



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER
EN GEOLOGÍA
MENCIÓN GEOTÉCNIA E HIDROGEOLOGÍA**



TÍTULO: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS
OBRAS VIALES

Autor: Ing. Leovigildo Gabriel Novela

“Año 59 del triunfo de la Revolución”



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER
EN GEOLOGÍA MENCIÓN GEOTÉCNIA E HIDROGEOLOGÍA**

TÍTULO: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS
OBRAS VIALES.

Autor: Ing. Leovigildo Gabriel Novela

Tutor: Dr. Rafael Guardado Lacaba

Cotutor: Ing. Ernesto Reynaldo Aguilera

“Año 59 de la Revolución”

PENSAMIENTO



Se pueden adquirir conocimientos y conciencia a lo largo de toda la vida, pero jamás en ninguna otra época de su existencia una persona volverá a tener la pureza y el desinterés con que, siendo joven, se enfrenta a la vida”

Fidel Castro Ruz

¡Hasta la victoria siempre!

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy autor(a) de este trabajo de tesis y que autorizo al Instituto Superior Minero Metalúrgico, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____



Leovigildo Gabriel Novela

Inovela@ismm.edu.cu / Inovela1986@gmail.com

Leovigildo Gabriel Novela autoriza la divulgación del presente trabajo de maestría bajo licencia Creative Commons de tipo **Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada**, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Leovigildo Gabriel Novela autoriza al departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a distribuir el presente trabajo de tesis en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: <http://geologia.mineria.edu.cu/textuales/tesis>

Leovigildo Gabriel Novela autoriza al departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a distribuir el presente trabajo de tesis en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en la biblioteca digital de la UPR disponible en: <http://bibliotecadigital.ismm.edu.cu>

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios Todopoderoso por darme muchas fuerzas para seguir luchando académicamente y por haberme permitido atravesar este desafío de la vida.

Agradezco a mis tutores por su ayuda incondicional y por guiarme con la paciencia y amor que les caracteriza para que yo llegara con éxito al final de la investigación.

Agradezco a los amables compañeros de la Empresa de Investigación Aplicada (ENIA)

Agradezco a todos los profesores del Departamento de Geología en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, por el cariño y la ayuda que me han brindado, a la profesora de español Cecilia por su capacidad y voluntad.

Agradezco a mis suegros Madeleine, Oscar mis cuñaditos Daniel y David por la ayuda y el cariño incondicional que me han brindado.

Agradezco también al colectivo de los estudiantes extranjeros que acá hemos pasado momentos históricos e inolvidables de nuestras vidas.

DEDICATORIA

- ❖ A mis padres, a mis hermanos, a mi esposa y a mis futuros hijos para que sigan el mismo camino, como futuros profesionales.

- ❖ A mis abuelos Alexandre y Alexandrina que descansan en la paz del Señor.

- ❖ Al líder revolucionario de todos los tiempos nuestro comandante en jefe por haberme brindado a mí y al mundo entero el nivel de educación que necesita un futuro profesional.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo proponer un procedimiento para la realización de los estudios geotécnicos de los viales, en correspondencia con las nuevas normativas existentes para el diseño de terraplenes y pavimentos que se ajusten a las condiciones geólogo-geotécnicas del país. En la misma se hace un exhaustivo estudio relacionado con los principios que se deben cumplir para realizar las investigaciones geotécnicas, así como una valoración de los métodos y regulaciones vigentes establecidas para las mismas.

El procedimiento propuesto en sus tres etapas permite evaluar geotécnicamente el estado de los viales aplicando los métodos estadísticos, y mediante el monitoreo establecer las medidas de acuerdo con las condiciones de deterioro de cada tramo de los viales. Se logran integrar de forma racional los procedimientos de investigación y diseño de los viales.

Este procedimiento constituye una herramienta importante de gestión para lograr una evaluación de restauración de los viales, puede ser generalizada a la práctica de las investigaciones geotécnicas y utilizada por ingenieros civiles, geólogos y otros especialistas encargados de este tipo de estudio, tanto en Cuba como en otros países.

ABSTRACT

This research aimed to propose a procedure for conducting geotechnical studies of the vials, in accordance with the new existing regulations for the design of embankments and pavements that fit the geological-geotechnical conditions of the country. In the same one is made an exhaustive study related to the principles that must be fulfilled to carry out the geotechnical investigations, as well as an evaluation of the established methods and regulations established for them.

The procedure proposed in its three stages allows geotechnically evaluating the status of the vials using statistical methods, and through monitoring establish the measures according to the deterioration conditions of each section of the vials. It is possible to integrate rationally the research and design procedures of the vials.

This procedure is an important management tool to achieve a restoration evaluation of the vials, it can be generalized to the practice of geotechnical investigations and used by civil engineers, geologists and other specialists in charge of this type of study, both in Cuba and in other countries.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	6
1.1. Generalidades.....	6
1.2 Antecedentes y actualidad del tema	10
1.2.1 Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en el mundo.....	10
1.2.2 Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en Cuba	14
1.2.3. Normativas vigentes para el estudio geotécnico de los viales en Cuba	16
1.2.4. Etapas actuales de las investigaciones ingeniero geológicas para proyectos viales en Cuba.....	17
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y PROPUESTA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS OBRAS VIALES.....	21
2.1. Etapas metodológicas de la investigación	21
2.1.1 Etapa I: Recopilación y revisión de la información existente	22
2.1.2. Etapa II: Procesamiento de la información e interpretación de los resultados	22
2.2. Estructura y contenido del procedimiento para la valuación geotécnica de las obras viales.....	22
2.2.1. Validación del procedimiento	23
2.3. Elaboración del procedimiento geotécnico para la evaluación de los viales.	25
2.3.1. Descripción del procedimiento	26
Etapa I. Campo y gabinete. Caracterización ingeniero geológica de los suelos.	26
Etapa II. Investigación ingeniero geológica.....	35
Etapa III. Monitoreo y seguimiento de rehabilitación	41
CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA CARRETERA BAYAMO, TRAMO BUEYCITO BUEY ARRIBA, PROVINCIA GRANMA.....	44
3.1 Ubicación geográfica y caracterización físico geográfica e ingeniero geológica del área de estudio	44
3.2 Levantamiento topográfico del trazado de la vía.....	50
3.3 Levantamiento Ingeniero Geológico de trazado de la vía	52

3.4 Trabajos realizados	54
3.5 Condiciones ingeniero geológicas e hidrogeológicas del área investigada	56
3.6 Materiales para la construcción	62
3.7 Pruebas de campo. Penetrometría Dinámica (DCP) y estudio de la deflexión.	65
3.8 Monitoreo por tramos.....	70
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFIA	77
ANEXOS	83

INTRODUCCIÓN

Las obras viales son de gran importancia para el desarrollo económico de cualquier país. Las vías terrestres interconectan ciudades, puntos de producción y consumo, e influyen sobre los flujos de comercio nacional e internacional. La construcción y el mantenimiento de los viales requieren una atención especial por parte de los gobiernos, a distintos niveles.

Una obra vial bien planificada reduce los costos operativos de los vehículos, tiempo y contaminación del ambiente. Enmarcadas en un correcto ordenamiento territorial contribuyen con el desarrollo social y económico de una nación.

Por otra parte, el proyecto vial bien planeado, disminuirá costos de operación de todos los vehículos, lo que redundará en aumento del Producto Interno Nacional y en consecuencia ahorros en el presupuesto nacional para inversiones en el medio ambiente (De Vido, 2015).

La geotecnia vial es la especialidad de la Ingeniería Geotécnica que se encarga de los problemas del racional uso y estabilidad vial, donde el suelo o la roca actúa como soporte de terraplenes, puentes, pavimentos y corte de taludes (Vargas, 2010).

Dentro de los problemas que atiende la geotecnia vial, destacan:

- la capacidad soportante de la subrasante
- compactación del vial
- estabilización del vial, terraplenes
- estabilidad de los cortes de laderas y taludes
- estabilidad de las obras de fábricas y diseño de rellenos
- compresibilidad, consolidación y asentamiento de rellenos
- licuación de suelos
- diseño de estructuras, cimentaciones
- estabilidad de puentes.

Los impactos negativos principales de un vial se manifiestan en la deforestación en el área de influencia, en áreas de bancos de materiales, de bancos de depósitos; deterioro en el hábitat biológico de las especies, de los ecosistemas

y otros. Es necesario entonces que en todos los proyectos de diseño se propongan las medidas de mitigación de dichos impactos.

La importancia de las investigaciones geotécnicas para la confección de proyectos viales, es aceptada mundialmente, pues contribuye con un diseño vial adecuado. Existe la necesidad de contar, tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra con datos firmes, seguros y abundantes respecto al material geológico en estudio. Además, se tienen en cuenta las recomendaciones, especificaciones, así como los métodos apropiados para la obtención de las propiedades ingenieriles de los suelos y rocas que soportan las obras que se pretenden construir.

La investigación geotécnica de los viales en Cuba carece de un procedimiento que permita viales estables. Uno de los intentos realizados al respecto fue la norma propuesta por Torres (1977). En los últimos años, las empresas de investigaciones geotécnicas como: Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y otros, han realizado diferentes procedimientos que rigen estas investigaciones desde el punto de vista de la calidad. No obstante, existe la necesidad de encontrar criterios que consideren los conocimientos existentes sobre el tema a nivel nacional e internacional (Pérez de Ágreda, 2005).

Partiendo de lo anteriormente dicho se enmarca el siguiente **problema científico**: la necesidad de un procedimiento para la realización de los estudios geotécnicos de los viales en correspondencia con las nuevas normativas existentes para el diseño de los viales, adaptadas a las condiciones geólogo - geotécnicas del país.

Por lo que se plantea como **objeto de la investigación**: estudios geotécnicos de los viales y como **campo de acción**: los viales en Cuba.

Objetivo General

Elaborar un procedimiento para la realización de los estudios geotécnicos de los viales, en correspondencia con las nuevas normativas existentes para que se ajusten a las condiciones ingeniero geológicas y geotécnicas del país, que permita la construcción racional y segura de los mismos.

Hipótesis

Si se conocen los parámetros ingeniero geológicos y geotécnicos a evaluar para las obras viales según el criterio de expertos, puede elaborarse un procedimiento que tome en consideración las condiciones geotécnicas del país y la adecuada correspondencia que debe existir con las nuevas normativas de diseño de terraplenes y de pavimentos.

Objetivos específicos

1. Desarrollar la consulta de expertos para determinar los parámetros más importantes a tener en cuenta en el procedimiento para la evaluación geotécnica de las obras viales.
2. Establecer la estructura y contenido del procedimiento para la realización de estudios geotécnicos de los viales en Cuba.
3. Aplicar el procedimiento al caso de estudio seleccionado.

Aportes prácticos

El procedimiento para la evaluación geotécnica de las obras viales a partir de las condiciones ingeniero-geológicas y geólogo-geotécnicas del medio geológico y las nuevas normativas de diseño.

La implementación del procedimiento en la evaluación geotécnica de las obras viales, en correspondencia con las nuevas normativas existentes.

Síntesis de la tesis

La tesis se estructuró en **Introducción, Capítulo 1, Capítulo 2, Capítulo 3, Conclusiones, Recomendaciones y Anexos.**

En el Capítulo 1: Se realiza una revisión bibliográfica de los trabajos anteriores relacionados con las construcciones viales en el mundo y en Cuba, conceptos y elementos que constituyen un vial, y diferentes metodologías actualizadas en el estudio de los viales.

En el Capítulo 2: Se presentan los elementos metodológicos que permiten la elaboración del procedimiento para la evaluación geotécnica en la construcción vial.

En el Capítulo 3: Se implementa el procedimiento en la provincia Granma, en el tramo Bueycito – Buey Arriba de la carretera Bayamo, partiendo de la caracterización ingeniero- geológica del área de estudio, se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

Métodos de la investigación científica utilizados: Se realizó un enfoque dialéctico materialista del conjunto de los métodos más generales de la investigación científica, como:

El histórico – lógico, para el análisis de los diferentes procedimientos utilizados en la construcción de los viales. Se realiza un diagnóstico inicial, así como la obtención de datos históricos necesarios.

El hipotético-deductivo, para la formulación de la hipótesis de la investigación y el diseño del procedimiento aplicado a un caso de estudio: los viales en Cuba.

Los métodos empíricos se basan en la observación directa, las mediciones in situ y los análisis de laboratorio. En la observación se obtienen los datos necesarios para la investigación.

El analítico - sintético, para la formulación del procedimiento utilizado en la investigación y sus resultados.

CAPITULO I
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL
ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL TEMA

CAPITULO I MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Introducción

En este capítulo se establecen algunos términos básicos empleados en el contexto actual de la ingeniería geotécnica vial, aspectos que se encuentran relacionados con el análisis de las investigaciones precedentes desarrolladas a nivel nacional e internacional, lo que contribuye a la mejor y correcta comprensión de los elementos teóricos expuestos en este trabajo.

1.1. Generalidades

Desde la antigüedad, la construcción de vías de comunicación ha sido uno de los primeros signos de la civilización avanzada. Cuando las ciudades de las primeras civilizaciones empezaron a aumentar en tamaño y densidad de la población, la comunicación con otras regiones se tornó necesaria para hacer llegar suministros alimenticios o transportarlos a otros consumidores.

Un vial es un medio de trasportación de dominio y uso público, proyectado y construido fundamentalmente para la circulación de diferentes tipos de vehículos. Existen diversos tipos de viales, aunque coloquialmente se usa el término carretera para definir a la carretera convencional que puede estar conectada, a través de accesos, a las propiedades colindantes, diferenciándolas de otro tipo de carreteras, las autovías y autopistas, que no pueden tener pasos y cruces al mismo nivel. Las carreteras se distinguen de un simple camino porque están especialmente concebidas para la circulación de vehículos de transporte.

Historia de los viales

- Calles pavimentadas han sido encontradas en Ur que datan de 4000 años antes de la era común.
- En India se empiezan a usar ladrillos para pavimentar las calles 3000 años antes de la era común.
- En el 500 a. C. Darío I ordena ejecutar la primera red de caminos que incluyó el Camino Real Persa, este camino fue usado durante el Imperio romano.
- A partir del año 312 antes de Cristo el Imperio romano comenzó a construir una gran red de calzadas que unió a Europa y el Norte de África mediante 29 grandes arterias en una red que cubrió 78 000 kilómetros.

- A partir del 700 después de Cristo, el Imperio islámico construyó una red de caminos propios. Los más sofisticados aparecen en Bagdad donde se empleó alquitrán extraído de los pozos petrolíferos de la región mediante una destilación destructiva.
- En el siglo XVII, las construcciones y el mantenimiento de los caminos británicos dependían de las administraciones locales. Esta situación provocó un irregular estado de las mismas. Para remediar esto se crearon las primeras vías de peaje en el año 1706 con el fin de sufragar los costes de mantenimiento de la vía mediante el cobro de tarifas. Sin embargo, en 1844 unos disturbios provocaron la desaparición de este sistema.
- En España, en el siglo XVIII, concretamente en 1759 y durante el reinado de Fernando VI se creó la figura del "peón caminero". Este era el encargado de cuidar del estado de la carretera en cada legua, unidad de distancia equivalente a unos cinco kilómetros y medio.
- Sería en los años 30 del siglo XX cuando en Alemania se empieza a desarrollar un nuevo tipo de carretera de alta capacidad para vehículos conocida como *autobahnen*, estas se reconocen como las primeras autopistas de la historia.

Clasificación de los viales

Los viales se clasifican en función de los carriles que las componen, de las distintas calzadas, de si tienen cruces al mismo nivel o no, o del tipo de tránsito que soportan. Los gobiernos suelen tener un ministerio o instituto que se encarga de numerar y catalogar las carreteras de su territorio.

Proyecto y construcción de viales

La construcción de viales requiere la creación de una superficie continua, que atraviese obstáculos geográficos y geológicos, tome una pendiente suficiente para permitir a los vehículos o a los peatones circular y cuando la ley lo establezca deben cumplir una serie de normativas y leyes o guías oficiales que no son de obligado cumplimiento. El proceso comienza a veces con la retirada de vegetación (desbroce), de tierra y de roca por excavación o voladura, le sigue la construcción de terraplenes, puentes y túneles, y por último el extendido del

pavimento. Existe gran variedad de equipos de movimiento de tierras, estos son específicos en la construcción de vías.

Partes de un vial

Las carreteras, según su complejidad constan de las siguientes partes:

Calzada: La parte de la calle o de la carretera destinada a la circulación de los vehículos, puede estar compuesta de uno o varios carriles.

Cuneta o drenaje: Es una zanja o canal localizada a los lados de las calles y que, debido a su menor nivel, recibe las aguas pluviales y las conduce hacia un lugar que no provoque daños o inundaciones.

Subrasante: Nivel de interfase pavimento-explanación, que puede ser natural o compactada. Es el suelo portante inmediatamente debajo del pavimento que le sirve de cimentación y que puede influir por su resistencia, en el comportamiento del pavimento.

Base: Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

Emplazamiento en terraplén: Lugares donde la posición de la rasante de la vía en el borde exterior del pavimento se encuentre a una altura igual o mayor que un metro por encima del terreno natural o aquellos lugares con terraplenes menores donde la pendiente natural del terreno circundante favorezca la evacuación de las aguas pluviales.

Estructura del pavimento: Conjunto de capas que conforman el pavimento, dispuestas en orden creciente de calidad hacia la superficie, denominadas subbase, base y superficie.

Cantera: Depósito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y mantenimiento de las carreteras.

Carretera afirmada: Carretera cuya superficie de rodadura está constituida por una o más capas de afirmado.

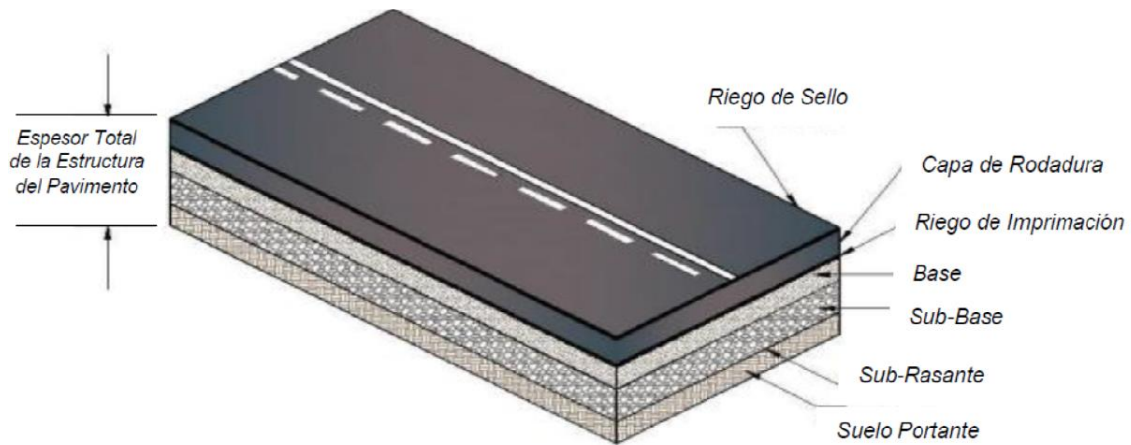


Figura 1.1: Sección transversal típica de un vial.

Carretera no pavimentada: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

Carretera sin afirmar: Carretera a nivel de subrasante o aquella donde la superficie de rodadura ha perdido el afirmado.

CBR (California Bearing Ratio): Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

DCP (Penetrómetro Dinámico de Cono): es el instrumento utilizado esencialmente para evaluar la resistencia de suelos tanto no disturbados como compactados y estimar un valor de CBR en campo.

Cohesión: La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal.

Concreto: Mezcla de material aglomerante y agregado fino y grueso en algunos casos se agrega aditivos para proporcionarle cualidades que no poseen y en otros para mejorar los que poseen.

Deflexión: Es el desplazamiento vertical de la superficie del pavimento bajo una carga normalizada de referencia. Es un valor evolutivo que representa el estado estructural del pavimento respecto a un valor inicial de deflexión mínima.

Deflexión característica: Valor de la deflexión que corresponde a la media de las deflexiones, más dos veces el valor de la desviación típica muestral de las deflexiones en un tramo homogéneo de comportamiento uniforme.

Deflexión de cálculo: Deflexión característica de un tramo homogéneo corregida por humedad y temperatura.

Deflexión patrón: Recuperación elástica de la superficie de un pavimento, al tomarse su medida mediante la viga Benkelman, siguiendo el método de recuperación y en las condiciones indicadas.

Tramos homogéneos: Es un segmento de vía que presenta características similares, de acuerdo con un parámetro o conjunto de parámetros previamente establecidos. A efectos de este trabajo los tramos homogéneos pueden ser de los siguientes tipos:

a) Por características físicas: Son aquellos que presentan uniformidad en cuanto a número de carriles por calzada, sección estructural del pavimento, fecha de realizadas la última rehabilitación, la categoría de tráfico pesado, otros.

b) Por resultados de la evaluación: Son aquellos que una vez inspeccionados presentan uniformidad en el resultado de algún parámetro evaluado, ya sea, rugosidad, irregularidad o deflexión.

1.2 Antecedentes y actualidad del tema

1.2.1 Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en el mundo.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX, se amplió la red vial extraordinariamente a causa de las necesidades militares de las campañas napoleónicas. La Ingeniería de Carreteras era aún rudimentaria, y en muchas ocasiones no se supo conservar los caminos existentes. (Kraemer *et al* 1999).

Por su parte McAdam (1816), se dedicó a estudiar métodos de mejora de carreteras, consiguiendo construir caminos capaces de soportar tránsito rodado relativamente rápido. Concebía la calzada como un colchón de reparto de las cargas de tráfico, y mantenía que un terreno bien drenado soportaría cualquier carga. El sistema propuesto por el autor se llamó macadamización, aunque se adoptó en casi toda Europa los cimientos de tierra de las carreteras macadamizadas no soportaban los camiones con carga pesadas.

Por otra parte, Telford (1784), introduce mejoras estructurales que consistían en hacer las carreteras lo suficientemente resistentes como para poder soportar la

máxima carga admisible; fue posible porque, a diferencia de McAdam, Telford dedicó más atención al estudio de la cimentación. Su sistema implicaba la construcción de cimientos de material resistente, roca de ser posible; estos se recrecían en el centro para que la carretera se inclinara hacia los bordes permitiendo su desagüe. La parte superior de las carreteras se componían de una capa de unos 15 cm de piedra machacada y compactada. De esta forma se conseguía un mejor reparto de las tensiones transmitidas por los vehículos circulantes a lo largo de la estructura.

De igual modo a Trésaguet (1775), se le atribuye el haber codificado por primera vez y de forma detallada la construcción de carreteras, impulsado por el deseo de reducir el espesor de las capas que conforman el firme. Su método de construcción se diferenciaba de los utilizados en Inglaterra por McAdam y Telford en que, aunque también utilizaba capas de áridos cuya granulometría iba aumentando con la profundidad, diseñó cada capa ligeramente bombeada de sección transversal con una ligera pendiente a dos aguas, siendo el eje del camino el punto más alto para así conseguir una mejor evacuación de las aguas hacia los flancos del camino. Estas capas eran las siguientes:

- Un cimiento a base de piedras gruesas hincadas a mano.
- Una capa de regulación constituida por fragmentos de piedras ordenadas y apisonadas a mano, que aseguraba la transmisión y el reparto de las cargas a la base. Una capa de rodadura de unos 8 cm de espesor, con áridos del tamaño de una nuez, machacados con maceta y colocados mediante una paleta. Esta capa, compuesta de piedras muy duras, aseguraba el bombeo del 3% en el origen. Este investigador hizo un mayor uso de las capas del subsuelo para asentar correctamente los caminos.

Por otra parte, Niles (1907), miembro destacado de la Sociedad Zoológica de Nueva York, trabajó en función de construir una carretera de cuatro carriles con accesos limitados y ningún paso a nivel que interceptase su recorrido; fue el comienzo de la actual red de autopistas existente en ese país.

La secretaría de estado de obras públicas y comunicaciones de Santo Domingo (1999) establece los requisitos mínimos para la realización de estudios geotécnicos de carreteras, autopistas y caminos en dicho país. Estos criterios

podrán ser aplicados tanto en el desarrollo de proyectos de nuevas vías de comunicación como en la realización de trabajos de reconstrucción y rehabilitación de las vías existentes. Con ellos se establecen, además, los procedimientos, métodos de prospección, sondeos y ensayos para obtener los parámetros del suelo requeridos para estudiar y analizar las vías, los materiales de fundaciones, de muros y estructuras de contención, los cortes y taludes, los pasos a desnivel, puentes y alcantarillados, así como también, las fuentes de materiales que se emplean en la construcción de las referidas vías de comunicación.

Bañon *et al.* (2000), reconocen que Telford, McAdam, y Trésaguet, durante las tres primeras décadas del siglo XIX perfeccionaron los métodos y técnicas de construcción de carreteras. Sobre la experiencia de estos ingenieros, los autores elaboran el manual que, además, de los antecedentes históricos de los caminos, establece las variantes más importantes a tener en cuenta en la Ingeniería vial moderna, así como el estudio de las principales propiedades físico mecánicas de los suelos que son sometidos a investigaciones geotécnicas y los factores que afectan la estabilidad y conservación de los viales.

Por otra parte, Chepillo y Chepillo (2001), realizaron una investigación para el mejoramiento de caminos y accesos en MINERA ESCONDIDA incorporando la geometría en el diseño de estos, emplean métodos topográficos y evalúan las máquinas usadas en la construcción y el mantenimiento de los caminos mineros. Realizan un análisis técnico económico para definir la opción factible en la inversión o reingeniería de los caminos de la zona estudiada.

COMITRAN (2001), elabora el “Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales”, el objetivo primordial de esta resolución es la armonización y modernización de las normas técnicas aplicables a las carreteras y al transporte por carretera en el Istmo. Se persigue mejorar la capacidad de la región para mitigar los efectos transnacionales de las calamidades mediante el desarrollo de lineamientos y estándares regionales actualizados que contribuyan a la reducción de la vulnerabilidad del sistema vial ante los desastres naturales.

