

Evaluación Ingeniero-geológica del Vial Salaíto, Santiago de Cuba

Geological Engineer Evaluation of the Salaito Road, Santiago de Cuba

Carlos Alberto Matos Pérez paraemail@gmail.com ⁽¹⁾

Líber Galván Rodríguez liberg@outlook.es ⁽²⁾

Rita Delia Safonts González correo.ritadelia@uo.edu.cu ⁽²⁾

⁽¹⁾ Empresa Filiada de Investigaciones Aplicadas, Santiago de Cuba, Cuba

⁽²⁾ Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Mella, Santiago de Cuba, Cuba

Resumen: Se evaluaron las causas geotécnicas del deterioro del vial Salaíto, acceso a la fábrica Cementos Moncada S.A. en Santiago de Cuba, una vía sometida a alto tránsito de cargas pesadas. Se realizó una revisión del estado del arte sobre el deterioro de viales y un análisis específico del vial, incluyendo las propiedades físico-mecánicas de los suelos de base y subbase. Se identificaron cinco litologías principales que contribuyen a problemas como hundimientos y agrietamientos, manifestándose en la capa asfáltica como piel de cocodrilo, hundimientos, grietas longitudinales y transversales, y ahuellamiento. Los resultados proporcionan una base sólida para implementar medidas correctivas y mejoras en el diseño y mantenimiento de la infraestructura vial.

Palabras claves: carretera de alta carga, deterioro vial, terraplén tecnificado

Abstract: The geotechnical causes of deterioration in the Salaito road were evaluated, which provides access to the Cementos Moncada S.A. factory in Santiago de Cuba. This road is subjected to high traffic of heavy loads. A review of the state of the art on road deterioration was conducted, along with a specific analysis of the road, including the physical and mechanical properties of the base and subbase soils. Five main lithologies were identified, contributing to problems such as subsidence and cracking, which are manifested in the asphalt layer as crocodile skin cracking, subsidence, longitudinal and transverse cracks, and rutting. The findings provide a solid basis for implementing corrective measures and improvements in the design and maintenance of road infrastructure.

Key words: High-Load Road, road deterioration, technified embankment

Introducción

Las obras viales son de gran importancia para el desarrollo económico de cualquier país. (Dorado-Zaldívar, 2021; Vásquez Rodríguez, 2022; Huamaní, Rimayhuaman & Tito, 2022; Olaya-Reyes, 2023; Pedraza, Camacho & Porras, 2024). La construcción y el mantenimiento de los viales requieren una atención especial por parte de los gobiernos, a distintos niveles. Una obra vial bien planificada reduce los costos operativos de los vehículos, tiempo de transporte y contaminación del ambiente, lo cual contribuye en un correcto ordenamiento territorial, desarrollo social y económico de una nación (Novela, 2017; Tobar-Insuasty, 2024). La durabilidad de las carreteras queda avalada por el diseño adecuado y el mantenimiento efectivo (Huamán-Cortés *et al.*, 2023).

La presente investigación tuvo como objetivo realizar un estudio ingeniero geológico del vial Salaíto, la carretera de acceso a la Fábrica de Cementos Moncada S.A en Santiago de Cuba. Esta carretera de altas cargas, a pesar de ser de reciente construcción, ha presentado un rápido deterioro que ha afectado su seguridad y estabilidad. Para la realización de dicho estudio se utilizaron técnicas de mapeo geológico, análisis de suelos y rocas, y modelamiento geotécnico para evaluar el estado real de la carretera.

El área de estudio se encuentra ubicada el reparto Abel Santamaría de la provincia de Santiago de Cuba, la traza del vial intercepta la carretera Siboney a 3,37 km al oeste del puente del río San Juan, extendiéndose 1440 m al sur hasta la entrada del barrio residencial identificado como Petrocasas localizado en Micro III (Figura 1).

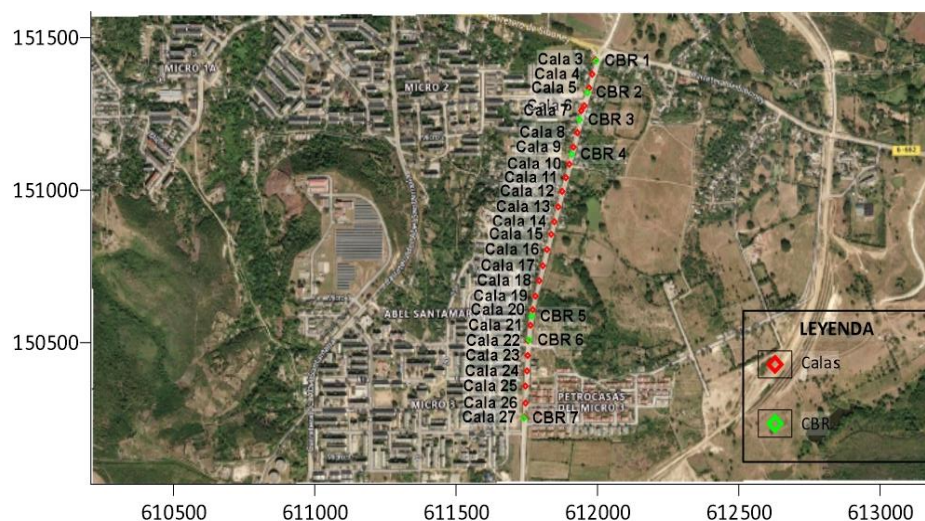


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de los trabajos del vial Salaíto, Santiago de Cuba.

