



Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Facultad de Geología y Minas

Departamento de Geología

**Evaluación ingeniero geológica en carreteras de altas
cargas transportadas. Caso de estudio: Vial “Salaito”,
acceso a la Fábrica de “Cementos Moncada S.A.” en
Santiago de Cuba**

(Tesis en opción al título académico de Máster en Geología)

Autor:

Carlos Alberto Matos Pérez

Tutor(es):

Dr.C. Liber Galbán Rodríguez

Ms.C José Alejandro Carmenate Fernández

Moa, 2024

PENSAMIENTO

“El hombre conquista el mundo al conquistarse a sí mismo.”



Zenón de Citio

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy autor(a) de este trabajo de tesis y que autorizo a la Universidad de Moa a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____



Carlos Alberto Matos Pérez

cmperes24@gmail.com

Carlos Alberto Matos Pérez: Autoriza la divulgación del presente trabajo de diploma 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>

Carlos Alberto Matos Pérez: autoriza al departamento de la Universidad 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>

Carlos Alberto Matos Pérez: autoriza al departamento de Geología de la Universidad 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 disponible en: <http://bibliotecadigital.ismm.edu.cu>

AGRADECIMIENTOS

A mi familia toda por ser mi fuente constante de motivación y apoyo.

A la profe Rita por mantenerme en el camino.

RESUMEN

La infraestructura vial es un componente clave para el desarrollo económico, especialmente en regiones industriales como Santiago de Cuba, donde las carreteras soportan un alto volumen de cargas pesadas. La carretera Vial “Salaito”, que conecta con la Fábrica de “Cementos Moncada S.A.”, es un ejemplo de una vía que enfrenta importantes desafíos debido al tránsito intensivo de vehículos de grandes cargas. Estos factores generan un deterioro progresivo de la vía, lo que resalta la necesidad de un análisis geotécnico exhaustivo para identificar las causas subyacentes de dicho deterioro. El objetivo de este estudio fue evaluar las causas geotécnicas responsables del deterioro en la carretera Vial “Salaito” mediante un análisis ingeniero-geológico. Para ello, se revisó el estado del arte relacionado con el deterioro de viales sometidos a altas cargas, lo que permitió entender mejor los mecanismos de daño en este tipo de infraestructuras. Posteriormente, se realizó un estudio específico del vial, evaluando las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la base y subbase de la carretera. Como principales resultados se obtuvieron que en la zona de estudio existen cinco litologías principales que contribuyen a problemas como hundimientos y agrietamientos. Estos fenómenos se manifiestan en la capa asfáltica mediante agrietamientos tipo “piel de cocodrilo”, hundimientos, grietas longitudinales y transversales, y ahullamiento, lo que afecta el tráfico y la seguridad vial. Los hallazgos de este análisis proporcionan una base sólida para la implementación de medidas correctivas y mejoras en el diseño y mantenimiento de la infraestructura vial.

PALABRAS CLAVE:

Viales, afectaciones geotécnicas, El Salaito, Santiago de Cuba.

ABSTRACT

Road infrastructure is a key component for economic development, especially in industrial regions such as Santiago de Cuba, where roads support a high volume of heavy loads. The “Salaito” Road, which connects to the “Cementos Moncada S.A.” factory, is an example of a road that faces important challenges due to the intensive traffic of vehicles with heavy loads. These factors generate a progressive deterioration of the road, which highlights the need for a thorough geotechnical analysis to identify the underlying causes of such deterioration. The objective of this study was to evaluate the geotechnical causes responsible for the deterioration of the “Salaito” Road by means of an engineering-geological analysis. For this purpose, we reviewed the state of the art related to the deterioration of roads subjected to high loads, which allowed us to better understand the damage mechanisms in this type of infrastructure. Subsequently, a specific study of the road was carried out, evaluating the physical-mechanical properties of the road base and subbase soils. As main results, we obtained that in the study area there are five main lithologies that contribute to problems such as subsidence and cracking. These phenomena are manifested in the asphalt layer by “crocodile skin” type cracking, subsidence, longitudinal and transverse cracks, and rutting, which affect traffic and road safety. The findings of this analysis provide a solid basis for the implementation of corrective measures and improvements in the design and maintenance of road infrastructure.

KEYWORDS:

Roadways, geotechnical conditions, El Salaito, Santiago de Cuba.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO I – CARACTERÍSTICAS FÍSICO - GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
1.1 Introducción.....	22
1.2 Ubicación geográfica.....	22
1.3 Características socioeconómicas regionales y locales.....	23
1.4 Relieve	23
1.5 Geología el área de estudio	23
1.6 Hidrología.....	25
1.7 Clima	25
1.7.1 Precipitaciones	25
1.7.2 Humedad	26
1.7.3 Vientos.....	26
CAPÍTULO II - METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	27
2.1 Introducción.....	27
2.2 Etapa preliminar	27
2.2.1 Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en Cuba	31
2.2.2 Clasificación de los viales	36
2.2.3 Partes de un vial	39
2.2.4 Proyecto y construcción de viales.....	40
2.3 Manifestaciones del deterioro en viales	43
2.4 Metodología empleada para los diferentes trabajos.....	50
2.4.1 Levantamiento topográfico.....	50
2.4.2 Levantamiento ingeniero geológico del trazado de la vía	51
2.4.3 Análisis hidrogeológico e hidrológico del trazado de la vía.....	53
2.4.4 Identificación de los materiales de construcción.....	54
2.4.5 Investigación ingeniero geológica.....	57
2.4.6 Procesamiento de la información y obtención de los resultados	61
2.5 Trabajos de campo, muestreo y laboratorio	62

2.5.1 Trabajos de topografía.....	62
2.5.2 Levantamiento ingeniero geológico de trazado de la vía.....	63
2.5.3 Perforación y muestreo.....	67
2.5.4 Trabajos de laboratorio.....	67
CAPÍTULO III – CARACTERIZACIÓN DEL VIAL “SALAITO”	69
3.1 Litología del área.....	69
3.2 Propiedades Físico Mecánicas	70
3.3 CBR in situ	73
3.4 Características actuales de la estructura de pavimento	74
3.5 Interpretación de los resultados del estudio ingeniero geológico.	76
3.6 Acciones enfocadas a minimizar las posibles afectaciones por causas geotécnicas en el vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.”.	77
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXOS.....	88
Anexo 1. Lista de las abreviaturas utilizadas	88
Anexo 2. Tablas y figuras.....	88
Anexo 3. Términos y definiciones	105

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

Figura 1. Tipos de carreteras con usos y localidades diferentes. **A)**, Foto aérea de las carreteras de la ciudad de Wuhan (China), 16 de abril de 2020, ©STR/AFP. **B)**, Carretera de los viñedos, Lantziego, España ©Monnuage. **C)**, Terraplén de acceso a paso superior, España, ©Universitat Politècnica de València. **D)**, Terraplén, ©Construmática. **E)**, Autopista de peaje AP-36 que une Madrid y Toledo, España, ©20minutos. **F)**, Foto aérea de una carretera en España, ©Getty Images. 15

Figura 2. Carreteras en Cuba. **A)**, Carretera Central en Santo Domingo, Villa Clara. **B)**, La Vía Blanca entre La Habana y Matanzas. Fotos tomadas de Wikipedia (2024).17

Figura 3. Ubicación geográfica de la actual Fábrica de Cemento “José Mercerón” en la provincia Santiago de Cuba. **A)**, Ubicación geográfica general, **B)**, Ubicación geográfica específica. Fuente: imagen satelital ©Airbus 15/01/2024. 17

Figura 4. Lesiones observadas en el pavimento del vial Salaito. **A)**, y **B)**, Huecos o baches de distintos niveles de desarrollo. **C)**, Agrietamientos piel de cocodrilo, bacheo y hundimientos..... 18

CAPITULO I

Figura 5. Mapa de ubicación del Vial “Salaito”..... 22

Figura 6. Plano geológico esquemático del área de estudio escala 1: 100 000, basado en el mapa geológico del IGP Cuba 1: 100 000. 24

CAPITULO II

Figura 7. Flujograma de la investigación. 27

Figura 8. Esquema representativo de la estructura de un vial. Tomado de Ticona Calizaya (2022). 40

Figura 9. Maquinaria usada en la construcción de carteras. **A)**, Excavadora de orugas, ©Google Image. **B)**, Pavimentadora de asfalto, ©AIRCO. **C)**, Planta de asfalto, ©Global-CE.com. **D)**, Cilindro hidráulico, ©MACHINERY STORE. **E)**, Dumper, ©AUSA. **F)**, Retroexcavadora, ©2024 Poder sobre Ruedas. **G)**, Cilindro de asfalto, ©Alibaba.com. **H)**, Fresadora y asfalto, ©Grupo Sorigué. **I)**, Bulldozer, ©forkify. 42

Figura 10. Exudación. Fuente: Vásquez Valera (2002). 43

Figura 11. Vista del nivel de severidad de la falla Piel de Cocodrilo. **A)**, Vista del nivel de severidad L (Low-bajo. **B)**, Vista del nivel de severidad M (Medium-medio). **C)**, Vista del nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002). 44

Figura 12. Agrietamiento en bloques. **A)**, Severidad baja. **B)**, Severidad media. **C)**, Severidad alta. Fuente: Imágenes tomadas Vásquez Valera (2002) y modificada por el autor. 45

Figura 13. Grietas longitudinales y transversales. **A)**, Nivel de severidad L (Low-bajo). **B)**, Nivel de severidad M (Medium-medio). **C)**, Nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002). 46

Figura 14. Parcheo y acometidas con varios niveles de severidad. **A)**, Nivel de severidad L (Low-bajo). **B)**, Nivel de severidad M (Medium-medio). **C)**, Nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002). 47

Figura 15. Huecos con varios niveles de severidad. A) , Nivel de severidad L (Low-bajo). B) , Nivel de severidad M (Medium-medio). C) , Nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002).....	48
Figura 16. Ahuellamiento con distintos niveles de severidad. A) , Nivel de severidad L (Low-bajo). B) , Nivel de severidad M (Medium-medio). C) , Nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002).....	49
Figura 17. Meteorización. A) , Nivel de severidad L (Low-bajo). B) , Nivel de severidad M (Medium-medio). C) , Nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002).....	50
Figura 18. Estación Total Leica TS-02, ©Solución topográfica.....	62
Figura 19. Plano de ubicación de Calas y CBR in situ.....	63
Figura 20. Lesiones detectadas en el vial Salaito. A) , B) , G) , Hueco. C) , Grietas longitudinales, parche de concreto y hundimiento. D) , Parcheo, hundimiento. E) , Parcheo, hueco y grieta transversal en losa de hormigón. F) , Vertido de concreto en la vía, desprendimiento de agregados. H) , Piel de cocodrilo y parche.....	65
Figura 21. Lesiones detectadas en el vial Salaito. A) , Hundimiento. B) , Vertido de concreto en la vía, desprendimiento de agregados y huecos. C) , Desprendimiento de agregados. D) , Piel de cocodrilo. E) , Abultamiento, hundimiento y ahuellamiento. F) , Abultamiento, hundimiento ahuellamiento y exudación. G) , Abultamiento y hundimiento. H) , Agrietamiento en bloque.	66

CAPITULO III

Figura 22. Curva granulométrica de la Capa R.....	71
Figura 23. Curva granulométrica Capa 1.....	72
Figura 24. Carta de plasticidad para la capa R.....	72
Figura 25. Carta de plasticidad para la Capa 1.....	73
Figura 26. Esquema de la estructura del vial según requisitos de la norma NC 334-2004.	77

ANEXOS

Figura 27. Máquina perforadora Rolatec 45.	88
Figura 28. Relación entre composición del terreno y tensión admisible del terreno .	89
Figura 30. Perfiles Ingeniero geológicos del Vial Salaito I-I'	91
Figura 31. Perfiles Ingeniero geológicos del Vial Salaito II-II'	92
Figura 32. Perfiles Ingeniero geológicos del Vial Salaito III-III'	93
Figura 33. Columnas litológicas por calas perforadas 3 y 4.	94
Figura 34. Columnas litológicas por calas perforadas 5 y 6.	95
Figura 35. Columnas litológicas por calas perforadas 15 y 16.....	96
Figura 36. Columnas litológicas por calas perforadas 17 y 18.....	97
Figura 37. Columnas litológicas por calas perforadas 19 y 20.....	98
Figura 38. Columnas litológicas por calas perforadas 21 y 22.....	99
Figura 39. Columnas litológicas por calas perforadas 23 y 24.....	100

Figura 40. Columnas litológicas por calas perforadas 26 y 26.....	101
Figura 41. Columnas litológicas por cala perforada 27.....	102
Figura 41. Clasificación AASHTO.....	103
Figura 43. Correlación de CBR.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO II

Tabla 1. Clasificación de los viales según la velocidad de tránsito. Tomado de Mendoza et al. (2004).	37
Tabla 2. Clasificación de viales por tráfico de diseño. Fuente: NC-334:2004	37
Tabla 3. Indicadores básicos para determinar la vulnerabilidad física las carreteras. Fuente: Milanés Batista et al. (2017).	57
Tabla 4. Profundidad de las calas perforadas	67
Tabla 5. Volumen de los ensayos realizados.	68

CAPITULO III

Tabla 6. Propiedades físico mecánica de los materiales que conforman la estructura terrea de la base y subbase del tramo de estudio.	70
Tabla 7. Valores de CBR in situ.	73
Tabla 8. Comparación de la capa R para su uso como subbase. Fuente: NC 344:2004.	75
Tabla 9. Profundidad para no considerar la saturación en carreteras. Fuente: NC 344:2004.	75
Tabla 10. Profundidad para no considerar la saturación en carreteras. Fuente: NC 344:2004.	76

ANEXO

Tabla 11. Ubicación por coordenadas de las calas y calicatas.	89
---	----

INTRODUCCIÓN

Las obras viales, también conocidas como carreteras, son de suma importancia para el desarrollo económico de cualquier país, ya que facilitan la movilidad de personas, bienes y servicios. Las vías terrestres no solo interconectan ciudades y comunidades, sino que también enlazan puntos clave de producción y consumo, lo que optimiza los flujos de comercio tanto a nivel nacional como internacional. En un mundo globalizado, contar con una infraestructura vial eficiente es esencial para mantener una economía competitiva y conectar mercados, reduciendo tiempos de transporte y costos logísticos.

Además, la construcción y el mantenimiento de las carreteras requieren un enfoque estratégico y un compromiso continuo por parte de los gobiernos a nivel nacional, regional y local. Es fundamental que las obras viales sean bien planificadas y ejecutadas, ya que esto impacta directamente en la reducción de los costos operativos de los vehículos, así como en la disminución de los tiempos de desplazamiento, lo que a su vez tiene un efecto positivo en la productividad. Las infraestructuras viales bien diseñadas también contribuyen a la reducción de la contaminación ambiental, al permitir una circulación más fluida y eficiente, disminuyendo la emisión de gases contaminantes y el consumo innecesario de combustible. Asimismo, cuando las obras viales están enmarcadas dentro de un adecuado ordenamiento territorial, se convierten en un motor para el desarrollo social y económico. No solo mejoran la conectividad de las regiones y facilitan el acceso a servicios básicos, sino que también fomentan la creación de empleos, la atracción de inversiones y el desarrollo de actividades productivas en áreas antes aisladas. En este sentido, las infraestructuras viales no solo son una herramienta de comunicación y transporte, sino también un pilar clave para el crecimiento y la cohesión social de un país (Novela, 2017).

Es por lo que, las políticas públicas orientadas a la mejora de las redes viales deben considerar no solo los aspectos técnicos y financieros, sino también los impactos sociales, ambientales y económicos a largo plazo. La inversión en infraestructura vial es, en última instancia, una inversión en el futuro de la nación, asegurando un desarrollo sostenible y una mayor integración de las comunidades.



Figura 1. Tipos de carreteras con usos y localidades diferentes. **A)**, Foto aérea de las carreteras de la ciudad de Wuhan (China), 16 de abril de 2020, ©STR/AFP. **B)**, Carretera de los viñedos, Lantziego, España ©Monnuage. **C)**, Terraplén de acceso a paso superior, España, ©Universitat Politècnica de València. **D)**, Terraplén, ©Construmática. **E)**, Autopista de peaje AP-36 que une Madrid y Toledo, España, ©20minutos. **F)**, Foto aérea de una carretera en España, ©Getty Images.

La red vial de la República de Cuba para el transporte automotor tiene una extensión de 52 202 km, de los cuales 17 212 km corresponden a carreteras pavimentadas, para una

densidad de 157 m de vías pavimentadas por cada km² de superficie. La red incluye 654 km de autopistas y 400 km de otras vías expresas multicarriles. Cuenta con 3 815 puentes, predominando los de hormigón armado que constituyen el 95% del total.

La red de vías de interés nacional tiene una extensión de 11 554 km² y se trata casi totalmente de vías pavimentadas (con la excepción de las vías en construcción). Esta red abarca todas las provincias del país y el Municipio Especial Isla de la Juventud (Lezcano Paneque, 2015).

Las principales carreteras son:

- **La Carretera Central** (N-1) con una extensión total de 1 435 km, construida en 1931, abarca todas las provincias del país, atravesando sus capitales provinciales, con excepción de Cienfuegos. Es una vía de dos sendas y un ancho de 6.30 m en zonas rurales.
- **La Autopista Nacional** (A-1 de La Habana hacia el este, A-4 de la capital hacia occidente). Cuenta en total con 597 km transitables y une a La Habana con las ciudades de Santa Clara y Sancti Spíritus hacia el este y con Pinar del Río hacia el oeste (ej. Figura 2A). Atraviesa también el territorio de las provincias de Mayabeque, Matanzas y Cienfuegos (hacia el este) y de Artemisa (hacia el occidente). Otro tramo construido conecta a Palma Soriano con Santiago de Cuba y parcialmente a esta ciudad con Guantánamo. El proyecto inicial abarcaba toda la isla, pero fue detenido en los 90.
- **La Vía Blanca.** Carretera expresa de 4 sendas con 138 km (ej., Figura 2B). Une La Habana con la ciudad de Matanzas y el polo turístico de Varadero, serpenteando junto a la costa norte. Concluida en 1960, se considera la primera autopista cubana y es una de las carreteras más transitadas del país.



Figura 2. Carreteras en Cuba. **A)** Carretera Central en Santo Domingo, Villa Clara. **B)** La Vía Blanca entre La Habana y Matanzas. Fotos tomadas de Wikipedia (2024).

En Santiago de Cuba, particularmente, existen experiencias de construcción de viales de alta carga transportada que datan desde la década de los años 1950 con la construcción de la antigua fábrica de Cemento conocida al día de hoy como José Mercerón, ubicada en una colina de la margen derecha de la bahía de Santiago de Cuba (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**A y B), que es de vital importancia como Industria Básica para la construcción.



Figura 3. Ubicación geográfica de la actual Fábrica de Cemento “José Mercerón” en la provincia Santiago de Cuba. **A)** Ubicación geográfica general, **B)** Ubicación geográfica específica. Fuente: imagen satelital ©Airbus 15/01/2024.