Frateschi A; et. al.(1994), establecen que el control de la densidad y compactación de sub-rasantes y sub-bases de pavimentos es uno de los factores principales que limitan el avance constructivo de carreteras. En la provincia de Córdoba generalmente las sub-rasantes y sub-bases se encuentran compuestas por capas de suelos limosos y limo arenosos compactados (A4-8 según la clasificación HRB), los autores realizan un estudio que presenta la potencial aplicación del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para la determinación de densidades y humedades en suelos A4-8 compactados. Se analiza el efecto de la energía de penetración del DCP, humedad y densidad del suelo en los resultados obtenidos. A partir de estos resultados, se muestra que es posible obtener correlaciones muy útiles entre los resultados del DCP y la densidad y humedad del suelo compactado. Finalmente, se concluye que el DCP proporciona información valiosa que puede ser utilizada como complemento de los métodos de control de compactación tradicionales, disminuyendo el tiempo empleado en el control constructivo en las obras de compactación de suelos.

Mientras tanto Romero (2012), empleó el penetrómetro estático de cono modelo CN-973 normalizado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos de América (EUA). Consiste de un cono de 30 grados, $\frac{1}{2}$ pulg 2 (3.22 cm²) de base, 18 pulg (45.72 cm) de extensión de vara, un anillo de prueba y un manipulador. Este instrumento es usado para evaluar la calidad de los suelos y actúa de forma en la cual el cono es forzado en el suelo y el anillo de prueba es deformado en proporción a la fuerza aplicada. Esta herramienta presenta ventajas importantes, permite la determinación de la resistencia a la penetración de manera sencilla y rápida, lo que la hace factible para ser utilizada como evaluación de rutina. Además, permite realizar un gran número de observaciones, reduciendo así los problemas de variabilidad, en especial de las propiedades físicas de los suelos, en comparación con otros métodos más complejos y exactos llevados a cabo en laboratorio.

Por otra parte, Agreda V. (2006), en su investigación incursiona en la aplicación de una herramienta, cuyo estudio y aplicación se viene desarrollando desde 1959. El Cono Dinámico de Penetración (DCP). constituye un instrumento de uso práctico y económico para la evaluación de terraplenes conformados y paquetes estructurales existentes. Durante el trabajo, se desarrolló una metodología para

realizar ensayos de DCP en laboratorio, utilizando diferentes tipos de suelos locales representativos para la conformación de terraplenes. Las variables del estudio son los valores de CBR, DCP, contenido de humedad y peso específico seco; estos dos últimos presentaron gran influencia durante el desarrollo de pruebas DCP. Finalmente se ratifica la gran variabilidad que presenta el ensayo de CBR y la dificultad en el momento de interpretar sus resultados. Estas patologías desembocan en una serie de dudas, hasta llegar a cuestionarse acerca del grado de confiabilidad de este tipo de ensayo, cuyo valor recae directamente en el dimensionamiento de espesores en pavimentos.

De igual modo, Martínez G. (2011), realiza un trabajo de correlación de DCP y CBR, a partir de la recopilación de datos de campo, de ensayos in situ, de DCP y resultados de CBR de laboratorio realizados para proyectos viales en la localidad de Suba. Posteriormente se compara dicha correlación con la ecuación tomada del manual "DESCRIPTION AND APPLICATION OF DUAL MASS DYNAMIC CONE PENETROMETER - US Army Corps of Engineers", la cual es utilizada para la evaluación de la capacidad de los suelos en la ciudad de Bogotá D.C. (Colombia). Con lo anterior, se pretenden mejorar la confiabilidad en la utilización del PDC en la evaluación de los suelos para pavimentos.

1.2.2 Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en Cuba

De las Cuevas (2001) plantea que la Autopista Nacional constituye el mayor proyecto vial de todos los tiempos realizado en el país, proyectada de acuerdo con las normas internacionales más modernas. También reconoce que otra de las maravillas de la ingeniería civil cubana es la Carretera Central. La calidad de su pavimento (hormigón revestido de una mezcla asfáltica) ha quedado demostrada por su uso continuado durante más de 70 años. La superficie de la carretera se lograba con hormigón bituminoso y en lugares de tránsito intenso se extendía sobre la base de hormigón una capa de arena de 3 cm, después se situaban adoquines de granito y las juntas eran selladas con un derretido de mortero hidráulico.

Quintero (2010.), logró obtener una metodología válida para el análisis de las estructuras de pavimentos flexibles, apoyada en la evaluación deflectométrica con la Viga Benkelman para la elaboración de proyectos de rehabilitación de

pavimentos. La aplicación de la misma en el análisis de las actuaciones ha contribuido con soluciones más efectivas y racionales, porque incluye un procedimiento para las investigaciones de cargas del tráfico que ofrece resultados confiables. Las evaluaciones realizadas con la Viga Benkelman se corresponden con las modelaciones de las estructuras, y se ha confirmado el comportamiento de las estructuras en condiciones climáticas, que fueron establecidas con anterioridad en la normativa cubana de diseño de pavimentos flexibles, además, posibilita trabajar con el equipamiento de primera generación o de bajo rendimiento.

Cala (2010), realiza un estudio de los peligros geológicos para la evaluación de la vulnerabilidad en la carretera Moa – Baracoa (Tramo Moa – Río Jiguaní) a escala 1:25 000, establece la intensidad de los peligros geológicos y determina la vulnerabilidad ante los mismos de los tramos del vial. En la investigación se procesan e interpretan fotos cósmicas Landsat y se obtienen los mapas de susceptibilidad a la ocurrencia de los peligros geológicos para determinar la vulnerabilidad del vial, no se ejecutan trabajos ingeniero geológicos para valorar las propiedades físico mecánicas de los suelos.

Abdulai (2013), caracteriza ingeniero geológica e hidrogeológicamente los suelos que constituyen base y sub-base de la carretera Moa - Baracoa en el Tramo Moa – Jaguaní. Emplea las normas cubanas para las Investigaciones Ingeniero Geológicas de Obras de Transporte para analizar las propiedades físico mecánicas de los suelos del área de estudio, lo que le permite establecer criterios sobre su comportamiento y elaborar un proyecto de rehabilitación para garantizar la durabilidad de los mismos. También realiza un estudio de las canteras para los materiales de préstamo que pueden utilizarse como relleno y base del pavimento.

Toledo (2014), establece que la caracterización geotécnica para el diseño de las cimentaciones puede ser realizada mediante ensayos de laboratorio o ensayos de campo. Si se tiene en cuenta la economía en tiempo y en esfuerzo, así como las alteraciones inevitables de las muestras ensayadas en el laboratorio, se puede justificar la tendencia actual hacia pruebas de campo simples, consistentes y fiables que permitan la determinación de los parámetros geotécnicos; que en la mayor parte de los casos no son satisfactoriamente

resueltos debido a los elevados grados de conservadurismo. Dentro de los ensayos de campo existentes se destaca el ensayo presiométrico que posee algunas ventajas inherentes sobre los demás pues representa el comportamiento tenso-deformación de un volumen relativamente grande de suelos. El presiómetro más utilizado en el mundo es el de Ménard, por su fácil transportación e instalación, en Cuba se proyecta incrementar la utilización del mismo porque el diseño geotécnico de cimentaciones utilizando los parámetros geotécnicos son bastante aproximados a los obtenidos mediante la Norma Cubana.

1.2.3. Normativas vigentes para el estudio geotécnico de los viales en Cuba

Las principales normas cubanas vigentes relacionadas con el estudio geotécnico de las propiedades físico mecánicas de los materiales de la estructura vial en Cuba son las siguientes:

- NC 20 Geotecnia. Determinación de la granulometría de los suelos (1999).
- NC 58 Geotecnia. Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (2000).
- NC 19 Geotecnia. Determinación del peso específico de los suelos (1999).
- NC 326 Geotecnia. Determinación del peso específico máximo, mínimo y relativo (2004).
- NC 54-306 Materiales y productos de la construcción. Suelos. Ensayo de hinchamiento libre (1985).
- NC 54-350 Materiales y productos de la construcción. Suelos. Ensayo de hinchamiento controlado (1986).
- NC 325 Geotecnia. Determinación de la Resistencia al esfuerzo cortante directo (aparato de caja de corte pequeño) (2004).
- NC 62 Geotecnia. Determinación de la resistencia a la compresión axial en especímenes de rocas (2000).
- NC 328 Geotecnia. Determinación de la resistencia a la tracción de testigos de roca intacta (2004).
- NC 8 Geotecnia. Determinación del módulo de elasticidad (Módulo de Young) y coeficiente de Poisson en rocas y semi-rocas (1998).
- NC 156 Geotecnia. Determinación del peso específico natural (2002).

- NC 209 Calidad del suelo. Determinación de los aniones y cationes solubles en extractos de suelo-agua y el porcentaje de saturación (2004).
- NC 201 Geotecnia. Control de tendido y verificación del espesor de capa en terraplenes (2002).
- NC 60 Geotecnia. Métodos de ensayo para la determinación del peso específico de la masa del suelo in situ (2000).
- NC-157. Determinación del Índice CBR in situ (2002).
- NC 54-140 Materiales y productos de la construcción. Suelos. Determinación de la humedad in situ (1986).
- NC 158 Geotecnia. Terraplén de prueba (2002).
- NC 327 Geotecnia. Perforación de calas ingeniero-geológicas (2003).
- NC 67 Geotecnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio (2000).
- NC 10 Geotecnia. Preparación de muestras de suelos (1998).
- NC 324 Geotecnia. Toma de muestras inalteradas de suelo con muestreadores de paredes finas (2004).
- NC 61 Geotecnia. Identificación y descripción de suelos. Examen visual y ensayos manuales simples (2000).
- NC 59 Geotecnia. Clasificación geotécnica de los suelos (2000).
- NC 63 Geotecnia. Clasificación de suelos para obras de transporte (2000).
- NC 54-142 Materiales y productos de la construcción. Suelos. Compactación estática (1985).
- NC 13 Geotecnia. Método de ensayo de penetración estática en suelos (1998).

1.2.4. Etapas actuales de las investigaciones ingeniero geológicas para proyectos viales en Cuba

De acuerdo a los documentos recopilados normalmente una investigación ingeniero geológica establece tres etapas para la proyección de las investigaciones ingeniero geológicas de los viales en Cuba (Investigación de los suelos para la etapa de Proyección, Investigación de suelos para la etapa de Proyecto Técnico e Investigación de los suelos para la etapa de Proyecto Ejecutivo), estas se describen a continuación:

Primera Etapa: Investigación de los suelos para la etapa de Proyección: El objetivo del estudio Ingeniero - geológico correspondiente a esta etapa de proyecto reside en aclarar fundamentalmente los siguientes aspectos:

Características de la complejidad ingeniero-geológica para las diferentes variantes del trazado.

Orientación en la localización de los materiales de construcción a lo largo del trazado.

Dicha información además de facilitar una valoración técnico económica, permitirá determinar la variante más factible de ejecutar, acorde con las necesidades y características específicas de la obra.

Segunda Etapa: Investigación de suelos para la etapa de Proyecto Técnico: corresponde a una investigación de la variante seleccionada por proyecto donde se plantea un estudio con una mayor densificación de las perforaciones, de las observaciones geofísicas y de los ensayos de laboratorio, lo cual conlleva a un informe más completo con definición de parámetros y soluciones a evaluar por proyecto (ver anexo 1.1).

De acuerdo con los requerimientos planteados en la solicitud presentada, y teniendo en cuenta la envergadura de la obra, los resultados del estudio efectuado en la etapa anterior (si dicho estudio se realizó) y el programa expuesto en la solicitud, el técnico encargado de las investigaciones confecciona un plan del trabajo en el cual se incluye una evaluación técnico económica y variantes de ejecución de la misma que son evaluadas con los proyectistas e inversionistas de la obra en cuestión.

Tercera Etapa: Investigación de los suelos para la etapa de Proyecto Ejecutivo: reviste un carácter adicional al ejecutado en la etapa de proyecto técnico, se presenta por ello un estudio en detalle a la solución dada por proyecto para la obra en cuestión, y se define al efecto un programa de trabajo similar al correspondiente a la etapa de proyecto anterior concretando su evolución planteada por proyecto, razón por la que se utilizan como base orientadora los resultados correlacionados de las etapas de investigaciones ejecutadas, el reconocimiento del suelo obtenido con las visitas efectuadas, los datos de

archivo y planos geológicos, en definitiva redunda en una propuesta o recomendación que satisfaga al proyecto.

Es necesario destacar que, en la actualidad, los principios fundamentales en que se basan las investigaciones ingeniero geológicas en Cuba no reflejan explícitamente lo establecido en las normas y regulaciones existentes, además se constatan deficiencias y limitaciones durante la aplicación de los diferentes métodos de investigación geotécnica.

Conclusiones parciales

- En el análisis bibliográfico no se relacionan procedimientos para la evaluación de viales.
- Las etapas establecidas para la proyección de las investigaciones ingeniero geológicas de los viales en Cuba no incluyen todos los principios fundamentales para la evaluación geotécnica de los mismos, y presentan limitaciones en la aplicación de los diferentes métodos de investigación.

CAPÍTULO II
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y PROPUESTA DEL
PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE
LAS OBRAS VIALES

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y PROPUESTA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS OBRAS VIALES

Introducción

En Cuba, las reparaciones de viales requieren de grandes gastos en inversiones al reparar cada año los daños causados por diferentes causas de deterioro en las vías. Con el paso del tiempo, muchos de estos viales presentan peligros potenciales de inestabilidad convirtiéndose en causas de pérdidas humanas y económicas. Debido a los riesgos que corren los usuarios de la vía se propone la búsqueda de un método sistemático y lógico capaz de lograr que los niveles de riesgo se reduzcan y mantengan valores más convenientes. Para determinar estos valores se elabora una metodología de investigación geotécnica en obras viales.

Las etapas metodológicas de la investigación permiten de forma lógica, desarrollar la estrategia a seguir durante la evaluación geotécnica de las obras viales.

2.1. Etapas metodológicas de la investigación

Las etapas metodológicas de la investigación conllevan un trabajo de forma racional, para lograr mostrar la estrategia a seguir durante el estudio para la elaboración del procedimiento.

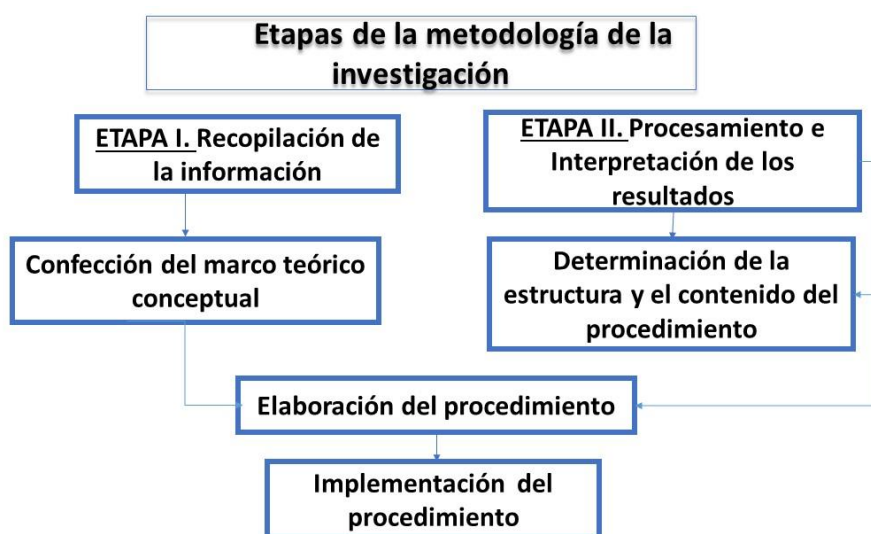


Figura 2.1. Etapas de desarrollo de la investigación.

2.1.1 Etapa I: Recopilación y revisión de la información existente

En esta etapa se realiza la búsqueda, recopilación y análisis de los trabajos antecedentes relacionados con los viales, realizados en el mundo y particularmente en Cuba. Se efectuaron búsquedas en el centro de información de la Empresa Nacional de Investigación Aplicada (INVESCONS) UIC-Holguín, en el centro de información científico técnico del ISMMM, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorales, además de búsquedas en Internet. Como resultado se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geotécnico e ingeniero geológico. Se confecciona el marco teórico conceptual de la investigación.

Para obtener las informaciones necesarias de campo y de laboratorio que garanticen el cumplimiento del objetivo de la investigación se realizaron visitas a la zona de estudio con el objetivo de precisar el tipo de perforación, los puntos de muestreo y la metodología a seguir en la toma de muestras para los diferentes ensayos de laboratorio.

2.1.2. Etapa II: Procesamiento de la información e interpretación de los resultados

A partir de la revisión y análisis de la información bibliográfica relacionada con la temática en estudio, tanto a nivel nacional como internacional; se constató que en Cuba no existe un procedimiento que permita la evaluación geotécnica de los viales. En esta etapa se procesa e interpreta toda la información obtenida con el objetivo de elaborar un procedimiento que facilite y perfeccione las investigaciones ingeniero geológicas y geotécnicas de los viales cubanos.

2.2. Estructura y contenido del procedimiento para la valuación geotécnica de las obras viales

La elaboración de un procedimiento científicamente fundamentado debe responder a premisas y criterios que lo sustenten desde el punto de vista teórico. El procedimiento para la evaluación geotécnica de las obras viales debe poseer los rasgos generales siguientes:

- Expedito
- Flexible y dinámico
- Objetivo, o sea, estar técnicamente sustentado
- Congruente con las normas cubanas

- Económicamente factible
- Reproducible

Estos rasgos se explican a continuación:

Expedito: fácilmente aplicable, que mantenga una secuencia tal que permita efectuar trabajos de calidad en plazos de ejecución razonables de acuerdo con la envergadura del proyecto, que se eviten duplicidades, minuciosidad injustificada e interrupciones de la construcción.

Flexible: capaz de adaptarse a diferentes escenarios que puedan presentarse, a la diversidad de yacimientos, a las diferentes etapas del proyecto y que se pueda incorporar la información que se reciba en cualquier momento de la marcha del estudio.

Objetivo: esté a la par del nivel del conocimiento científico-técnico en general, en particular; que se maneje en la actualidad.

Congruente con las normas cubanas: que sea compatible y se engrane con los postulados y procedimientos establecidos de manera que se eviten violaciones de la ley o interrupciones de los trabajos por desconocimiento del marco legal.

Económicamente factible: que sea realista en cuanto a los recursos y tecnologías de que se puede disponer en un país del tercer mundo para los trabajos de recuperación, así como también en cuanto a las medidas correctoras y sistemas de monitoreo a aplicar para obtener las orientaciones generales para los trabajos complementarios.

Reproducible: que los resultados estén libres de subjetivismo, en la medida que ello sea posible, de manera que distintos investigadores que lo usen puedan llegar de forma independiente a resultados semejantes Orientado a construcción de los viales.

2.2.1. Validación del procedimiento

Para la validación del procedimiento se aplicó el Método Delphi y se consultaron los mismos expertos que para la selección de los indicadores.

Los pasos para la aplicación del método Delphi fueron los siguientes:

1. Análisis del procedimiento diseñado para determinar el nivel de aceptación y la validación del mismo.
2. Rondas Delphi. Se confeccionaron encuestas que se enviaron a los expertos para obtener criterios cualitativos en una primera ronda y cuantitativos en las rondas dos, lo que permitió obtener la unidad de criterios acerca de la validación del procedimiento.

Primera ronda o ronda de la pregunta abierta: Se analizaron ocho criterios básicos a tener en cuenta en la validación del procedimiento que fundamentan teóricamente el procedimiento. Los ocho aspectos son aceptados, lo que significa que existe estabilidad de opiniones de los expertos y todos pasan a la segunda ronda.

Segunda Ronda: Cada experto concedió un valor para cada criterio en una escala de 1 a 8, siendo 8 el mayor valor de aceptación.

A continuación, le presentamos una tabla que contiene los criterios que determinan la validez del procedimiento elaborado. A la derecha aparece la escala:

Tabla 2.1: Influencia de los criterios para determinar la validez del procedimiento

Influencia de los criterios para determinar la validez del procedimiento					
El procedimiento está científicamente sustentado	MA	BA	A	PA	I
Sencillo y comprensible					
Flexible y dinámico					
Adecuado para la evaluación geotécnica de obras viales					
Reproducible					
Congruente con las normativas vigentes					
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis					
Generalizable para su uso en otras regiones del país.					

MA: Muy adecuado

BA: Bastante adecuado

A: Adecuado

PA: Poco adecuado

I: Irrelevante

Marque con una X en la celda que se corresponda con el grado de relevancia que usted otorga a cada criterio.

Los resultados de la validación del procedimiento por expertos se exponen en la tabla 2.3. Con la aplicación del criterio de expertos para la validación del procedimiento se obtuvo un nivel de aceptabilidad alto, lo que significa que se considera factible su aplicación para la evaluación geotécnica de las obras viales.

Tabla 2.2: Resultados de la validación del procedimiento

Criterios	Evaluación
El procedimiento está científicamente sustentado	MA
Sencillo y comprensible	MA
Sencillo y comprensible	MA
Adecuado para la evaluación geotécnica de obras viales	MA
Reproducible	MA
Congruente con las normativas vigentes	MA
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	MA
Generalizable para su uso en otras regiones del país.	MA

2.3. Elaboración del procedimiento geotécnico para la evaluación de los viales.

A partir del estudio de la bibliografía y de los rasgos generales, el procedimiento para la evaluación geotécnica de las obras viales se estructura en tres etapas, este pretende resolver la necesidad actual del país de no contar con una guía que facilite el desarrollo eficaz de las investigaciones geotécnicas relacionadas con las obras viales (ver figura 2.2).

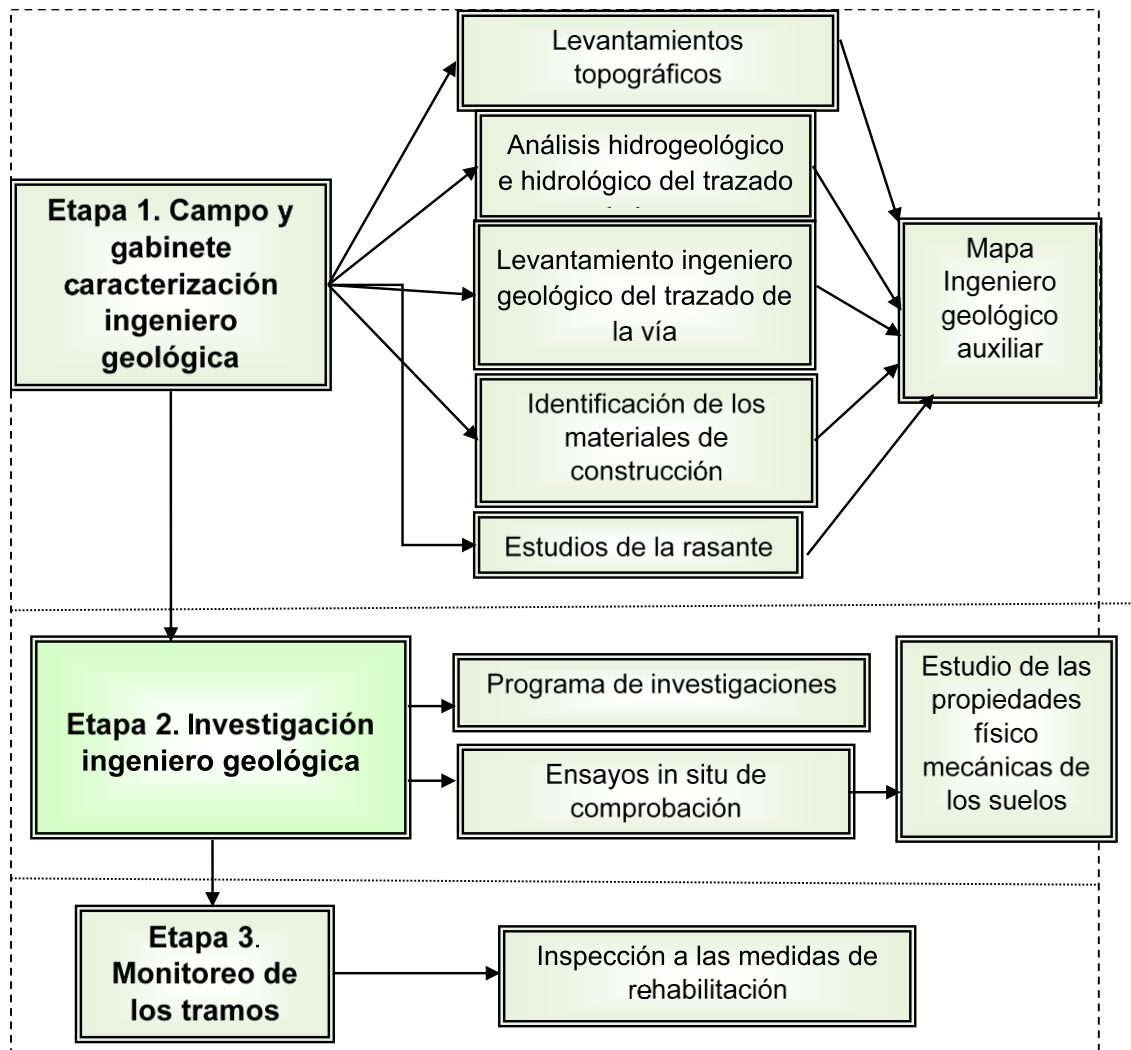


Figura 2.2: Procedimiento para la evaluación geotécnica de las obras viales.

2.3.1. Descripción del procedimiento

Etapa I. Campo y gabinete. Caracterización ingeniero geológica de los suelos.

I-1. Levantamientos topográficos

Se efectúa un levantamiento topográfico en la faja de la ruta seleccionada como la óptima en el estudio preliminar. Para ello se realiza una poligonal que se supone coincida aproximadamente con el eje definitivo de la vía (Olmedo, 2010).

Se recomienda que estas poligonales sean de enlace entre puntos geodésicos de coordenadas conocidas; los cuales existen con profusión a lo largo y ancho del país y fueron establecidos por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC).