La zona se encuentra en la cuenca del río San Juan, que está conformada por una cuenca superficial y una subterránea, en la cual el principal tributario es el río San Juan que posee un caudal 30.3 hm³. El acumulado histórico de precipitaciones se caracteriza por tener valores entre los 700 hasta los 1 600 mm de precipitaciones (Salmo Cuspinera *et al.*, 2023).

En la zona predominan los Miembros Tejar y Santiago de la Formación la Cruz, presentan alternancias de calizas biodetríticas, a veces limosas o arcillosas, calcarenitas de matriz margosa y subordinadamente margas, conglomerados, areniscas polimícticas y limolitas, con cemento calcáreo, formadas principalmente por volcanitas. En menor proporción, aparecen intercalaciones de arcillas esmectíticas. Coloración gris verdosa a pardusca abigarrada en los horizontes terrígenos y blancuzcos y crema en los carbonáticos. Existen horizontes muy fosilíferos. Las limolitas del borde SE de la bahía de Santiago de Cuba aparecen ligeramente fosfatizadas. Su miembro Quintero yace discordantemente sobre El Cobre (parte indiferenciada) y los cuerpos de granitoides. Esta formación se encuentra discordantemente cubierta por las formaciones Jaimanitas y Río Maya (Instituto de Geología y Paleontología, 2013).

Materiales y métodos

La investigación se dividió en tres etapas:

Etapas preliminar: Revisión bibliográfica de estudios y metodologías para evaluar deterioros en viales. Se analizaron antecedentes históricos de la construcción de carreteras, desde los métodos de Trésaguet (1775), Telford (1821) y McAdam (1816), hasta las normas actuales como las de la AASHTO (2020).

Estudio específico del vial: Se realizó un levantamiento topográfico, un levantamiento ingeniero-geológico del trazado, un análisis hidrogeológico e hidrológico, la identificación de materiales de construcción, y una investigación ingeniero-geológica. Se perforaron 64.35 m con la máquina Rolatec 45 de fabricación española, repartidos en 24 calas de las 27 programadas, por el método de percusión con cuchara Terzagui dividida y limpiador Bx, adicionalmente se ejecutaron 7 calicatas para la toma de muestras y la realización de CBR *in situ*. Se realizaron 77 ensayos de laboratorio divididos entre 17 ensayos de granulometría, 13 límites de Atterberg, 17 pesos específicos de los suelos, 15 densidades y 15 humedades.

Etapa de gabinete: Esta etapa transcurrió de manera simultánea a las demás para garantizar la correcta toma de decisiones durante el proceso investigativo a medida que surgía nueva información sobre las variables analizadas. Se utilizaron las normas cubanas NC 59 (2000), NC 157 (2002) y NC 334 (2004) para determinar los parámetros y variables a estudiar para carreteras de altas cargas.

Resultados y discusión

Levantamiento geológico

El levantamiento geológico arrojó que las principales lesiones observadas en la vía correspondían a huecos, grietas longitudinales y transversales, trabajos de parcheo, hundimientos, desprendimiento de agregados, ahuellamiento, piel de cocodrilo, abultamientos, agrietamientos y exudación (Figura 2 y 3). La mayoría de estas deficiencias se encontraban en zonas donde se habían hecho el emplazamiento de obras de acueducto y alcantarillado posteriores a la construcción del terraplén tecnificado del vial, lo cual provocó que en esas zonas la resistencia de dicho terraplén y su capacidad para lidiar con las aguas se vieran afectadas.



Figura 2. a) y b) c) Huecos. d) Parcheo, hundimiento. e) Parcheo, hueco y grieta transversal en losa de hormigón. f) Vertido de concreto en la vía, desprendimiento de agregados. g) Grietas longitudinales, parche de concreto y hundimiento. h) Piel de cocodrilo y parche.



Figura 3. 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.

Litología del área

Según las perforaciones realizadas, se pudo determinar la presencia de cinco litologías en la zona de estudio:

Hormigón asfáltico (HA): En ocasiones deteriorado con espesor entre 0.08 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.

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.

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 en la Tabla 1.

Tabla 1. 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_f) 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
Coefficiente 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 cubana NC-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.

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.

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.

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 (Tabla 2). 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 2. 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, se encuentran dentro del rango que alcanzan los materiales que clasifican como A-2-4 por la NC-63 (2000).

Los CBR 6 (estacionado 100+8.42) y 7 (estacionado 126+00) no fueron realizados, pues al momento de efectuar el ensayo, estas calicatas se encontraban inundadas de agua proveniente de las tuberías de acueducto y alcantarillado que cruzan el vial.