La construcción de su vial de acceso se extendió desde el Puerto “Guillermón Moncada”, hasta la propia instalación fabril con una extensión de 4 km, en la hoy conocida Carretera

de “Punta Gorda”, que atraviesa la zona Altamira, cuya capa de rodadura fue ejecutada completamente de hormigón hidráulico desde su concepción inicial por las altas cargas que generaría la transportación de cemento, luego con el paso de los años se añadió una capa asfáltica, que se mantiene hasta la actualidad.

Una de las nuevas obras viales de altas cargas transportadas en esta provincia lo constituye el vial “Salaito”, que da acceso a la nueva fábrica de “Cementos Moncada S.A.”. Tras la construcción de este vial en el año 2019, se ha presentado un rápido deterioro que afecta su seguridad y estabilidad, visualizándose en su base y estructura general distintas afectaciones por causas geotécnicas, que se deben a su diseño o proceso de ejecución, y que requieren ser investigados en profundidad, aplicando los métodos y herramientas así como las concepciones establecidas en las distintas normativas sobre esta temática en particular. Entre las principales afectaciones se observan: hundimientos, agrietamientos, deterioro por desagregación del pavimento, parcheo y acometidas de servicios públicos, huecos, ahuellamientos, meteorización etc (ej. Figura 4).



Figura 4. Lesiones observadas en el pavimento del vial Salaito. **A)**, y **B)**, Huecos o baches de distintos niveles de desarrollo. **C)**, Agrietamientos piel de cocodrilo, bacheo y hundimientos.

Por tal motivo surge la siguiente investigación titulada **“Evaluación ingeniero geológica en carreteras de altas cargas transportadas. Caso de estudio: Vial “Salaito”, acceso a la Fábrica de “Cementos Moncada S.A.” en Santiago de Cuba”**, que tiene como **problema científico** la necesidad de evaluar las causas geotécnicas del deterioro que presenta el vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.” a través de un estudio ingeniero geológico para conocer su estado actual y reducir los posibles riesgos geotécnicos que puedan afectar la producción y transporte de materiales de esta industria a través de un plan de acciones.

Objeto de estudio: el vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.” en Santiago de Cuba.

Campo de acción: evaluación ingeniero geológico del vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.”.

Objetivo general: evaluar las causas geotécnicas que ocasionan el deterioro en el vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.” en Santiago de Cuba a través de un estudio ingeniero geológico para conocer su estado actual y reducir los posibles riesgos geotécnicos que puedan afectar la producción y transporte de materiales de esta industria a través de un plan de acciones.

Hipótesis: si se evalúan las causas geotécnicas que ocasionan el deterioro en el vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.” en Santiago de Cuba a través de un estudio ingeniero geológico, se puede conocer su estado actual y reducir los posibles riesgos geotécnicos que puedan afectar la producción y transporte de materiales de esta industria a través de un plan de acciones.

Objetivos específicos

1. Abordar el estado del arte actual sobre el deterioro por causas geotécnicas en viales de altas cargas transportadas.
2. Exponer el procedimiento a seguir para el estudio del deterioro por causas geotécnicas.
3. Evaluar desde el punto de vista geotécnico el vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.” en Santiago de Cuba.
4. Definir acciones enfocadas a minimizar las posibles afectaciones por causas geotécnicas en el vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.”.

Tareas de la investigación

1. Definir los principales elementos conceptuales y componentes asociados al deterioro por causas geotécnicas en viales de altas cargas transportadas.
2. Abordar las experiencias y resultados a nivel nacional e internacional en la evaluación del deterioro por causas geotécnicas en viales.
3. Analizar los procedimientos y normas técnicas actuales destinados la evaluación del deterioro por causas geotécnicas en viales.
4. Declarar el procedimiento a seguir para la evaluación del peligro por deterioro del vial.
5. Evaluar desde el punto de vista geotécnico el vial “Salaito”.

6. Establecer los principales resultados de la evaluación realizada.
7. Definir acciones enfocadas a minimizar las posibles afectaciones por causas geotécnicas en el vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.”.

Métodos de la investigación

- **Método histórico lógico.** Permitió conocer y estudiar el estado del arte en cuanto las clasificaciones de los viales, los elementos a tener en cuenta en la investigación de su estado, el abordaje de esta temática a nivel mundial, nacional y territorial y diversas concepciones metodológicas para su evaluación.
- **Método análisis y síntesis.** Se logró recopilar y sintetizar información sobre la temática en cuestión y contextualizarla a la provincia Santiago de Cuba y particularmente al vial de la fábrica de “Cementos Moncada S.A.”.
- **Análisis documental.** Permitió la revisión de literatura específica sobre normas y procedimientos para el diseño y la construcción de viales de alta carga, así como de otras referidas al peligro de deterioro geotécnico que estas presentan.

En la investigación 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 Filial de Investigación Aplicada Santiago de Cuba (EFIA), en el centro de información científico técnico de la Universidad de Moa (UMOA), donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorales, además de búsquedas en Internet y el contacto con trabajadores del sector.

Como resultado se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geotécnico e ingeniero geológico. 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 a partir de las patologías que presentaba el vial.

La investigación responde al Proyecto de investigación y desarrollo titulado “Desarrollo de tecnologías en investigaciones para sostenibilidad de estructuras de carreteras en zonas sísmicas”, con código PS211SC001-029, Proyectos del Programa Sectorial Desarrollo de Investigaciones Sismológicas Aplicadas (DISA), que es coordinado por el CENAIIS.

CAPÍTULO I – CARACTERÍSTICAS FÍSICO - GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1 Introducción

En el presente capítulo se describen los principales rasgos geomorfológicos, tectónicos, hidrogeológicos, climáticos y geológicos del sector analizado, así como también las características de la vegetación y la economía, lo cual permitirá tener una panorámica general acerca del marco teórico de la investigación y el área de estudio.

1.2 Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra ubicada en el reparto Abel Santamaría de la Provincia de Santiago de Cuba (Figura 5). La traza del vial intercepta la carretera Siboney a 3.37 km al oeste del puente del río San Juan, extendiéndose hasta la Fábrica de “Cementos Moncada S.A”. Para esta investigación los trabajos se concentraron en los primeros 1 440 m al sur de la carretera de Siboney hasta la entrada del barrio residencial identificado como “Petrocasas” localizado en Micro III, por ser esta área la que presentaba la mayoría de las deficiencias.



Figura 5. Mapa de ubicación del Vial “Salaito”.

1.3 Características socioeconómicas regionales y locales

La localidad cuenta con varias industrias, destacándose la empresa “Geominera Oriente”, la fábrica de “Cerámica Roja”, la “Biofábrica de Semillas”, así como varios productores particulares de materiales de la construcción. El desarrollo agrícola está representado por el huerto más grande de la ciudad conocido como “Huerto Escolar” y el cultivo en casas de tapado, que cuenta además con un centro de “Lombricultura”. Las labores de construcción en la fábrica de “Cementos Moncada S.A.”, también son fuentes de empleo importante en la zona.

1.4 Relieve

La zona presenta un relieve ondulado muy antropizado, con pendientes suaves y cotas que van en general aumentando de norte a sur, alcanzando valores de entre 35.97 y 76.69 msnmm.

1.5 Geología el área de estudio

La formación geológica predominante en el área está representada por el Miembro Tejar (tj) y Santiago (stg) de la Formación la Cruz, la cual se encuentra en la periferia de la bahía de Santiago de Cuba (ej. Figura 6), extendiéndose al W en una faja estrecha a lo largo de la costa sur; y hacia el E en una faja más ancha, e irregular. Existen parches irregulares y discontinuos en las cercanías del límite occidental de la provincia de Santiago de Cuba. Existen alternancias de calizas biotriticas, en ocasiones más limosas o arcillosas, calcarenitas de matriz margosa y subordinadamente, margas, conglomerados, areniscas polimícticas y limolitas, con cemento calcáreo formadas principalmente por vulcanitas. En menor proporción, se localizan intercalaciones de arcillas esmectíticas con coloración que varía de gris verdosa a pardusca abigarrada en los horizontes terrígenos y de tonalidades blancuzca y crema en los horizontes carbonáticos. También existen horizontes muy fosilíferos. Las limolitas del borde SE de la bahía de Santiago de Cuba aparecen ligeramente fosfatizadas. Esta formación se encuentra discordantemente cubierta por las formaciones Jaimanitas y Río Maya (De Huelbes, 2013).

ESQUEMA GEOLÓGICO 1:100 000

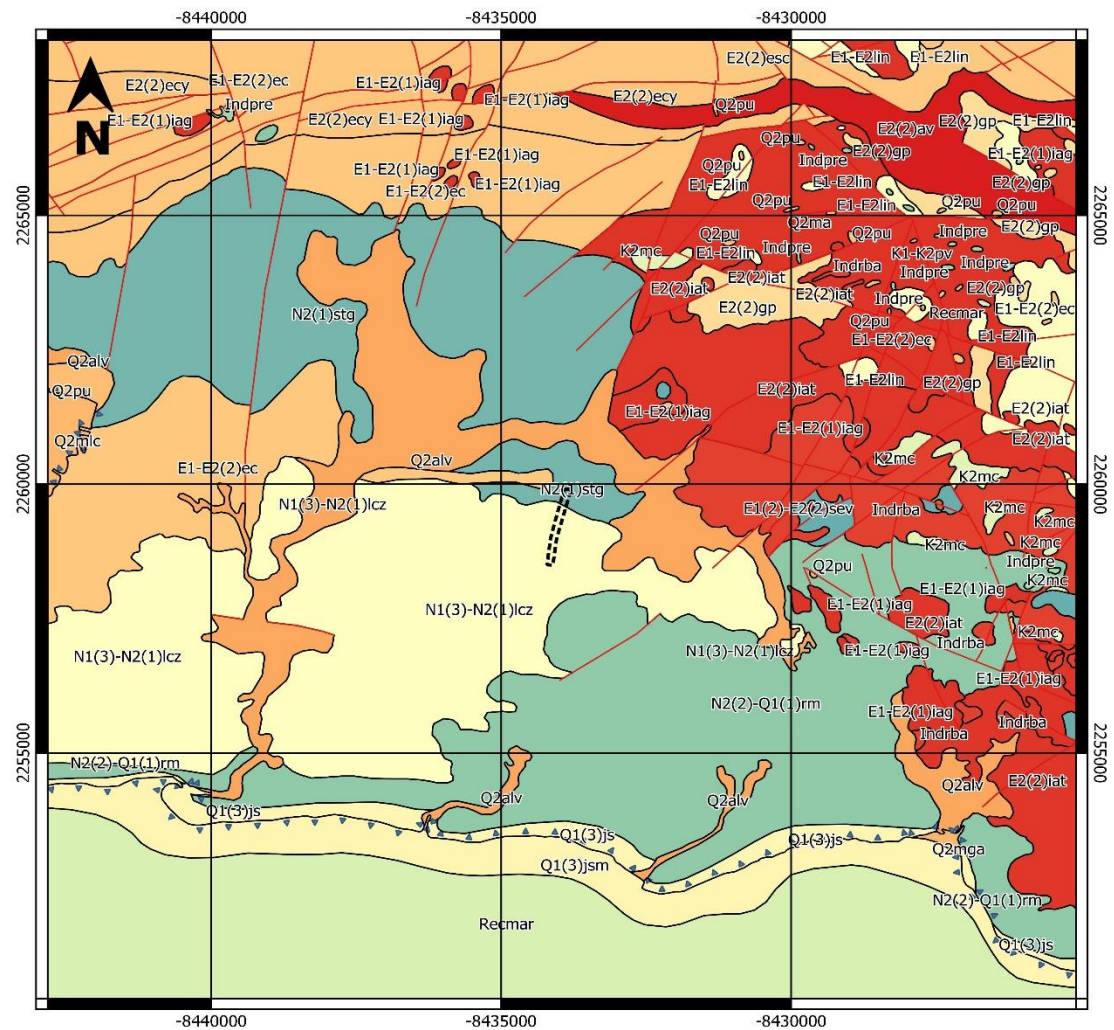


Figura 6. Plano geológico esquemático del área de estudio escala 1: 100 000, basado en el mapa geológico del IGP Cuba 1: 100 000.

1.6 Hidrología

La zona se encuentra en la cuenca del río San Juan, que está conformada por una cuenca superficial y una subterránea. El principal tributario es el río San Juan, el cual posee un caudal de 30.3 hm^3 que desemboca en Aguadores y una densidad de drenaje de 1.06 km^2 . Sus principales afluentes son los ríos Cocal Seco, Zacateca, Dos Bocas y Maisí. Existe una batería de 30 pozos para el abasto de agua. En la cuenca se ubica el embalse Chalons y 4 micropresas: el Salado, La Campana, Dorotea y Canasí (MINAG, 2018). Es importante destacar que, a pesar de que el vial se encuentra en la cuenca San Juan en la investigación precedente realizada por Arocha (2019) no se detectó el nivel freático en las calas perforadas.

1.7 Clima

Según la clasificación de Köppen modificada en 1936, el clima de Santiago de Cuba se clasifica como un clima de sabana con predominio de condiciones tropicales húmedo, con períodos secos en invierno, estacionalmente húmedo. Como factores determinantes en la formación del clima se identifican, la recepción de altos valores de radiación solar durante todo el año, la marcada influencia de las características físico-geográficas y las particularidades de la circulación atmosférica. Las situaciones sinópticas predominantes durante el período poco lluvioso son las altas presiones, muy acentuadas en el Atlántico Norte con vientos preponderantes del Nordeste (NE) y los sistemas frontales, que por lo general afectan al territorio con categorías de débil y moderadas, siendo esta última categoría la de menor ocurrencia; durante el período lluvioso predominan las bajas presiones, aportando con el flujo del sur oeste (SW) con alto contenido de vapor de agua, que favorecen los procesos convectivos en la región con la ocurrencia de lluvias intensas en las zonas montañosas (Cuspineda, 2019).

1.7.1 Precipitaciones

Según datos ofrecidos por la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, de una serie de 45 años (1973-2017), el acumulado histórico de precipitaciones de la Estación Universidad se caracterizaba por tener valores entre los 700 hasta los 1 600 mm de precipitaciones (Cuspineda, 2019).

1.7.2 Humedad

La humedad relativa media histórica oscila entre 69% y 77%, mostrando como tendencia, un incremento de estos valores hacia finales del año coincidiendo con los meses de mayor pluviosidad (mayo y septiembre-octubre), la humedad relativa máxima se comporta con valores altos entre 84% y 89%, en los meses de verano, muestra un comportamiento descendente producto al calentamiento solar y al déficit de precipitaciones. La humedad relativa mínima se comporta entre los valores comprendidos de 51% a 57%. Esto ocurre en dependencia del fenómeno atmosférico que se desarrolle en el Pacífico (Cuspineda, 2019).

1.7.3 Vientos

Existen tres regiones de vientos predominantes en la zona. La primera región comprende casi toda la cuenca del río San Juan donde se reportan brisas marinas de hasta 8 km/h durante todo el día, con dirección del norte en período seco y del sur en período poco lluvioso. La segunda región representa un área muy pequeña que se ubica en el valle del río Zacatecas afluente de este río, donde se producen calmas o vientos de menos de 4 km/h. La tercera región es una estrecha franja en la porción norte de la cuenca, coincidiendo con las alturas de la Sierra de Boniato y de la Gran Piedra, donde se registran vientos del norte al este-noreste entre 10 y 15 km/h con máximas en la noche y madrugada.

CAPÍTULO II - METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Introducción

Este capítulo describe la metodología empleada en la evaluación ingeniero geológica del vial Salaito, con el objetivo de determinar las causas de su deterioro acelerado. El estudio se dividió en tres etapas fundamentales (Figura 7; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para asegurar la calidad requerida de la evaluación.

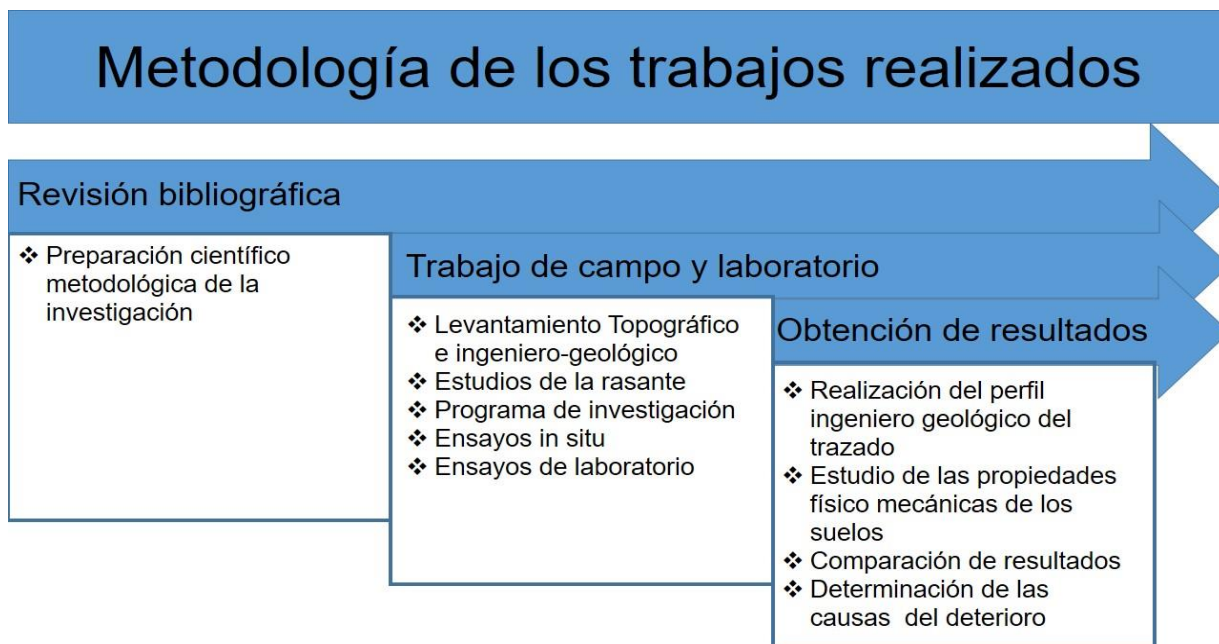


Figura 7. Flujograma de la investigación.

2.2 Etapa preliminar

Durante esta primera etapa de la investigación, se realizó una búsqueda de información bibliográfica, a través de la revisión de una serie de artículos científicos, trabajos de diploma, tesis de maestría y otros documentos con el objetivo de obtener la mayor cantidad de información posible sobre estudios realizados en el área. Además, se consultó bibliografía actualizada sobre metodologías utilizadas tanto a nivel nacional e internacional sobre los criterios utilizados para evaluar los deterioros en viales.

Como resultado de esta búsqueda se supo que a finales del siglo XVIII y principios del XIX, la red vial se amplió 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 (Kramer et al., 1999).

