



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“VIABILIDAD TÉCNICO - ECONÓMICA DE LA ADICIÓN PARCIAL AL 0.05%, AL 0.5% Y AL 1.0% DEL ÓXIDO DE GRAFENO EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE - LIMA SUR 2023.”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Victor Manuel Velasquez Vargas

Asesor:

MBA. Alejandro Vildoso Flores

<https://orcid.org/0000-0003-3998-5671>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

| | | |
|---------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Jurado 1 Presidente(a) | JULIO CHRISTIAN QUESADA LLANTO | 42831273 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

| | | |
|----------|---------------------------------|-----------------|
| Jurado 2 | ALEJANDRO VILDOSO FLORES | 10712728 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

| | | |
|----------|---|-----------------|
| Jurado 3 | WILDER ALEXANDER CALIXTRO CALIXTRO | 06803344 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

INFORME DE SIMILITUD

VIABILIDAD TÉCNICO - ECONÓMICA DE LA ADICIÓN PARCIAL AL 0.05%, AL 0.5% Y AL 1.0% DEL ÓXIDO DE GRAFENO EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE - LIMA SUR 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|---|---------------|
| 1 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | 1% |
| 2 | 1library.co Fuente de Internet | 1% |
| 3 | portal.mtc.gob.pe Fuente de Internet | 1% |
| 4 | alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet | 1% |
| 5 | doku.pub Fuente de Internet | 1% |
| 6 | repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 7 | core.ac.uk Fuente de Internet | <1% |
| 8 | repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet | <1% |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| JURADO EVALUADOR | 2 |
| INFORME DE SIMILITUD | 3 |
| DEDICATORIA | 4 |
| AGRADECIMIENTO | 5 |
| TABLA DE CONTENIDO | 6 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 8 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 10 |
| RESUMEN | 12 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1. Realidad problemática | 13 |
| 1.2. Formulación del problema | 65 |
| 1.2.1 Problema general | 65 |
| 1.2.2 Problemas específicos | 65 |
| 1.3. Objetivos | 68 |
| 1.3.1. Objetivo general | 68 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 68 |
| 1.4. Hipótesis | 69 |
| 1.4.1. Hipótesis general | 69 |
| 1.4.2. Hipótesis específicas | 69 |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA | 71 |
| 2.1. Tipo de investigación | 71 |
| 2.1.1. Tipo | 71 |
| 2.2. Nivel de Investigación | 71 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.4 Enfoque de la Investigación. | 74 |
| 2.3. Operacionalización de variables | 74 |
| 2.4. Población y muestra (Instrumentos, materiales, métodos) | 75 |
| Población | 75 |
| Muestra | 75 |
| Muestreo | 79 |
| Unidad muestral | 79 |
| Técnicas e Instrumentos | 80 |
| Técnica: | 80 |
| Método de análisis de datos: | 81 |
| 2.5. Aspectos éticos | 81 |
| 2.6. Desarrollo de la investigación | 82 |
| | |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS | 124 |
| | |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 145 |
| | |
| Discusión | 145 |
| Conclusiones | 150 |
| | |
| REFERENCIAS | 152 |
| | |
| ANEXOS | 159 |
| | |
| Anexo 1: Matriz de Consistencia | 159 |
| Anexo 2: Certificado de resultados de laboratorios. | 160 |
| Anexo 3: Comprobante de compra de aditivo de óxido de grafeno | 197 |
| Anexo 4: Certificado de laboratorio del óxido de grafeno | 198 |
| Anexo 5: Panel Fotográfico | 199 |
| Anexo 6: Ficha técnica del cemento asfáltico 60/70 - Repsol | 206 |
| Anexo 7: Certificado de calibración de laboratorio de mezclas asfálticas | 208 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1 Resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) para la prueba de seguimiento de ruedas | 74 |
| Tabla 2 Resultados de Rueda de Hamburgo, asfalto modificado con polímeros SBS..... | 76 |
| Tabla 3 Propiedades del óxido de grafeno. | 76 |
| Tabla 4 Requerimientos para los agregados gruesos..... | 77 |
| Tabla 5 Requerimientos para los agregados finos..... | 78 |
| Tabla 6 Requerimientos para usos granulométricos..... | 124 |
| Tabla 7 Norma EG-2000 del MTC - Temperatura media anual. | 125 |
| Tabla 8 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración..... | 128 |