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 en la mayoría de su trazado son más exigentes y la capa en cuestión no cumple con dichos estándares (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Comparación de la capa R para su uso como subbase (NC 334, 2004)

Parámetros como subbase	NC 344	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 4. Profundidad para no considerar la saturación en carreteras (NC 334, 2004)

Parámetros para base	NC 344	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

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 no saturada (Tabla). A pesar de esto se recomienda considerar esta zona como saturada, pues al momento del estudio existía una gran sequía en la zona, lo cual pudo influir en la altura del nivel freático y como demostró el CBR 1, los altos valores de humedad ya se encuentran afectando las características del terraplén.

Tabla 5. Profundidad para no considerar la saturación en carreteras (NC 334, 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

Conclusiones

La estructura de pavimento en el vial Salaíto 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.

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.

El terraplén tecnificado que soporta la capa de rodadura no cumple con los requerimientos específicos para esa tarea en un diseño de tráfico pesado.

El deterioro del vial Salaíto es resultado de una combinación de materiales inadecuados, alteraciones en la compactación del terraplén y la presencia de agua constante en el mismo.

Referencias bibliográficas

- American Association of State Highway and Transportation Officials *AASHTO*. (2020). *LRFD Bridge design specifications*. AASHTO publications. <https://store.transportation.org/Common/DownloadContentFiles?id=2067&srsId=AfmBOopiSIcN-mC8APIq0a1GUs1QbMx8HXHnrcvESnK2yOeNKF7aL1Mo>
- Dorado-Zaldívar, E. (2021). La gestión vinculada a la construcción de la carretera central en Holguín. *Ciencias de Holguín*, 27(2), 15-27. <https://www.redalyc.org/journal/1815/18155566671002/18155566671002.pdf>
- Huamán Contreras, A. K. Y., Murga Tirado, C. E., Massa Palacios, L. A. & Olivera Chura, A. (2023). Ciclo de vida del pavimento orientado a su agrietamiento y mantenimiento. *Llamkasun*, 4(1), 33-39. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i1.117>

Huamaní, A.J., Rimayhuaman, O.F. & Tito, Z.X. (2022). Influencia del Mantenimiento Vial y Satisfacción del Usuario. *Ciencia Latina*, 6(5).
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3202

Instituto de Geología y Paleontología IGP. (2013). *Léxico estratigráfico de Cuba*. Centro Nacional de Información Geológica. Ministerio de Energía y Minas
<https://www.igp.minen.cu>

McAdam, J. L. (1823). *Remarks on the Present System of Road Making*. Longman, Hurst, Rees, Orme, and Brown. <http://www.gutenberg.org/ebooks/65022>

Novela, L. G. (2017). *Procedimiento para la evaluación geotécnica de las obras viales*. (Tesis de Maestría, Universidad de Moa, Cuba).
<http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1177>

Oficina Nacional de Normalización. (2000). NC 59. *Geotecnia. Clasificación Geotécnica de los suelos*. <https://ftp.isdi.co.cu>

Oficina Nacional de Normalización. (2000). NC 63. *Geotecnia. Clasificación de suelos para obras de transporte*.

Oficina Nacional de Normalización. (2002). NC 157. *Geotecnia. Determinación del Índice CBR in situ*. <https://trid.org/view/966391>

Oficina Nacional de Normalización. (2004). NC 334. *Carreteras-Pavimentos Flexibles-Método de Cálculo*.

Olaya-Reyes, M.R. (2023). Costo de inversión en construcción de carreteras en Perú: un contraste con la Unión Europea. *Revista de Ciencias Sociales*, 29(7), 391-404.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9034446>

Pedraza, G., Camacho, J.A. & Porras, H. (2024). Aproximación al diseño conceptual de la gestión de carreteras inteligentes: una referencia a modelos de participación pública-privada. *Revista UIS Ingenierías*, 23(1), 159-174.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9514683>

Salmo Cuspinera, Y., Concepcion Isaac, E., Zapata Despaigne, L., Vinajera Suarez, V. & Rojas Serrano, Y. (2023). Caracterización climática del área de la Cuenca Hidrográfica

del río San Juan. *Revista Cubana de Meteorología*, 29(1).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2664-08802023000100004

Telford, T. (1821). *Report on the Holyhead Road: Construction Methods and Standards*.
Hause of Commons.

Tobar-Insuasty, C. A. (2024). Impacto de la inversión en infraestructura vial sobre el
crecimiento económico del Departamento de Nariño, Colombia. *Ciencia Latina*, 8(5),
1254-1274. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13550

Trésaguet, P. M. J. (1775). Mémoire sur la construction et l'entretien des chemins de la
Généralité de Limoges. *Annales des Ponts et Chaussées*.

Vásquez Rodríguez, J.A. (2022). El déficit de formulación de la política pública de la
infraestructura vial nacional de 1998. *Infraestructura Vial*, 24(43), 1-12.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9005177>