Para finales del año 1700, a Trésaguet es reconocido por haber establecido, por primera vez, un enfoque detallado para la construcción de carreteras. Su trabajo se caracterizó por la innovación en la reducción del espesor de las capas que conforman el firme, respondiendo al interés por optimizar la eficiencia estructural. 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 (Trésaguet, 1775). Estas capas eran las siguientes:

- Un cimientado 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 otro lado, en el año 1784 Telford 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 (Novela, 2017).

Asimismo, McAdam (1816), se dedicó a estudiar métodos de mejora de carreteras, consiguiendo construir caminos capaces de soportar tránsito rodado relativamente rápido hacia el año 1820. 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 pesada.

A su vez, Niles miembro destacado de la Sociedad Zoológica de Nueva York, en el año 1907, 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, llamado el sistema interestatal de carreteras, con una longitud de casi 28 000 km. Este sistema de transporte comunica a todas las grandes ciudades del país. Fue creado en 1956, gracias a la colaboración del gobierno de Dwight Eisenhower, tras quince años de trabajos de construcción (Novela, 2017).

En adición, en 1914 surgen las normas AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) en Estados Unidos como una respuesta a la necesidad de estandarizar y mejorar la calidad de la construcción de carreteras y transporte en el país. Está compuesta por representantes de los departamentos de transporte de los diferentes estados de Estados Unidos. Esta asociación se dedica a promover y coordinar la planificación, diseño, construcción y operación de las carreteras y sistemas de transporte en el país.

Las normas AASHTO se desarrollaron a lo largo del tiempo a través de la colaboración de expertos en ingeniería de transporte y construcción de carreteras de todo el país.

Estas normas se basan en la investigación y las mejores prácticas de la industria, y se actualizan regularmente para reflejar los avances tecnológicos y las necesidades cambiantes del sector. Las normas *AASHTO* cubren una amplia gama de áreas, incluyendo diseño geométrico de carreteras, materiales de construcción, pavimentos, señalización vial, seguridad vial, inspección y gestión de proyectos de transporte, entre otros aspectos relacionados con la infraestructura vial (Novela, 2017).

La Secretaría de Estado de Obras Públicas y Comunicaciones de Santo Domingo en el año 1999 establece los requisitos mínimos para los estudios geotécnicos de carreteras, autopistas y caminos en dicho país. Estos criterios podrán ser aplicados en el desarrollo de proyectos de nuevas vías de comunicación y 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 (Novela, 2017).

Bañón Blázquez y Beviá García (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 Bahamondes y Chepillo Bahamondes (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 (Novela, 2017).

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

De las Cuevas (2001) declara 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 Cardero (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 subbase 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 (Novela, 2017).

Novela (2017) propone 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 autor propone un procedimiento de tres etapas que 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.

En el artículo “Caracterización Ingeniero Geológica de la Carretera Central en el Tramo Bayate Mango Dulce” (Rosa Saavedra et al., 2019), determinan que las causa del deterioro del pavimento en este tramo de la Carretera Central son una manifestación de la baja resistencia al cortante de los suelos del terraplén, las cuales tardaron en manifestarse (carretera construida en la década de 1930) debido a la buena construcción que esta presentaba, determinan que la carpeta asfáltica estaba constituida por:

- Capa de hormigón asfáltico fino con 7 cm de espesor como promedio
- Capa de hormigón asfáltico grueso con 8 cm de espesor promedio
- Losa de Hormigón hidráulico entre 20 y 25 cm de buena calidad y en buen estado de conservación.
- Terreno natural conformado por limos arcillo-gravosos que clasifican como un suelo A-7-5 (18)

Arocha (2019) en la Investigación previa a la construcción del vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.”, concluye que el área del trazado presenta condiciones favorables para el emplazamiento del objeto proyectado, ya que no existen complejidades ingeniero-geológicas ni físicas, a pesar de existir suelos de baja consistencias, caso que puede ser resuelto con medidas ingeniero geológicas sencillas. También describe en la zona del trazado las litologías siguientes:

- **Hormigón asfáltico:** En buen estado y con espesores entre 0.10 m y 0.05 m.
- **Capa Vegetal:** De consistencia baja, presencia de materia orgánica húmeda de plasticidad media, color negro, espesores entre 0.10 m y 0.30 m.
- **Relleno (R):** Compuesto por variedad de materiales usados en diferentes épocas como mejoramiento del camino con espesor entre 0.15 m y 0.60 m.
- **Suelo 1:** Arena limosa con grava (SM): Arena de grano fino a medio sub-redondeados; poco plástico; Grava pequeñas, angulosas y sub-angulosas; consistencia media; húmeda (17.2 %); color gris claro; aparece en las calicatas. Este suelo tiene un CBR de laboratorio del 30%.
- **Suelo 2:** Grava limosa con arena (GM): Grava, pequeñas a medias, angulosas y subangulosas; pocoplástico; Arena, de grano fino a medio sub-redondeados; consistencia media; húmeda (17.1%). Aparece en las calicatas 3 y 7. Este suelo tiene un CBR de laboratorio de 46%.
- **Suelo 3:** Limo con arena (ML): Poco plástico, Arena, grano fino a medio, subredondeados; Grava, pequeñas sub-angulosas; consistencia media; algo húmeda (10.1%). Este suelo tiene un CBR de laboratorio de 27%.
- **Suelo 4:** Arcilla muy plástica con arena (CH): Plástico; Arena, grano fino a medio, sub-redondeadas; Grava, pequeñas sub-angulosas; consistencia baja; húmeda (17.3%). Solo aparece en la cala 13.
- **Conglomerado (GMV):** completamente meteorizado; dura; poco húmeda; agrietado y fragmentado; manchas de carbonato de calcio; color gris claro; esta capa solo no aparece en las calas 9,10 y 13.

No fue cortado el nivel de las aguas subterráneas en ninguna de las Calas perforadas a profundidades entre de 1.50 m y 8.00 m. Se observa que, la evolución del diseño, ejecución y evaluación de la estabilidad en los viales cubanos se ha ido desarrollando y generando la proliferación de un conjunto de normativas vigentes relacionadas con el estudio geotécnico de las propiedades físico mecánicas de los materiales de la estructura vial en Cuba, entre las principales se encuentran:

- 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).

2.2.2 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 (Novela, 2017). Un ejemplo de clasificación lo

vemos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se clasifican según la velocidad del tránsito. En algunos países se clasifican en públicas o privadas, en dependencia de quien las administre.

También, según sus características estructurales, pueden clasificarse en autopistas, autovías, carteras convencionales y vías para automóvil. La red de alta capacidad la forman las autovías y las autopistas, que se diferencian de las carreteras por tener más de una calzada, por no ser cruzadas ni cruzar a nivel a otras vías de comunicación y por tener una velocidad máxima permitida mayor. A su vez, las autopistas y las autovías se diferencian entre sí en que, en las autopistas, en que las propiedades colindantes no tienen accesos a la misma y en las autovías lo tienen limitado.

Tabla 1. Clasificación de los viales según la velocidad de tránsito. Tomado de Mendoza et al. (2004).

Tipo	Velocidad de Proyecto (km/h)	TDPA	Función de la red
Autopistas	80-110	5 000 mayor	Primaria
Vías rápidas	80-110	3 000-5 000	Primaria
Arterias	70-110	1 500-3 000	Primaria
Colectoras	60-100	500-1 500	Secundaria
Locales	50-80	100-500	Alimentadora
Brechas	30-70	Menos de 100	Alimentadora

Según el tipo de tráfico al que están expuestos se usa otro tipo de clasificación, la cual se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Tabla 2. Clasificación de viales por tráfico de diseño. Fuente: NC-334:2004

Símbolo	Tipo	Número de ejes acumulados ($\sum N$)	Categoría	Número de ejes acumulados ($\sum N$)
T1	Pesados	$\geq 1.0 \times 10^6$	Muy Pesado	$\geq 2.0 \times 10^6$
			Pesado	$1.0 \times 10^6 - 2.0 \times 10^6$
T2	Medio	$1.3 \times 10^5 - 1.0 \times 10^6$	Medio Pesado	$2.6 \times 10^5 - 5.1 \times 10^5$
			Medio	$1.3 \times 10^5 - 2.6 \times 10^5$
T3	Ligero	$\leq 1.3 \times 10^5$	Ligero	$6.4 \times 10^4 - 1.3 \times 10^5$

			Muy Ligero	$\geq 6.4 \times 10^4$
--	--	--	------------	------------------------

Según el tipo de afirmación o pavimentación se subclasifican en:

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

Por el grado de terminación se subclasifican en:

- **1er. Orden:** Se refiere principalmente a las autopistas y vías de elevado tráfico vehicular.
- **2do. Orden:** Se refiere a carreteras urbanas no comprendidas en el segmento anterior
- **3er. Orden:** Vías rurales
- **4to. Orden:** Terraplenes, caminos vecinales.

Desde el punto de vista legal y de su administración, según la Ley 109, Código de Seguridad Vial, las vías en Cuba se clasifican:

Atendiendo a su ubicación, se clasifican en:

- urbanas, cuando están dentro de zonas urbanas; y
- rurales, cuando están fuera de los perímetros urbanos.

Atendiendo al interés socioeconómico, se clasifican en:

- nacionales, aquellas que tienen un interés nacional, con independencia de su ubicación geográfica;

- provinciales, las que tienen un interés para la provincia en que estén enmarcadas, salvo que hayan sido clasificadas como nacionales;
- municipales, las que tienen un interés para el municipio en que estén enmarcadas, y no estén clasificadas como nacionales o provinciales; y
- de interés específico, aquellas requeridas por órganos y organismos del Estado y Gobierno, empresas y otras entidades para el desarrollo de su labor.

2.2.3 Partes de un vial

Para construir un vial desde el punto de vista estructural, la norma NC-334:2004 plantea que debe estar conformado por (Figura 8):

- **Rasante, superficie o 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.
- **Base:** Nivel de interface 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.
- **Subbase:** Capa de material entre el suelo de fundación y la base del terraplén, presenta características de resistencia mayores al suelo de fundación, pero menores que la base. Su objetivo es aumentar la altura en los terraplenes y abaratar costos de producción.
- **Subrasante:** es la parte superior del suelo de fundación, que ha sido nivelado, perfilado, compactado y que servirá de apoyo a las diferentes capas del pavimento.
- **Suelo de Fundación:** es el terreno natural conformado por suelo o roca y puede ser de corte o relleno; sirve de soporte al pavimento.

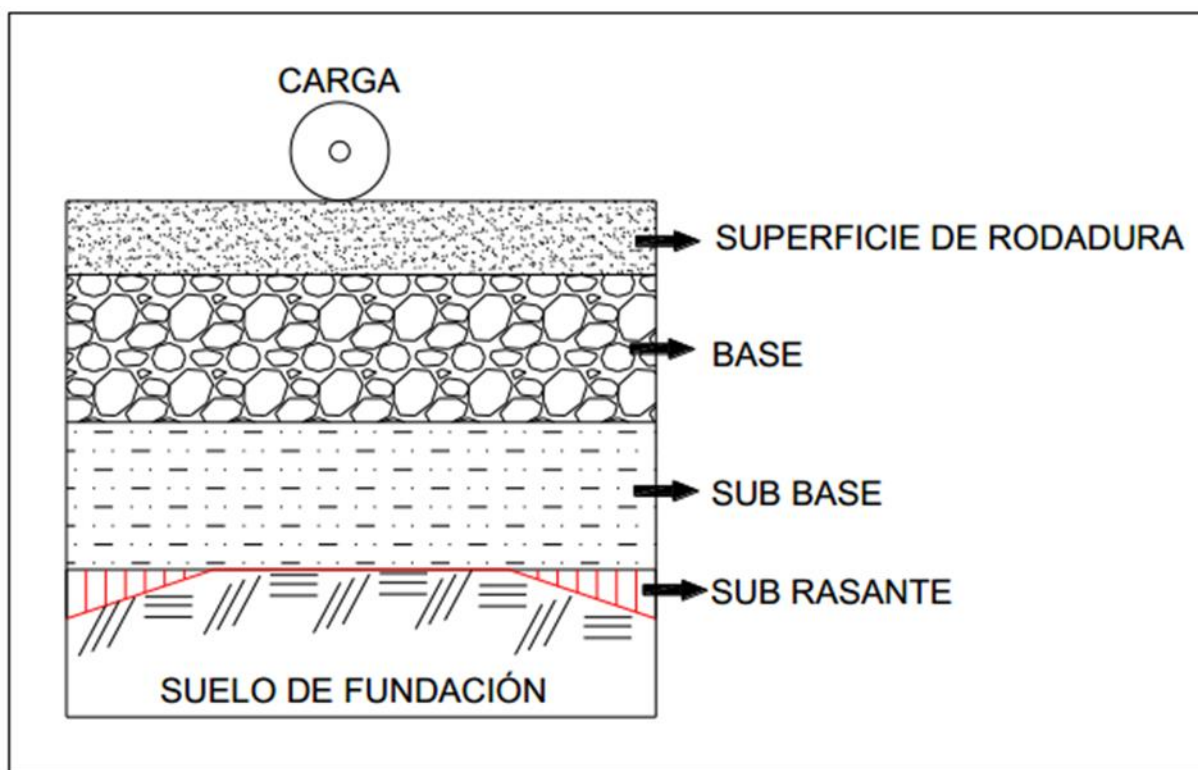


Figura 8. Esquema representativo de la estructura de un vial. Tomado de Ticona Calizaya (2022).

2.2.4 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, leyes o guías oficiales que son de obligatorio cumplimiento.

El proceso de construcción de una vía transcurre desde la retirada de la capa vegetal para la construcción de la explanación, hasta la colocación de las señales del tránsito. Para ello es imprescindible el conocimiento de las etapas y actividades durante su proceso constructivo, lo cual permite valorar, además, la incidencia de los desastres geológicos en cada una. Las etapas en las que se pueden agrupar las diferentes actividades del proceso constructivo de la carretera se definen de la siguiente manera (Vidaud-Quintana et al., 2019):

- En la primera etapa, llamada preliminar, se incluyen como actividades el replanteo preliminar y definitivo, el desbroce y descortezado.

- En la segunda etapa, construcción de obras de drenaje, está incluida la excavación, limpieza de causes, construcción de losa de asiento, recalce, muros y aletones, colocación de tubos, cajones y sellado de juntas; así como el rehincho manual y mecanizado.
- En la tercera etapa, llamada movimiento de tierra, se tiene la excavación en la explanación y en cunetas, extendido, nivelación, humectación y compactación del material de suelo.
- En la cuarta etapa, se procede a la preparación de la subrasante, construcción de subbase y base, riego de imprimación y colocación de superficie.
- En la quinta etapa, procede a la colocación de señales y dispositivos de defensa.

Existe gran variedad de equipos de movimiento de tierras; estos son específicos en la construcción de vías. Entre los más importantes tenemos: excavadoras de orugas, bulldozers, retroexcavadoras, rodillo de camino, planta mezcladora de asfalto, dumper camiones, cilindros hidráulicos, cilindros de asfalto, cilindro manual, pavimentadora de asfalto, fresadora de asfalto, etc. (Figura 9).



Figura 9. Maquinaria usada en la construcción de carteras. **A)** Excavadora de orugas, ©Google Image. **B)** Pavimentadora de asfalto, ©AIRCO. **C)** Planta de asfalto, ©Global-CE.com. **D)** Cilindro hidráulico, ©MACHINERY STORE. **E)** Dumper, ©AUSA. **F)** Retroexcavadora, ©2024 Poder sobre Ruedas. **G)** Cilindro de asfalto, ©Alibaba.com. **H)** Fresadora y asfalto, ©Grupo Sorigué. **I)** Bulldozer, ©forkify.

En el caso del diseño geotécnico de viales, se tienen en cuenta varios parámetros, los cuales generalmente se encuentran recogidos en normas y procedimientos. Para el caso de los viales de alta carga por sus características, desde el punto de vista geotécnico, la mayoría de las normas internacionales recomiendan de forma general

1. Empleo de materiales térreos de alta resistencia en la base y subbase.
2. Lograr altos niveles de compactación durante su ejecución.
3. La capa de rodadura deberá estar conformada por materiales de alta resistencia a la compresión.

2.3 Manifestaciones del deterioro en viales

Los viales de altas cargas, según la NC-334:2004, son los que regularmente clasifican en el grupo T1, y se corresponden con cargas de materiales pesados de forma continua, como los de las fábricas de producción de cemento, aceros, mineras, entre otras. Estos viales están constantemente sometidos a posibles deterioros por causas geotécnicas. La literatura internacional reconoce una serie de afectaciones que conceptualmente se identifican como:

- **Exudación:** La exudación es una capa delgada de bitumen en la capa de rodadura, la cual luce brillante, es producida por el exceso de asfalto en la preparación de la mezcla asfáltica, pudiendo llegar a crear una capa pegajosa en las temporadas calurosas, acumulándose estas capas en épocas frías en el pavimento (Vásquez Valera, 2002).



Figura 10. Exudación. Fuente: Vásquez Valera (2002).

- **Piel de Cocodrilo:** la piel de cocodrilo o también llamado fisuras de fatiga, consiste de un conjunto de grietas producidas por la fatiga por la acción repetida de cargas de tránsito, se caracteriza por la forma irregular y angulosa, pudiendo producirse la rotura del material de la capa de rodadura, pudiendo desprenderse de llegar a un grado de severidad alto generando huecos, requiriendo una reconstrucción en áreas mayores (Adlline y Gupta, 2013).

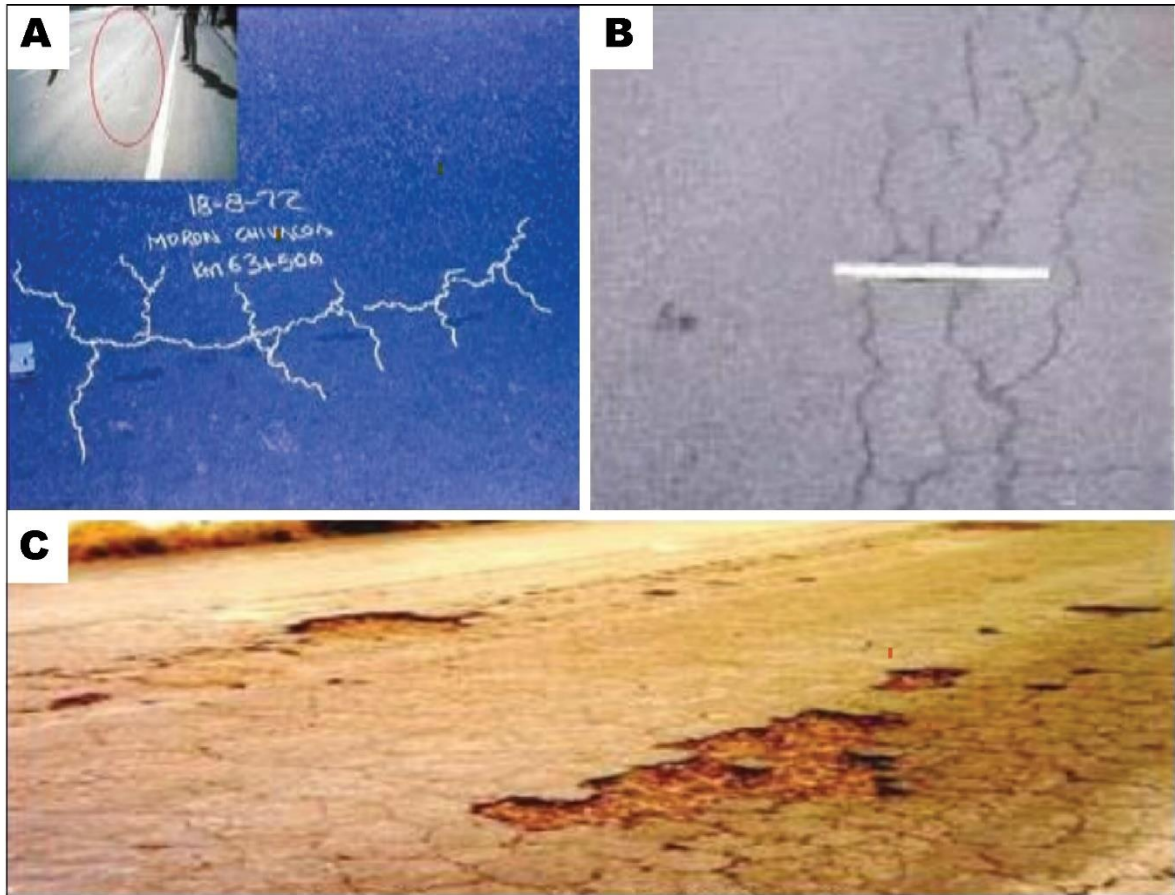


Figura 11. Vista del nivel de severidad de la falla Piel de Cocodrilo. **A)**, Vista del nivel de severidad L (Low-bajo. **B)**, Vista del nivel de severidad M (Medium-medio). **C)**, Vista del nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002).