Los vértices de la poligonal deben ser estaquillados y referenciados adecuadamente, para permitir su restitución en caso de pérdida de los mismos debido a los equipos de construcción, etc.

Conjuntamente con la poligonal se realizan nivelaciones de la zona, con el objetivo de obtener las alturas de todos los puntos que interesen del trazado; fundamentalmente los vértices de la poligonal, puntos bajos y altos del terreno que se encuentren en su recorrido. Además, perpendicular al eje de la poligonal, se toman secciones transversales con el fin de conocer la variación del terreno a ambos lados del eje probable de la vía.

Después de efectuados los cálculos de las nivelaciones se tienen una serie de puntos de cotas conocidas, con los cuales se puede representar altimétricamente la zona de estudio (Ardila, 2009).

Es de señalar que el ancho de las secciones transversales está en función del grado de definición que se tenga del eje de la vía, lo cual está en relación directa con la seriedad y grado de precisión con que se haya realizado la etapa de estudio preliminar.

La forma de realizar los trabajos de campo referentes a las poligonales y nivelaciones; así como su cálculo, pueden ser estudiados en la bibliografía recomendada en la parte correspondiente a topografía (Bayona, 2002).

El éxito económico de un vial consiste en que la misma una los extremos previstos de forma tal, que su recorrido sea mínimo, así como mínimo sea también el movimiento de tierras necesario para alcanzar la cota de la subrasante propuesta en el proyecto. Para lograr lo último, es imprescindible que la vía se acomode por los lugares del terreno que presente una topografía más suave, desde luego cumpliendo todas las especificaciones del proyecto (Díaz, 1989).

Estas especificaciones son difíciles de aunar en un solo proyecto, pero se debe lograr reunir en las mayores ventajas de lo uno y del otro, para lo cual es necesario, que el ingeniero proyectista domine el relieve del terreno observado en mapas y planos de la zona o mediante el estudio estereoscópico de fotografías aéreas de la región (Pérez, 2010).

Se puede concluir que, las condiciones topográficas de la región son un factor muy importante al seleccionar la situación del trazado y son las que primero deben establecer las diferentes alternativas entre los puntos a enlazar.

I-2. Análisis hidrogeológico e hidrológico del trazado de la vía

La evaluación de los parámetros hidrogeológicos como la permeabilidad, transiividad, porosidad, coeficiente de almacenamiento, y otros, son de las tareas básicas en el estudio hidrogeológico. Estos parámetros son la base de cálculos de drenajes, filtraciones, caudales de bombeo, tiempo de tránsito de sustancias transportadas por el agua subterránea. Debe perseguirse el rigor y la máxima fiabilidad posible en la determinación de estos parámetros, que son, en definitiva, los que definen las características de los acuíferos y su capacidad para almacenar y transmitir el agua subterránea.

En la realización de los ensayos se determina la profundidad del agua (nivel freático) y otros niveles importantes desde el punto de vista hidrogeológico, los niveles artesianos, la composición química y la calidad del agua. Se investigarán y ubicarán en los mapas todos los manantiales naturales y artificiales de las aguas subterráneas, realizándose observaciones hidrogeológicas. En los análisis químicos prestará especial atención a la determinación del pH, la dureza del agua, sulfatos, dióxido de carbono y otros componentes.

La hidrología estudia el comportamiento de las aguas, sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, así como las formas y regímenes que esta presenta en la naturaleza. Sus principales aplicaciones en Ingeniería vial son las siguientes:

Estimar el caudal máximo de agua caudal de referencia que debe canalizar superficialmente la vía, empleando para ello métodos de cálculo semiempíricos basados en la historia pluviométrica de la zona y las características hídricas del terreno.

Dimensionar adecuadamente las estructuras de paso que restringen o dificultan el paso del agua por sus cauces habituales.

Analizar la presencia y el régimen de circulación de las aguas subterráneas y disponer los medios para evitar su penetración en el firme.

El drenaje es uno de los elementos fundamentales que garantiza que la vía dure el tiempo previsto en el diseño, es por ello, que la superficie vial se construye con un cierto bombeo, que permita evacuar el agua de lluvia que cae en su superficie hacia las cunetas laterales o bajo del terreno. También mediante la construcción de puentes y alcantarillas se logran canalizar las aguas a través de la vía sin que las mismas erosionen y se infiltren en los cimientos de la obra vial.

I-3. Levantamiento ingeniero geológico del trazado de la vía

Estos representan factores importantes para cualquier tipo de construcción, reflejan la propagación de las rocas y suelos y sus posiciones estratigráficas, su índole petrográfica, la situación hidrogeológica simultáneamente con los fenómenos geodinámicos, y las particularidades ingeniero geológicas de las rocas y suelos.

Los puntos de documentación ingeniero geológicos a tener en cuenta serán los siguientes:

- Afloramientos naturales y artificiales
- Detalles y forma de relieve, importantes para la valorización del terreno, desde el punto de vista ingeniero geológico
- Perforaciones, calicatas, trincheras y pozos
- Manifestaciones cársticas
- Manantiales de aguas naturales y los diferentes trabajos que descubren los niveles freáticos
- Mediciones geofísicas, penetrométricas y otras
- Mediciones del nivel freático
- Observaciones del estado de construcciones.

Los puntos de documentación se elegirán de forma tal que aclaren la estructura geológica uniformemente en toda área. El número de puntos de documentación por unidad del área, depende del grado de la investigación, complejidades de las condiciones ingeniero geológicas y de las escalas del mapa elaborado.

Cada punto de documentación tendrá la siguiente información:

- Número y tipo de punto
- Localización
- Descripción del punto

- Datos sobre el agua subterránea
- Mediciones que caracterizan las condiciones naturales
- Descripción del relieve, de la geomorfología y de los demás objetos de los alrededores.

El levantamiento ingeniero geológico se enriquecerá con las tomas de muestras representativas a lo largo de todo el trazado, que permita una mayor información del punto de vista ingeniero geológico, de las propiedades de los suelos y rocas que constituyen la base del trazado.

El número de las muestras para apreciar y clasificar las calidades ingeniero geológicas de la roca y del suelo, depende del tipo y de la importancia de esta desde el punto de vista ingeniero geológico, y de la extensión de su presencia.

Con todos estos datos es posible la confección de mapas ingeniero geológicos que permitan obtener una mayor visión de la futura obra de emplazamiento con vista a la realización de un proyecto racional basado en criterios sustentables desde el punto de vista geológico, en estos casos se proponen mapas ingeniero geológicos auxiliares.

Estos mapas representan factores importantes que permiten realizar una valorización ingeniero geológica territorial, como mapas de valorización para diferentes géneros de construcción, mapas para representar la situación geológica a diferentes profundidades, mapas de la documentación primaria de la zona, que se elaboran utilizando los datos conocidos de la geología, hidrogeología y particularidades de las rocas.

I-4. Identificación de los materiales de construcción

El material que se suministre de la zona escogida, tendrá que satisfacer en todo momento las especificaciones de calidad establecidas por proyecto, o en su defecto, las del laboratorio.

El área de terreno utilizado en los trabajos de préstamo deberá presentar al final de su explotación un aspecto estético acorde con el lugar (R.C-3008,1981).

Los materiales a emplear en terraplenes serán suelos o materiales locales obtenidos en las excavaciones realizadas en la obra o, de préstamos indicados en los planos, debidamente autorizados por el laboratorio de suelo de la obra

(NC 54-147-78). Estos materiales no deben contener ramas, troncos, hierbas, raíces, materia orgánica de cualquier clase y de otros materiales o sustancias que puedan ser perjudiciales.

Los suelos producto de las excavaciones que serán utilizados en la construcción de terraplenes compensados, serán los aprobados por proyecto y aquellos que se aprueben por el proyectista durante el proceso de ejecución de la obra, avalados por los ensayos correspondientes (Herbert, 2007).

Los materiales producto de las excavaciones que se empleen en la construcción de esta unidad, cuando formen parte del material de suelo que se coloque, no podrán ser de un tamaño mayor de los dos tercios del espesor de la capa compactada, por lo que las piedras y rocas de un tamaño mayor han de ser reducidas antes de que se incorporen definitivamente al terraplén. Cuando una sección de terraplén se construya empleando piedras y rocas principalmente, estas podrán ser hasta de 0,50 m en su mayor dimensión. Las piedras contenidas en los materiales que se emplean para la construcción de la capa superior de los terraplenes, no pueden ser de un tamaño mayor de 0,05 m.

También se permite emplear en la construcción de la unidad “Terraplén compensado” los materiales producto de las unidades de excavación que se ejecutan en formaciones de serpentina. En los casos en los cuales estos materiales contengan cantidades apreciables de partículas grandes, que dificulten o impidan que se obtenga una compactación apropiada, serán triturados, mediante el uso de un equipo mecánico adecuado, hasta que el 40 % del material como mínimo, pase por el tamiz No. 4, con el objeto de que este material fino se emplee para rellenar los vacíos que queden entre las partículas grandes. No debe utilizarse la serpentina muy descompuesta que contenga un porcentaje elevado de silicato de magnesia (R.C- 3013,1981).

Para la ejecución de rellenos se utilizará material producto de las excavaciones y demoliciones que no se han de utilizar en los terraplenes o rehíncos, o con cualquier otro material que esté especificado en el proyecto (R.C-3011,1981). Para la preparación de la subrasante, se usarán suelos seleccionados, de acuerdo con el proyecto (RC-3020,1981).

Si se comparan los valores establecidos en diferentes partes del mundo, con lo establecido en las regulaciones y normas cubanas y especialmente con lo planteado en la Norma de diseño de pavimento flexible se puede apreciar que en el caso de las limitaciones para núcleo y cimiento, existe relación con lo planteado entre los diferentes países y Cuba, pues todos concuerdan en que si los suelos tienen un IP mayor que 50-65 % no deben ser utilizados para estas capas y coinciden que los más recomendables son los suelos A-1, A-2-4, A-2-5 o A-3 (ver anexo 1.3).

Además, si se analizan los porcentajes establecidos para las diferentes propiedades, se puede apreciar que son similares y los criterios para definir los suelos adecuados, seleccionados y aceptables son los mismos de forma general, aunque en el caso de Cuba son un poco más conservadores. Todos los especialistas concuerdan que, en el caso de no contar con los suelos idóneos, se pueden utilizar otros, pero con un correcto grado de compactación, siempre mayor que el 95%. Para el caso de la capa de coronación también existen igualdad de criterios, aunque se establece una diferencia entre suelos adecuados y seleccionados, pero en caso de que no sea posible utilizar los más idóneos se usará el que se tenga, siempre que cumpla con las condiciones para suelos seleccionados.

Quevedo *et al.* (2002) plantean que si se analizan los valores de CBR y módulo establecidos en la norma de pavimento flexible para las diferentes capas, se puede apreciar que los mismos son un poco altos, lo que limita la utilización de determinados suelos, y si se comparan estos valores con los que aparecen en la propuesta de norma para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, se puede apreciar que en el caso de la capa de base solo cumplen con la condición del módulo con valores entre 300 y 500 MPa las arenas muy compactas y para la capa de subbase como los valores de módulo son más bajos sí permite que se usen otros suelos, como arcillas duras (ver anexo 1.1).

Si se realiza esta misma comparación con los intervalos de equivalencia planteado por Bachus *et al.* (2002), se puede llegar a conclusiones similares, pues al igual que en el caso anterior las arenas compactas y muy compactas son la que más cumplen.

Generalmente, por no existir una norma vigente con respecto a estos aspectos no se cumple con calidad la construcción de las vías, pues aunque se utilice el material que producen las excavaciones para lograr la compensación, se tiene que estudiar primero y determinar que realmente cumple con lo establecido en las regulaciones, que se logre la compactación necesaria, humedad óptima para la compactación y toda una serie de características imprescindibles para la correcta construcción del vial, y tener en cuenta las limitaciones que se plantean para cada una de las capas.

I-5. Estudios de la rasante

La rasante puede definirse como la elevación con respecto a una superficie de referencia definida de todos los puntos del eje de la vía. Es la línea base que define todos los alineamientos verticales del trazado y su elección depende de muy variadas condicionales entre las cuales se destacan:

- Topografía del terreno
- Puntos obligados en altura
- Seguridad en la circulación vehicular
- Visibilidad
- Velocidad de diseño
- Costos de construcción
- Costos de operación
- Características del alineamiento horizontal.

Es prácticamente imposible debido a la topografía del terreno, mantener una rasante constante desde el inicio hasta el punto de terminación de la carretera; ya que traería como resultado un enorme movimiento de tierra que atentaría contra el costo total de la obra. En definitiva, la rasante debe adaptarse al terreno y mantener a su vez, sus especificaciones de diseño y reglas prácticas estudiadas en el epígrafe anterior.

A los puntos de intersección de rasantes de distinta inclinación se les denominan puntos verticales (PV); y en ellos se diseñan curvas verticales parabólicas que tienen como objetivo facilitar una transición gradual entre una rasante y otra con diferente inclinación. Según su posición estas curvas verticales pueden encontrarse encima o en depresión.

I.6. Mapa auxiliar Ingeniero geológico

A partir de toda la información anterior, se elabora como aspecto fundamental del procedimiento, el mapa ingeniero geológico auxiliar, y se definen las áreas homogéneas clasificadas en favorables, normales y desfavorables a lo largo del perfil trazado, constituyendo este aspecto el segundo paso decisivo para la planificación del Programa de Investigación que esclarece las condiciones ingeniero geológicas de los tramos definidos. A continuación, se describen las características de estos tramos.

Tramos homogéneos favorables

No existen manifestaciones cársicas, empantanamientos o deslizamientos. La estructura geológica, geomorfológica y topográfica es simple: el conjunto de los elementos litológicos (suelos, rocas y semi-rocas) son homogéneos. Los suelos aluviales y diluviales están distribuidos de forma homogénea, existiendo poca variabilidad en los valores de sus propiedades físicas mecánicas. Las arcillas son duras o muy duras, las gravas y arenas son compactas. Las aguas subterráneas no influyen sobre el cimiento de la vía y el grado sísmico es menor o igual a 4 (NC-1, 2007).

Tramos homogéneos normales

No existen manifestaciones de empantanamiento o deslizamiento, el desarrollo cársico está muy limitado en extensión y profundidad, las oquedades o grietas están rellenas y sus dimensiones son muy pequeñas. Existen diferentes elementos litológicos (suelos, rocas y semi-rocas), su correlación es simple y sus características físico-mecánicas son similares.

Las estructuras geológicas y geomorfológicas son simples, aunque existen pliegues pocos desarrollados. Los suelos aluviales, eluviales y deluviales tienen una estratificación y distribución bien definidas y este es prácticamente horizontal (buzamiento pequeño) existiendo poca variabilidad de sus propiedades físico mecánicas.

Las arcillas son duras o firmes, las gravas y arenas son compactas a medias. Las aguas subterráneas tienen poca influencia sobre el cimiento de la obra. Grado sísmico > 4 y < 7 (NC-1, 2007).

Tramos homogéneos desfavorables

Existen manifestaciones de empantanamiento y carso, este está desarrollado en extensión y profundidad, las oquedades y grietas están abiertas y sus dimensiones son apreciables. La correlación de los diferentes elementos litológicos (suelos, rocas y semi-rocas) no es simple, su grado de alteración, agrietamiento es muy variable y sus propiedades físico mecánicas son diferentes.

Las estructuras geológicas y geomorfológicas son complejas, existiendo fuertes plegamientos, fallas y topografía abrupta. Los suelos aluviales, deluviales y eluviales tienen una estratigrafía y distribución errática con características físico mecánicas muy variables (Garnica, 2002).

Existen suelos colapsables, expansivos y tubificables. Las arcillas son blandas a muy blandas, las arenas sueltas a muy sueltas. Las aguas subterráneas tienen gran influencia sobre la estructura de pavimento. El grado sísmico es ≥ 7 .

En función de la definición alcanzada según el tipo de área se planificarán las investigaciones ingeniero geológicas con sus alcances (NC-59, 2000).

Etapas II. Investigación ingeniero geológica

II-1. Programa de investigaciones por tramos

En función de la complejidad de los tramos seleccionados de forma homogénea, se propone para cada caso el programa de la investigación, que permite el esclarecimiento de las condiciones ingeniero geológicas de la futura área de construcción.

Programa de Investigaciones para tramo favorable: Para las investigaciones ingeniero geológicas en las zonas favorables se podrán utilizar como datos de partida los estudios antecedentes del lugar, los cuales se complementarán con ensayos de pruebas in situ utilizados mundialmente como son penetrómetros manual, CBR, deflexión, pruebas de placas, todas estas complementadas con calicatas que permitan corroborar las propiedades físicas de los suelos y establecer métodos de predicción partiendo de agrupar los datos estadísticos por clases en función de la clasificación para suelos que establece AASHTO (ver

anexo 1.3), caracterizando cada variable con técnicas de estadística descriptiva y comprobando los criterios de normalidad y teoría de rechazo (ver figura 2.2).

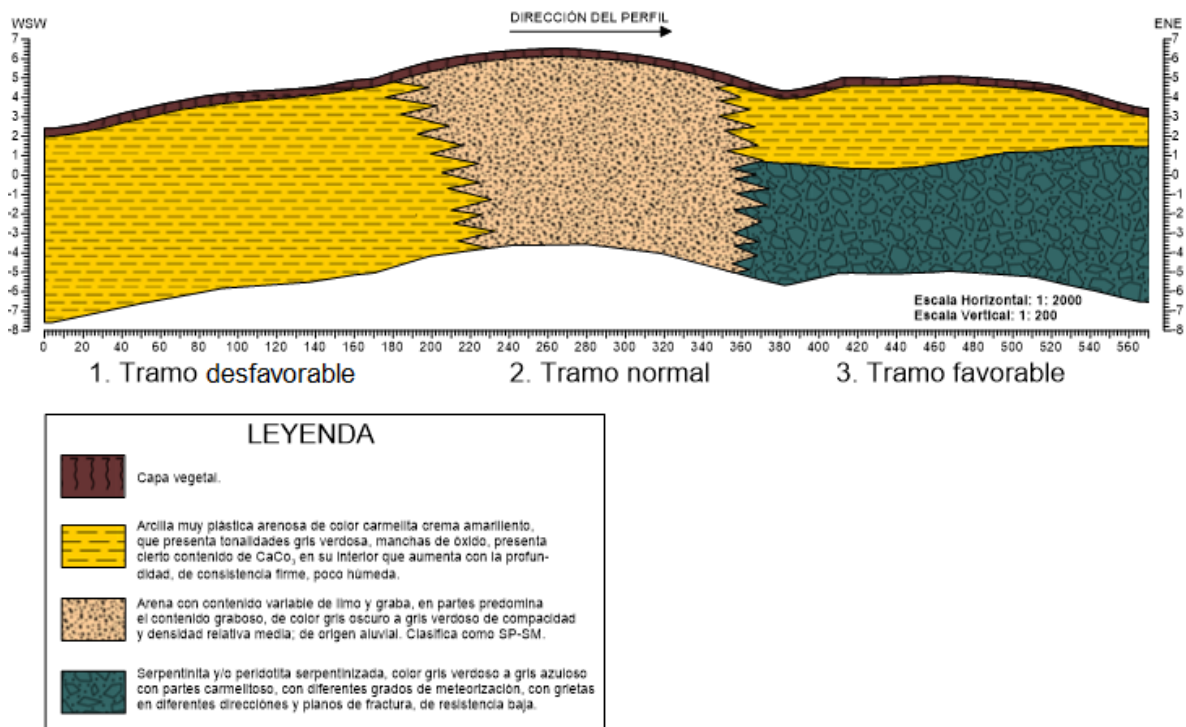


Figura 2.3: Ejemplo de características litológicas de diferentes tipos tramos.

En este caso las perforaciones a realizar son mínimas para esclarecimiento de un punto singular dentro de la homogeneidad del tramo.

Programa de investigaciones para tramos normales: En este caso se realiza la planificación del programa de investigaciones de igual forma que para el caso de los tramos favorables, pero sí se aconseja realizar una red de calas según el criterio del investigador tomando como punto de referencia la realización de puntos de perforación entre 200 y 500 metros, de acuerdo con la estratigrafía de los suelos, pero siempre tratando los puntos singulares de forma diferenciada. (Ver anexo 1.1).

Programa de investigaciones para tramos desfavorables: Corresponderá a investigaciones en zonas o tramos donde por las características propias del mismo o de los materiales que conforman el subsuelo serán sometidos a un procedimiento de investigaciones o pruebas de campo con características especiales, manteniendo un proceso de trabajo más riguroso al normalmente empleado, teniendo como premisa la aplicación de diferentes métodos de investigaciones de suelos de acuerdo con sus características (suelos

expansivos, kársticos, pantanosos) y ensayos representativos que permitan su caracterización según las condiciones de trabajo a la que van a estar sometidos durante su explotación.

Se recomienda intensificar tanto los ensayos de laboratorio como los ensayos in situ, buscando la realización de correlaciones entre los mismos, que simulen los estados tensionales a que se encontrarán sometidos en las diferentes etapas de construcción de la obra.

La última etapa del procedimiento propuesto es la realización de la etapa de ejecución de los ensayos in situ que permita evaluar la veracidad de los modelos de comportamiento del suelo elaborado para el diseño de la obra. Estos deben realizarse en las etapas de base de cimiento, levante de terraplenes y estructura de pavimento.

II-2. Ensayos in situ para corroborar los criterios del procedimiento geotécnico

Para asegurar el correcto comportamiento del terraplén es necesario establecer una serie de procedimientos de control y comprobación de diversas características del suelo ya que a la larga van a determinar su comportamiento mecánico (ver figura 2.3). En este esquema se reflejan los pasos que involucran el control de calidad (NC-157, 2002).

El control de calidad incluye el procedimiento control y el control del producto terminado.

Procedimiento Control: Consiste en establecer la forma en que deberá efectuarse la ejecución del terraplén fijando, según las características del suelo disponible y el tipo de la maquinaria a emplear, el espesor de la capa o el número de pasadas (ver figura 1.2). Este tipo de control se lleva a cabo en diversos países, destacando una vez más el empleo del modelo francés en nuestro país, el cual presenta diversas dificultades para su implantación (Belandria, 2010).

Control de producto terminado: Consiste en fijar las características que debe cumplir el material una vez colocado en obra; para ello se miden *in situ* diversas características y se comparan con valores obtenidos sobre muestras patrón en laboratorio. Generalmente las magnitudes objeto de control son las siguientes:

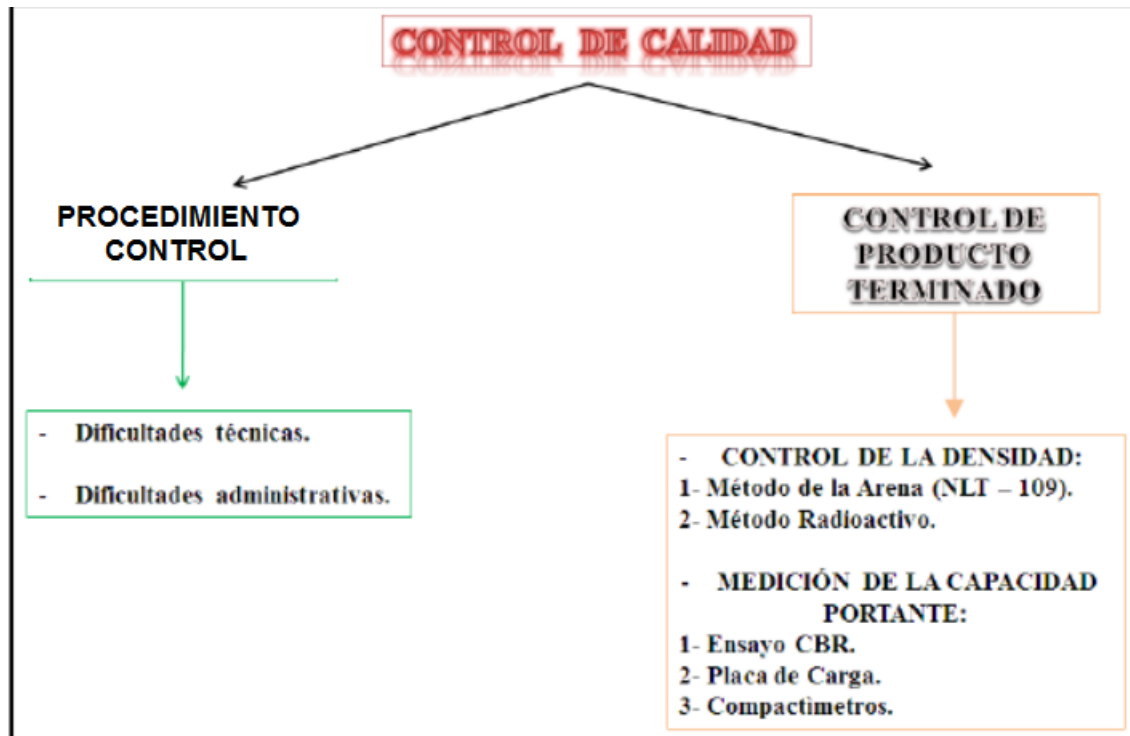


Figura 2.4: Esquema sobre el Control de calidad.

a) Control de la densidad: La densidad del suelo en referencia a la obtenida en el ensayo Proctor, define directamente su grado de compactación. Para determinar la densidad en la obra se llevan a cabo los siguientes métodos:

Método de la arena (NLT – 109): Consiste en la excavación de un agujero en la zona a ensayar, determinando el peso del material extraído (ver figura 2.4). Para determinar el volumen del agujero, este se rellena de arena empleando un recipiente calibrado que permita conocer la cantidad introducida. Conocida la masa y el volumen puede determinarse la densidad del suelo (Belandria, 2010).

Método Radioactivo: Se basa en la interacción de la radiación gamma con los electrones existentes en las partículas del suelo. El aparato nuclear un contador (Geiger) mide la diferencia entre la energía emitida y la recibida, que es proporcional a la densidad del suelo.

