica y condiciones climático-ambientales*. Trabajo de grado. Director: ingeniero Carlos Hernando Higuera Sandoval. Escuela de Transporte y Vías. Facultad de ingeniería. UPTC, Tunja, 2008.
- E. A., GUZMÁN. *Carreteras destapadas: Nociones de diseño, construcción y mantenimiento - Estructuras de pavimento*. UPTC. Facultad de Ingeniería. Escuela de Transporte y Vías Tunja, 2007.
- C. H., HIGUERA SANDOVAL. *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras*. 2 Vols. Guías de clase. Escuela de Transporte y Vías. Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 2008.

- C. H., HIGUERA SANDOVAL. *Mecánica de pavimentos – Principios básicos*. Escuela de Transporte y Vías. Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. ISBN 978-958-660-122-1. Tunja. 2008. 295 p.
- _____. *Determinación de la resistencia de la subrasante*. Guías de clase. Escuela de Transporte y Vías. Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 2006.
- _____. *Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos*. Guías de clase. Escuela de Transporte y Vías. Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 2008.
- INVIAS, MINISTERIO DE TRANSPORTE. *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito*. Bogotá. 1998.
- _____. *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Bogotá, 2007.
- M., POLANCO DE HURTADO; J., RUIZ DE MURGUEITIO. *Manejo de suelos expansivos en carreteras*. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad del Cauca. Popayán. 2002.
- J., SUÁREZ DÍAZ. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Ingeniería de suelos Ltda. Publicaciones UIS. Bucaramanga, 1998.

Fecha de recepción: 23 de octubre de 2007
Fecha de aprobación: 30 de mayo de 2008