- **Agrietamiento en bloques:** son fisuras en el pavimento ubicadas de manera reticular, a diferencia de la piel de cocodrilo, estas tienen un mayor tamaño y forman figuras más rectangulares, además están asociados a la expansión y contracción del pavimento asfáltico, debido a las temperaturas, por lo que su aparición tampoco responde a efectos de cargas de vehículos, por lo que se presentan generalmente de manera regular en toda la superficie del pavimento (Vásquez Valera, 2002).

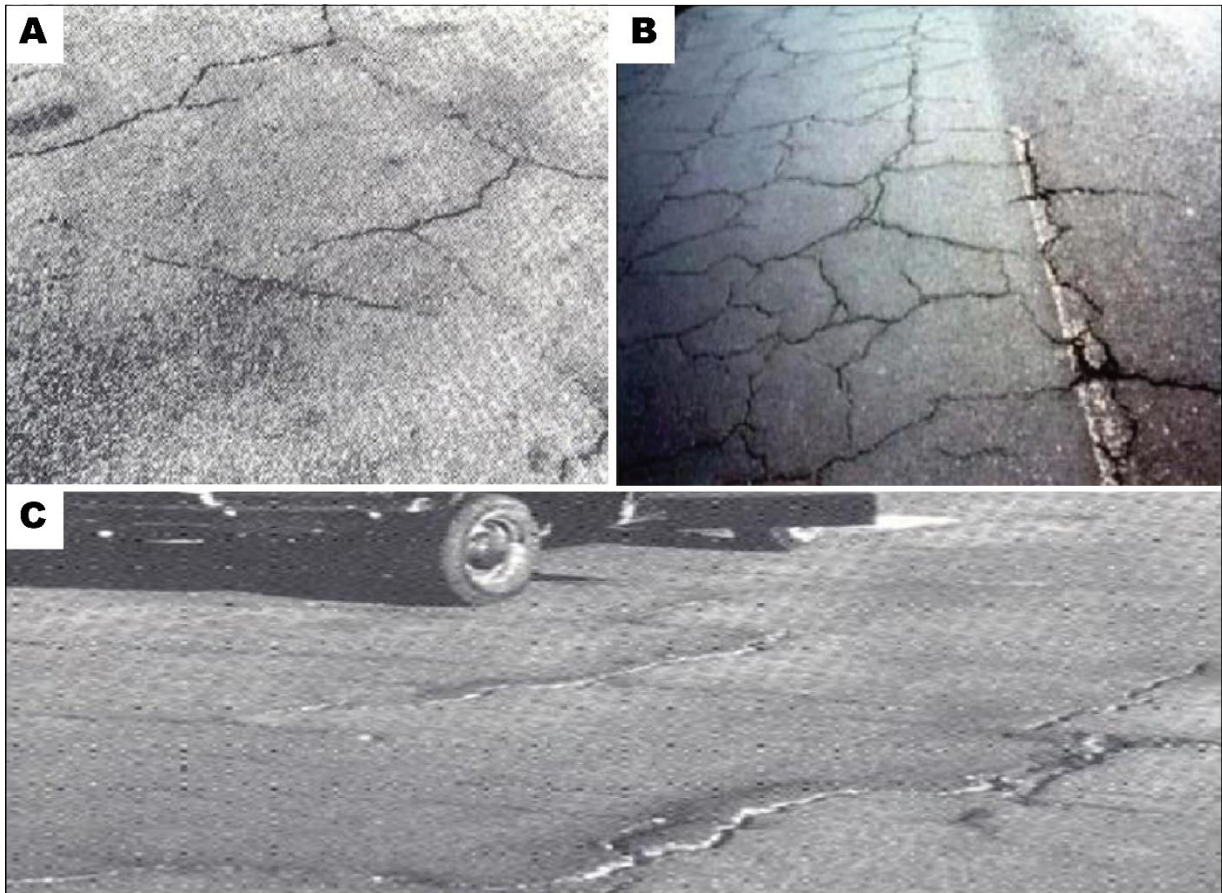


Figura 12. Agrietamiento en bloques. **A)**, Severidad baja. **B)**, Severidad media. **C)**, Severidad alta.
Fuente: Imágenes tomadas Vásquez Valera (2002) y modificada por el autor.

- **Abultamientos y hundimientos:** son pequeñas elevaciones en la superficie de la carpeta asfáltica, generados por la expansión o deformación de las capas inferiores, debido a congelación o infiltración en una grieta. Los hundimientos son depresiones pequeñas y accidentadas, debido a causales puntuales tales como defectos de compactación de las capas inferiores en el área determinada (AASHTO D 6433-03, 2003).
- **Grietas longitudinales y transversales:** las grietas longitudinales son grietas que van en el sentido del flujo vehicular del pavimento, mientras que una grieta transversal se encuentra en el sentido perpendicular. Son grietas que por lo general no están relacionadas con las cargas de tránsito, sino más bien a juntas de carriles de pavimento o continuación de construcción de mala construcción,

o la contracción de los ciclos de temperatura diarios, además de grietas de reflexión causadas en la base, con salvedad de las correspondientes a juntas de losas de concreto (AASTM D 6433-03, 2003).



Figura 13. Grietas longitudinales y transversales. **A)**, Nivel de severidad L (Low-bajo). **B)**, Nivel de severidad M (Medium-medio). **C)**, Nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002).

- **Parcheo y acometidas de servicios públicos:** un parche es una zona cuyo pavimento ha sido construido nuevamente, a fin de reparar el pavimento ya construido. Sin importar que tan bien construido esté el parche, es inevitable que esté presente un deterioro acelerado respecto al pavimento existente, debido a las diferencias entre los comportamientos de los materiales reemplazantes, cuyas características de deformación y compactación suelen ser distintas, además de generar áreas que por su geometría son de difícil compactación (Vásquez Valera, 2002).



Figura 14. Parcheo y acometidas con varios niveles de severidad. **A)**, Nivel de severidad L (Low-bajo). **B)**, Nivel de severidad M (Medium-medio). **C)**, Nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002).

- **Huecos:** son áreas deprimidas en la superficie de rodadura, corresponden a la falla del pavimento en un área puntual debido a deficiencias constructivas tales como pobres materiales de la carpeta, subbase o base, o problemas de compactación. En todo caso, son agravados por la presencia de agua que suele retenerse producto de la depresión ocasionada (ASTM D 6433-03, 2003).

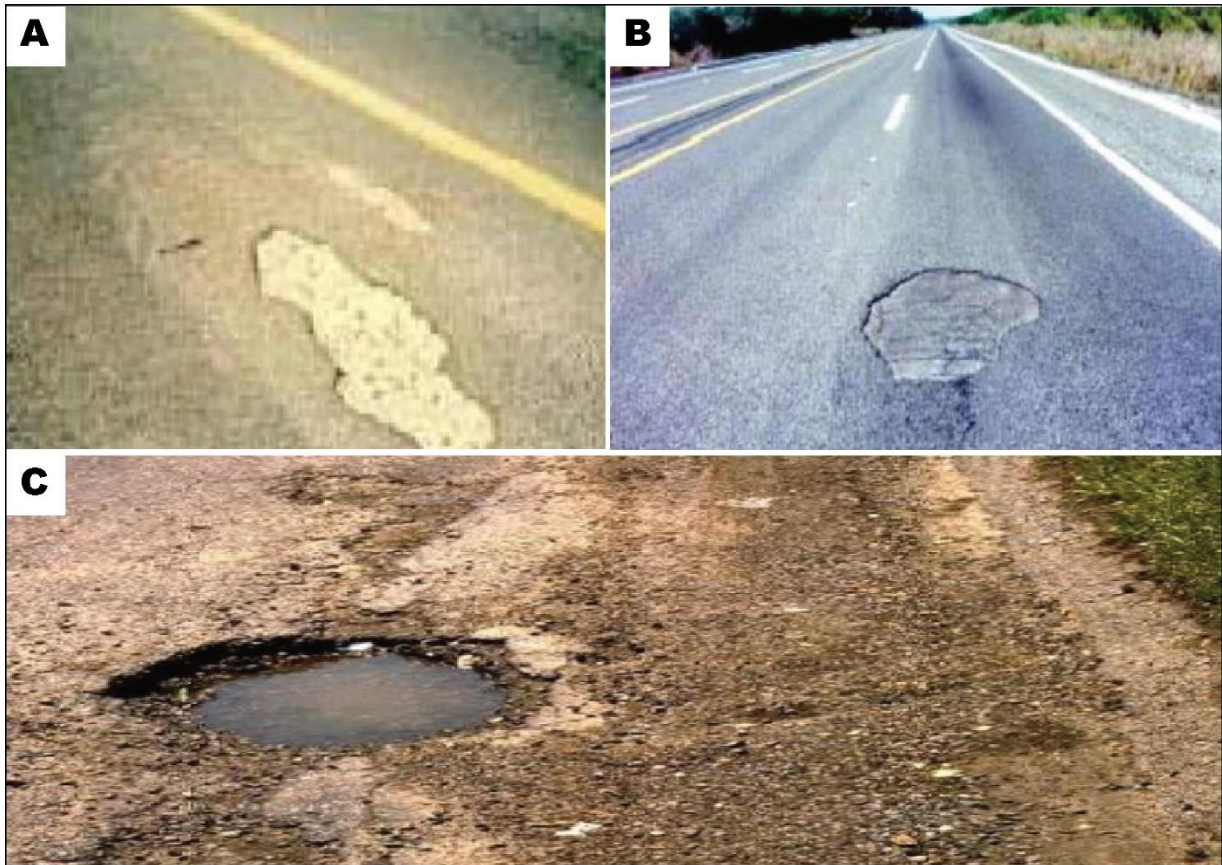


Figura 15. Huecos con varios niveles de severidad. **A)**, Nivel de severidad L (Low-bajo). **B)**, Nivel de severidad M (Medium-medio). **C)**, Nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002).

- **Ahuellamiento:** consiste del marcaje de las ruedas en la superficie del asfalto, generando una leve depresión, producida por una deformación permanente de alguna de las capas que constituye el pavimento, sea por un problema de compactación, o movimiento lateral de materiales, es necesario notar la huella de las cargas de tránsito, las cuales son más visibles la acumulación de agua tras lluvias.

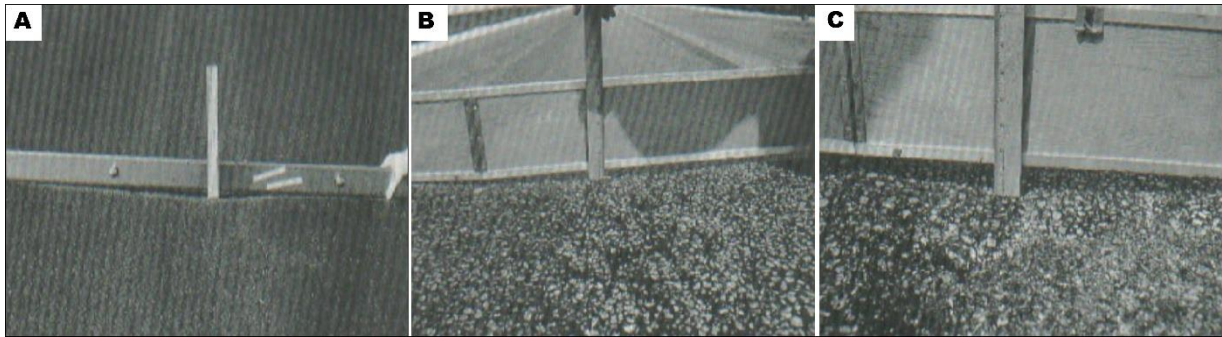


Figura 16. Ahuellamiento con distintos niveles de severidad. **A)**, Nivel de severidad L (Low-bajo). **B)**, Nivel de severidad M (Medium-medio). **C)**, Nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002).

- **Meteorización o desprendimiento de agregados:** es la pérdida de la superficie de rodadura del pavimento, a través de la pérdida del material ligante y del material fino. No están ligados al desgaste natural producido por el uso del pavimento, más bien, a una mezcla de pobre calidad, vehículos con locomoción en base a “orugas” o derramamiento de aceites u otros químicos (Ticona Calizaya, 2022).



Figura 17. Meteorización. **A)**, Nivel de severidad L (Low-bajo). **B)**, Nivel de severidad M (Medium-medio). **C)**, Nivel de severidad H (High-alto). Fuente: Vásquez Valera (2002).

2.4 Metodología empleada para los diferentes trabajos

2.4.1 Levantamiento topográfico

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 coincide aproximadamente con el eje definitivo de la vía. 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 (Benítez Olmedo y Medina Seguismundo, 2004).

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 tiene una serie de puntos de cotas conocidas, con los cuales se puede representar altimétricamente la zona de estudio (Jorge, 2009). 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. 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 (Días García, 1989).

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 (Novela, 2017).

2.4.2 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 geológico 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.

2.4.3 Análisis hidrogeológico e hidrológico del trazado de la vía

La evaluación de los parámetros hidrogeológicos como la permeabilidad, transmisividad, 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 y 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 subterránea (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:

1. Estimar el caudal máximo de agua como 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.

2. Dimensionar adecuadamente las estructuras de paso que restringen o dificultan el paso del agua por sus cauces habituales.
3. 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.
4. 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 (Novela, 2017).

2.4.4 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 el proyecto, o, en su defecto, las del laboratorio. El área de terreno utilizada en los trabajos de préstamo deberá presentar al final de su explotación un aspecto estético acorde con el lugar. 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. 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 (Herrera 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 0.10 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 magnesio. 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.

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. 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 existe 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 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. Si se realiza esta misma comparación con los intervalos de equivalencia, se puede llegar a conclusiones similares, pues al igual que en el caso anterior, las arenas compactas y muy compactas son las 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.

Por otro lado, autores como Milanés Batista et al. (2017), de forma general para determinar la vulnerabilidad física de una región o área determinada, en el caso del estado de vulnerabilidad de las carreteras, refieren indicadores básicos de su deterioro, los cuales permiten plantear medidas posteriores para reducir el posible riesgo que este deterioro puede generar.

Tabla 3. Indicadores básicos para determinar la vulnerabilidad física las carreteras.

Fuente: Milanés Batista et al. (2017).

Indicador	Grado de evaluación/valor promedio $\geq 0 - \leq 1$			
	Bajo 0.125	Moderado 0.375	Alto 0.625	Muy alto 0.875
Estado técnico constructivo de las carreteras	Carreteras en buen estado constructivo. Buena resistencia estructural de la base y la pavimentación, en suelos generalmente estables	Carreteras con distintas patologías constructivas. Superficie pavimentada en algunos casos con hundimientos o asentamientos ligeros, presencia de baches ocasionales. Terraplenes mejorados	Carreteras con patologías diversas, erosionadas en algunos de sus tramos, con baches frecuentes, mala resistencia estructural. Terraplenes no mejorados.	Carreteras con distintas patologías constructivas bien marcadas. Superficie pavimentada en la mayoría de los casos con hundimientos o asentamientos, presencia de baches, en suelos generalmente inestables o ambientes agresivos. No resistentes estructuralmente. Trillos, caminos vecinales, entre otros.

2.4.5 Investigación ingeniero geológica

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 (Anexo 2, Figura 42) y las normas nacionales vigentes, caracterizando cada variable con técnicas de estadística descriptiva y comprobando los criterios de normalidad y teoría de rechazo.

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.

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 elaborados para el diseño de la obra. Estos deben realizarse en las etapas de base de cimiento, levante de terraplenes y estructura de pavimento.

Ensayos in situ para corroborar los criterios del procedimiento: 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. 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. 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 (Novela, 2017).

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:

- **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. 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 (Novela, 2017).
- **Método radioactivo:** se basa en la interacción de la radiación gamma con los electrones existentes en las partículas del suelo. El aparato nuclear, es un contador (Geiger) que mide la diferencia entre la energía emitida y la recibida, que es proporcional a la densidad del suelo.

2.4.5.1 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, entre los que se encuentran:

- **Ensayo CBR:** es un ensayo normalizado de penetración 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 asentamientos obtenidos a lo largo del tiempo (NC 157:2002).
- **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.

2.4.5.2 Ensayos de laboratorio

Corresponden a una gran serie de pruebas que se realizan a muestras tanto alteradas como inalteradas de suelos y rocas con el objetivo de determinar parámetros esenciales que permitan conocer y predecir el comportamiento de los mismos, y de los materiales de relleno ante las cargas que experimentarán.

Entre los principales ensayos tenemos: Granulometría, Límite de Atterberg, Proctor Modificado, CBR Modificado, Humedad natural, Peso específico, Resistencia a la compresión axial, Índice de poros, Saturación etc. Estos ensayos a su vez permiten establecer muchas correlaciones con otras propiedades. Estas correlaciones están avaladas por cientos de trabajos realizados por renombrados autores y muchas de ellas son recogidas por las normas y procedimientos establecidos.

Dentro de las propiedades más importantes que se pueden correlacionar se encuentran: índice de plasticidad, índice de consistencia, cohesión, ángulo de fricción

interna, módulo de deformación elásticas, módulo de elasticidad, hinchamiento controlado, coeficiente de Poisson etc.

2.4.6 Procesamiento de la información y obtención de los resultados

En esta etapa se analizan los resultados obtenidos de los trabajos de campo y laboratorio, comparándolos con los trabajos previamente estudiados, normas y estatutos vigentes para así poder arribar a conclusiones fidedignas sobre el objeto investigado.