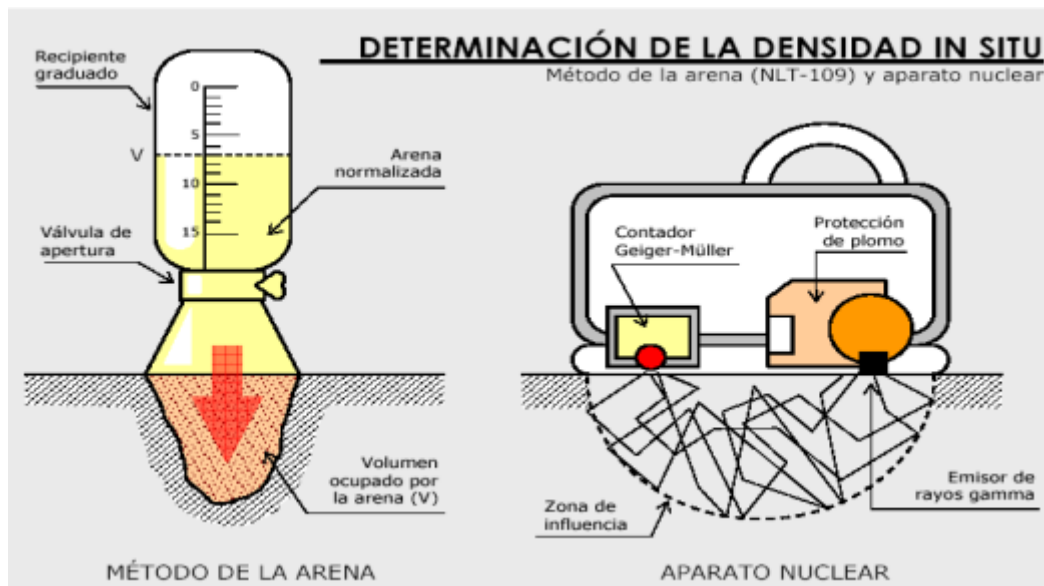


Figura 2.5: Métodos para la determinación de la densidad in situ (Bañón, 2000).

b) Medición de la capacidad portante

Consiste en determinar si el terreno es capaz de absorber y distribuir las tensiones transmitidas por el tráfico a través del firme. Existen diferentes métodos para controlar la capacidad portante del terreno. (ver figura 2.3).

Ensayo CBR: Es un ensayo normalizado de penetración (NLT – 112) que mide la presión necesaria para introducir un pisón a una cierta profundidad, comparándola con la empleada en una muestra patrón.

Placa de carga: Consiste esencialmente en la aplicación escalonada de una carga variable sobre una superficie determinada generalmente circular o cuadrada midiendo los asientos obtenidos a lo largo del tiempo. Estos ensayos están en desuso ya que son bastantes caros, no ofrecen una muestra representativa del suelo y solo son confiables en terrenos homogéneos.

Compactímetros: Estos tipos de aparatos van incorporados a la llanta de los compactadores vibratorios; miden la densidad y el grado de compactación del terreno en función de la onda armónica generada sobre el propio terreno durante el proceso de vibra compactación (Belandria, 2010).

II-3. Deflexión o viga de Benkelman

Los equipos de este tipo miden la deflexión máxima del pavimento bajo la acción de una carga estática, o bien de una carga cuasi-estática de acción muy lenta. El principal dispositivo que ha sido usado para este tipo de ensayo es la viga de Benkelman (ver figura 2.5). Hay que tener en cuenta que en firmes flexibles debido a su comportamiento visco elástico, esta deflexión total tendrá una componente elástica y otra remanente, el valor que se usará para el cálculo del refuerzo será la deformación recuperable (NC-334:2004).

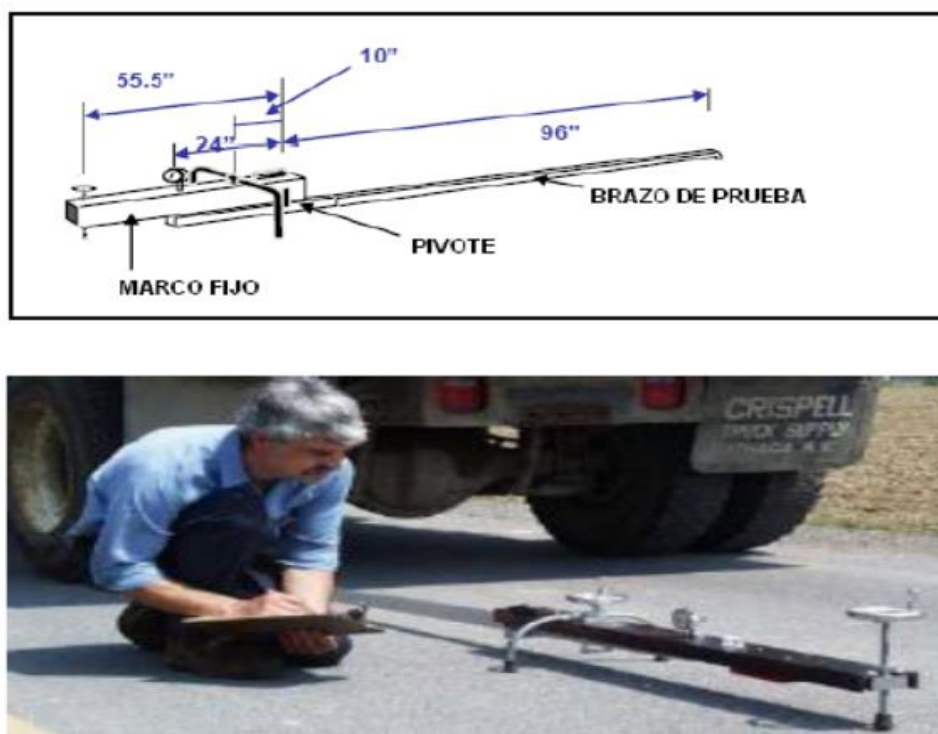


Figura 2.5: Viga de Benkelman

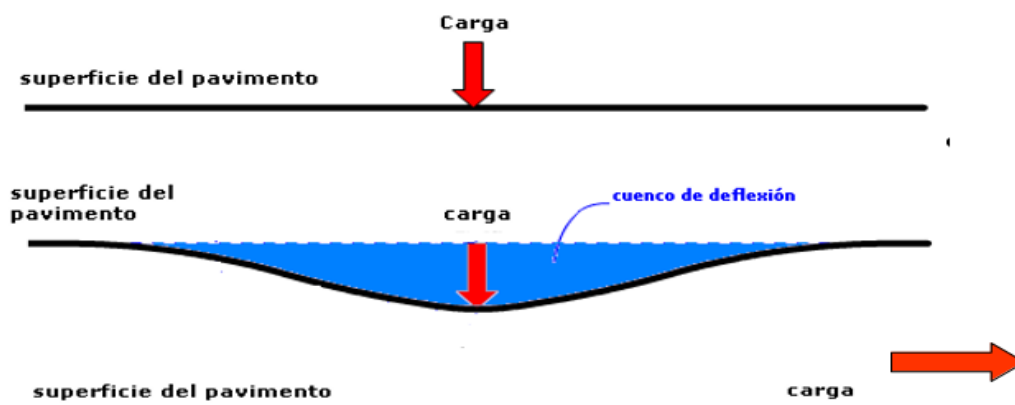


Figura 2.6: Comportamiento de deflexión de la superficie del pavimento al aplicar una carga sobre esta.

La deflexión admisible se determinará según propuesta de varios autores, como se observa en la tabla 2.2.

Tabla 2.: Determinación de la deflexión según varios autores

Método/Autor	Valor de comparación	Valor obtenido(I_c)	Observaciones
J.A. Torres Vila. "Diseño de pavimentos para carreteras y aeropuertos":	$I_{adm} = 1.25 \text{ mm}$		Cumple
Draft TRH 12: 1997 "Flexible Pavement Rehabilitation Investigation and design"	$I_c > 1.0 \text{ mm}$ Deformación severa		Cumple
Norma 6.31C "Rehabilitación de firmes"	$I_c > 1.0 \text{ mm}$ Agotamiento estructural		Cumple

Etapas III. Monitoreo y seguimiento de rehabilitación

El establecimiento de las medidas de rehabilitación exige un permanente seguimiento. El desempeño y la eficacia de las medidas adoptadas deben ser acompañadas por medio de los indicadores viales, en el sentido de verificar si están siendo ajustadas. La eventual obtención de resultados insatisfactorios debe imponer la revaluación y reformulación de las medidas elegidas y si fuese necesario, su sustitución. Las medidas correctivas deben ser periódicamente sometidas a inspecciones con miras a su mantenimiento en condiciones compatibles con los patrones preestablecidos.

Se hará un programa de monitoreo que comprenda la evaluación sistemática de los componentes viales con el fin de conocer su evolución y revisar las medidas de manejo vial, para anticipar el control de comportamientos anómalos y confrontar el cumplimiento de la normatividad vial.

Se recomienda la realización periódica de auditorías de seguridad vial para determinar si las medidas aplicadas para la rehabilitación han sido implementadas y mantenidas de acuerdo con lo planeado como parte del proceso de seguimiento, y de conformidad con su duración y la extensión del tramo a investigar.

Inspección a las medidas de rehabilitación

Una vez ejecutadas las medidas implementadas deben ser supervisadas por la dirección de la empresa y autoridades de los viales como la ENIA (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas) en determinados periodos de tiempo para saber si se están aplicando y tienen el efecto esperado.

Conclusiones parciales

El procedimiento elaborado para la evaluación geotécnica de los viales, se resume en los estudios topográficos, análisis hidrogeológicos e hidrológicos y el levantamiento ingeniero geológico del trazado de la vía, identificación de los materiales de préstamo, estudios de la rasante, el programa de investigaciones por tramos, y los ensayos in situ que corroboran los criterios geotécnicos a emplear.

CAPITULO III
IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN LA CARRETERA BAYAMO,
TRAMO BUEYCITO-BUEY ARRIBA, PROVINCIA GRANMA.

CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA CARRETERA BAYAMO, TRAMO BUEYCITO BUEY ARRIBA, PROVINCIA GRANMA.

Introducción

El establecimiento de un procedimiento para la evaluación geotécnica de las obras viales requiere de su implementación, para lo cual se selecciona un caso de estudio.

El procedimiento propuesto se empleó en la provincia de Granma carretera Bueycito - Buey Arriba, con vistas a validar el mismo. Se realiza un análisis de los resultados obtenidos en el tramo objeto de estudio y se propone un procedimiento a partir de la información que se obtiene de la evaluación con equipos de bajo rendimiento o de primera generación, para realizar un proyecto de conservación.

3.1 Ubicación geográfica y caracterización físico geográfica e ingeniero geológica del área de estudio

El vial se extiende de norte a sur en los municipios de Bayamo y Buey Arriba, partiendo del km 0+000 considerado en el Entronque de Bueycito hasta el Km 22 + 540 en el poblado Buey Arriba, aproximadamente en las Coordenadas Lambert. Como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Coordenadas geográficas del tramo en estudio

Puntos	X	Y
Entronque Bueycito	506 281	182 007
Bueycito	506 576	175 849
Buey Arriba	508 134	169 539



Figura 3.1: Localización del area de estudio.

3.1.1 Vegetación y Fauna

En todo el trazado se aprecian árboles frutales (mango, naranja, aguacate, guayaba y maderables (algarrobo, caoba, álamo, cedro, etc.); así como algunas variedades de helechos, plantas ornamentales silvestres y vegetación herbácea que en ocasiones forman una densa capa inferior, donde predominan especies como Guizazo de Baracoa, Hierba Fina y la Hierba de Guinea. Próximos a las viviendas se observan además cultivos varios como el maíz, arroz, plátano, café, otros.

3.1.2 Clima

El clima del lugar es subtropical como en el resto del país, específicamente en esta región montañosa son propicias las condicionantes para la existencia de un microclima, donde se alternan nublados con periodos cortos lluviosos y periodos de insolación con incidencia más prolongada. La humedad relativa alcanza valores máximos de más de 80%.

El nivel de radiación solar es alto, a través del año muestra máximos en abril y julio superiores a los 20 MJ/m² y mínimos en diciembre y enero, inferiores a los 12 MJ/m². La insolación alcanza también altos valores, con sumas anuales de aproximadamente 2 500 horas-luz en las montañas.

Los valores medios anuales de la temperatura oscilan desde 24°C en las llanuras, con una disminución de los valores de esta variable en las áreas correspondientes a los grupos montañosos, descendiendo incluso a magnitudes inferiores a 20°C en la parte más alta de la Sierra Maestra. En invierno (enero) oscilan como promedio entre 20 y 24°C; mientras que en verano (julio) están entre 26 y 28°C.

El elemento climático más variable, es la lluvia. En la mayor parte del territorio, el año se divide en dos períodos estacionales, lluviosos (de mayo a octubre) y poco lluviosos (de noviembre a abril). En el primero se registra aproximadamente 80% del total de lluvia anual, y en el otro 20% restante. La humedad relativa es normalmente alta, con valores por encima de 60%. Los máximos diarios ocurren a la salida del sol (en ocasiones llega a ser superior a 95%), más elevados en las zonas montañosas. Los meses más húmedos son septiembre y octubre, y menos húmedos abril y marzo.

La evaporación es elevada, con valores de hasta 2 300 mm en el valle del río Cauto. Las magnitudes más bajas de este importante componente del balance hídrico corresponden a las regiones montañosas donde alcanzan alrededor de los 1 100 mm anuales.

3.1.3 Morfología de la región

El trazado transcurre sobre un relieve que va de llano a montañoso con cotas que oscilan entre los 70 m y los 200 m sobre el nivel del mar, dadas para las elevaciones donde se aproxima, bordea o intercepta la vía. La carretera llega hasta el poblado de Buey Arriba y en zonas aledañas al mismo se encuentran Las Minas de Buey Arriba con una altura aproximada de 169 m; pudiéndose observar además las cadenas montañosas que conforman en su conjunto la Sierra Maestra, proporcionando en ciertas zonas cercanas a la vía la posibilidad de apreciación de un entorno paisajístico fascinante.

3.1.4 Geología del área de estudio

De acuerdo con el Mapa Geológico de las provincias orientales a escala 1:100 000 (Ministerio de la Industria Básica, 2001), en el tramo de carretera estudiado se presentan las formaciones geológicas siguientes:

- **Formación Barrancas (bs):** Compuestas por tobas riolíticas - riodacíticas cristalovitroclásticas y vitroclásticas, margas, areniscas calcáreas-tobáceas, calizas biodetríticas y calcilutitas.
- **Formación Río (río):** Depósitos en valles aluviales de composición y granulometría heterogénea.
- **Grupo El Cobre (ec):** Está constituida por diferentes tipos de rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias en distintas correlaciones y combinaciones alternantes, muy variables, tanto en sentido vertical como lateral. Las transiciones entre ellas a veces son bruscas y otras graduales y en muchos casos es prácticamente imposible establecer delimitaciones entre ellas. Las rocas más abundantes son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidacítica y dacítica, raramente riolítica, riodacítica y basáltica. Con estas rocas se intercalan tufitas y calizas, además, se asocian a este complejo vulcanógeno- sedimentario cuerpos hipabísales y diques de diversa composición. En su composición también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas y vulcanomícticas y grauvacas.
- **Formación El Caney (ec):** Alternancia de tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, lapilitas e intercalaciones de lavas y aglomerados.

3.1.5 Características tectónicas de la región de estudio

De acuerdo con las características de los complejos rocosos y su estructura, la región se encuentra en un estadio de desarrollo neoplatafórmico. Sobreyacen discordantemente al Grupo El Cobre, las Formaciones del Plioceno al Cuaternario: Dátil, Manzanillo, Pilón y Cauto. La región está afectada por la falla cortical Cauto Sur del Terreno Cauto-Nipe. Se conocen trabajos geofísicos

regionales que señalan la presencia de una falla regional bajo los sedimentos de la cuenca del Cauto (Escobar; Eric *et al*, 2009).

La zona investigada está cortada por cuatro sistemas de fallas principales:

- Fallas Noreste-Suroeste del sistema Cauto Nipe
- Fallas Noroeste-Sureste
- Fallas Norte- Sur
- Fallas Este-Oeste

Las fallas del sistema norte – sur y este - oeste son las más recientes ya que cortan al resto de los sistemas, dividiendo al territorio en ocho bloques principales. Este cuadro tectónico fue interpretado por Cordovez (2009, 2010 2011), como bloques tectónicos que afectan el área de estudio (ver Figura 3.2):

Bloque IV: Se ubica al SE del área, limitado por el norte por la falla Paso Malo y por el oeste por la falla San Fernando - Palmarito.

Bloque V: Limitado por el sur por la falla Paso Malo, por el oeste por la falla San Fernando - Palmarito y por el norte por la falla San Fernando - La Jagua. En este bloque se ubica el sector Cayo Redondo.

Bloque VI: Al NE de la zona de estudio, limitado por el sur por la falla San Fernando - La Jagua

Bloque VII: Bloque Manzanillo: Limitado por el sur por la falla Jibacoa por el este por la falla San Fernando - La Jagua y por el suroeste por la falla Hondo. En este bloque se ubica el sector Cuentas Claras.

Bloque VIII: Se ubica en la zona Centro Norte. Limitado por las fallas Hondo, Jibacoa y San Fernando - La Jagua por el sur, norte, y este respectivamente (ver figura 3.2).

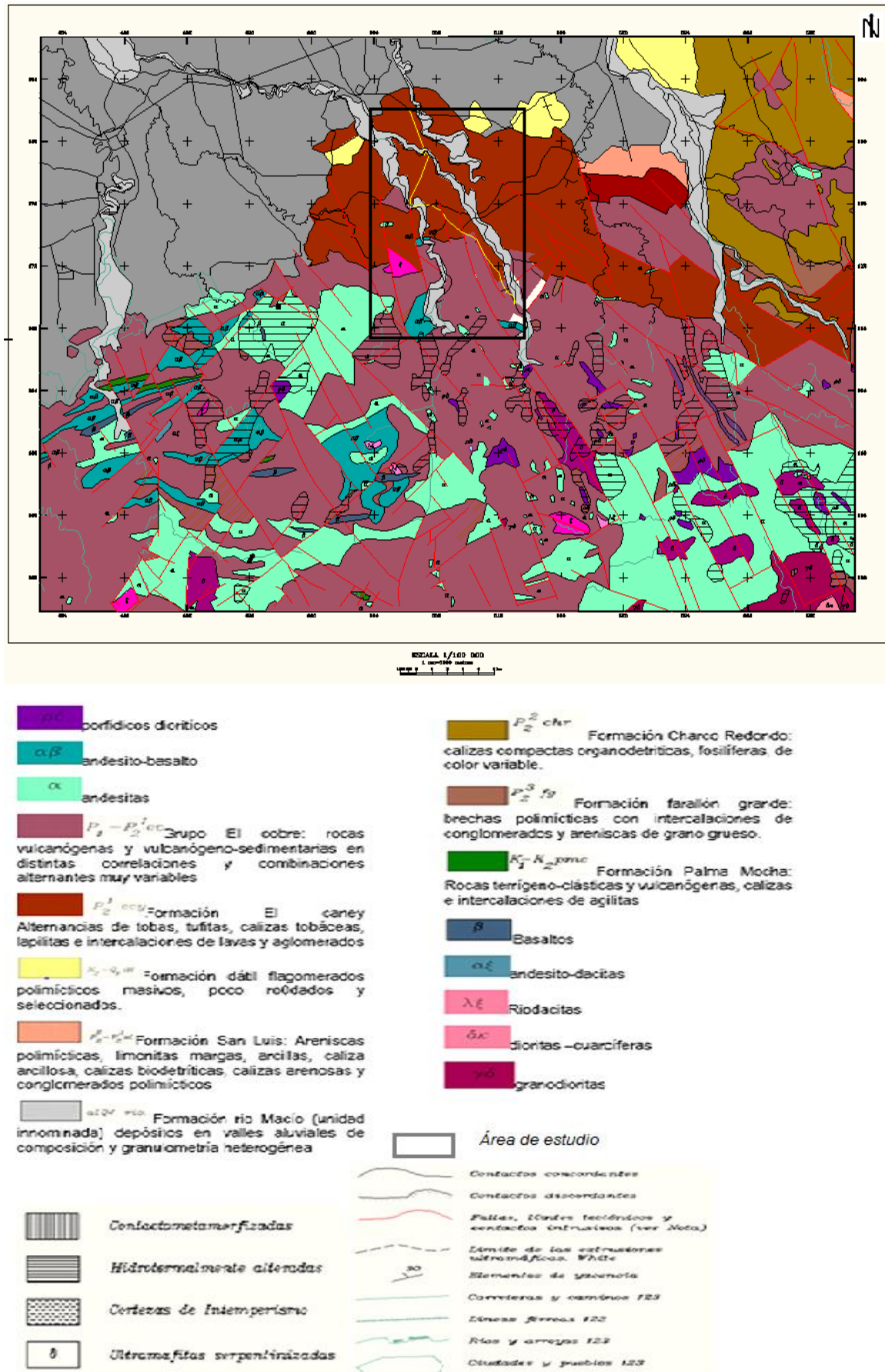


Figura 3.2: Mapa geológico-tectónico del área de estudio.

3.2 Levantamiento topográfico del trazado de la vía

El levantamiento topográfico se realizó partiendo de los puntos bases de las poligonales y teniendo presente la escala del mismo que es de 1:500.

Para ello se estableció un patrón de levantamiento basado fundamentalmente en secciones transversales al eje de la vía con distancias entre 10m y 20m tomando elementos característicos del terreno, la vía y construcciones cercanas que son necesarias reflejar en los planos para el mejor análisis de la geometría de la misma y cumpliendo con lo que establecen los documentos técnicos rectores para realizar el levantamiento topográfico a esta escala.

Para realizar los trabajos de campo se utilizó la Estación Total Leica TC-805 la cual se encuentra debidamente calibrada y cumpliendo lo establecido en la Metodología de Levantamientos Topográficos (MET 30-01:2008) a grandes escalas con TC805, instrumentada por el Grupo Empresarial Geocuba. (ver figura 3.3).

En el terreno se tuvieron en cuenta todos los detalles del mismo, tales como contornos, caminos, taludes, líneas eléctricas y de comunicación, hidrografía, construcciones, etc.



Figura 3.3: Instrumentos utilizados para las mediciones topograficas.

Procesamiento de las mediciones

El procesamiento de los datos se realizó en AutoCad Civil 3D, se generó un modelo digital del terreno (MDT) a partir del cual se dibujaron las curvas de nivel con una equidistancia vertical de 0.25m. Sobre el MDT se ubicaron los diferentes símbolos convencionales obteniendo la edición del plano topográfico.

Procesamiento de los trabajos con Estación Total Electrónica

El procesamiento automatizado para los trabajos con la estación total electrónica está conformado por dos etapas, que son:

- Descarga de los ficheros.
- Procesamiento de los ficheros.

Los ficheros resultantes de las mediciones se obtienen con extensión GSI (Geo Serial Interfase) o IDX, empleados para todos los datos que se intercambian entre los instrumentos topográficos electrónicos Leica.

Los datos de los ficheros de trabajo se descargaron a través del cable GEV 189 para la comunicación serial entre el instrumento y la PC, en esta última se debe configurar un único puerto USB para este objetivo. La descarga se realiza a través del software LEICA Flex Office-Standard.

Los datos obtenidos se importaron al programa AutoCAD en su versión Civil 3D 2010. En el mismo se realizó todo el procesamiento del levantamiento apoyándose en los croquis que se fueron haciendo en el terreno durante los trabajos de campo y aclarando las dudas directamente en el terreno pues el dibujo se iba realizando paralelamente al avance de los trabajos de campo. Todos los elementos representados en el plano mediante símbolos convencionales, líneas y otros cumplen con las especificaciones establecidas en el Manual de Símbolos Convencionales y las Indicaciones Generales de redacción para esta escala. Las coordenadas de los puntos de las poligonales se ajustaron por medio del programa TOPO 6, estas se muestran en el anexo 3.3.

Teniendo en cuenta las características del área de trabajo, las especificaciones técnicas sugeridas en la Tarea Técnica y las exigencias de los documentos rectores en la actividad de topografía para ejecutar esta actividad, se realizaron los trabajos necesarios para crear una base geodésica con la precisión y densidad que aseguran la ejecución de los mismos. Para ello se contó con los puntos de la Red Geodésica Nacional que sirvieron de puntos de apoyo a las poligonales (ver anexo 3.3).

3.3 Levantamiento Ingeniero Geológico de trazado de la vía

A partir de que el vial existe y lo que se pretende es la rehabilitación del mismo, el levantamiento ingeniero geológico se basó en determinar los deterioros superficiales y estructurales de la vía.

3.3.1. Inspección visual (deterioros superficiales y estructurales).

Se realizó una inspección visual detallada del pavimento y de aquellos aspectos que puedan tener influencia en su estado, tales como tipo de explanación, condiciones de drenaje, capacidad de soporte de la explanada y del terreno que la sustenta; con esta inspección se caracterizó el estado del pavimento, lo que permitió tramificar la carretera objeto de estudio e interpretar los resultados de la auscultación realizada con equipos para la medición de las deflexiones.

Con la inspección visual se obtuvo la información sobre el deterioro del pavimento, tanto superficial como estructural y la cantidad y severidad de los deterioros (Ver Figura 3.4 y anexo 3.1).



Foto No 1. Deterioro de la SUPERFICIE

Desprendimientos (Pérdida de la Capa de Rodadura)



Foto No 2. Deterioro de la ESTRUCTURA

Agrietamientos (Piel de Cocodrilo)



Foto No 3. Deterioro de la ESTRUCTURA

Deformaciones (Baches Profundos)



Foto No 4. Deterioro de la ESTRUCTURA

Agrietamientos (grietas longitudinales y transversales)



Foto No 5. Deterioro de la SUPERFICIE
Desprendimientos (Pérdida de la Capa de Rodadura)



Foto No 6. Deterioro de la ESTRUCTURA
Deformaciones (Ondulaciones)



Foto No 7. Deterioro de la ESTRUCTURA
Agrietamiento (grietas longitudinales y transversales)



Foto No 8. Deterioro de la SUPERFICIE
Desprendimiento (pérdida de la capa de rodamiento)



Foto No 9. Deterioro de la ESTRUCTURA
Agrietamiento (Piel de Cocodrilo)



Foto No 10. Deterioro de la ESTRUCTURA
Agrietamiento (Piel de cocodrilo)

Figura 3.4: Representación de los tipos de deterioros en el tramo estudiado.

3.4 Trabajos realizados

Trabajos de Campo

Los trabajos de campo realizados se describen a continuación:

1. Levantamiento ingeniero geológico e hidrogeológico de la franja de la carretera y áreas adyacentes.
2. Replanteo de las calas programadas: Se basó en la solicitud de investigación y en el estado constructivo de la vía, las calas se ubicaron generalmente en las zonas más deterioradas.
3. Perforación: Se perforaron las calas con profundidad máxima de 3.70 metros, con una máquina Stratadrill-36 de fabricación inglesa, se empleó el método de rotación en los primeros 0.20 metros de profundidad y luego el de percusión con diámetro de 108 – 89 mm.

Tabla 3.2: Perforaciones ejecutadas en los tramos en estudio

CALA No.	ESTACIONADO(Km)	PROFUNDIDAD (m)
1	0+300	2.80
2	2+250	2.70
3	4+500	2.90
4	7+400	3.70
5	7+950	1.00
6	9+047	2.80
7	10+250	1.40
8	10+260	1.00
9	18+203	1.50
10	19+745	1.25
11	20+00	2.00

4. Se realizaron calicatas de forma manual, empleándose pico, pala y barreta, a profundidades entre 0.45 y 1.15 metros, ubicadas convenientemente para identificar la litología del trazado y tomar muestras de clasificación en cada una de ellas.

Tabla 3.3: Calicatas realizadas en los tramos de estudio

CALICATA No	ESTACIONADO	PROFUNDIDAD (m)
1	8+030	0.95
2	9+950	1.00
3	10+250	1.15
4	12+150	0.45
5	18+200	0.65
6	19+745	0.50
7	20+00	0.65

5. Descripción tacto-visual de los suelos recuperados en las calas y en las calicatas.
6. Muestreo: Se tomaron muestras alteradas en bolsos de nylon y muestras para la caracterización de los materiales de cantera en sacos de nylon.

Las pruebas de campo utilizadas fueron la Penetrometría Dinámica (DCP) y el estudio de las deflexiones.

Trabajos de Laboratorio

Para determinar las propiedades de los suelos se realizaron ensayos físicos, los que se rigieron por las especificaciones de las normas cubanas vigentes (ver anexo 4), las que se relacionan a continuación:

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| a) Peso específico: | ASTM D 854 – 98 |
| b) Granulometría e hidrómetro: | ASTM D 422-63 (Reaprobada en 1998) |
| c) Límites de Plasticidad: | ASTM D 4318 – 98 |
| d) Proctor modificado: | D1557-91 Reaprobada en el 1998 |
| e) CBR modificado: | D1883-94 |

Trabajos de gabinete

Consistieron en la confección de columnas litológicas, tablas y la elaboración del texto, donde el resultado final lo constituye el informe ingeniero geológico, teniendo como base la interpretación y correlación de los resultados de todos los

trabajos de campo y laboratorio realizados, para lo cual se utilizaron las diferentes normas, instructivos y programas.

3.5 Condiciones ingeniero geológicas e hidrogeológicas del área investigada

3.5.1 Condiciones ingeniero geológicas

En la zona investigada se presentan cuatro formaciones geológicas de interés, de las litologías características de éstas, solo fueron cortadas arcillas limo arenosas en el primer tramo e inmediatamente después del relleno empleado en la ejecución del terraplén, también se encontraron tufitas meteorizadas en los demás tramos (ver anexos 2 y 3).

La carpeta asfáltica posee espesores que varían entre 3.0 y 10.0 cm, los menores espesores (aproximadamente de 3 cm) se registraron hasta el kilómetro 7. El material de la base actual de la carretera está constituido por 2 tipos de materiales:

Relleno 1: Constituido por macadam y rajón de caliza de la cantera La Piñuela, el macadam aparece principalmente en la parte superficial, de color blanco y el rajón se presenta muy duro, de color rosáceo, con un material arcillo arenoso como cementante, presenta espesores entre 17 y 25 cm. Esta capa aparece en el primer tramo, o sea, hasta el kilómetro 7 (ver figura 3.7) e inmediatamente debajo de la carpeta asfáltica.

Relleno 2: Constituido por un material areno gravoso, compacto, con humedad variable que depende del estado constructivo de la vía, color carmelita con tonalidades verdosas, presenta espesores variables que dependen de la topografía del trazado, en los trabajos realizados se detectaron espesores entre 20 y 240 cm, aunque existen zonas de corte donde no se empleó relleno. Según la NC 63: 2000 se considera un suelo tipo A – 2 – 4, donde su comportamiento como subrasante es de excelente a bueno (ver anexo 2y3).

A partir de la evaluación de los materiales que constituyen los rellenos citados anteriormente, se define el tramo siguiente como:

Tramo 1: Área desfavorable

La capa aparece en el primer tramo, hasta el km 7 debajo de la capa de rajón y después hasta el poblado de Buey Arriba yace debajo de la carpeta asfáltica.

Sus propiedades físicas promedios son las siguientes:

Tabla 3.4: Propiedades físicas para área desfavorable

Fino (< tamiz 200)	10 %
Arena	50 %
Grava	40 %
Límite Líquido (LL)	40 %
Límite Plástico (LP)	30%
Índice Plástico (IP)	10 %
Peso específico de los sólidos (Gs)	26.3 kN/m ³
*CBR	30 %
*Módulo de Deformación	40 MPa

Materiales definidos como subbase o subrasante

Capa 1: Arcilla plástica, color castaño y abigarrado, en ocasiones limo - arenosa, contienen concreciones de CaCO_3 y manchadas por un pigmento ferromagnético. Se cortó en las calas 1, 2 y 3 hasta la profundidad perforada, en la cala 3 se presenta más arenosa y compacta. La capa aparece en el primer tramo, hasta el km 7 debajo del relleno No. 2. Según la NC 63: 2000 se considera un suelo tipo A – 7 – 6, su comportamiento como subrasante es de regular a malo. Sus propiedades físicas promedios son las siguientes:

Tabla 3.5: Propiedades físicas para área favorable

Fino (< tamiz 200)	53 %
Arena	43 %
Grava	4 %
Límite Líquido (LL)	54 %
Límite Plástico (LP)	28%
Índice Plástico (IP)	26 %
Peso específico de los sólidos (Gs)	27.8 kN/m ³
*CBR	7 %
*Módulo de Deformación	17 MPa

Tramo 2: Área normal a favorable

Capa 2: Tufita meteorizada que se recupera inicialmente como un material areno gravoso compacto de color crema, aumentando su dureza con la profundidad. La capa aparece a partir del km 7 hasta el poblado de Buey Arriba debajo del relleno No.2. Según la NC 63: 2000 se considera un suelo tipo A – 2 – 4, su comportamiento como subrasante es de excelente a bueno. Las propiedades físicas promedio de estos materiales son las siguientes:

Tabla 3.6: Propiedades físicas para área normal a favorable

Fino (< tamiz 200)	10 %
Arena	82 %
Grava	8 %
Límite Líquido (LL)	38 %
Límite Plástico (LP)	30%
Índice Plástico (IP)	8 %
Peso específico de los sólidos (Gs)	28.6 kN/m ³
CBR	15 %
Módulo de Deformación	30 MPa

Riesgo geotécnico

La presencia de la capa vegetal inmediatamente debajo del relleno en la cala No. 7 ha ocasionado problemas de deformación en el pavimento como profundos baches, como se muestra en la foto No.3 de la figura 3.4. Este tramo se presenta en un estado deteriorado, como consecuencia de la elevada inestabilidad del material presente ante las cargas impuestas y la acumulación del agua, ya que el drenaje es deficiente en la zona de estudio.

3.5.2 Condiciones hidrogeológicas

Durante los trabajos de campo no se cortó el nivel de las aguas subterráneas hasta la profundidad alcanzada. La red fluvial se encuentra ampliamente desarrollada, teniendo como arteria principal al río Buey, a este río confluyen los ríos Buey del Yao y Macanocun, así como una serie de arroyos y cañadas, que en ocasiones son intermitentes y que constituyen la línea de drenaje de la zona; estos presentan además gran capacidad erosiva en casi todo su curso y en ocasiones atraviesan el vial, como se aprecia en las fotos (ver figura 3.8).

El nivel freático según estudios de antecedentes oscila aproximadamente entre los 7 m y los 20 m de profundidad, dependiendo de la ubicación de la zona y su proximidad a los ríos. En la zona se encuentra también la presa Buey que en estos momentos está a un 70 % de su límite de capacidad y el vial es interceptado por el canal alimentador y el aliviadero de dicha presa.

El principal riesgo hidrogeológico está asociado a la presencia de zonas de sobre humedecimiento o empantanamiento de las aguas a ambos lados de la vía, lo que está estrechamente vinculado con el deficiente drenaje y la falta de cunetas, además de las posibles socavaciones que se pueden producir en épocas de intensas lluvias por falta de protección a la estructura del pavimento en terrenos montañosos, visible en los Estacionados km 19+600 a 20+100 y 10+250.

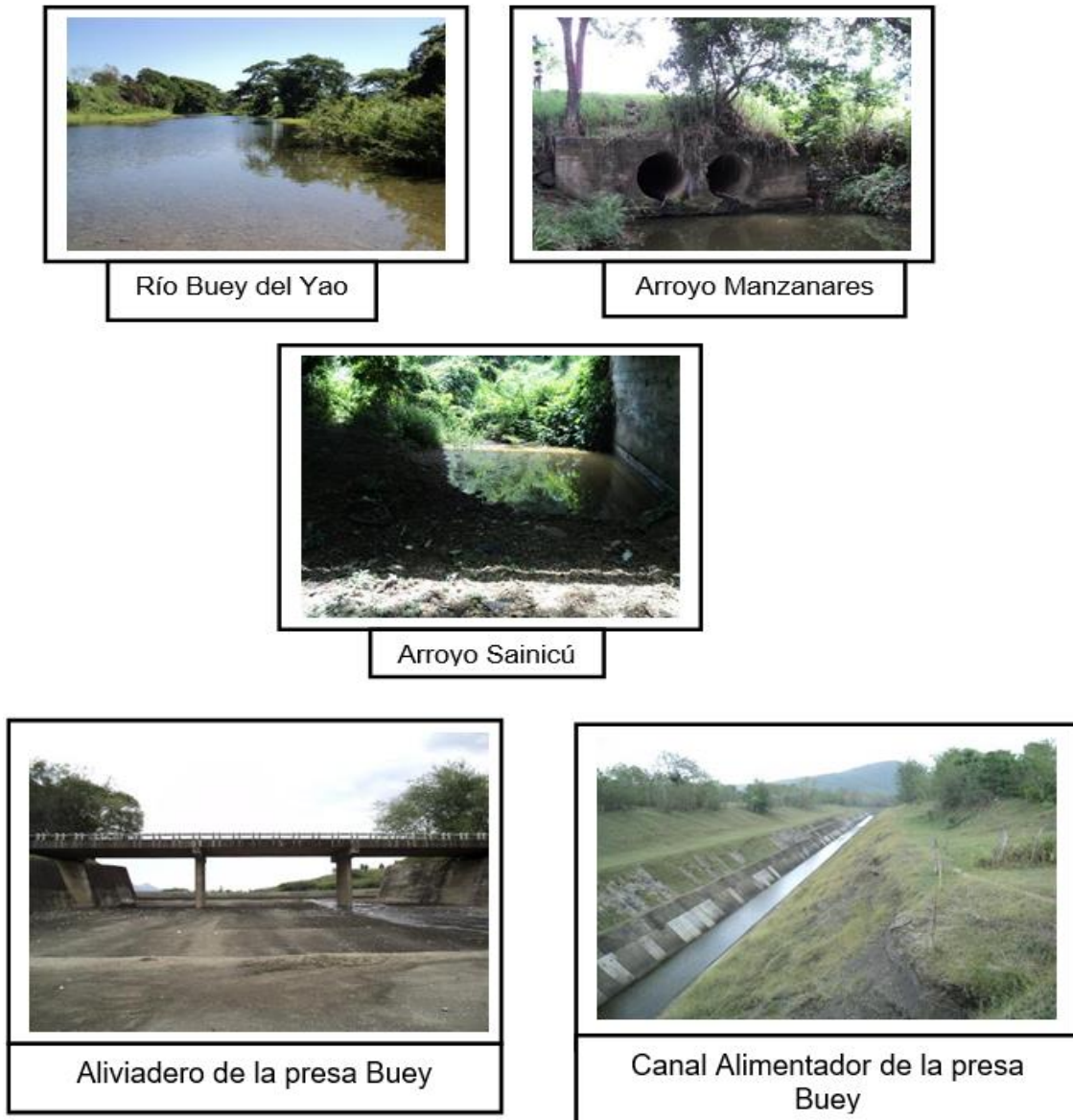


Figura 3.5: Condiciones hidrogeológicas de la zona en estudio.

A partir de todos los elementos antes expuestos se confecciona el mapa ingeniero geológico auxiliar y el perfil geológico superficial del tramo en estudio, determinándose la zonificación de las áreas homogéneas que permiten una mejor programación de los trabajos realizados. (ver figura 3.6 y 3.7).

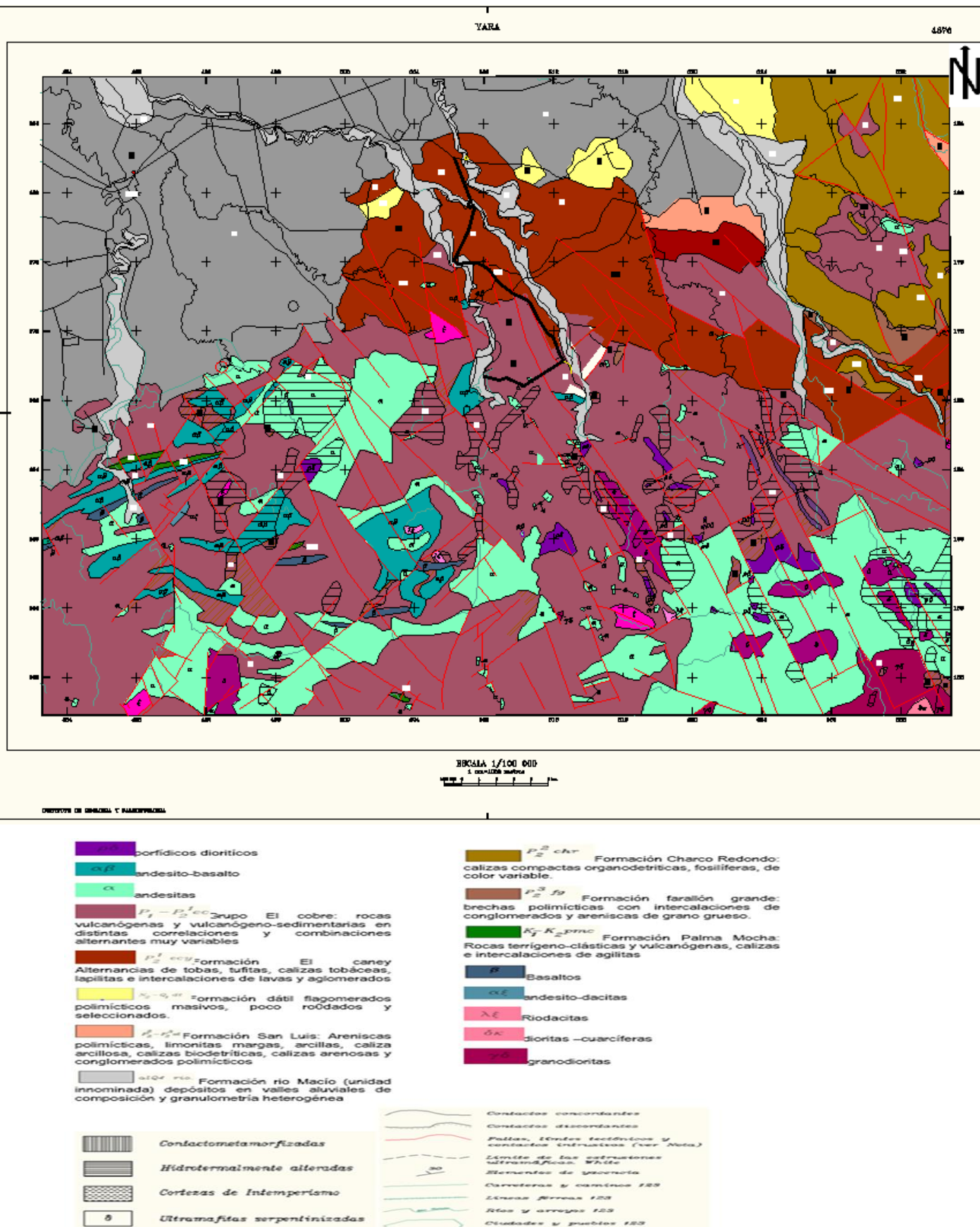


Figura:3.6: Mapa ingeniero geológico auxiliar.

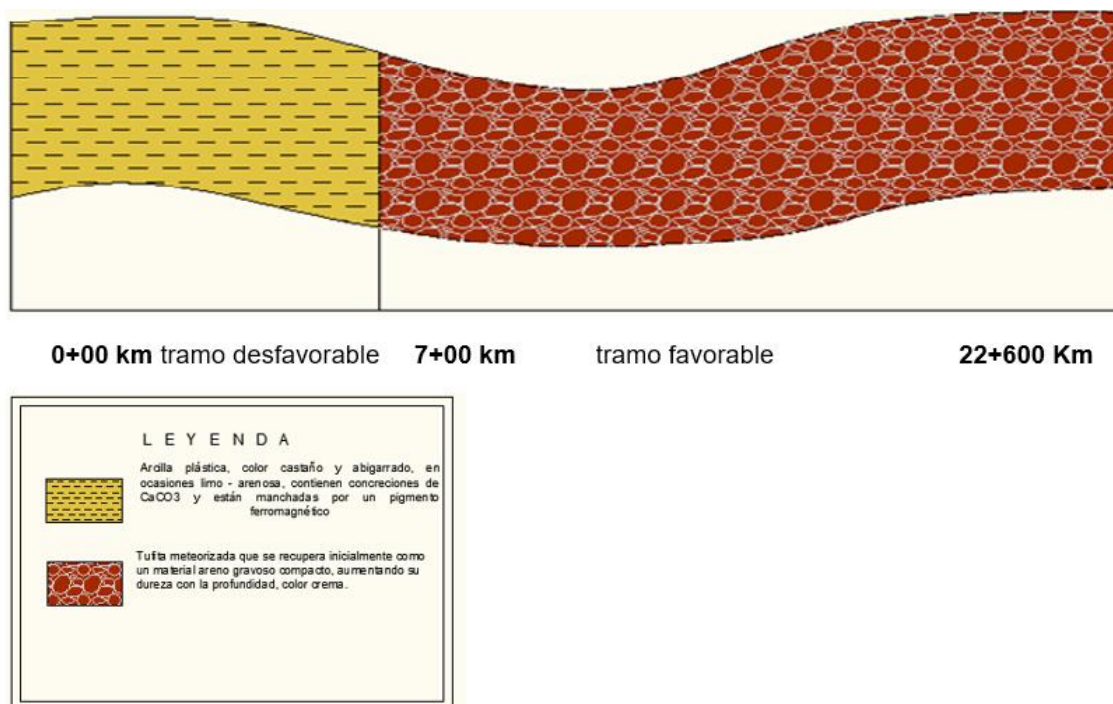


Figura 3.7: Perfil de los tramos estudiados.

3.6 Materiales para la construcción

Se realizó la evaluación de los materiales de las canteras cercanas a la obra para su posible empleo en los trabajos de reparación, ofreciéndose la caracterización geotécnica y algunos datos de interés que pueden servir para valorar soluciones ingenieriles específicas. Las canteras perspectivas por su cercanía y acceso al área de estudio son las siguientes: Cantera San Rafael, Cantera Bueycito y Cantera Angostura.

La Cantera San Rafael se encuentra aproximadamente en el kilómetro 17+300 a partir del Entronque de Bueycito y a 5 km del poblado de Buey Arriba a la derecha. Tiene acceso directo desde la carretera que se encuentra en buen estado. Se trata de una pequeña elevación que ya su material ha sido empleado en reparaciones de la vía, actualmente está abandonada.

Descripción litológica

El material que constituye esta cantera está representado por areniscas tobáceas meteorizadas en diferentes grados, donde predominan las gravas, arena gruesa y poco fina, según la NC 63: 2000. Según la clasificación de suelos para obras de transporte, clasifica como suelo tipo A – 1 – a, estos presentan un

comportamiento de excelente a bueno como subrasante. En las tablas 3.7 y 3.8 se presentan las propiedades físicas y de compactación de dichos materiales.

Tabla 3.7: Propiedades físicas de los materiales de la Cantera San Rafael

Peso específico de los sólidos (kN/m ³)	Granulometría (%)			Límites de Plasticidad(%)		
	Grava	Arena	Finos	LL	LP	IP
26.8	64	25	11	NP		

Tabla 3.8: Parámetros de Compactación

Energía Modificada					
Wopt	γ _f máx	γ _d máx	e	S	
%	(kN/m ³)	(kN/m ³)		%	
14.2	19.55	17.18	0.51	72	

Características de Resistencia a la Penetración (% de CBR).

CBR seco (95% de compactación) = 49%

CBR saturado (95% de compactación) = 25%

CBR seco (100% de compactación) = 65 %

CBR saturado (100% de compactación) = 39%

La Cantera Bueycito se encuentra aproximadamente en el kilómetro 7+800 a partir del Entronque y a una distancia aproximada de 800 metros a la derecha. Tiene acceso directo desde la carretera y se encuentran en buen estado. Se trata de una zona elevada dentro de un área de potrero, ya su material ha sido empleado en reparaciones de la vía, actualmente está abandonada.

El material que constituye esta cantera está representado por tufitas de color crema, las cuales están meteorizadas en diferentes grados, de composición gravo – arenosa, con pocos finos. Según la NC 63: 2000. Clasificación de suelos para obras de transporte, clasifica como suelo tipo A – 1 – a, presentan un comportamiento de excelente a bueno como subrasante (ver tabla 3.9 y 3.10).

Tabla 3.9: Propiedades físicas y de compactación de los materiales de la Cantera Bueycito

Peso específico de los sólidos (kN/m ³)	Granulometría (%)			Límites de Plasticidad(%)		
	Grava	Arena	Finos	LL	LP	IP
26.3	74	18	8	NP		

Tabla 3.10: Parámetros de Compactación

Energía Modificada				
Wopt	γ _f máx	γ _d máx	e	S
%	(kN/m ³)	(kN/m ³)		%
10.3	22.05	20.00	0.32	87

Características de Resistencia a la Penetración (% de CBR).

CBR seco (95% de compactación) = 50%

CBR saturado (95% de compactación) = 46%

CBR seco (100% de compactación) = 75 %

CBR saturado (100% de compactación) = 55%

La Cantera Angostura se encuentra aproximadamente a 1 kilómetro a partir del punto de amarillos de Bueycito por la carretera de Bartolomé Masó, a la derecha. Tiene acceso directo desde la carretera y se encuentra en buen estado. Se trata de una pequeña elevación, que ya su material ha sido empleado en reparaciones de la vía, actualmente está abandonada.

Descripción litológica:

El material que constituye esta cantera está representado por zeolitas y materiales tobáceos meteorizados en diferentes grados, de color gris amarillento, donde predominan las gravas y arenas gruesas con pocos finos. Según la NC 63: 2000. Clasificación de suelos para obras de transporte, clasifica como suelo tipo A – 1 – a, los cuales presentan un comportamiento de excelente a bueno como subrasante. Sus propiedades físicas y de compactación se muestran en las tablas 3.11 y 3.12.

Tabla 3.11: Propiedades físicas de los materiales de la Cantera Angostura

Peso específico de los sólidos (kN/m ³)	Granulometría (%)			Límites de Plasticidad(%)		
	Grava	Arena	Finos	LL	LP	IP
26.3	73	19	8	NP		

Tabla 3.12: Parámetros de Compactación

Energía Modificada				
W _{opt}	γ _f máx	γ _d máx	e	S
%	(kN/m ³)	(kN/m ³)		%
19.1	18.70	15.70	0.62	80

Características de Resistencia a la Penetración (% de CBR).

CBR seco (95% de compactación) = 25%

CBR saturado (95% de compactación) = 21%

CBR seco (100% de compactación) = 37 %

CBR saturado (100% de compactación) = 31%

3.7 Pruebas de campo. Penetrometría Dinámica (DCP) y estudio de la deflexión.

En esta investigación se determinaron las propiedades de las materiales in situ, para conocer el comportamiento de cada componente de la estructura en sus condiciones reales de trabajo y yacencia.

3.7.1 Determinación de la Resistencia a la Penetración (CBR) con la utilización del Cono Penetración Dinámica (DCP).

El DCP es una herramienta simple que permite mediante la relación de penetración, medida en mm por golpes, dar una indicación de la resistencia “in situ” del material a diferentes profundidades. Las pruebas de campo se realizaron mediante la Penetrometría Dinámica (DCP) y el estudio de las deflexiones (Ver

figura 3.8). Los resultados del ensayo de la penetración dinámica, fueron analizados con el software “uKDCP”

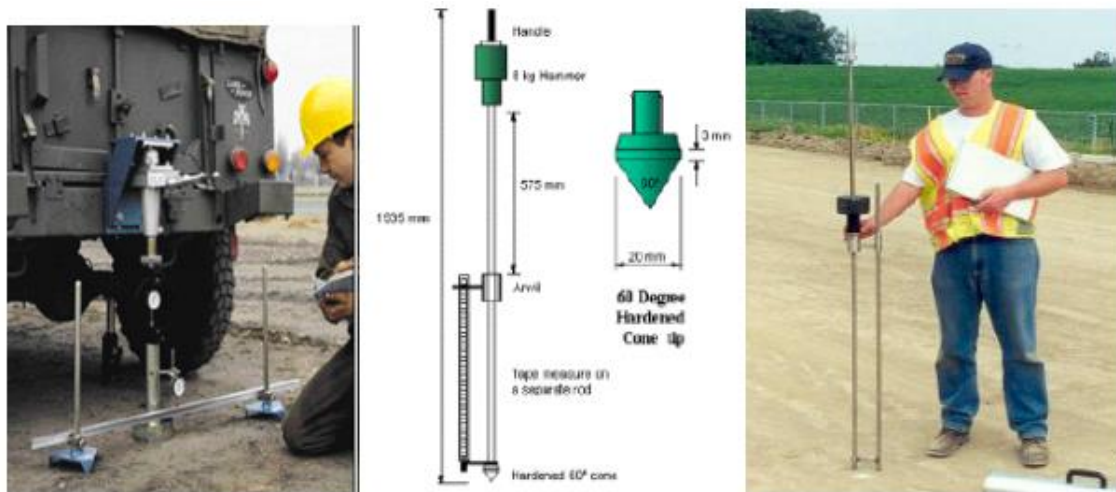


Figura 3.8: Ensayo del penetrómetro dinámico de cono.