2.4.6.1 Realización del mapa ingeniero geológico del trazado

Para ello se usa el Software Surfer 15, en donde se trazarán perfiles que reflejen los resultados de las perforaciones y las clasificaciones realizadas de los suelos detectados, apoyándose en la NC 59:2000 Clasificación geotécnica de suelos, en dichos perfiles también se reflejarán las cotas de cada pozo de perforación, las cotas a las que fueron detectadas las litologías y la profundidad que alcanzó cada una de ellas.

2.4.6.2 Estudio de las propiedades Físico-Mecánicas

El estudio de estas propiedades permitirá directamente establecer los parámetros que se encuentran o no dentro de las necesidades del proyecto, al ser comparadas con las normativas y estatutos establecidos por organismos nacionales e internacionales. También se realizarán las correlaciones pertinentes para enriquecer la investigación con parámetros necesarios que aporten mayor relevancia a la misma y así garantizar una mayor veracidad y fiabilidad de los resultados alcanzados durante su ejecución.

2.4.6.3 Comparación de resultados y determinación de las causas del deterioro

Una vez terminadas las etapas anteriores y con toda la información necesaria a disposición del investigador, se procede a la determinación de las causas que llevaron al deterioro acelerado del vial y a la proposición de medidas que puedan mitigar estos daños.

2.5 Trabajos de campo, muestreo y laboratorio

2.5.1 Trabajos de topografía

Se realizaron con el objetivo de replantear y amarrar planimétrica y altimétricamente todas las perforaciones programadas, determinar el bombeo y el drenaje predominante en el área. Se utilizó la estación total LEICA TS-02, usando el sistema de coordenadas Cuba Sur. Estos trabajos fueron ejecutados por el grupo de topografía de la Empresa Filial de Investigaciones para la Construcción de Santiago de Cuba.



Figura 18. Estación Total Leica TS-02, ©Solución topográfica.

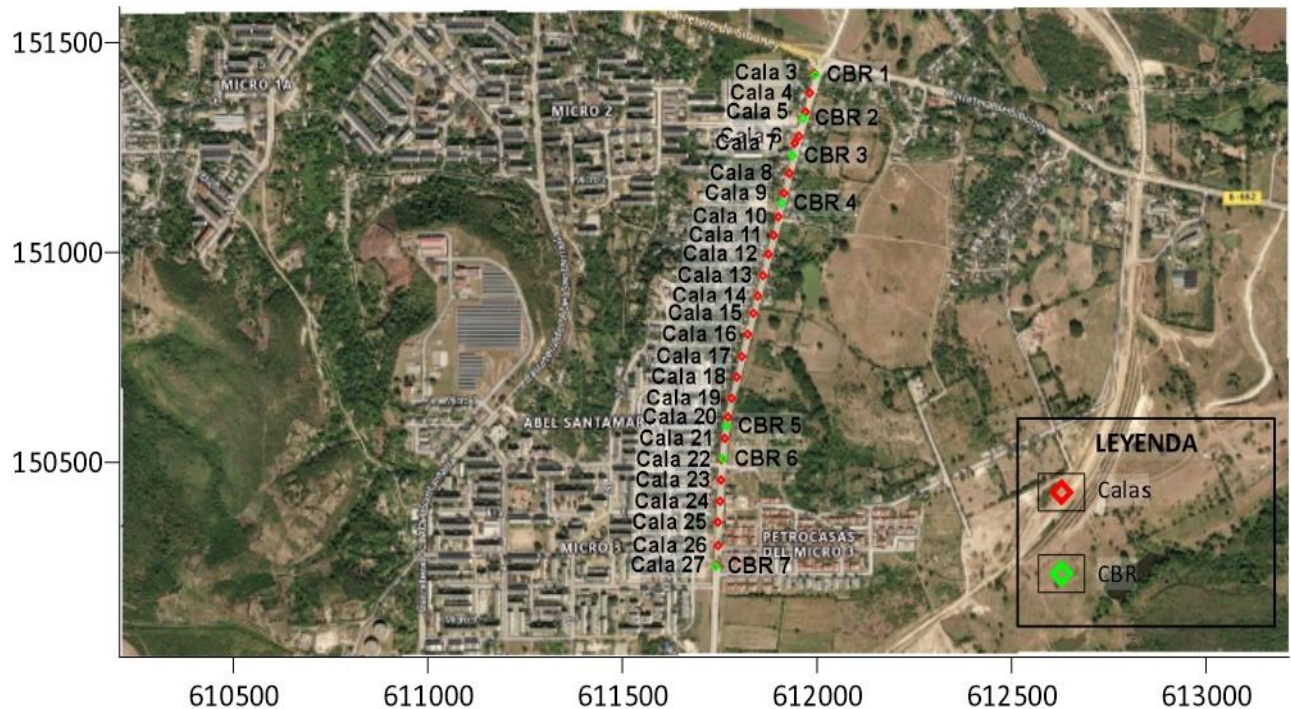


Figura 19. Plano de ubicación de Calas y CBR in situ.

2.5.2 Levantamiento ingeniero geológico de trazado de la vía

El levantamiento ingeniero geológico se basó en determinar los deterioros superficiales y estructurales de la vía, y relacionarlos con las causas que provocan estos deterioros, para así tener una guía a la hora de enfocar los trabajos posteriores. También se realizó la reevaluación de la complejidad por tramos del trazado, corroborando lo planteado por Arocha (2019), donde describe el área como un tramo favorable, homogéneo y sin complejidades estructurales para el desarrollo de la obra en cuestión.

Físicamente, en la capa de rodadura se pudo comprobar la existencia de fenómenos como



Figura 20 y Figura 21):

- Exudación
- Piel de Cocodrilo:
- Agrietamiento en Bloques:
- Abultamientos
- Grietas Longitudinal y transversales
- Parcheo y acometidas de servicios públicos:
- Huecos
- Ahuellamiento
- Meteorización o desprendimiento de agregados

Durante los recorridos realizados se pudo observar que las patologías de mayor gravedad se identificaron en las zonas de influencia cercanas a las obras de acueducto y alcantarillado, al profundizar en este tema se supo que luego de confeccionarse el terraplén tecnificado para el vial, este fue excavado para la construcción de dichas

obras, alterando el orden expuesto en los procedimientos explicados anteriormente. Al consultar el libro de obra se supo que los controles de compactación a los rehínchos de esas excavaciones nunca fueron solicitados, pero es evidente que no cumplían con las necesidades de la obra, pues lesiones como los huecos, piel de cocodrilo, hundimientos y ahuellamiento son causados directamente por falta de resistencia en la capa base en combinación con la alta humedad del suelo.

Además, se sabe por experiencias internacionales que en zonas de alta sismicidad como lo es la provincia de Santiago de Cuba se debe evitar el uso de materiales pobremente compactados o materiales de cimentación de fácil deslizamiento y se recomienda que los valores de compactación para suelos granulares sean superiores al 95% para evitar los asentamientos no calculados (Vidaud-Quintana et al., 2019)

También se supo que la conductora que abastecen de agua potable y las que se encargan de transportar las aguas albañales de la comunidad Petrocasas cruzan el vial en varios puntos entre las calas 21 a la 27 y se sabe también que en varias ocasiones han sufrido roturas importantes debido a las cargas que sobre ellas se transportan, dando como resultado que sean aportados a la capa de subrasante un flujo de agua constate para la cual no estaba diseñada.



Figura 20. Lesiones detectadas en el vial Salaito. **A), B), G),** Huevo. **C),** Grietas longitudinales, parche de concreto y hundimiento. **D),** Parcheo, hundimiento. **E),** Parcheo, huevo y grieta transversal en losa de hormigón. **F),** Vertido de concreto en la vía, desprendimiento de agregados. **H),** Piel de cocodrilo y parche.



Figura 21. Lesiones detectadas en el vial Salaito. **A)**, Hundimiento. **B)**, Vertido de concreto en la vía, desprendimiento de agregados y huecos. **C)**, Desprendimiento de agregados. **D)**, Piel de cocodrilo. **E)**, Abultamiento, hundimiento y ahuellamiento. **F)**, Abultamiento, hundimiento ahuellamiento y exudación. **G)**, Abultamiento y hundimiento. **H)**, Agrietamiento en bloque.

2.5.3 Perforación y muestreo

Los trabajos de perforación se realizaron con una máquina Rolatec 45 de fabricación española, por el método de perforación vertical a percusión con cuchara Terzagui de tubo dividido, limpiador Bx, con selección de testigos y registros del número de golpes por cada 30 cm de penetración (Anexo 2, Figura 45).

Tabla 4. Profundidad de las calas perforadas

Cala	m	Cala	m	Cala	m	Cala	m
3	3.00	10	4.50	17	2.00	24	3.20
4	3.00	11	3.60	18	2.00	25	3.15
5	1.20	12	2.70	19	1.25	26	2.70
6	1.35	13	2.25	20	1.00	27	3.15
7	3.60	14	1.00	21	2.90	-	-
8	3.15	15	2.10	22	3.15	-	-
9	3.15	16	2.10	23	3.15	-	-
Total	64.35 m						

Se ejecutaron 25 perforaciones de 27 programadas, las calas 1 y 2 no se realizaron a causa de que en los límites de sus respectivas ubicaciones existen elementos soterrados sensibles, tales como tuberías de agua, cables de alta tensión y cable coaxial. En total se ejecutaron más de 60 m de perforación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Adicionalmente, se realizaron 7 calicatas para la realización de ensayos CBR in situ y de laboratorio.

2.5.4 Trabajos de laboratorio

Se realizó un muestreo integral, representativo por capas, con el objetivo de obtener muestras de las diferentes litologías encontradas en el área. Se transportaron un total de 11 pomos parafinados y 12 nailon de transporte de muestras hacia el Laboratorio de Materiales de Santiago de Cuba, donde se le realizaron los ensayos correspondientes relacionados en la Tabla 5.

Tabla 5. Volumen de los ensayos realizados.

Ensayos	Cantidad	Norma	Fecha acreditación y Fuente acreditadora
*Peso Específico de los Suelos	14	NC 19:1999	15/07/2022 ONARC
*Granulometría	17	NC 20:1999	15/07/2022 ONARC
*Densidad	15	NC 156:2002	15/07/2022 ONARC
*Humedad	15	NC 67:2000	15/07/2022 ONARC
Límites de Atterberg	13	NC 58:2000	

*Ensayos acreditados por la Oficina Nacional de Acreditación.

CAPÍTULO III – CARACTERIZACIÓN DEL VIAL “SALAITO”

En este capítulo se aborda lo referente a la identificación a las causas que provocaron el deterioro acelerado del vial Salaito, acceso a la Fábrica de “Cementos Moncada S.A.” a través la información obtenida de los trabajos de campo y laboratorio.

3.1 Litología del área

Según las perforaciones realizadas, se pudieron determinar la presencia de cinco litologías en la zona de estudio de las siguientes litologías.

Hormigón Asfáltico (HA): En ocasiones algo deteriorado con espesor entre 0.08 m y 0.06 m.

Hormigón Hidráulico (HH): Losa de hormigón masivo en buen estado técnico. Con espesor de 0.25 m, aparece en las calas 8 (Est. 30+4.60) y 25 (Est. 116+4.00).

Relleno (R): Grava arcillosa con arena (GC): Grava 50%, pequeñas y angulosas; Arena 28 %, de grano medio a fino; Fino 22%, LL=26 %, IP=8%, de plasticidad baja; consistencia dura; poco húmeda, color amarillo claro, esta capa aparece en todas las calas perforadas con espesores de 0.25 hasta 1.25 m. Es un terraplén tecnificado.

Suelo 1: Arcilla muy plástica arenosa (CH): Fino 65%, LL=57%, IP=33 %, muy plástica; Arena 30%, de grano fino; Grava 5%, pequeñas y angulosas; consistencia media a blanda; húmeda, color gris oscuro a negro, esta capa aparece en las calas perforadas en la zona baja (3, 4, 7, 9, 10 y 11) del trazado y en la cala 26 con espesores de 0.25 m hasta 2.00 m

Roca (Rc): Caliza margosa, severamente intemperizada, muy fragmentada, dura, color amarillo claro. Fue cortada en la mayoría de las calas perforadas (ver perfiles y columnas en Anexo 2).

3.2 Propiedades físico mecánicas

Para la determinación de las propiedades físico mecánicas, se emplearon muestras de suelo y rocas tomadas de los sondeos mecánicos realizados, cuyos resultados se exponen a continuación (Tabla 6):

Tabla 6. Propiedades físico mecánica de los materiales que conforman la estructura terrea de la base y subase del tramo de estudio.

Propiedades	Capa R	Capa 1
Número de golpes/30 cm Nstp	40	22
Límite Líquido (LL) %	26	56
Límite Plástico (LP) %	18	23
Índice de Plasticidad (IP) %	8	33
Índice de Consistencia (Ic) s/d	1.97	1.20
Peso Específico (γ_s) kg/m ³	2.72	2.70
Humedad Natural (Wn) %	10.19	16.32
Densidad Húmeda (γ_t) g/cm ³	2109	1964
Densidad Seca (γ_d) g/cm ³	1913	1689
Índice de Poros (e) s/d	0.42	0.60
Saturación (S) %	66	73
Cohesión (C) kPa	17	30
Angulo de fricción interna (ϕ)°	22	11
Módulo de deformación E ₀ kPa	26000	15000
Módulo de Elasticidad E KPa	35000	22000
Hinchamiento Controlado	-	200 kPa
Coeficiente de Poisson (μ) a/d	0.25	0.35
Grava %	20	6
Arena %	41	30
Finos %	39	64
Clasificación SUCS	GC	CH
Clasificación HRB	A-2-4 ₍₀₎	A-7-6 ₍₂₀₎

Para la capa de suelo de relleno, según el ensayo NSPT clasifica como un suelo muy denso, que presenta una muy alta compacidad, posee una plasticidad baja y un índice de consistencia alto, siendo un suelo arcilloso muy duro. El índice de poros lo clasifica como un suelo compacto que tiene un 66% de saturación, factor que lo vuelve un suelo húmedo. El material se clasifica como grava arcillosa con arena por la norma 59:2000 y la norma de transporte 63:2000 lo clasifica como un suelo A-2-4₍₀₎ el cual presenta un comportamiento de excelente a bueno para ser usado en la construcción de subrasantes.

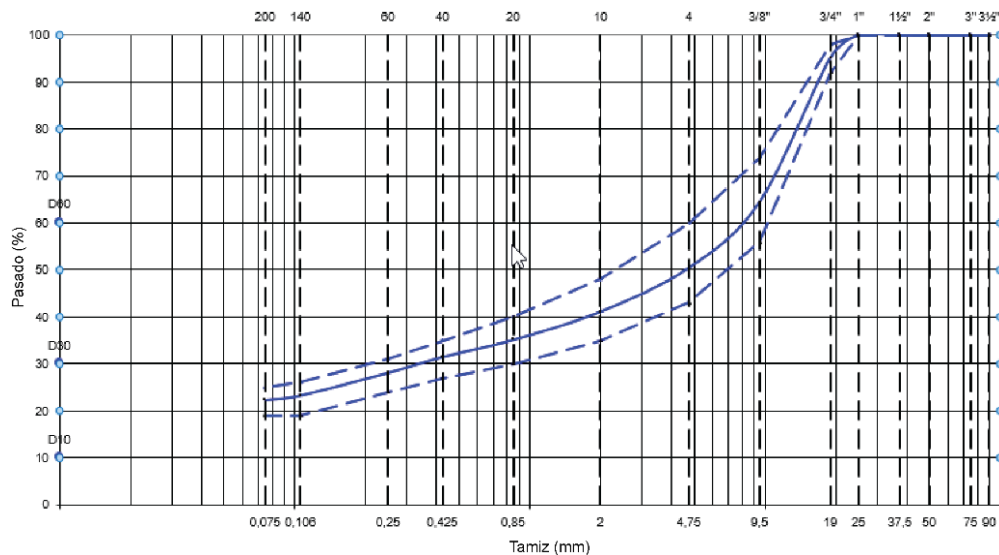


Figura 22. Curva granulométrica de la Capa R.

Por su parte, la capa 1, es una arcilla de alta plasticidad, que por el grado de saturación que presenta se considera húmeda, densa, de alta compacidad y plasticidad, medio compacta y de consistencia muy dura. Para su uso como una capa de subrasante presenta un comportamiento de regular a malo al encontrarse en el subgrupo A-7-6.

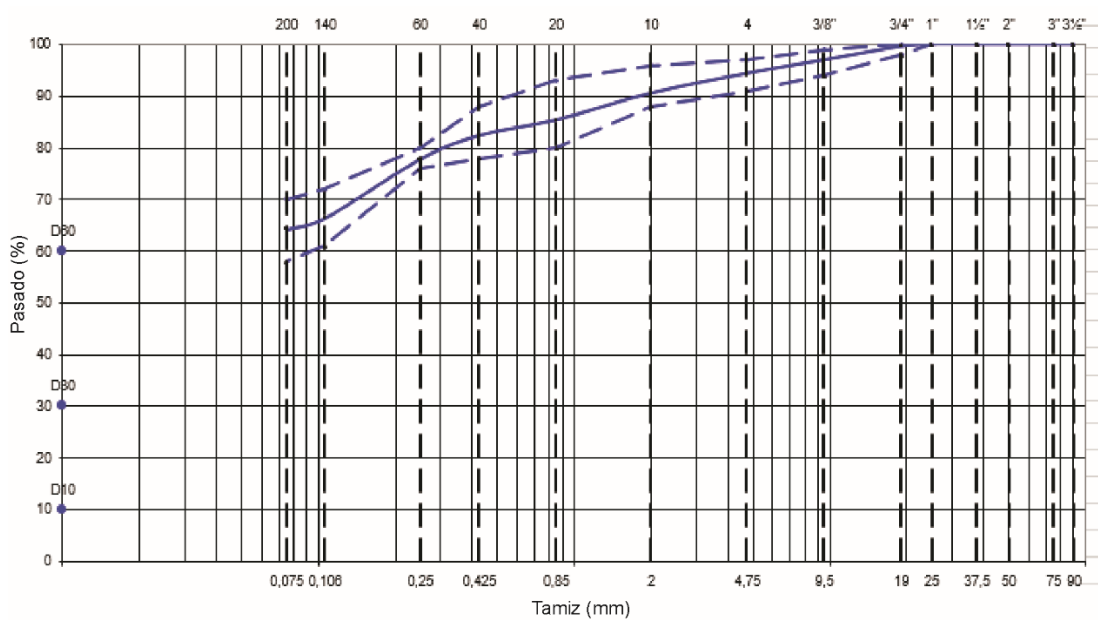


Figura 23. Curva granulométrica Capa 1.

Este subgrupo incluye aquellos materiales que tienen índice de plasticidad alto en relación con el límite líquido y que están sujetos a cambios de volumen extremadamente grandes, lo cual explica el alto valor que presenta el hinchamiento controlado.