Tabla 3.13: Determinación de la resistencia a la penetración (0 a 7 km), tramo Bueycito

TRAMO 1: 0+00 – Km 7+00 (Bueycito)			
Estacionado	Profundidad (mm)		
	00 - 200	200 – 400	400 – 600
	CBR (%)	CBR (%)	CBR (%)
0+150	-	100	-
0+200	100	-	-
0+250	-	100	27
0+300	100	-	-
0+900	100	-	-
0+940	100	-	-
1+00	100	-	-
2+200	100	-	-
2+220	100	-	-
2+300	100	-	-
3+100	-	100	37
3+150	-	100	24
4+400	100	-	-
4+500	100	-	-
4+540	100	-	-
5+500	100	-	-
5+540	100	-	-
6+700	100	-	-

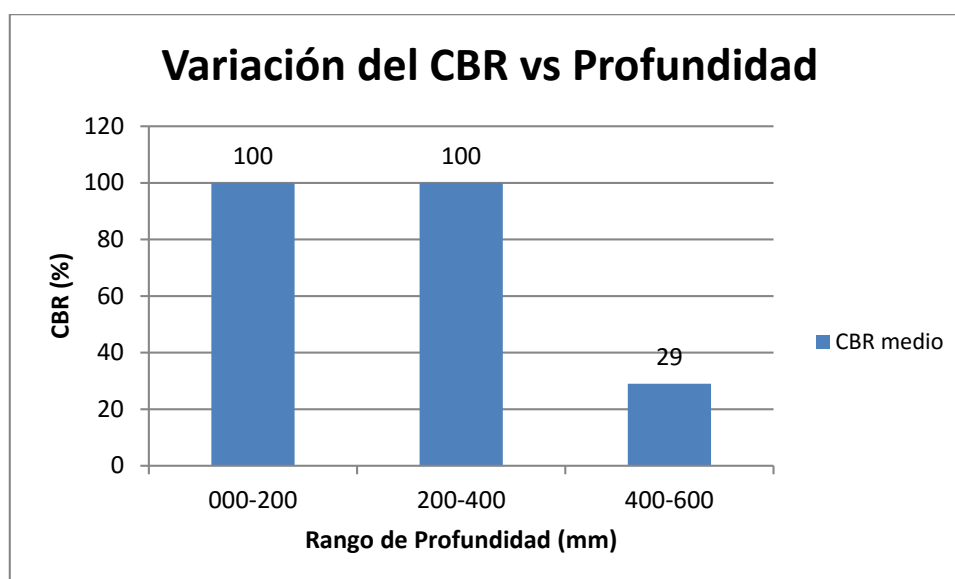


Figura 3.9: Variación del CBR en profundidad para el tramo de 0 a 7 km.

Los valores obtenidos de la resistencia a la penetración oscilan en el rango de 100% a 29% desde la superficie hasta los 600 mm de profundidad en el tramo estudiado. De acuerdo a la norma NC 334: 2004 los materiales desde 0 mm a 400 mm de profundidad pueden emplearse como base, y aquellos entre los 400 mm y 600 mm se consideran aptos como subbase.

Tabla 3.14: Determinación de la resistencia a la penetración (7 a 14 km), tramo Bueycito

TRAMO 2: Km 7+00– Km 14+00 (Bueycito)			
Estacionado	Profundidad (mm)		
	00 - 200	200 – 400	400 – 600
	CBR (%)	CBR (%)	CBR (%)
7+400	45	27	-
7+450	-	49	27
7+500	-	45	27
7+850	-	38	42
7+900	-	32	33
7+950	-	31	40
8+900	-	47	30
8+950	-	30	24
9+00	-	45	29
9+950	-	31	39
9+960	-	49	25
10+000	-	39	-
10+250	-	60	27
10+270	-	45	24
10+520	-	58	24
10+540	-	41	29
11+210	-	29	34
11+260	-	47	45
12+720	33	22	-
12+780	-	41	22
12+800	41	-	-
14+000	49	31	-

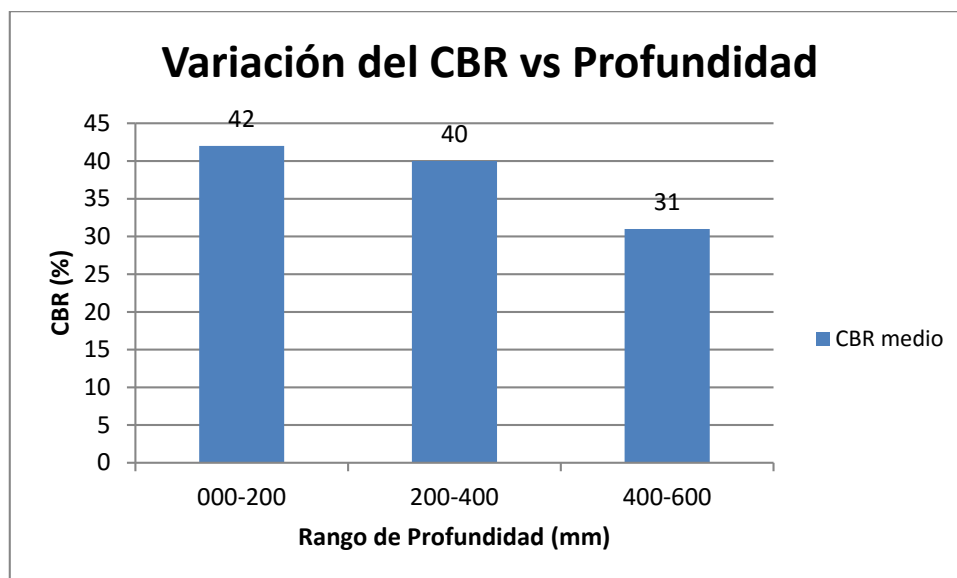


Figura 3.10: Variación del CBR en profundidad para el tramo de 7 a 14 km.

Los valores obtenidos de la resistencia a la penetración en este tramo oscilan en el rango de 49% a 22%. Según la NC 334: 2004 los materiales presentes en este tramo desde la superficie hasta la profundidad de 600 mm cumplen los requisitos para emplearse como subbase.

Tabla 3.15: Determinación de la resistencia a la penetración (14 a 22 km), tramo Bueycito

TRAMO 3: Km 14+00 – Km 22+600 (Buey Arriba)			
Estacionado	Profundidad (mm)		
	00 - 200	200 – 400	400 – 600
	CBR (%)	CBR (%)	CBR (%)
14+080	-	50	28
15+450	-	43	24
15+500	45	30	-
16+200	-	42	28
18+200	-	54	41
18+260	-	58	25
18+600	26	22	-
19+620	-	45	-
19+740	-	29	-
19+950	-	38	-
20+00	-	41	-
20+050	100	-	-
20+600	-	46	22
20+650	-	21	29
21+380	-	-	24
21+650	100	-	-
21+750	-	31	51

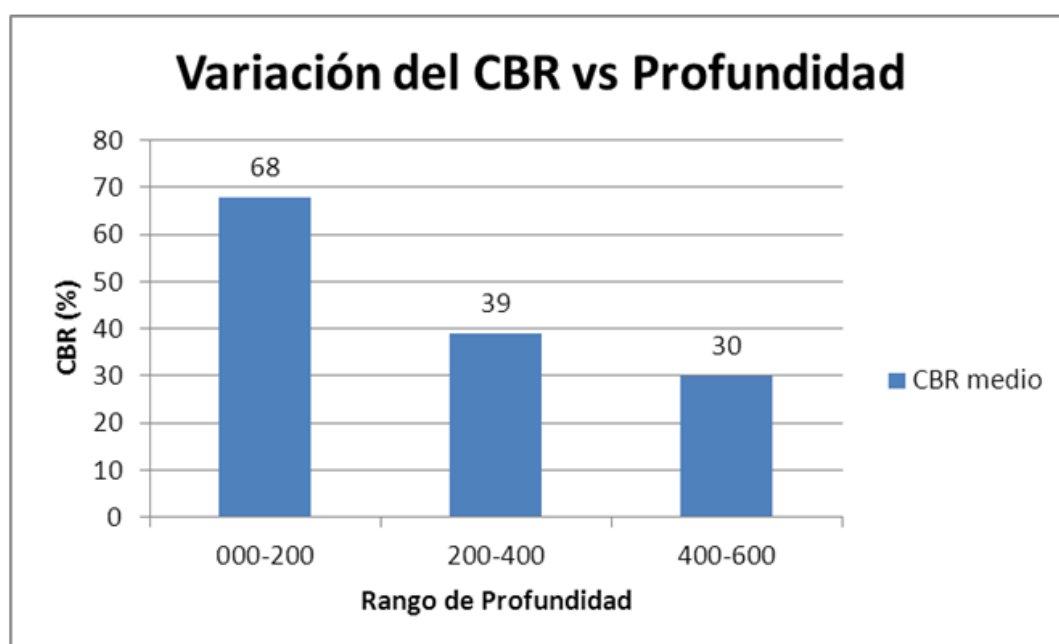


Figura 3.11: Variación del CBR en profundidad para el tramo de 14 a 22 km.

Los valores obtenidos de la resistencia a la penetración en el tramo estudiado oscilan entre 49% y 22%. De acuerdo a la norma NC 334: 2004 los materiales presentes desde 0 mm hasta los 600 mm de profundidad cumplen los requisitos establecidos para su empleo como subbase.

3.7.2 Resultados del estudio deflectométrico utilizando la viga Benkelman

El estudio de las deflexiones fue ejecutado según la Norma NLT- 356/88: Medida de las deflexiones de un firme mediante el ensayo con viga Benkelman.

Esta determinación se realizó para caracterizar los diferentes tramos de la vía, preferiblemente en los lugares de mayor deterioro y mayor incidencia de repeticiones de carga por eje, partiendo de los parámetros establecidos en la norma cubana NC-334:2004.

Según los resultados obtenidos en las pruebas deflectométricas efectuadas al vial de referencia (ver tabla 3.16 y anexo 5), el tramo 1: Km 0+00 – Km 7+00 (Senda Derecha) con una deflexión característica de 1,25 mm para un 95 % de confianza se considera admisible, según los requisitos exigidos por la norma NC-334:2004. Los otros dos tramos estudiados presentan deflexiones características que oscilan entre 1,67 mm y 1,69 mm, valores que superan las exigencias de la norma, por tanto, la deformación admisible ha sido sobrepasada y se reconoce que la vida residual del pavimento es mínima.

Tabla 3.16: Resultados de las deflexiones para los diferentes tramos

DEFLEXIÓN MÁXIMA CORREGIDA	TRAMO 1: Km 0+00 – Km 7+00 (Senda Derecha)				
	Valor Máximo (mm)	Valor Mínimo (mm)	Promedio (mm)	Desviación estándar	Deflexión característica para un 95 % de confianza
	1.56	0.03	0.39	0.43	1.25
	TRAMO 2: Km 7+00 – Km 14+00 (Senda Derecha)				
	1.82	1.35	1.54	0.074	1.68
	TRAMO 2: Km 7+00 – Km 14+00 (Senda Izquierda)				
	1.82	1.01	1.43	0.13	1.69
	TRAMO 3: Km 14+00 – Km 22+00 (Senda Derecha)				
	1.69	0.31	0.75	0.25	1.37
	TRAMO 3: Km 14+00 – Km 22+00 (Senda Izquierda)				
	1.56	0.34	0.79	0.24	1.40

3.8 Monitoreo por tramos

Descripción

La carretera que une el poblado de Bueycito con el de Buey Arriba se encuentra en un nivel de deterioro alto, valorándose en estado regular a malo en los diferentes tramos, se trata de un vial muy viejo construido para un tráfico típico de la zona y del tiempo en que se ejecutó (tiene más de 50 años), por lo que el pavimento existente requiere de soluciones de rehabilitación superficial o estructural adaptadas a la situación actual.

3.8.1 Consecuencias del deterioro

Envejecimiento de la vía y falta de mantenimiento

La vía se ha envejecido por el paso del tiempo lo que origina el aumento de la rigidez de la carpeta asfáltica ocasionando (con el aumento del tráfico), fisuras, grietas, áridos expuestos y otros defectos que afectan la seguridad de circulación, la comodidad del usuario y la durabilidad del pavimento, todo lo anterior acompañado por la falta de mantenimiento en el momento oportuno y con materiales inadecuados para esta actividad han provocado el estado actual del vial.

Incremento de carga por eje y variación del tránsito

También se reporta un aumento de la carga por eje sobre esta carretera, que difiere del que se tuvo en cuenta en el momento de su ejecución; además de la variación del tránsito ocasionada por el movimiento vehicular que se produce en la zona y generalmente hacia Bayamo.

Empleo de materiales inadecuados

Los materiales que se emplearon en la ejecución de la vía no cumplen con los requerimientos establecidos en las normas vigentes, por lo que esto repercute directamente en el comportamiento del vial. Para la construcción de esta carretera se aprovecharon materiales de las canteras cercanas a la zona de estudio, se determinó que no cumplen con los requisitos establecidos para su uso como base o subbase de un vial. Se corroboró también que los materiales utilizados en los reiterados mantenimientos que se han efectuado en esta vía tampoco cumplen con las condiciones exigidas para dicho uso.

Acciones de rehabilitaciones ejecutadas incorrectas

Las acciones que se han realizado para rehabilitar el vial generalmente son incorrectas. No se han empleado los equipos adecuados, ni los materiales apropiados, e influye además la calidad del cemento asfáltico y la mezcla colocada. No se cumple entonces el objetivo trazado, los trabajos solo se realizan de forma paliativa para tratar de garantizar la seguridad del tránsito, sin tener en cuenta la durabilidad, la comodidad del usuario, la impermeabilidad de la carpeta asfáltica y el drenaje de la zona.

Drenaje deficiente e inexistente

El 90 % del tramo presenta un drenaje deficiente y gran porcentaje no tiene, la falta de paseos y cunetas afecta considerablemente este objetivo. Esta deficiencia en el drenaje provoca socavaciones en las obras de fábrica, en el pavimento, inundaciones en la vía afectando la estructura, acumulaciones de sedimentos sobre la vía, etc.

3.8.2 Alternativa de rehabilitación

Deterioros superficiales:

- a) Sellado de fisuras y recape.

Cuando no sea necesaria la realización de una actuación de rehabilitación estructural pero la superficie del pavimento presente deterioros que afecten a la seguridad de la circulación, a la comodidad del usuario o a la durabilidad del pavimento se procederá a su rehabilitación superficial para restaurar o mejorar las características superficiales del pavimento, adecuándolas a sus necesidades funcionales y de durabilidad. De acuerdo a la característica superficial de los tramos elegidos recomendamos el procedimiento de rehabilitación superficial de sellado de fisuras y recape, aunque en algunas zonas solo se aplique el recape para mantener la uniformidad de la superficie y facilite la ejecución en tramos continuos.

Deterioros estructurales:

- b) Eliminación y reposición de la carpeta asfáltica. Recape como reforzamiento.

Una de las actuaciones para la rehabilitación estructural que proponemos es la que mencionamos en el inciso a), se recomienda para los distintos tramos donde la carpeta asfáltica está deteriorada, con los distintos defectos abordados y visualmente la base no está dañada. Se propone eliminar la carpeta asfáltica y reponerla, y como reforzamiento que se recape el tramo.

- c) Reforzamiento estructural.

Consiste en reforzar la estructura del pavimento, ya sea con una o varias capas sobre el pavimento existente, lo que eleva la cota de la superficie de rodadura. Se emplean materiales nuevos adecuados para cumplir con esta función y con espesor suficiente para producir un aumento significativo de la capacidad resistente de la estructura.

Criterios para seleccionar las áreas (cortar zonas continuas).

Cortar zonas continuas que constructivamente sean razonables, aunque se presenten áreas de carpeta asfáltica que se observen en buen estado; se deben cortar para facilitar la ejecución del tramo.

Criterios constructivos (corte y compactación)

Los cortes en los diferentes tramos deben ser rectos y perpendiculares al eje de la vía con áreas que permitan realizar el proceso de compactación con los equipos que se poseen.

3.8.3 Diseño de la solución de rehabilitación

Definir tramos homogéneos

Para llevar a cabo la tramificación se tienen en cuenta los datos básicos y se establecen los tramos homogéneos a partir de sus características físicas, número de carriles por calzada, sección estructural del pavimento, categoría del tráfico pesado, etc., y por los resultados de la evaluación en cuanto a rugosidad, irregularidad y deflexión, para lo que tiene gran peso la inspección visual realizada.

Tratamiento a las obras de drenaje

Al drenaje en general se le dará tratamiento antes de comenzar la rehabilitación de la vía para que sus efectos se pongan de manifiesto durante la ejecución.

Entre los procedimientos de mejora del drenaje se podrán estudiar:

- La reconstrucción, limpieza y profundización de las cunetas para dar salida al agua, así como la idoneidad de su revestimiento en zonas específicas.
- El mantenimiento y reparación de las obras de fábricas existentes, la reconstrucción de aletones y muros.
- La corrección de los perfiles de drenaje y el aumento de sumideros y desagües.

Materiales

Se estudiaron tres canteras en el recorrido de la vía (Angostura, Bueycito y San Rafael), estos materiales han sido empleados en trabajos de reparación de la vía, ninguno de ellos cumple con los requisitos para ser empleados como base en la restauración del pavimento, por esta razón se recomienda continuar la búsqueda de nuevas canteras para este fin.

Paseos

Los paseos generalmente están en mal estado o no existen durante todo el trayecto, por lo que se debe trabajar en su reposición y mantenimiento, sobre todo en zonas más onduladas donde la socavación por el arrastre de las aguas provoca el deterioro de los mismos y donde se hace necesario revestir las cunetas.

Conclusiones parciales:

La aplicación del procedimiento para la evaluación geotécnica de obras viales en la carretera Bueycito - Buey Arriba, en la provincia Granma, demostró que:

1. Existe cierta heterogeneidad en el perfil litológico del terraplén de la carretera, sobre todo en el material de base, constituido por dos tipos de relleno (1: constituido por macadam y rajón de caliza y 2: constituido por un material areno gravoso, compacto, con humedad variable).
2. Los materiales de construcción estudiados presentan parámetros de compactación y CBR desfavorables para ser utilizados como base del pavimento y favorables para su empleo como subbase.
3. Las condiciones ingeniero geológicas actuales del área de emplazamiento de la carretera son desfavorables.

CONCLUSIONES

1. A partir de la evaluación de las investigaciones precedentes, las normas vigentes en Cuba y teniendo en cuenta los criterios de expertos fue posible la elaboración de un procedimiento para el estudio de las condiciones ingeniero geológicas y geotécnicas, que contribuye al incremento de la calidad en la construcción y rehabilitación de los viales en el país.
2. El procedimiento elaborado para la realización de estudios geotécnicos de los viales en Cuba consta de tres etapas que incluyen desde la caracterización ingeniero geológica de los suelos, los ensayos in situ para corroborar los criterios del procedimiento geotécnico y el programa de Investigaciones por tramos, hasta el monitoreo y seguimiento de rehabilitación.
3. La aplicación del procedimiento en la carretera Bueycito - Buey Arriba, en la provincia Granma, permitió determinar la heterogeneidad en el perfil litológico, que los parámetros geotécnicos de los materiales de canteras propuestos son desfavorables para ser utilizados como base del pavimento y favorables para su empleo como subbase y que las condiciones ingeniero geológicas actuales del área de emplazamiento de la carretera son desfavorables. Todo lo anterior demostró la aplicabilidad del procedimiento en la evaluación geotécnica de las obras viales.

RECOMENDACIONES

1. Extender el procedimiento propuesto por todo el país e implementar su ejecución en las nuevas construcciones viales.
2. Continuar las investigaciones e incorporar al estudio geólogo geotécnico otros métodos y ensayos in situ que actualmente no se emplean, con el objetivo de perfeccionar y enriquecer el procedimiento.

BIBLIOGRAFIA

1. Agreda, V. F. 2006. El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos.
2. Ardila, J. 2009. Informe final levantamiento topográfico de Bucaramanga, España .
3. Área metropolitana del Valle de Aburra. Subdirección Ambiental. 2007 Buenas Prácticas ambientales para el sector de la construcción.
4. AASHTO. 1994. Geometric Design of Highways and Streets. Washington D.C.
5. A.C.C. Instituto de Geología y Paleontología. Contribución a la Geología de Cuba Oriental.
6. Barrera, B. 2002. Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres. En. Mexico, Sanfandila: Instituto Mexicano de transporte, p. 155.
7. Bayona Moreno, N.J. 2002 Manual para diseño de carreteras. 1. Colombia: Bucaramanga,. 40.
8. Bañón,et al. 2000. Manual de Carreteras. 1ª ed. Enrique Ortiz e Hijos, S.A. Alicante. ISBN 84-607-0123-9.
9. Belandria, N. 2010. Terraplenes. pp. 26.
10. Benítez Olmedo, R., Segismundo Medina, A. 2010. Diseño Geométrico de Carreteras.
11. Braja M. Das, 4ta. Edición, 2001. Principio de Ingeniería de Cimentaciones.
12. Carreteras, X.C.M.D. 2011. Conceptos que conforman un proyecto ejecutivo de carreteras. En: Mexico.
13. Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles. 2002.
14. Cartaya Pire, M. 2001. Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental del país. En Minería y Geología. Cuba: Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico Moa.
15. Colegio de ingenieros de caminos, 2008. Jornadas Técnicas Semsig-Aetess. En subsuelo, A.D.E.D.L.T.D.S.Y. Madrid: España.

16. Comitran, (2001) C.S.D.M.D.T.D.C.A. Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales. Guatemala: Secretaria de integración economica centroamericana (SIECA).
17. Comunicaciones, M. 2008. Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. En. Peru: Lima.
18. Comunicaciones, M.D.T.Y 2008. Gestión Socio Ambiental para Proyectos Viales Departamentales. Peru: Lima
19. Crespo Villalaz, C. 2004. Vías de Comunicación. Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.
20. De Vido, M.J. 2015. Programa de infraestructura vial del Norte Grande. Argentina.
21. Díaz, E. 1989. Ingeniería de Tránsito. Tomo II. Editorial ISPJAE. La Habana.
22. Empresas Públicas de Medellín. NEGC 1300. 2002. "Impacto comunitario: gestión ambiental en la instalación de redes de servicios públicos".
23. Frateschi A; et. al. Aplicación del DCP en el control de subrasantes y terraplenes: 12.
24. Garnica Anguas, 2002. E.A. Mecánica de materiales para pavimentos. En transporte, i.m.d. Secretaría de comunicaciones y transportes: Mexico.
25. González Arestuche, L. 2006. Gestión integral en puentes de carretera en la República de Cuba. Arquitectura e Ingeniería.
26. Gutiérrez. Z. 2008. Manual para la revisión de estudios geotécnicos. En infraestructuras, M.D.T.E. Nicaragua: Managua.
27. Guía socio ambiental de Medellín. 2006. Municipio de Medellín, Secretaría del Medio Ambiente.
28. Hernandez Ocampo, M.A. 2012. Levantamiento topográfico de una vía de tercer orden para futura ampliación, pp. 87.
29. Herbert, J.H. 2007. Diseño de explotación de cantera. Madrid: España.
30. Instituto Nacional de vías. 2008. Manual de diseño geométrico de carreteras. Colombia.

31. Instituto de la Construcción y Gerencia. 2005. Manual de Diseño Geométrico de vías urbanas. Lima: Perú.
32. Juan h. 2007. Diseño de explotación de cantera. Madrid: España.
33. Justyz, D. 2013. Caracterización hidrogeológica de la sub-cuenca GC-3 del tramo Cayo Redondo, con fines de abasto de agua potable a la ciudad de Manzanillo y sus alrededores. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Nuñez Jimenez, Departamento de Geología.
34. Kraemer, C. et al 1999. Carreteras I. 1ª ed. Colección Escuelas. Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid.
35. Leclair, R. 2004. Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras.
36. Martinez Gerena, 2011 C.O. Correlación PDC. con CBR. Para suelos en la localidad de Suba. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería.
37. Mapa geológico de la República de Cuba a escala 1: 100 000 (Edición actualizada). Instituto de Geología y Paleontología. Posterior al año 1985.
38. Mandle, et al .2014. Natural Capital & Roads: Managing Dependencies and Impacts on Ecosystem Services for Sustainable Road Investments. Natural Capital Project. Washington, DC: The Nature Conservancy and Inter-American Development Bank.
39. Ministerio De Fomento, 2000. Norma 3.1-IC: Trazado. O.M. de 27 de diciembre de 1999. Boletín Oficial del Estado, Madrid.
40. Montejó Fonseca, A. 2011. Ingeniería de pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño. Tomos 1 y 2. Editorial Félix Varela, La Habana.
41. Montes de Oca, A. 2016. Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos. Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez". Departamento de Minas.
42. NC-59. 2000. Clasificación de suelos para obras de transporte. Habana: Cuba,
43. NC-334. 2004. Carreteras - Pavimentos Flexibles. Método de Cálculo. Cuba.

44. NC 63: 2000. Geotecnia. Clasificación geotécnica de los suelos para obras de transporte.
45. NC 334: 2004. Carreteras. Pavimentos flexibles. Método de cálculo.
46. NC-1. 2007. Geotecnia. Norma para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales. Cuba: Habana.
47. NC-59: 2000. Clasificación de suelos para obras de transporte. Habana: Cuba.
48. NC-157: 2002. Determinación del índice CBR in situ. Habana: Cuba.
49. NC 20: 1999 Geotecnia. Determinación de la granulometría de los suelos.
50. NC 58: 2000 Geotecnia. Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.
51. NC 19: 1999 Geotecnia. Determinación del peso específico de los suelos.
52. NC 326: 2004 Geotecnia. Determinación del peso específico máximo, mínimo y relativo.
53. NC 325: 2004 Geotecnia. Determinación de la resistencia al esfuerzo cortante directo (aparato de caja de corte pequeño).
54. NC 188: 2002 Áridos gruesos. Abrasión. Método de ensayo.
55. NC 62: 2000 Geotecnia. Determinación de resistencia a la compresión axial en especímenes de rocas.
56. NC 156: 2002 Geotecnia. Determinación del peso específico natural.
57. NC 60: 2000 Geotecnia. Métodos de ensayo para la determinación del peso específico de la masa del suelo in situ.
58. NC 54-140: 1986 Materiales y productos de la construcción. Suelos. Determinación de la humedad in situ.
59. NC 327: 2003 Geotecnia. Perforación de calas ingeniero-geológicas.
60. NC 67: 2000 Geotecnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio.
61. NC 10: 1998 Geotecnia. Preparación de muestras de suelos.

62. NC 324: 2004 Geotecnia. Toma de muestras inalteradas de suelo con muestreadores de paredes finas.
63. NC 59:2000 Geotecnia. Clasificación geotécnica de los suelos.
64. NC 63:2000 Geotecnia. Clasificación de suelos para obras de transporte.
65. Nuevo Léxico Estratigráfico de la República de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología, 1994.
66. Pérez de Ágreda, E.A. Las catástrofes y el progreso de la geotecnia, 2005: 1.
67. Pérez Pech, *et al* 2014. Obtención de propiedades físicas del suelo del valle de MExico mediante interferometría sísmica.
68. Quintero, F.Y. Ideas conceptuales para el mejoramiento del acceso vial de la entrada principal a la UCLV. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Departamento de Ingeniería Civil.
69. Quintero, A.M. (2010.) M.D.L.C. Metodología para la evaluación de pavimentos flexibles de carreteras, para proyectos de rehabilitación en Cuba, a partir de la medida de deflexiones con viga Benkelman. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría CUJAE, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Vial.
70. Rivera O. 2009. Sistemas de monitoreo y control de la estabilidad de taludes rocosos y suelos. En: Geología y gestión ambiental de los recursos mineros. Universidad Internacional de Andalucía UNÍA: Huelva, España.
71. Romero, R.M 2012 Usos y aplicaciones del penetrómetro de cono CN-973. Instituto Tecnológico de Sonora.
72. RC-1002. Obras para el transporte. Trazado vial.
73. RC-1010. Obras hidráulicas. Alcantarillado y drenaje.
74. RC-3097. Estructura. Montaje de alcantarillas de tubo y cajón.
75. Salazar, D. Análisis del trazado vial y el manejo ambiental en la construcción de la ruta del Sol sector 1- tramo 1 Villeta- intercambiador San Miguel (k0+000 – k21+600). Universidad Militar Nueva.
76. Sarmiento, S. 2000. Evaluación de proyectos y presupuestos. En: Departamento de Administración.

77. Toledo, M. M. 2014. Obtención de parámetros geotécnicos a través de ensayos de presiometría. Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas, Facultad de Construcciones Ingeniería Civil.
78. Torres V. 1986. Diseño y construcción de explanaciones. ISPJAE.
79. Torres V. 1985. Diseño de pavimentos para carreteras y aeropuertos. ISPJAE.
80. Vallejo *et al.*, 2002. Ingeniería Geológica. Prentice Hall. Pearson Educación. Madrid.
81. Vázquez, E. 2010. Proyecto de la variante de Sant Martí Sarroca, Barcelona. pp. 24.
82. Zietlow J, G. 2002. Sinopsis de manuales de construcción y mantenimiento vial en América Latina y el Caribe. Programa de la Cooperación Técnica de la República Federal de Alemania.

ANEXOS

ANEXO 1

1.1. Espaciamientos y perforaciones para diferentes tipos de obras viales.

Obra	Espaciamientos de las perforaciones		Profundidad de las perforaciones		
	Corte	Terraplén	Terraplén 5m	Terraplén 5m	Corte
Trazado					
Carreteras	250	500	1.5 -3.0m	0.5 (h+1)	1.5 – 3.0
Ferrocarriles	250	500	1.5 -3.0m	0.5 (h+1)	1.5 – 3.0
Autopistas	100	300	1.5 -3.0m	0.5(h+1)	1.5 – 5.0
Dragados	150	250	Hasta calado máximo		
Líneas eléctricas	250	400	3.0 – 7.0 m		
Aeropuertos	100	200	3.0 – 5.0 m		
Estructuras:	Pequeñas	Grandes	Pequeñas	Medias	Grandes
Carreteras	20	40	10	15	20
Ferrocarriles	20	40	15	20	25
Autopistas	20	40	15	20	25
Puertos	40	60	20	25	30
Material:	Zona elevación	Zona llana	Máximo: Superficie nivel freático		
Relleno	50	150			

Valores recomendables considerando características normales de los materiales (al ser desfavorables se reduce el espaciamiento e incrementa la profundidad y si son favorables viceversa).

Profundidad a partir de la superficie del terreno natural

Profundidad a partir de la rasante definida por proyecto

h-Altura del terraplén (m)

Nota: El rango dado para las estructuras en un criterio orientativo, debiendo determinarse el espaciamiento y la profundidad de las perforaciones casuísticamente, teniendo en cuenta las características geológicas y estructurales.

Anexo 1.2. Requerimientos para el control de la calidad de terraplenes en carreteras.

**1.2 Control de Calidad de Terraplenes en Carreteras. Tomado de:
Recomendaciones para el control de calidad en carreteras (Bañón, et al .2000).**

Materia a controlar		Ensayo	Lote
MATERIALES	En el lugar de procedencia	1 Protor Normal	- 1000 m ³ - 1 vez al día
		1 granulométrico 1 límite de atterberg	- 5000m ³ de material 1 vez cada 3 días
		1 CBR laboratorio 1 materia organica	- 10000m ³ de material - 1 vez a la semana
	En el tajo o lugar de empleo	- Examinar los montones presentes de descarga de camiones desechando los que a simples vista contengan restos de tierra vegetal, materia orgánica o bolos. - Señalar aquellos lotes que presenten alguna anomalía en su aspecto - Tomar muestras de los lotes señalados para repetir los ensayos efectuados en el lugar de procedencia -	
EXTENSIÓN		- Comprobar grosso modo el espesor y anchura de las tongadas - Vigilar la temperatura ambiente, superior a 2° C.	
COMPACTACIÓN	Centro del terraplén	5 determinación de humedad 5 determinación de densidad	5000m ² de tongada 1 vez al día
	Franjas laterales (2m)	1 determinación de humedad 1 determinación de densidad	Cada 100m lineales ambos lados
GEOMETRÍA		- Cotas de replanteo de eje, con mira cada 20 m, más los puntos singulares. - Anchura y pendiente transversal en los mismos puntos - Existencia de desigualdades de anchura, rasante o pendiente transversal aplicando la regla de 3 m en caso de sospecha.	

1.3. Sistema de clasificación de los suelos AASHTO.

CLASIFICACION AASHTO											
CLASIFICACION GENERAL		MATERIALES GRANULARES (35% O MENOS DE PASANTES 0.0075 MM)						LIMOS Y ARCILLAS MAS DE 35% PASA 0.0075 MM			
GRUPO	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7
	A-1-A	A-1-B		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5 A7-6
%DE PASANTES 2.00 MM (NO. 10) 0.425 MM (NO.40) 0.075 MM (NO. 200)	50 max 30 max 15 max	- 50max 25max	- 51ma x 10ma	- - 35 max	- - 35 max	- - 35 max	- - 35ma	- - 36min	- - 36	- - 36	- - 36
PLASTICIDAD PASANTES DEL#40 LL IP	- 6 max		x - NP	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11	40 min 10ma	41 min 10ma	40ma x 11	41 min 11
TIPO USUAL DE MATERIAL SIGNIFICATIVO	Frage ntos de roca, grava y arena	Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa					x Suelos limosos		min Suelos arcillosos	
CALIDAD COMO SUBRASANTE	EXCELENTE A BUENA							REGULAR A MALA			
@ EL IP DEL SUBGRUPO A-7-5 ES IGUAL O MENOR QUE EL LL-30 EL IP DEL SUBGRUPO A7-6 ES MAYOR QUE EL LL - 30											
A-8 SUELOS ORGÁNICOS											

Tablas litológicas que caracterizan los tramos estudiados.



Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas
Unidad de Investigaciones para la Construcción - Holguín
COLUMNA LITOLOGICA

OBRA : Carretera Entronque de Bueycito a Buey Arriba.			
CALA: 1	Estacionado: 0 + 300		Prof. del Nivel Freático (m): -
Profundidad Total (m): 2,80			Cota del Nivel Freático (m): -

Escala 1:100	Profundidad (m)	Método de Perforación	Número de CAPA	Simbología	DESCRIPCION	% de Recuperación	Número de Golpes	Prof. cada 30 cm	GRAFICOS						
									% Recuperación						
									% RQD						
									Número de Golpes						
	0.04	Percusión	1		Carpeta asfáltica			0.3-			20	40	60	80	100
1	0.50				Relleno formado por rajón de caliza de color rosado de hasta 20 cm de diámetro. A partir de 0.30 m es un material gravo arenoso con fragmentos pequeños redondeados de color gris oscuro.			0.6-							
2					Arcilla plástica de color carmelita oscuro con manchas de carbonato de calcio y oxido de hierro, de consistencia media.			0.9-							
	2.80							1.2-							
								1.5-							
								1.8-							
								2.1-							
								2.4-							
								2.7-							

OBRA : Carretera Entronque de Bueycito a Buey Arriba.			
CALA: 2	Estacionado: 2 + 250		Prof. del Nivel Freático (m): -
Profundidad Total (m): 2,70			Cota del Nivel Freático (m): -

Escala 1:100	Profundidad (m)	Método de Perforación	Número de CAPA	Simbología	DESCRIPCION	% de Recuperación	Número de Golpes	Prof. cada 30 cm	GRAFICOS						
									% Recuperación						
									% RQD						
									Número de Golpes						
	0.03	Rotario	1		Carpeta asfáltica			0.3-			20	40	60	80	100
1	0.50				Relleno formado por rajón de caliza de color rosado de hasta 20 cm de diámetro. A partir de 0.25 m es un material gravo arenoso con fragmentos pequeños redondeados de color gris oscuro.			0.6-							
2					Arcilla plástica de color carmelita oscuro con manchas de carbonato de calcio y oxido de hierro, de consistencia media.			0.9-							
	2.70							1.2-							

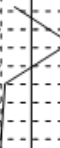


Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas
Unidad de Investigaciones para la Construcción - Holguín
COLUMNA LITOLOGICA

OBRA : Carretera Entronque de Bueycito a Buey Arriba.		
CALA: 3	Estacionado: 4 + 500	Prof. del Nivel Freático (m): -
Profundidad Total (m): 2,90		Cota del Nivel Freático (m): -

Escala 1:100	Profundidad (m)	Método de Perforación	Número de CAPA	Simbología	DESCRIPCION	% de Recuperación	Número de Golpes	Prof. cada 30 cm	GRAFICOS								
									% Recuperación								
									% RQD								
									Número de Golpes								
											20	40	60	80	100		
	0.03	Percusión	1		Carpeta asfáltica		30	0.3									
1	0.70				Relleno formado por rajón de caliza de color rosado de hasta 20 cm de diámetro. A partir de 0.33 m es un material gravo arenoso con fragmentos pequeños redondeados de color gris oscuro.		18	0.6									
2					Arcilla plástica de color carmelita oscuro con manchas de carbonato de calcio y óxido de hierro, de consistencia media. A partir de 1.90 m se muestra arenosa.		19	0.9									
	2.90							26	2.1								

OBRA : Carretera Entronque de Bueycito a Buey Arriba.		
CALA: 4	Estacionado: 7 + 400	Prof. del Nivel Freático (m): -
Profundidad Total (m): 3.70		Cota del Nivel Freático (m): -

Escala 1:100	Profundidad (m)	Método de Perforación	Número de CAPA	Simbología	DESCRIPCION	% de Recuperación	Número de Golpes	Prof. cada 30 cm	GRAFICOS				
									% Recuperación	% RQD	Número de Golpes		
								20	40	60	80	100	
1	0.10				Carpeta asfáltica.		17	0.3-0.6					
	2							0.9-1.5					
3	2.50				Relleno arcilloso con fragmentos pequeños, color carmelita amarillento, a partir de 2.30 con rajón.		31	1.8-2.4					
	3.00				Material cienoso, compacto de consistencia media, color gris oscuro.		16	2.1-2.7					
	3.70				Arcilla limosa plástica de color carmelita amarillenta, de consistencia media.		10	3.0-3.3					
							13	3.3-3.6					



Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas
Unidad de Investigaciones para la Construcción - Holguín
COLUMNA LITOLOGICA

OBRA : Carretera Entronque de Bueycito a Buey Arriba.		
CALA: 5	Estacionado: 7 + 950	Prof. del Nivel Freático (m): -
Profundidad Total (m): 1.0		Cota del Nivel Freático (m): -

Escala 1:100	Profundidad (m)	Método de Perforación	Número de CAPA	Simbología	DESCRIPCION	% de Recuperación	Número de Golpes	Prof. cada 30 cm	GRAFICOS				
									% Recuperación		% RQD		Número de Golpes
													20 40 60 80 100
1	0.10	Rotaria	2		Carpeta asfáltica								
	0.50				Relleno formado por un material gravo arenoso con fragmentos pequeños redondeados de color gris oscuro.								
	1.00				Tufita meteorizada dura en estado natural, se recupera en fragmentos como un material gravo arenoso color crema.								

OBRA : Carretera Entronque de Bueycito a Buey Arriba.		
CALA: 6	Estacionado: 9+047	Prof. del Nivel Freático (m): -
Profundidad Total (m): 2.80		Cota del Nivel Freático (m): -

Escala 1:100	Profundidad (m)	Método de Perforación	Número de CAPA	Simbología	DESCRIPCION	% de Recuperación	Número de Golpes	Prof. cada 30 cm	GRAFICOS				
									% Recuperación		% RQD		Número de Golpes
													20 40 60 80 100
1	0.03	Percusión	2		Carpeta asfáltica.		25	0.3					
	1.50				Relleno formado por un material gravo arenoso con fragmentos pequeños redondeados de color gris oscuro.		19	0.6					
2	2.80				Tufita meteorizada dura en estado natural, se recupera en fragmentos como un material gravo arenoso color crema.		21	1.2					



Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas
Unidad de Investigaciones para la Construcción - Holguín
COLUMNA LITOLOGICA

OBRA : Carretera Entronque de Bueycito a Buey Arriba.		
CALA: 7	Estacionado: 10 + 250	Prof. del Nivel Freático (m): -
Profundidad Total (m): 1.0		Cota del Nivel Freático (m): -

[illegible]

OBRA : Carretera Entronque de Bueycito a Buey Arriba.		
CALA: 8	Estacionado: 10+260	Prof. del Nivel Freático (m): -
Profundidad Total (m): 1.00		Cota del Nivel Freático (m): -

Escala 1:100	Profundidad (m)	Método de Perforación	Número de CAPA	Simbología	DESCRIPCION	% de Recuperación	Número de Golpes	Prof. cada 30 cm	GRAFICOS	
									% Recuperación	
									% RQD	
									Número de Golpes	
	0.05	Rotaria			Carpeta asfáltica					
1	0.50		2		Relleno formado por un material gravo arenoso con fragmentos pequeños redondeados de color gris oscuro.					
	1.00				Tufita meteorizada dura en estado natural, se recupera en fragmentos como un material gravo arenoso color crema.					



Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas
Unidad de Investigaciones para la Construcción - Holguín
COLUMNA LITOLOGICA

OBRA : Carretera Entronque de Buycito a Buey Arriba.									
CALA: 9		Estacionado: 18 + 203					Prof. del Nivel Freático (m): -		
Profundidad Total (m): 1.50							Cota del Nivel Freático (m): -		
Escala 1:100	Profundidad (m)	Método de Perforación	Número de CAPA	Simbología	DESCRIPCION	% de Recuperación	Número de Golpes Prof. cada 30 cm	GRAFICOS	
								% Recuperación	
								% RQD	
								Número de Golpes	
1	0.10 0.80 1.50	Perc Rot.	2		Carpeta asfáltica. Relleno formado por un material gravo arenoso con fragmentos pequeños de color gris oscuro. Tufita meteorizada dura en estado natural, se recupera en fragmentos como un material gravo arenoso color crema.	49	0.3 0.6 0.9 1.2		

OBRA : Carretera Entronque de Bueycito a Buey Arriba.		
CALA: 10	Estacionado: 19 + 745	Prof. del Nivel Freático (m): -
Profundidad Total (m): 1.25		Cota del Nivel Freático (m): -

Escala 1:100	Profundidad (m)	Método de Perforación	Número de CAPA	Simbología	DESCRIPCION	% de Recuperación	Número de Golpes	Prof. cada 30 cm	GRAFICOS					
1	0.40	Perc	2	 	Relleno formado por un material gravo arenoso con fragmentos pequeños de color gris oscuro. Turita meteorizada dura en estado natural, se recupera en fragmentos como un material gravo arenoso color crema.		49		% Recuperación					
	% RQD													
	Número de Golpes													
	1.25								20	40	60	80	100	
	1.50													

OBRA : Carretera Entronque de Bueycito a Buey Arriba.		
CALA: 11	Estacionado: 20 + 000	Prof. del Nivel Freático (m): -
Profundidad Total (m): 2,00		Cota del Nivel Freático (m): -

Escala 1:100	Profundidad (m)	Método de Perforación	Número de CAPA	Simbología	DESCRIPCION	% de Recuperación	Número de Golpes	Prof. cada 30 cm	GRAFICOS					
									% Recuperación					
									% RQD					
									Número de Golpes					
									20	40	60	80	100	
1 2	0.60	Percusión	2		Relleno formado por un material gravo arenoso con fragmentos pequeños de color gris oscuro.			0.3-						
	2.00				Tufita meteorizada dura en estado natural, se recupera en fragmentos como un material gravo arenoso color crema.			0.6-						
								0.9-						
								1.2-						
								1.5-						
								1.8-						

ANEXO 3

Anexo 3.1. Clasificación de los deterioros predominantes en los viales.

Tabla -1		
Deterioro	Clasificación	Evaluación
Grietas longitudinales y transversales	Estructural	Medio-Alto
Fisuras	Estructural	Ligero-Medio
Piel de Cocodrilo	Estructural	
Baches profundos	Estructural	
Pérdida de la Capa de Rodamiento	Superficial	
Exposición de agregados	Superficial	

Anexo 3.2. Caracterización de los tramos en estudio donde se evidencian deterioros.

Tabla -2		
Estacionado	Deterioro	Estado de los Paseos
0+200	Piel de cocodrilo	No hay
8+900 hasta 9+100	Baches profundos	Deficiente
10+200 hasta 10+270	Baches profundos	Deficiente
11+160 - 11+280	Abundantes baches	Deficiente
11+800 - 11+900	Hundimientos aislados al borde de la carretera	Deficiente
12+200	Mal estado	Deficiente
12+660 - 12+740	Mal estado	Deficiente
14+900 - 15+100	Bache con hundimiento	No hay
16+900 - 17+200	Baches aislados en el borde de la carretera con separación entre ellas de hasta 100 m	No hay
18+100 - 18+200	Tramo en mal estado, baches, ondulaciones, rodaderas, grietas, hundimiento	En mal estado
19+200 - 19+158	40 m de vial en mal estado, con ondulaciones y baches	Deficiente
19+640 - 19+700	Mal estado	Deficiente
19+740 - 19+790	Mal estado, ausencia de asfalto con baches profundos, pérdida de base	No hay
20+500 - 20+044	Mal estado, ausencia de asfalto con baches profundos, pérdida de base	No hay
20+670 - 20+600	Mal estado, baches profundos	No hay
20+700 - 21+100	Vial aceptable con reparación (penetración invertida), cota del vial por encima de la acera, acumulación de sedimentos, ondulaciones, grietas longitudinales	acera
21+600 - 21+420	Baches aislados	acera
22+000 - 22+500	Baches aislados de pequeñas dimensiones, piel de cocodrilo aceptables, grietas transversales y longitudinales (bacheo y recape)	acera

Anexo 3.3. Coordenadas geodésicas de las mediciones topográficas.

Monumento.	X (m)	Y (m)	Z (m)
0+000	506424.99	182028.42	58.951
Mon-1	506456.38	181986.17	58.617
Mon-2	506701.84	181175.18	61.872
PC-5	507138.29	179800.21	64.077
Mon-3	507253.49	179466.30	65.282
V-5	507165.78	179271.99	62.631
V-6	507324.15	179290.75	66.618
V-7	507472.36	179245.33	66.016
Mon-4	507523.71	179102.72	66.831
V-8	507277.34	178305.55	69.011
Puente	507131.40	177834.54	69.951
Lidia	506878.10	177357.47	72.530
4876-3A	506619.72	176867.26	73.332
4876-4A	506425.85	176461.51	75.757

Anexo 3.4. Coordenadas de la Base Geodésica del tramo Bueycito a Buey Arriba.

Monumento	X (m)	Y (m)	Z (m)
4876-3B	506395,207	176016,107	74,684
A-1	509139,872	169636,785	116,892
A-10	507975,224	169384,959	111,598
A-11	507921,413	169102,754	124,650
A-12	507954,660	168937,750	125,408
A-13	507988,167	168715,954	132,768
A-14	508035,373	168571,202	135,335
A-16	508149,178	168406,943	136,127
A-18	508334,408	168202,212	125,108
A-2	508792,285	169487,723	130,599

A-3	508723,220	169515,975	137,684
A-4	508619,961	169618,701	149,931
A-5	508581,394	169675,299	150,813
A-6	508465,785	169779,419	142,283
A-7	508266,684	169673,895	142,899
A-8	508078,841	169632,126	125,299
A-9	508006,730	169527,674	113,227
CHAPA- 1	506324,808	176131,775	70,878
CHAPA - 2	506560,990	175934,880	73,757
L-1	511290,863	172511,299	118,975
L-10	512013,483	170060,538	139,765
L-11	511755,058	169952,143	133,025
L-12	511121,214	169680,330	128,185
L-13	510743,317	169519,801	133,097
L-13A	510871,094	169577,386	129,762
L-14	510565,551	169454,417	125,156
L-15	510196,441	169418,165	124,951
L-16	509863,004	169504,632	134,893
L-17	509673,600	169568,697	124,363
L-2	511450,215	172211,844	122,179
L-3	511733,541	171850,990	124,517
L-4	511881,495	171725,059	131,855
L-5	512082,360	171393,892	135,534
L-7	512146,924	171204,522	143,999
L-8	512321,988	170758,035	137,544
L-9	512272,359	170166,831	145,506
LEO-10	508628,986	175169,505	94,185
LEO-11	508725,783	175050,977	96,192
LEO-12	509043,199	174704,747	101,504
LEO-13	509382,564	174539,768	94,237

LEO-13-A	509642,073	174345,175	100,491
LEO-14	509784,481	174227,729	105,352
LEO-15	510123,845	173994,345	110,239
LEO-16-A	510453,607	173854,677	117,195
LEO-16	510261,344	173915,052	118,145
LEO-18	510775,028	173526,365	111,199
LEO-19	510813,196	173440,288	107,950
LEO-2	506331,732	176176,682	70,751
LEO-20	510821,416	173419,140	107,858
LEO-21	510940,215	173184,568	115,947
LEO-3	506391,229	176022,893	74,510
LEO-4	506501,356	175912,892	76,324
LEO-5	506535,664	175939,088	75,108
LEO-6	506666,696	175926,897	69,570
LEO-7	506927,142	175992,017	69,801
LEO-8	507778,462	175933,979	96,006
LEO-9	508516,309	175313,565	100,587
MON-10	511099,834	172894,654	117,317
MON-11	512586,259	170309,923	136,155
MON-12	511429,379	169796,729	139,689
MON-13	509357,292	169711,093	132,842
MON-5	507180,628	176032,862	82,988
MON-6	508093,896	175760,436	98,150
MON-7	508433,098	175456,994	103,832
MON-A	510384,131	169372,486	134,493
Mon-8	510661,720	173605,327	118,379
REFERENCIA-1	510650,378	173603,394	119,063
V-1	511385,694	172320,466	118,543
V-2	507382,527	175992,914	86,716
V-4	509332,291	174564,906	94,440

ANEXO 4

Planillas empleadas por el Laboratorio Geotécnico de la Empresa de Investigaciones Aplicadas (ENIA) en la provincia Holguín, para el desarrollo de los ensayos físico mecánicos de los suelos.