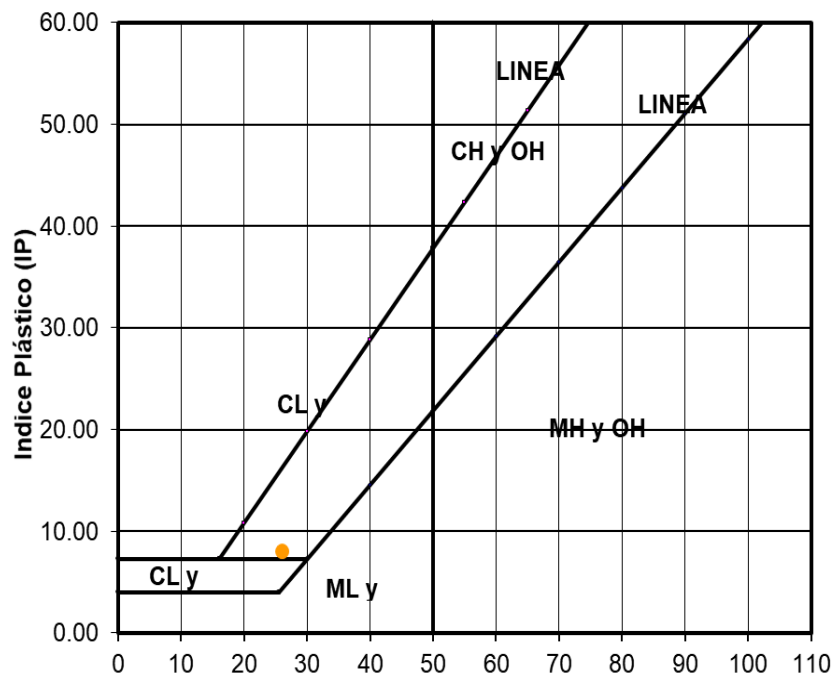


Figura 24. Carta de plasticidad para la capa R.

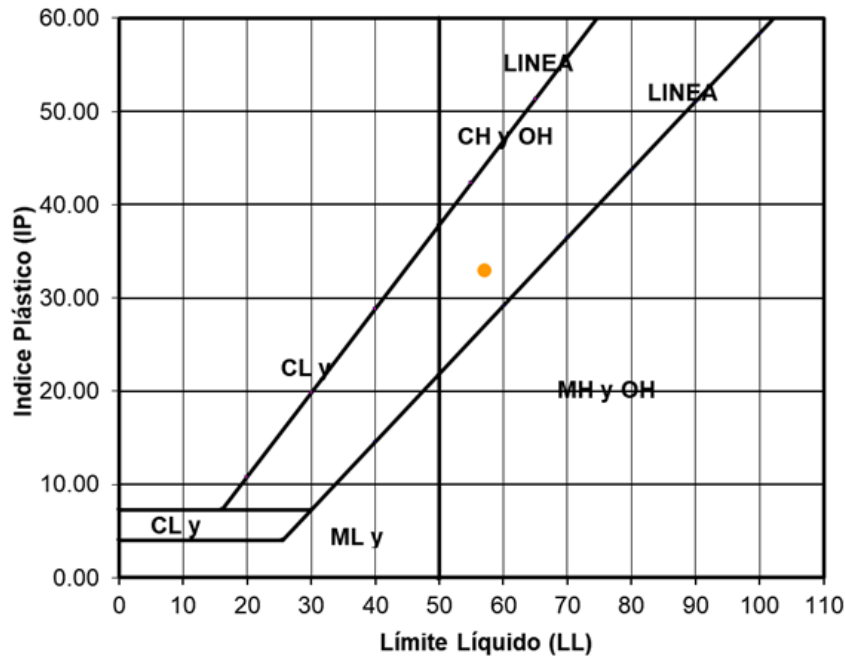


Figura 25. Carta de plasticidad para la Capa 1.

3.3 CBR in situ

Los valores de CBR in situ, fueron tomados sobre la capa de relleno, los resultados oscilan entre el 15% y 54%. Los valores del CBR 1 son los más bajos de todos. Este comportamiento puede deberse a la baja compactación que mostró el terreno, pues se realizó en una zona que presentaba un hundimiento considerable acompañado de piel de cocodrilo. También en esa zona hay presencia del manto freático y una capa de arcilla plástica muy saturada.

Tabla 7. Valores de CBR in situ.

Ensayo	Estacionado	X (m)	Y (m)	Z (m)	Valor (%)
CBR-1	Est: 5+7.36	611998.03	151414.29	37.87	15
CBR-2	Est: 16+8.95	611967.42	151310.06	39.20	53
CBR-3	Est: 26+0.00	611939.37	151220.91	42.37	22
CBR-4	Est: 38+0.00	611912.10	151107.89	47.20	54
CBR-5	Est: 92+9.73	611770.19	150577.11	75.60	24

Los valores de los CBR 2, 3 y 5, si bien se encuentran dentro del rango que alcanzan los materiales que clasifican como A-2-4 por la **NC:63-2000 “Clasificación de suelos para obras de transporte”** (Anexo 2, Figura 28). Estos son un poco bajos en comparación con los CBR de laboratorio que suelen alcanzar el material de la Cantera de “Cementos Moncada S.A.”, lugar de donde provino el material de relleno, los cuales se ubican por encima del 80%. Este factor puede estar propiciado por varios factores, que van desde el mismo método para realizar la prueba en el campo hasta la falta de compactación que se detectó en ciertas zonas.

Los CBR 6 (estacionado 100+8.42) y 7 (estacionado 126+00) no pudieron ser realizados, pues al momento de realizar el ensayo, estas calicatas se encontraban inundadas, dicha agua provenía de las tuberías de acueducto y alcantarillado que cruzan el vial cerca de esos puntos.

3.4 Características actuales de la estructura de pavimento

La perforación arrojó que la capa de rodadura se apoya directamente sobre un terraplén tecnificado de 2.00 m de espesor en promedio, el cual presenta características que lo hacen útil para ser usado como material de subbase, pues a pesar de que el índice de plasticidad se encuentra más elevado de lo exigido por la norma cubana, puede llegar a ser permisible según otras normas internacionales, quedando a consideración de los encargados del proyecto su uso basándose en la factibilidad económica y en el hecho de que en la mayoría del trazado no hay presencia de agua freática.

Sin embargo, los requerimientos establecidos para que un material pueda considerarse como base en un tráfico pesado en condiciones de buen drenaje como el que presenta el vial son más exigentes y la capa en cuestión no cumple con dichos estándares (Tabla 8 y 9).

Tabla 8. Comparación de la capa R para su uso como subbase. Fuente: NC 344:2004.

Parámetros como subbase	NC 344:2004	Capa R	Estado
Límite Líquido (LL)	$\leq 35\%$	26%	Cumple
CBR	80% - 100%	42%	Cumple
Índice de Plasticidad (IP)	≤ 6	8	No Cumple
Equivalente Arena	-	41	Cumple

Tabla 9. Profundidad para no considerar la saturación en carreteras. Fuente: NC 344:2004.

Parámetros para base	NC 344:2004	Capa R	Estado
Límite Líquido (LL)	$\leq 25\%$	26%	No Cumple
CBR	80% - 100%	42%	No Cumple
Índice de Plasticidad (IP)	≤ 6	8	No Cumple
Equivalente Arena	$\geq 50\%$	41	No Cumple

Como se mencionó con anterioridad en la cala tres se detecta la presencia del manto freático a una profundidad de 1.80 m y se detectó que en esa zona el material por el que se compone la subrasante lo constituye una arcilla arenosa, clasificando esa zona como saturada (Tabla 10), obligando a tener en cuenta este factor a la hora de realizar el nuevo diseño de remodelación del vial, pues las condiciones de saturación ya se encuentra afectando las características del terraplén como demostró el CBR 1.

Tabla 10. Profundidad para no considerar la saturación en carreteras. Fuente: NC 344:2004.

Tipo de suelo de Subrasante	Índice de Plasticidad	Profundidad del MF desde la subrasante (m)
Arenas	NP	≥ 1.00
Arcillas Arenosas	≤ 10	≥ 1.5
Arcillas limosas	20-30	≥ 2.5

3.5 Interpretación de los resultados del estudio ingeniero geológico.

1. La estructura de pavimento en el vial el Salaito está compuesta por una capa de hormigón asfáltico de entre 0.08 m y 0.06 m de espesor, losas de hormigón hidráulico (HH) de hasta 0.25 m de espesor que se encontraban presentes solo en algunos tramos, una capa de relleno (R) que aparece en todas las calas con espesores variables de 0.25 m hasta 1.25 m y constituye el terraplén tecnificado, una capa de arcilla muy plástica arenosa de color gris oscuro a negro que suele aparecer en las zonas bajas y roca (Rc) caliza margosa severamente intemperizada, muy fragmentada de color amarillo claro.
2. El terraplén que soporta la capa de rodadura sufrió lesiones importantes al ser sometido a las acciones de montaje y reparación de obras de acueducto y alcantarillado.
3. El terraplén tecnificado que soporta la capa de rodadura no cumple con los requerimientos específicos para esa tarea en un diseño de tráfico pesado.
4. La zona baja (estación 0+00 a la 13+00) debe considerarse como una zona saturada.
5. De forma general, en función de la vulnerabilidad, se evalúa el deterioro del vial El Salaito como moderado.

3.6 Acciones enfocadas a minimizar las posibles afectaciones por causas geotécnicas en el vial “Salaito” de acceso a la fábrica de “Cementos Moncada S.A.”.

Para garantizar una adecuada explotación del vial se propone el siguiente diseño de estructura de pavimento:

1. Una estructura sobre base pétrea basada en el esquema mostrado a continuación pudiendo tener variantes de hormigón asfáltico o losa de hormigón, según se refleja en la norma NC 334: 2004.



Figura 26. Esquema de la estructura del vial según requisitos de la norma NC 334-2004.

2. Considerar soluciones de diseño conforme a la norma NC 334 - 2004 “**Carreteras pavimentos flexibles método de cálculo**”, acorde al índice de CBR alcanzado por la prueba realizada in situ con la utilización de materiales acorde a las exigencias establecidas por el diseño de la estructura del pavimento.
3. Considerar el tramo entre las estaciones 0+00 a la 13+00 como saturado y tener en cuenta este factor a la hora de proyectar las nuevas medidas de restauración del vial.
4. Garantizar una adecuada superficie de rodadura libre de ondulaciones e irregularidades.
5. Evitar los efectos nocivos que se derivan de la concentración del tránsito sobre un mismo carril.
6. Perfilar las pendientes, reparación de cunetas y revisión del estado del drenaje.

7. Limitar la velocidad de circulación por medio de señales de tránsito para evitar deterioros de la vía por frenado bruscos o fatigas por circulación recargada en una misma senda.
8. Realizar obras protectoras para los drenajes que atraviesan el vial con el fin de evitar su rotura por las grandes cargas que sobre ellos circulen.

CONCLUSIONES

1. A nivel nacional e internacional el deterioro de los viales de altas cargas transportadas por causas geotécnicas se debe a la calidad insuficiente de materiales, diseño y construcción, agravado en Cuba por una conservación inadecuada lo que afecta la seguridad y el confort del tránsito de cargas pesadas.
2. Los procedimientos y normas técnicas vigentes para la evaluación del deterioro geotécnico en viales incluyen la revisión de la norma ASTM 03 para la definición de los tipos de deterioro, los cuales se evalúan principalmente mediante inspección visual o a través de ensayos destructivos.
3. Se detectaron 5 litologías principales a partir de los estudios de las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la base y subbase. La primera litología es un **hormigón asfáltico (HA)** que se encuentra en ocasiones algo deteriorado con espesor entre 0.08 y 0.06 m. La segunda litología es el **hormigón hidráulico (HH)** que se encuentra en buen estado técnico con un espesor de 0.25 m. La tercera litología es el **relleno (R)** compuesto por una grava arcillosa con arena (gravas pequeñas y angulosas; arena de grano medio a fino; de plasticidad baja; consistencia dura; poco húmeda y color amarillo claro) presentes en todas las calas perforadas con espesores de 0.25 m hasta 1.25 m (es un terraplén tecnificado). La cuarta litología es el **suelo 1** compuesto por una arcilla muy plástica arenosa (fino muy plástica; arena de grano fino; gravas pequeñas y angulosas; consistencia media a blanda; húmeda y de color gris oscuro a negro) presentes en las calas perforadas en la zona baja del trazado (3, 4, 7, 9, 10 y 11) y en la cala 26 con espesores de 0.25 m hasta 2.00 m. La quinta litología es la **roca (Rc)** compuesta por una caliza margosa severamente intemperizada muy fragmentada, dura y color amarillo claro. Fue cortada solo en todas las calas perforadas, pero se desconoce el espesor de esta hasta la profundidad estudiada (5.00 m).

4. En la capa de rodadura se identificaron diversos deterioros, incluyendo hundimientos, agrietamientos tipo "piel de cocodrilo", parcheo y ahuellamiento, los cuales son indicadores típicos de una base estructural deficiente. Estos problemas se agravaron por la presencia constante de agua debido a roturas en las tuberías del sistema de acueducto y alcantarillado, así como por irregularidades en la secuencia de ejecución de las obras de drenaje y la ausencia de control adecuado en la compactación de los rellenos. Estas condiciones han generado un impacto significativo en la funcionalidad del vial "Salaito", que sirve como vía de acceso a la fábrica "Cementos Moncada S.A."
5. El material empleado en la construcción de la base del pavimento no satisface los requisitos establecidos para dicha función, según lo especificado en la norma NC 334-2004 Carreteras - Pavimentos Flexibles - Método de Cálculo.
6. Se propone un plan de acciones enfocados a minimizar las posibles afectaciones por causas geotécnicas en el vial "Salaito" de acceso a la fábrica de "Cementos Moncada S.A."

RECOMENDACIONES

1. Extender el estudio geotécnico a la totalidad del vial que da acceso a la Fábrica de “Cementos Moncada S.A.” en Santiago de Cuba.
2. Comparar las condiciones geotécnicas del vial “El Salaito” con el vial de la Fábrica de Cemento “José Mercerón” en Santiago de Cuba.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM D 6433-03. (2003). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Conditions index Surveys*. Estados Unidos : American Society for Testing and Material.
- Abdulai, S. I. (2013). Caracterización ingeniero geológica e hidrogeológica de los suelos que constituyen base y sub-base de la carretera Moa-Baracoa tramo Río Jaguaní-Río Toa (Tesis de Ingeniería, Departamento de Geología).
- Adlline, S. S., & Gupta, A. K. (2013). *Pavement deterioration and its causes*. International Jurnal of Innovative Research and Development, 2(4).
- Arocha, R. C. (2019). *Fábrica de Cemento Moncada (Vial Salaito)*. Santiago de Cuba: Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas para la Construcción (INVESCONS).
- Bañón Blázquez, L., & Beviá García, J. F. (2000). Manual de carreteras. Volumen I: Elementos y proyecto. Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, SA.
- Benítez Olmedo, R., & Medina Seguismundo, A. (2004). *Diseño geométrico de carreteras*. La Habana: Soporte Digital.
- Cala Cardero, Y. (2010). *Estudio de los peligros geológicos para la evaluación de la vulnerabilidad del tramo Moa-Río Jaguaní en la carretera Moa-Baracoa*. (Tesis de Ingeniería, Departamento de Geología).
- Chepillo Bahamondes, N. A., y Chepillo Bahamondes, J. A., (2001). *Mejoramiento de Caminos y Accesos Minera Escondida*. (Tesis de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Geográfica).
- COMITRAN, (2001) C.S.D.M.D.T.D.C.A. *Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales*. Guatemala: secretaría de integración económica centroamericana (SIECA).
- Cuspineda, Y. Z. (2019). *Plan de acción para la gestión de alertas agroclimáticas en la cuenca del río San Juan*. Santiago de Cuba : Universidad e Oriente, Facultad de Contrucciones .

- Días García, E. E. (1989). *Ingeniería de Transito Tomo II*. La Habana : Editorial ISPJAE.
- De Huelbes, J. (2013). Léxico Estratigráfico de Cuba (LEC). *Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba. Versión digital*.
- De las Cuevas, J. (2001). «500 años de construcciones en Cuba». Chavín Servicios Gráficos y Editoriales, S.I., Madrid.
- Herrera Herbert, J., (2007). Diseño de Explotaciones de Cantera. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas, Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.21839>.
- Jorge, A. (2009). *Informe final levantamiento topográfico de Bucaramanga*. España.
- Kramer, C., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romana, M. G., & Víctor Sánchez Blanco, M. Á. (1999). *Ingeniería de Carreteras I. 1ª ed. Colección Escuelas*. Madrid: Colegio de Ingenieros de caminos canales y puertos.
- Lezcano Paneque, G. (2015). Cinco décadas desarrollando a Cuba. *Revista Obras. Unión de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba*. Obtenido de Unión de Arquitectos e Ingenieros <http://www.unaicc.cu/biblioteca/revistas/obras/04/Obras.htm>
- McAdam, J. L. (1816). *Remarks on the present system of Road Making; with observations, deduced from practice and experience; With a view to a revision of the existing laws and the introduction of improvement in the method of making, repairing, and preserving roads and defending the roads funds from misapplication*. JM Gutch. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bCRWAAAACAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=McAdam+\(1816\)&ots=cTA2P64AQq&sig=8voPGDVVf9uUwCONpDnUs_TjeMo#v=onepage&q=McAdam%20\(1816\)&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bCRWAAAACAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=McAdam+(1816)&ots=cTA2P64AQq&sig=8voPGDVVf9uUwCONpDnUs_TjeMo#v=onepage&q=McAdam%20(1816)&f=false)
- Mesa Lavista, M. (2017). *Empleo de la Modelación para el diseño de terraplenes altos de carretera*. Villa Clara : Editorial Universitaria.

- Mendoza, A., Abarca, E., Mayoral, E., Quintero, F. (2004). *Recomendaciones de actualización de algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras*, Publicación Técnica No. 244, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=296&IdBoletin=102>
- Milanés Batista, C., Galbán Rodríguez, L., & Olaya Coronado, N. J. (2017). Amenazas, riesgos y desastres: visión teórico metodológica y experiencias reales. <https://www.cent.uo.edu.cu/cemzoc-uo/files/2021/01/AmenazasRiesgosyDesastres-OK.pdf>
- 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.
- 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.
- Trésaguet, P. M. J. (1775). Mémoire sur la construction et l’entretien des chemins de la Généralité de Limoges. In *Annales des Ponts et Chaussées*.
- MINAG, M. D. (2018). *Consulta departamento Reforestación Santiago de Cuba*.
- NC 8 Geotecnia. Determinación del módulo de elasticidad (Módulo de Young) y coeficiente de Poisson en rocas y semi-rocas (1998).
- NC 10 Geotecnia. Preparación de muestras de suelos (1998).
- NC 13 Geotecnia. Método de ensayo de penetración estática en suelos (1998).
- NC 19 Geotecnia. Determinación del peso específico de los suelos (1999).
- NC 20 Geotecnia. Determinación de la granulometría de los suelos (1999).
- NC 54-140 Materiales y productos de la construcción. Suelos. Determinación de la humedad in situ (1986).