	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS Unidad de Investigación para la Construcción Holguín Laboratorio Geotécnico					
	MODELO PARA EL CALCULO DE LA HUMEDAD					
RESPONDE A LA NORMA: NC 67: 2000						
Obra: _____						
Operador: _____ Fecha: _____						
Fecha: _____						
Código						
Cala						
Muestra						
Profundidad						
Pesafiltro No						
Masa Húmeda (7)						
Masa Seca (Ws)						
Masa Pesafiltro (Wp)						
Descripción:						
Código						
Cala						
Muestra						
Profundidad						
Pesafiltro No						
Masa Húmeda (Wh)						
Masa Seca (Ws)						
Masa Pesafiltro (Wp)						
Descripción:						
Código						
Cala						
Muestra						
Profundidad						
Pesafiltro No						
Masa Húmeda (Wh)						
Masa Seca (Ws)						
Masa Pesafiltro (Wp)						
Descripción:						
Código						
Cala						
Muestra						
Profundidad						
Pesafiltro No						
Masa Húmeda (Wh)						
Masa Seca (Ws)						
Masa Pesafiltro (Wp)						
Descripción:						

	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS UIC: <u> Holguín </u> LABORATORIO DE ENSAYOS		RG IIA-44.3			
	REGISTRO PRIMARIO DE CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN DEL SUELO EN EL LABORATORIO					
RESPONDE A LA NORMA: _____ OBRA: _____ CÓDIGO: _____ CALA: _____ UBICACIÓN: _____ MUESTRA: _____ PROFUNDIDAD: _____ OPERADOR: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____ MASA TOTAL DE LA MUESTRA: _____ (g) MASA DEL MOLDE (TARA): _____ (g) VOLUMEN DEL CILINDRO: _____ (cm ³) PESO ESPECIFICO DEL SUELO: _____ (adim.)						
MÉTODO UTILIZADO	TAMIZADO POR:	3/4"	3/8"	No.4	ESTÁNDAR	MODIFICADO
PASO No.	% DE AGUA A Añadir	Masa de la muestra Compactada más molde (g)	PESAFILTRO No.	MASA HÚMEDA MÁS RECIPIENTE (g)	MASA SECA MÁS RECIPIENTE (g)	TARA (g)
HUMEDAD INICIAL						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
DESCRIPCIÓN: _____						

	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS LABORATORIO DE ENSAYOS UIC: HOLGUÍN						RG IIA 37.5		
	REGISTRO PRIMARIO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO (MÉTODO MULTIPUNTO Y MÉTODO DE UN PUNTO)								
RESPONDE A NORMA: NC 58: 2000 OBRA: _____ CÓDIGO: _____ CALA: _____ MUESTRA: _____ PROFUNDIDAD: _____ OPERADOR: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____									
MÉTODO MULTIPUNTO									
	LÍMITE LÍQUIDO						LÍMITE PLÁSTICO		
No. DE GOLPES									
PESAFILTRO									
MASA HÚMEDA MÁS RECIPIENTE (g)									
MASA SECA MÁS RECIPIENTE (g)									
MASA DEL RECIPIENTE (g)									
MÉTODO DE UN PUNTO (Para el ensayo sólo se necesitan 2 determinaciones del límite líquido y del límite plástico)									
No. DE GOLPES									
MASA HÚMEDA MÁS RECIPIENTE (g)									
MASA SECA MÁS RECIPIENTE (g)									
MASA DEL RECIPIENTE (g)									
DESCRIPCIÓN:									

	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS UIC: HOLGUÍN LABORATORIO DE ENSAYOS			RG IIA 38.2		
	REGISTRO PRIMARIO DE ENSAYO DE PESO ESPECIFICO NATURAL DE LOS SUELOS					
RESPONDE A LA NORMA: NC 156: 2002 OBRA: _____ CÓDIGO: _____ CALA: _____ MUESTRA: _____ PROFUNDIDAD (m): _____ OPERADOR: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____						
MÉTODO DE LA PARAFINA				MÉTODO DEL ANILLO		
				Anillo No.		
Massa húmeda del espécimen suspendido en el aire (Wh) (g)				Placa No.		
Massa húmeda del espécimen cubierto por parafina y suspendido en el aire (Wp) (g)				Recipiente No.		
Massa húmeda del espécimen cubierto por parafina, suspendido en el aire y sumergido en agua (Wpw) (g)				Massa del suelo húmedo más la masa del anillo más la masa de la placa más la masa del recipiente (WhT) (g)		
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD RESPONDE A LA NORMA: NC 67: 2000				Massa del recipiente (T)		
No. del espécimen				Diámetro del anillo (d) (g)		
No. del Pesafiltro				Altura del anillo (h) (cm)		
Massa húmeda más Tara (Wh t) (g)				DETERMINACIÓN DE LAS HUMEDADES		
Massa seca más Tara (Wst) (g)				Recipiente No.		
Tara (g)				Massa húmeda más recipiente (g)		
				Massa seca más recipiente (g)		
				Massa del recipiente (g)		
DESCRIPCIÓN:						

	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS UIC: HOLGUIN LABORATORIO DE ENSAYOS		RG IIA-39.4		
	REGISTRO PRIMARIO DE ENSAYO DE GRANULOMETIA E HIDRÓMETRO				
RESPONDE A LA NORMA: NC 20: 1989					
OBRA: _____ CÓDIGO: _____ CALA: _____ MUESTRA: _____ PROFUNDIDAD: _____ OPERADOR: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____					
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD HIGROSCÓPICA					
Suelo total		Hidrómetro			
No. de Pesafiltro		No. de Pesafiltro			
Masa húmeda más tara (g)		Masa húmeda más tara (g)			
Masa seca más tara (g)		Masa seca más tara (g)			
Tara (g)		Tara (g)			
Masa húmeda total granulometría (g)		Masa húmeda hidrómetro (g)			
AGREGADOS GRUESOS					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	RETENIDO (g)			
3 "	76.2				
2 "	50.8				
1 ½ "	38.1				
1 "	25.4				
¾ "	19.1				
3/8 "	9.52				
No. 4	4.78				
No. 10	2.00				
AGREGADOS FINOS					
No. 20	0.84	GRANULOMETRIA	HIDRÓMETRO		
No. 40	0.42				
No. 60	0.25				
No. 140	0.105				
No. 200	0.074				
HIDRÓMETRO					
DÍA	HORA	TIEMPO	LECTURA	TEMP. (°C)	Peso específico _____ Areómetro empleado: 151 H g/cm ³ ☐ 152 H (g/litro) ☐ Tipo de Defloculante: _____
		2 min.			
		5 min.			
		15 min.			
		30 min.			
		1 hora			
		4 horas 10 min			
		24 horas			
DESCRIPCIÓN:					

	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS UIC: HOLGUIN LABORATORIO DE ENSAYOS				RG IIA-39.4
	REGISTRO PRIMARIO DE ENSAYO DE GRANULOMETRIA E HIDRÓMETRO				
RESPONDE A LA NORMA: NC 20: 1999					
OBRA: _____ CÓDIGO: _____ CALA: _____ MUESTRA: _____ PROFUNDIDAD: _____ OPERADOR: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____					
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD HIGROSCÓPICA					
Suelo total			Hidrómetro		
No. de Pesafiltro			No. de Pesafiltro		
Masa húmeda más tara (g)			Masa húmeda más tara (g)		
Masa seca más tara (g)			Masa seca más tara (g)		
Tara (g)			Tara (g)		
Masa húmeda total granulometría (g)			Masa húmeda hidrómetro (g)		
AGREGADOS GRUESOS					
TAMIZ	ABERTURA (mm)		RETENIDO (g)		
3 "	76.2				
2 "	50.8				
1 ½ "	38.1				
1 "	25.4				
¾ "	19.1				
3/8 "	9.52				
No. 4	4.78				
No. 10	2.00				
AGREGADOS FINOS					
No. 20	0.84		GRANULOMETRIA	HIDRÓMETRO	
No. 40	0.42				
No. 60	0.25				
No. 140	0.105				
No. 200	0.074				
HIDRÓMETRO					
DÍA	HORA	TIEMPO	LECTURA	TEMP. (°C)	Peso específico _____ Areómetro empleado: 151 H g/cm³ □ 152 H (g/litro) □ Tipo de Defloculante: _____
		2 min.			
		5 min.			
		15 min.			
		30 min.			
		1 hora			
		4 horas 10 min			
		24 horas			
DESCRIPCIÓN: 					

	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS LABORATORIO DE ENSAYOS	RG IIA-40.6
	REGISTRO PRIMARIO DE ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LOS SUELOS. MÉTODO DEL PICNÓMETRO	
RESPONDE A LA NORMA: NC 19:1999 OBRA: _____ CÓDIGO: _____ CALA: _____ MUESTRA: _____ PROFUNDIDAD: _____ OPERADOR: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____ PASADO POR EL TAMIZ No. 4 No. 10 		
PICNÓMETRO No.		
TEMPERATURA (°C)		
PESAFILTRO No.		
MASA SECA MÁS MASA DEL PESAFILTRO (W_{sp}) (g)		
MASA DEL PESAFILTRO (W_p) (g)		
MASA DEL PICNÓMETRO MÁS AGUA MÁS SUELO (W_{psw}) (g)		
DESCRIPCIÓN:		

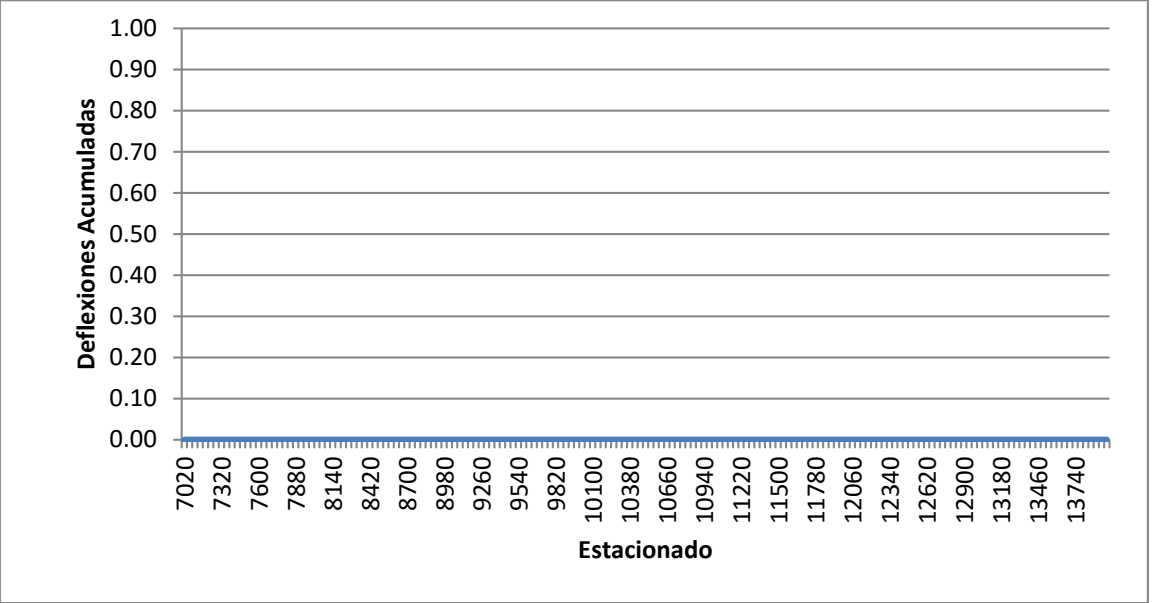
	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS UIC: HOLGUIN LABORATORIO DE ENSAYOS		RG IIA-45.3				
	REGISTRO PRIMARIO DE CBR MÉTODO DE HUMEDAD CONSTANTE Y ENERGIA VARIABLE (3 MOLDES)						
RESPONDE A LA NORMA: NC 54-150:1983							
OBRA: _____ CÓDIGO: _____ CALA: _____ MUESTRA: _____ UBICACIÓN: _____ PROFUNDIDAD: _____ OPERADOR: _____ FIRMA: _____ FECHA: _____							
DATOS DE COMPACTACIÓN		DATOS DE HINCHAMIENTO (cm)					
CBR ESTÁNDAR ☐ CBR MODIFICADO ☐		MOLDE No.	1er. día	2do. día	3er. día	4to. día	No. De Golpes
Sobrecarga en saturación: _____(g)							10
Sobrecarga en penetración: _____(g)							25
							55
DATOS DEL PROCTOR							
ESTÁNDAR: ☐ MODIFICADO: ☐ W_{opt} = _____ % γ_d = _____ kN/m ³ Peso específico (Gs): _____							
Anillo No.: _____		FACTOR: _____ kN/div					
Molde No.	Altura (cm)	No. de Golpes	% de agua	Masa húmeda inicial más el molde (g)	Masa saturada más molde (g)	Volumen Molde cm ³	Masa del Molde (g)
		10					
		25					
		55					
TABLA DE PENETRACIONES							
No. de Golpes: 10			No. de Golpes: 25			No. de Golpes: 55	
MOLDE No:			MOLDE No:			MOLDE No:	
Penetración		Lectura	Penetración		Lectura	Penetración	
(mm)	(pulg)	(Div.)	(mm)	(pulg)	(Div.)	(mm)	(pulg)
0.635	0.025		0.635	0.025		0.635	0.025
1.27	0.050		1.27	0.050		1.27	0.050
1.90	0.075		1.90	0.075		1.90	0.075
2.54	0.100		2.54	0.100		2.54	0.100
3.61	0.150		3.61	0.150		3.61	0.150
5.08	0.20		5.08	0.20		5.08	0.20
7.62	0.30		7.62	0.30		7.62	0.30
10.16	0.40		10.16	0.40		10.16	0.40
12.70	0.50		12.70	0.50		12.70	0.50
DESCRIPCION: _____							

Anexo 5

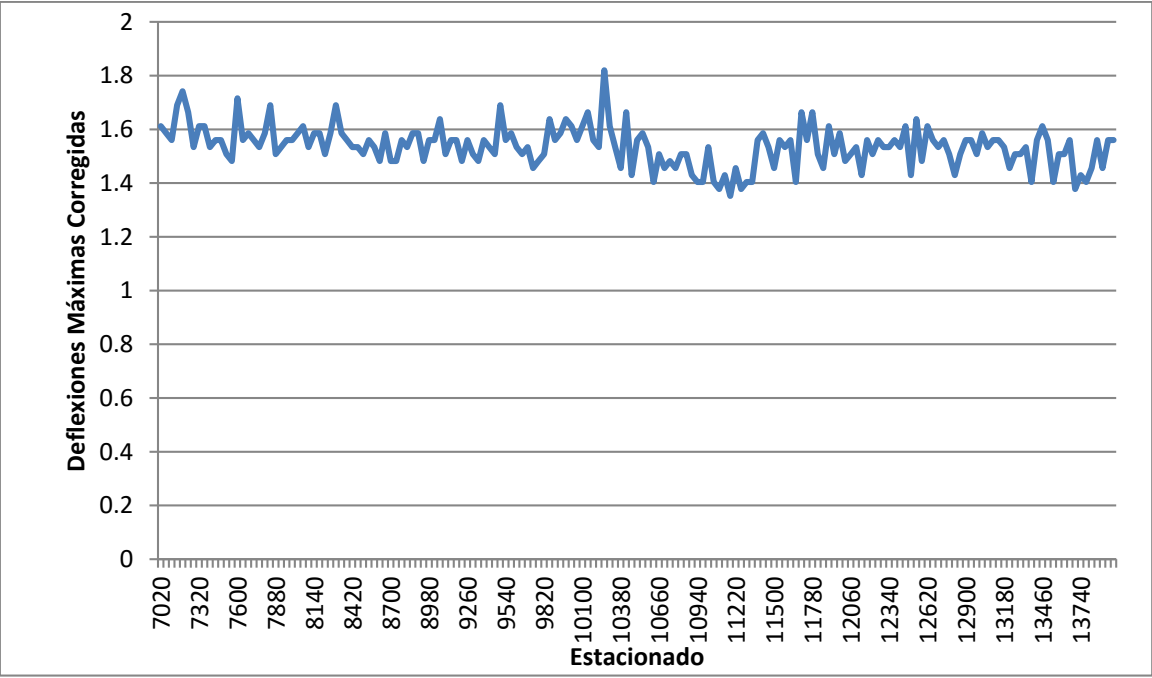
Representación de las deflexiones en la carretera Bayamo, tramo Bueycito-Buey Arriba.

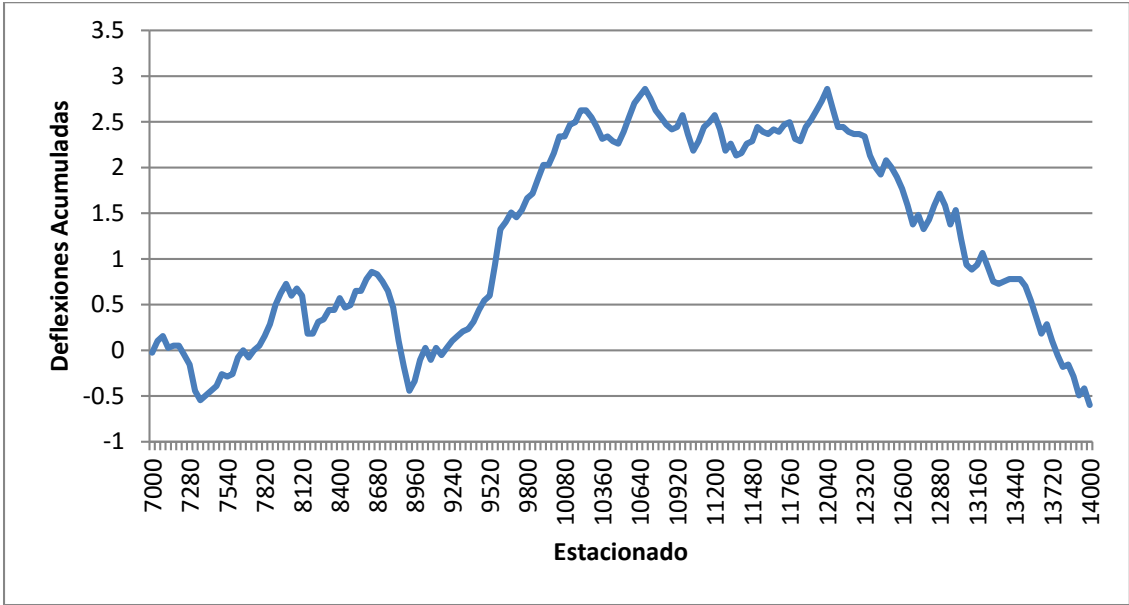
TRAMO 1: Km 0+00 – Km 7+00 (Senda Derecha)



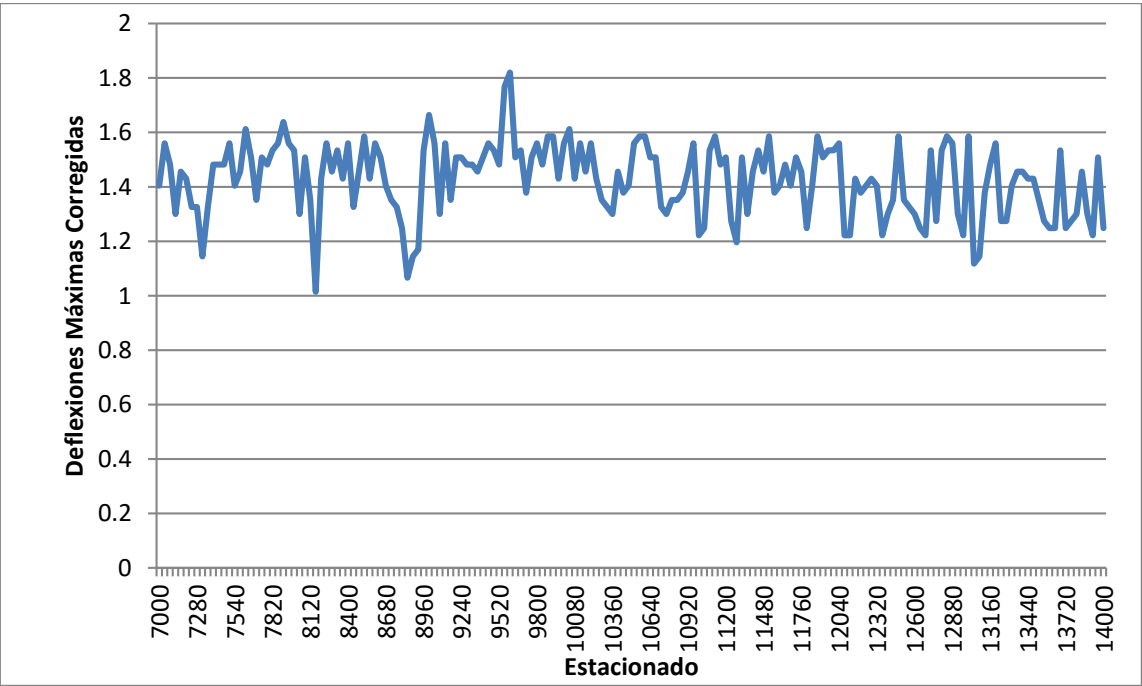


TRAMO 2: Km 7+00 – Km 14+00 (Senda Derecha)

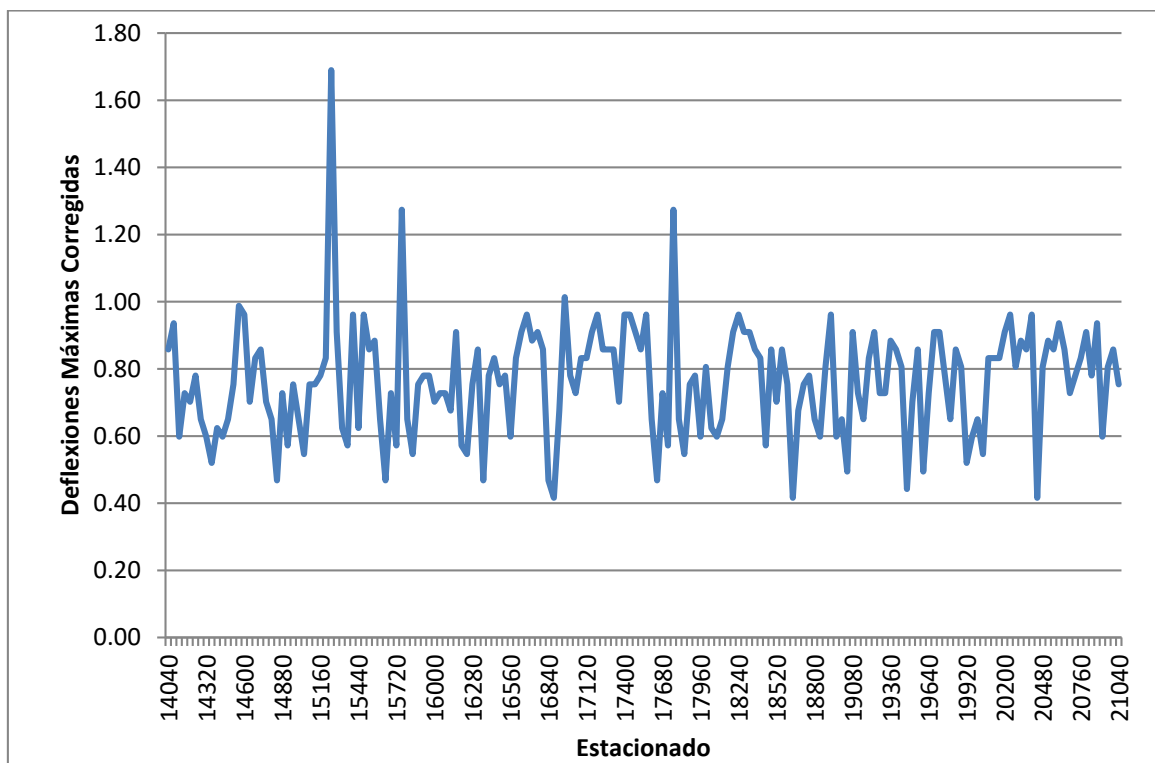
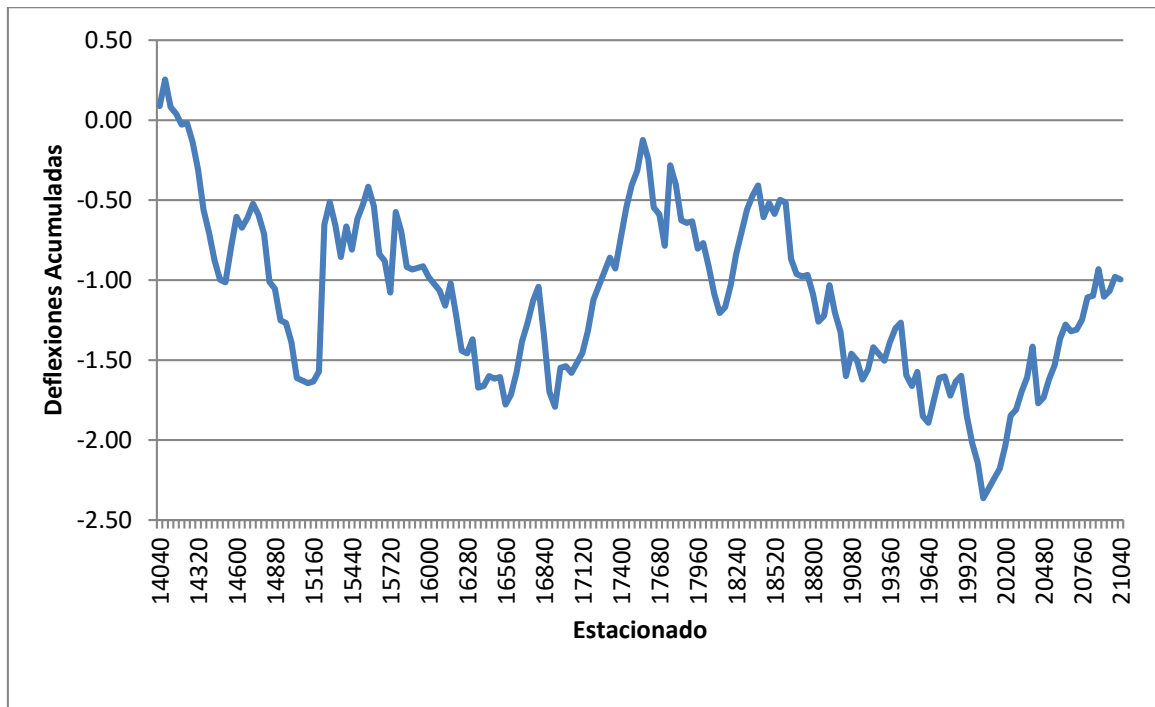




TRAMO 2: Km 7+00 – Km 14+00 (Senda Izquierda)



TRAMO 3: Km 14+00 – Km 22+00 (Senda Derecha)



TRAMO 3: Km 14+00 – Km 22+00 (Senda Izquierda)