NC 54-142 Materiales y productos de la construcción. Suelos. Compactación estática (1985).

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 58 Geotecnia. Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos (2000).

NC 59 Geotecnia. Clasificación geotécnica de los suelos (2000).

NC 60 Geotecnia. Métodos de ensayo para la determinación del peso específico de la masa del suelo in situ (2000).

NC 61 Geotecnia. Identificación y descripción de suelos. Examen visual y ensayos manuales simples (2000).

NC 62 Geotecnia. Determinación de la resistencia a la compresión axial en especímenes de rocas (2000).

NC 63 Geotecnia. Clasificación de suelos para obras de transporte (2000).

NC 67 Geotecnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio (2000).

NC 156 Geotecnia. Determinación del peso específico natural (2002).

NC 157. Determinación del Índice CBR in situ (2002).

NC 158 Geotecnia. Terraplén de prueba (2002).

NC 201 Geotecnia. Control de tendido y verificación del espesor de capa en terraplenes (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 324 Geotecnia. Toma de muestras inalteradas de suelo con muestreadores de paredes finas (2004).

- NC 325 Geotecnia. Determinación de la Resistencia al esfuerzo cortante directo (aparato de caja de corte pequeño) (2004).
- NC 326 Geotecnia. Determinación del peso específico máximo, mínimo y relativo (2004).
- NC 327 Geotecnia. Perforación de calas ingeniero-geológicas (2003).
- NC 328 Geotecnia. Determinación de la resistencia a la tracción de testigos de roca intacta (2004).
- Novela, L. G. (2017). *Procedimiento para la evaluación geotécnica de las obras viales*. Ph.D. dissertation, Tesis en opción al título académico de Máster en Geología. Mención Geotecnia
- Rosa Saavedra, C. R., de la Torre Tabares, P., & Labrador Rumador, A. (Enero-Marzo de 2019). Caracterización ingeniero-geológica de la Carretera Central en el tramo Bayate-Mango Dulce, provincia Artemisa . *INVESCONS Volúmen 3 No.1* , 1-6.
- Salmon Cuspinera, Y. Z. (2019). *Plan de acción para la gestión de alertas agroclimáticas en la cuenca hidrográfica del río San Juan*. Santiago de Cuba : Universidad de Oriente .
- Sánchez, D. C., & Rodríguez, T. J. (2016 - evento de resistencia). Estudio resumen de peligro, Vulnerabilidad y riesgo sísmico para aumentar resiliencia en la ciudad de Santiago de Cuba, Provincia de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba: 19-31.
- Ticona Calizaya, E. A. (2022). *Análisis del estado actual del pavimento flexible utilizando la metodología Pavement Condition Index en la Avenida Internacional, tramo: Avenida Manuel Cuadros-Calle TA622*. Tacna-Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Vásquez Valera, L. R., (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Manizales. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Vidaud-Quintana, I. N., Duharte-González, A., & Yero-Ramírez, E. O. (2019). *Consideraciones para la construcción de carreteras en una zona sísmica. Ciencia en su PC, 1(1), 86-96.*

Wikipedia 2024. Red vial de Cuba. https://es.wikipedia.org/wiki/Red_vial_de_Cuba

ANEXOS

Anexo 1. Lista de las abreviaturas utilizadas

CBR	Índice portante de California
NP	No plástico
IP	Índice de Plasticidad
AASHTO	American Association of State Highway Transportation Oficial
ONARC	Oficina Nacional de Acreditación
Est.	Estacionado

Anexo 2. Tablas y figuras



Figura 27. Máquina perforadora Rolatec 45.

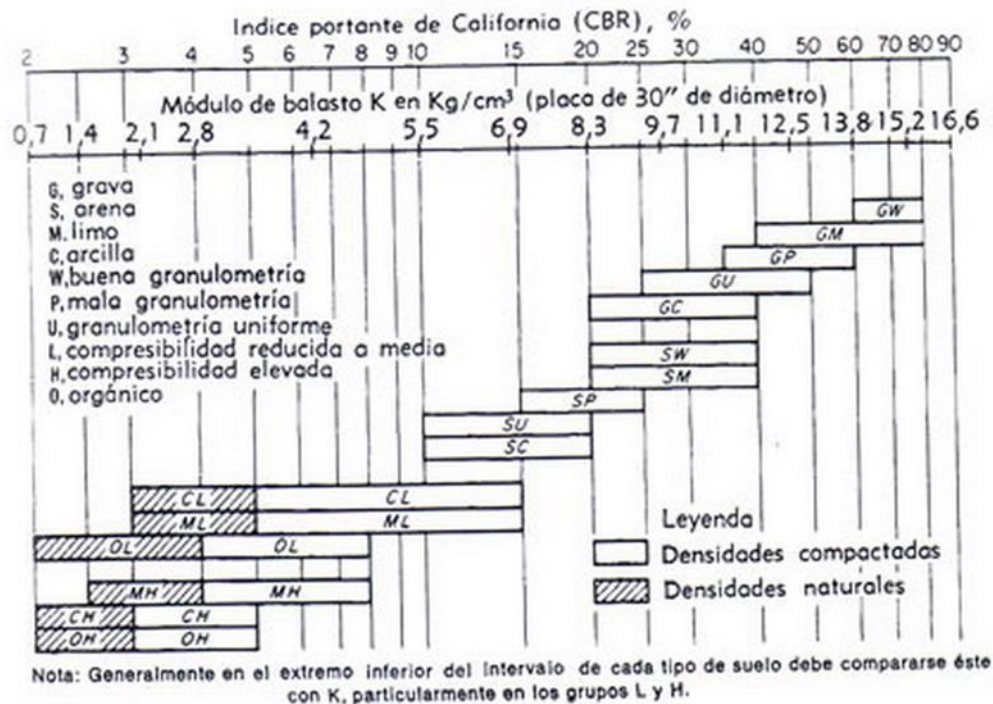


Figura 28. Relación entre composición del terreno y tensión admisible del terreno.

Tabla 11. Ubicación por coordenadas de las calas y calicatas.

Y	X	Z	Cala +CBR	Estación
151418.01	611995.49	37.87	3	5+7.36
151369.9	611983.97	36.66	4	10+4.96
151324.91	611973.19	38.96	5	15+2.48
151266.83	611956.71	40.42	6	21+3.00
151225.91	611945.42	42.13	7	25+5.34
151178.98	611931.69	44.17	8	30+4.60
151131.52	611917.94	46.56	9	35+3.92
151075.12	611903.20	48.62	10	41+2.72
151031.14	611891.24	50.68	11	46+0.00
150986.19	611872.99	52.63	12	50+7.50
150935.06	611863.78	54.81	13	56+0.00
150886.44	611850.30	56.79	14	60+7.20
150845.38	611838.90	58.84	15	64+7.80
150795.29	611824.48	61.71	16	70+0.00
150742.36	611809.64	65.34	17	76+0.00
150693.47	611796.45	68.93	18	80+7.81

150642.93	611783.30	72.5	19	86+0.00
150598.24	611774.08	74.82	20	89+2.81
150547.4	611765.88	76.37	21	96+0.00
150496.71	611761.96	77	22	100+4.82
150448.16	611758.75	76.83	23	106+0.00
150397.26	611756.66	76.28	24	111+0.00
150347.56	611747.87	75.64	25	116+4.00
150291.79	611752.38	74.83	26	122+5.35
150245.71	611743.10	74.19	27	126+0.00
151414.29	611998.03	37.87	CBR 1	5 + 7.36
151310.06	611967.42	39.2	CBR 2	16+8.95
151220.91	611939.37	42.37	CBR 3	26+0.00
151107.89	611912.10	47.2	CBR 4	38+0.00
150577.11	611770.19	75.6	CBR 5	92+9.73
150498.16	611760.93	76.93	CBR 6	100+8.42
150242.66	611742.37	74.11	CBR 7	126+0.00

OBRA: VIAL SALAITO FABRICA
ANEXO No. 4. PERFIL INGENIERO GEOLOGICO ESQUEMATICO I-I'
Escala H: 1: 160 V: 1: 30

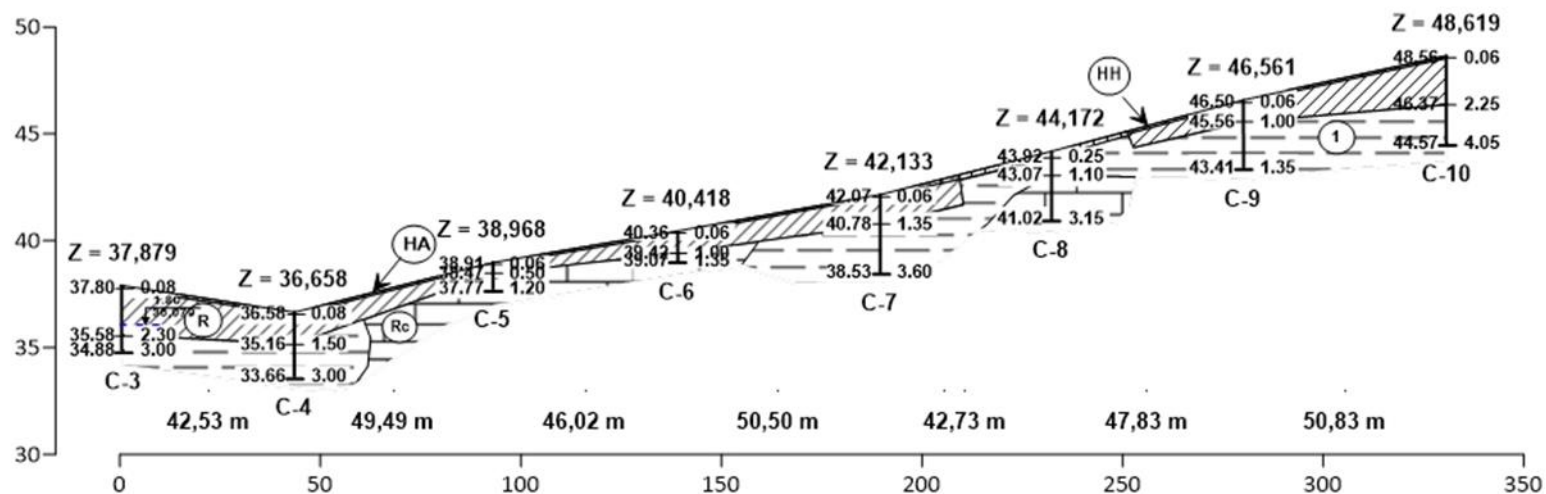


Figura 29. Perfiles Ingeniero geológicos del Vial Salaito I-I'.

OBRA: VIAL SALAITO FABRICA
ANEXO No. 4. PERFIL INGENIERO GEOLOGICO ESQUEMATICO II - II'
Escala H: 1: 200 V: 1: 60

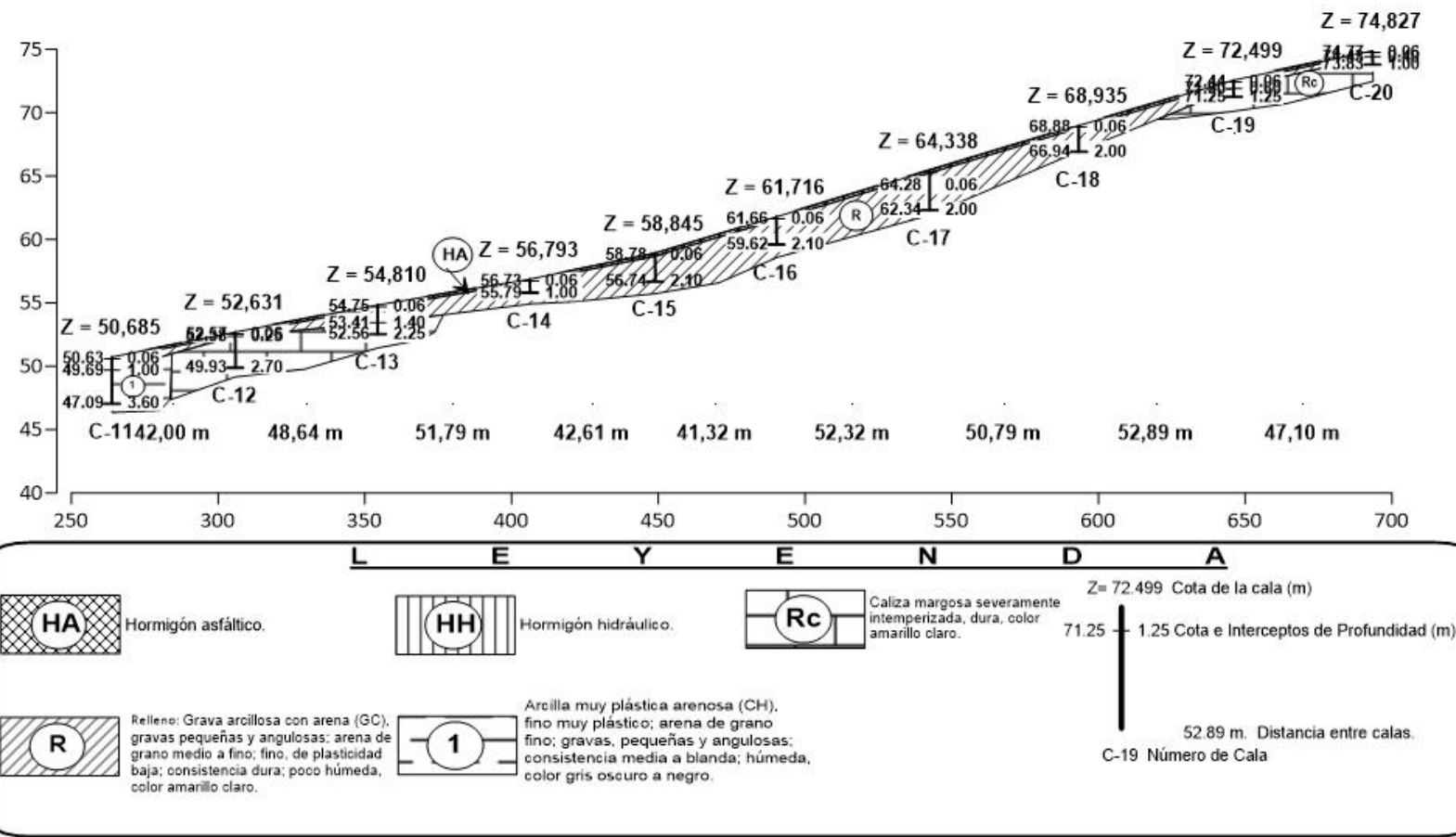
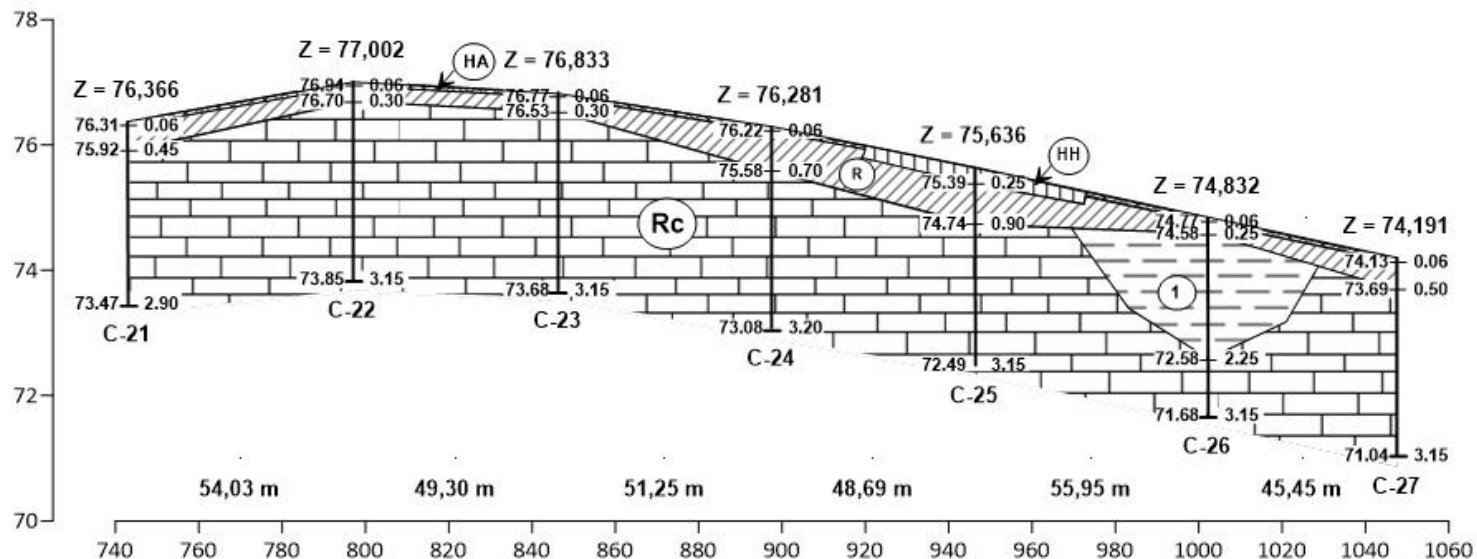


Figura 30. Perfiles Ingeniero geológicos del Vial Salaito II-II'.

OBRA: VIAL SALAITO FABRICA
PERFIL INGENIERO GEOLOGICO ESQUEMATICO III - III'
Escala H: 1: 150 V: 1: 100



L E Y E N D A



Hormigón asfáltico.



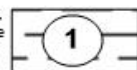
Hormigón hidráulico.



Caliza margosa severamente intemperizada, dura, color amarillo claro.



Relleno: Grava arcillosa con arena (GC), gravas pequeñas y angulosas; arena de grano medio a fino; fino, de plasticidad baja; consistencia dura; poco húmeda, color amarillo claro.



Arcilla muy plástica arenosa (CH), fino muy plástico; arena de grano fino; gravas, pequeñas y angulosas; consistencia media a blanda; húmeda, color gris oscuro a negro.

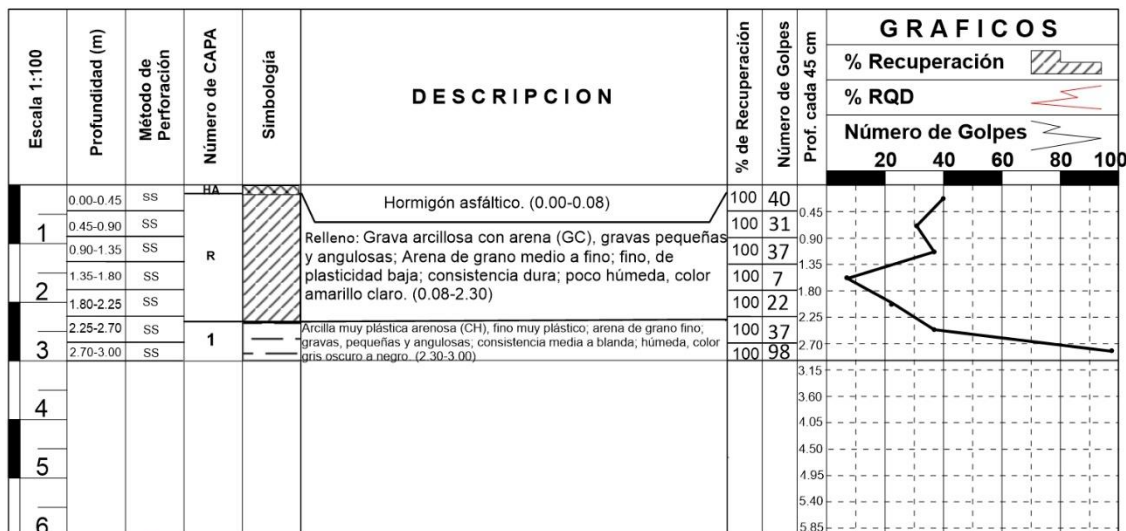
Z= 74.832 Cota de la cala (m)

72.58 - 2.25 Cota e Interceptos de Profundidad (m)

55.95 m. Distancia entre calas.
C-26 Número de Calas

Figura 31. Perfiles Ingeniero geológicos del Vial Salaito III-III'.

OBRA: Vial Salaito Fábrica.		Fecha de perforación: 24/10/22
CALA: 3	COORDENADAS X: 611995.4907 Y: 151418.0101 Z: 37.8785	Prof. del Nivel Freático (m): 1.80
Profundidad Total (m): 3.00		Cota del Nivel Freático (m): 36,06



OBRA: Vial Salaito Fábrica.		Fecha de perforación: 24/10/22
CALA: 4	COORDENADAS X: 611983.972 Y: 151369.904 Z: 36.658	Prof. del Nivel Freático (m): Seco
Profundidad Total (m): 3.00		Cota del Nivel Freático (m): Seco



Figura 32. Columnas litológicas por calas perforadas 3 y 4.



Figura 33. Columnas litológicas por calas perforadas 5 y 6.

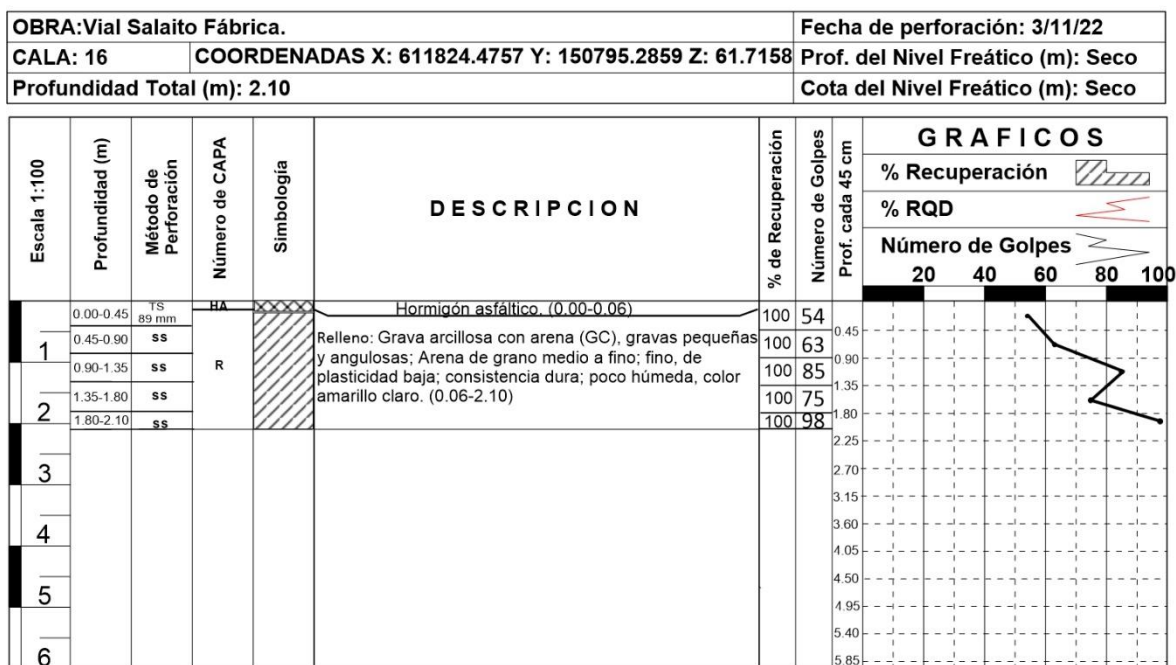


Figura 34. Columnas litológicas por calas perforadas 15 y 16.

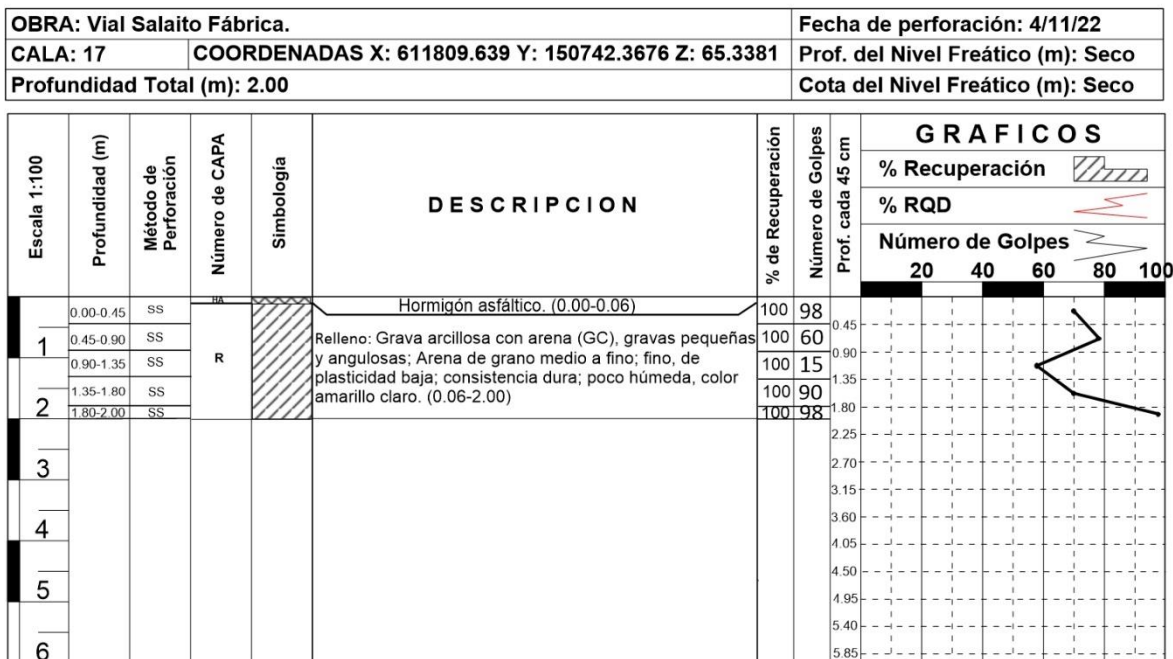


Figura 35. Columnas litológicas por calas perforadas 17 y 18.



Figura 36. Columnas litológicas por calas perforadas 19 y 20.

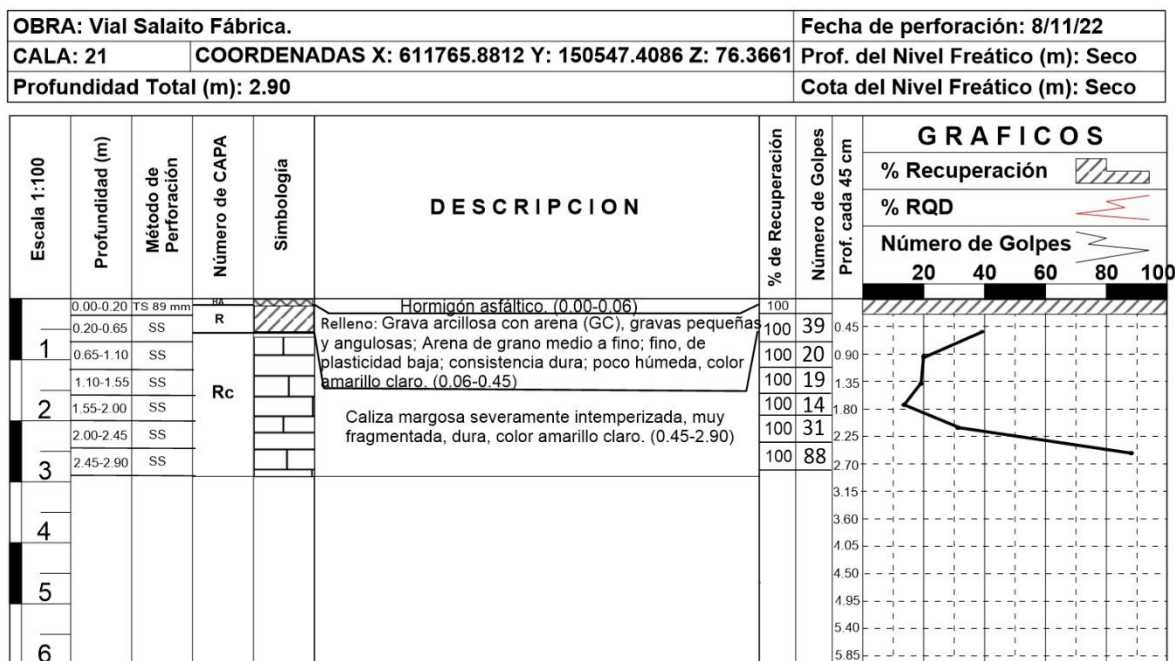


Figura 37. Columnas litológicas por calas perforadas 21 y 22.

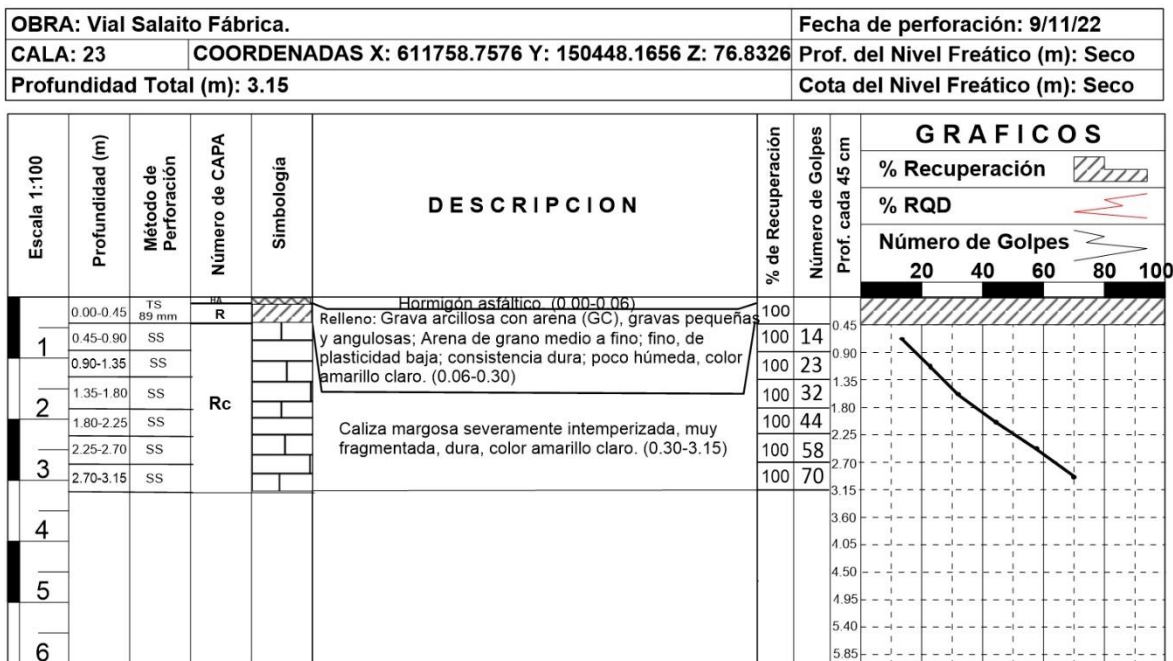


Figura 38. Columnas litológicas por calas perforadas 23 y 24.

Empresa Filial de Investigaciones Aplicadas
Unidad de Investigaciones para la Construcción - Santiago de Cuba
COLUMNA LITOLOGICA



Empresa Filial de Investigaciones Aplicadas
Unidad de Investigaciones para la Construcción - Santiago de Cuba
COLUMNA LITOLOGICA



Figura 39. Columnas litológicas por calas perforadas 26 y 26.

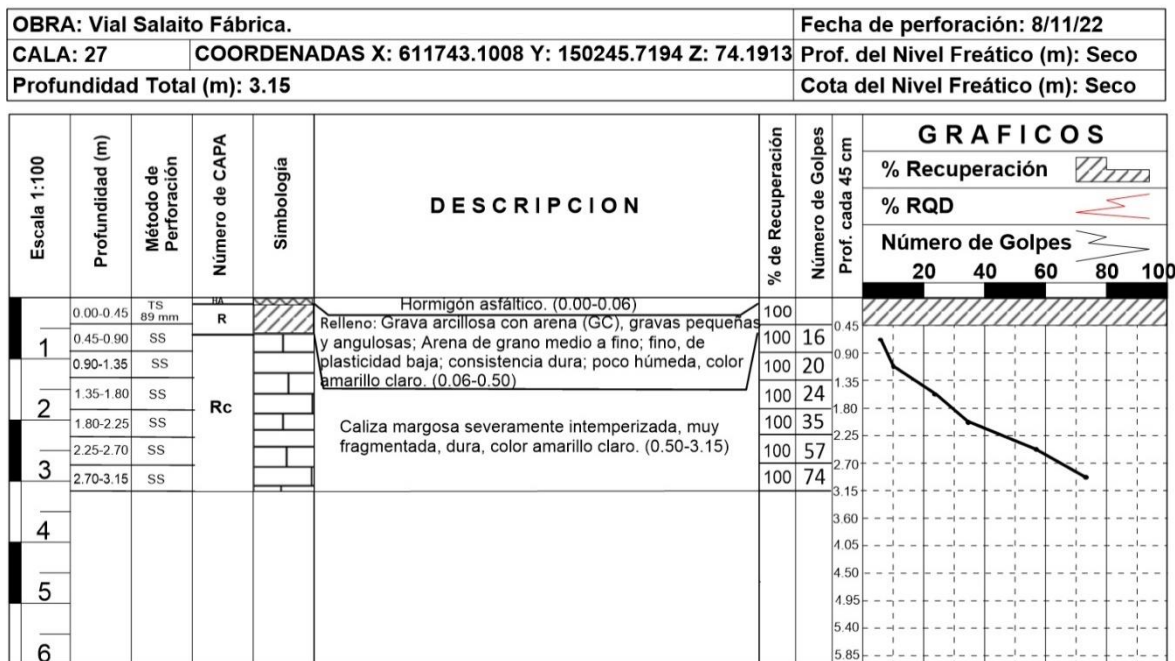


Figura 40. Columnas litológicas por cala perforada 27.

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)	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.425 MM (NO.40)	30 max	50max	51ma	-	-	-	-	-	-	-	-
0.075 MM (NO. 200)	15 max	25max	x	35 max	35 max	35 max	35ma	36min	36	36	36
PLASTICIDAD PASANTES			x								
DEL#40	-		-	40 max	41 min	40 max	41	40	41	40ma	41
LL	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	min	min	min	x	min
IP											
TIPO USUAL DE MATERIAL SIGNIFICATIVO	Frage ntos de roca, grava y arena	Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa					x Suelos limosos	x	min Suelos arcillosos	min
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											

Figura 41. Clasificación AASHTO.

CORRELACIÓN DEL CBR SATURADO CON EL MÓDULO DE REACCIÓN DE LOS TIPOS DE SUELOS Y SU CLASIFICACIÓN

	3	4	5	7	10	15	20	30	40	50	70	90
% CBR Sat												
VALOR SOPORTE (kPa)	70	100			140		180	210		380	420	490
MÓDULO K (kPa)	70	100			140		150	210		380	420	490
FUNDACIÓN	MUY MALA	MALA		REGULAR		BUENA		EXCELENTE				
MATERIAL	Arcilla muy plástica											
CLASIFICACIÓN ARSHO	A7	A6		A4		A2		A1				
CLASIFICACIÓN CASAGRANDE												
CLASIFICACIÓN C.A.A.	E-10	E-9	E-8	E-7	E-6	E-5	E-4	E-3	E-1 y E-2			

NOTA:

- El CBR ha sido calculado para muestras compactadas a densidad máxima y saturadas durante 4 días de inmersión en agua.
- K: Esfuerzo o Módulo de Reacción del suelo saturado.
- ARSHO: Public Roads Administration (Administración de carreteras públicas de los EEUU).
- C.A.A. Civil Aeronautics Administration (Administración de Aeronáutica Civil de los EEUU).

106

Anexo 3. Términos y definiciones

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.

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.

Compacidad: es el estado de densificación o firmeza que tiene el suelo en el terreno. Para suelos granulares se habla de compacidad y existen estados densos medios y sueltos. Para suelos finos se habla de consistencia y pueden ser firmes medios y blandos.

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.

Número de ejes acumulados: cantidad de cargas simples acumuladas en promedio para el periodo de diseño equivalentes a 100 kN como promedio por cada vehículo pesado.

Pavimento: cubierta que se coloca sobre el terreno para facilitar el tránsito de personas y vehículos, formada por una o varias capas de materiales seleccionados capaz de resistir las cargas impuestas por el tránsito y el medio ambiente.

Coeficiente de poisson: es una constante elástica que proporciona una medida de estrechamiento de sección de un prisma de material elástico e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza a las direcciones perpendiculares al estiramiento.

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

Hinchamiento: propiedad que tienen los suelos de aumentar su volumen al contacto con el agua.

Módulo de elasticidad: es una constante elástica que presentan los suelos la cual mide su capacidad de soportar cambios de longitud como los que se producen en los sismos o en las cargas dinámicas como las producidas por el tránsito.

Ángulo de fricción interna: es una medida de la resistencia al deslizamiento entre las partículas de un suelo granular.

Cohesión: cualidad por la cual las partículas de un terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas.

Índice de poros: cociente entre el volumen que ocupan los poros y el volumen que ocupan las partículas sólidas.

Densidad seca: reflejan el peso de las partículas sólidas respecto al volumen que ocupan. $\text{Peso por volumen del suelo}$.

Índice de consistencia: parámetro que indica cuan próximo al comportamiento como semisólido se encuentra el suelo en su estado natural. Varía entre 0 y 1. Valores de 1 indican un comportamiento como semisólido, mientras que valores próximos a 0 indican el desarrollo de las máximas potencialidades plásticas del suelo.

Límite líquido: el contenido de agua en el cual un suelo fino pasa del estado líquido al estado plástico, se determina por el ensayo de límite líquido.

Límite plástico: el contenido de agua en el cual un suelo fino pasa de semisólido a plástico y se determina por el ensayo de límite plástico.

Índice plástico (IP): la diferencia entre el límite líquido y límite plástico de un suelo de grano fino: $IP = LL - LP$.