| Tabla 9 Requisitos para mezcla de concreto bituminoso | 129 |
| Tabla 10 Requisitos de adherencia..... | 129 |
| Tabla 11 Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA): | 130 |
| Tabla 12 Operacionalización de variables: | 130 |
| Tabla 13 Cantidad de especímenes para la muestra patrón..... | 133 |
| Tabla 14 Especímenes con incremento de óxido de grafeno para determinar la estabilidad de Marshall..... | 134 |
| Tabla 15 Especímenes con incremento de óxido de grafeno para determinar el flujo de Marshall | 135 |
| Tabla 16 Especímenes con incremento de óxido de grafeno para determinar los vacíos mínimos en el agregado mineral (V.M.A) | 135 |
| Tabla 17 Pesos mínimos de muestra de agregados | 136 |
| Tabla 18 Gradación de las muestras de ensayo, para calcular el método a utilizar | 138 |
| Tabla 19 Tipos de cargas, según la gradación de las muestras | 139 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 20 Tabla de masa según el tamaño nominal | 140 |
| Tabla 21 Cantidad de muestra para realizar el ensayo | 140 |
| Tabla 22 Pesos mínimos de muestra de ensayo para peso específico y absorción | 141 |
| Tabla 23 Propiedades físico - químico del óxido de grafeno en polvo | 142 |
| Tabla 24 Resultado de Cantidades parciales de asfalto y oxido de grafeno en gramo..... | 144 |
| Tabla 25 Desempeño óptimo para la estabilidad en mezclas asfálticas en caliente | 140 |
| Tabla 26 Pruebas de normalidad | 141 |
| Tabla 27 Prueba de homogeneidad de varianzas..... | 142 |
| Tabla 28 Prueba de ANOVA de un factor para la Estabilidad..... | 140 |
| Tabla 29 Prueba de post hoc de Tukey para la Estabilidad..... | 141 |
| Tabla 30 Desempeño óptimo de flujo en mezclas asfálticas en caliente..... | 142 |
| Tabla 31 Pruebas de normalidad | 141 |
| Tabla 32 Prueba de homogeneidad de varianzas..... | 142 |
| Tabla 33 Prueba de ANOVA de un factor para el Flujo | 140 |
| Tabla 34 Prueba de post hoc de Tukey para la Flujo | 141 |
| Tabla 35 Costo de importación del óxido de grafeno en polvo desde China hasta Perú | 141 |
| Tabla 36 Presupuesto de la adición de óxido de grafeno en polvo | 142 |
| Tabla 37 Precio unitario de una carpeta asfáltica en caliente con asfalto 60/70..... | 140 |
| Tabla 38 Precio unitario de una carpeta asfáltica en caliente con asfalto 60/70 y óxido de grafeno al 0.05% | 141 |
| Tabla 39 Precio unitario de una carpeta asfáltica en caliente con asfalto 60/70 y óxido de grafeno al 0.5% | 141 |
| Tabla 40 Análisis de precios unitarios de la Mezcla asfáltica Patrón (MP) con aditivo óxido de grafeno en polvo al 1%..... | 142 |
| Tabla 41 Comparación económica de mezclas asfálticas | 140 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Carga aplicada: 0,1 kPa | 23 |
| Figura 2 carga aplicada: 3,2 kPa | 24 |
| Figura 3 Descripción general de los ensayos mecánicos en términos de ecuaciones y fotografías..... | 26 |
| Figura 4 Porcentajes de artículos sobre nanomateriales en mezclas asfálticas | 29 |
| Figura 5 Propiedades de los nanomateriales | 30 |
| Figura 6 Parámetro de fatiga del asfalto con todos los nanomateriales. | 31 |
| Figura 7 Análisis del costo de las mezclas de hormigón asfáltico nano modificado..... | 32 |
| Figura 8 Procedimiento de ensayo Rueda de Hamburgo. | 38 |
| Figura 9 Procedimiento de ensayo de vida de fatigal | 39 |
| Figura 10 Optimo contenido de asfalto y polímeros vs Ahuellamiento y Fatiga..... | 40 |
| Figura 11 Módulo Dinámico E* en psi. | 43 |
| Figura 12 Partículas de óxido de grafeno..... | 48 |
| Figura 13 El modelo de estructura del GO..... | 49 |
| Figura 14 Presentación esquemática de la fabricación de GO a partir del grafito. | 50 |
| Figura 15 Estructura del pavimento flexible | 63 |
| Figura 16 Diagrama variable de respuesta | 73 |
| Figura 17 Esquema de diseño de ingeniería..... | 74 |
| Figura 18 Dimensiones de una muestra de briqueta. | 81 |
| Figura 19 Cantera Dorita – Ate - Lima. | 84 |
| Figura 20 Asfalto 60/70. | 84 |

| | |
|--|-----|
| Figura 21 óxido de grafeno en polvo | 85 |
| Figura 22 Ensayo granulométrico | 88 |
| Figura 23 Agregados gruesos pasantes, listo para realizar el ensayo de Durabilidad..... | 91 |
| Figura 24 Agregados gruesos antes del ensayo..... | 93 |
| Figura 25 Agregados gruesos después del ensayo | 94 |
| Figura 26 Ensayo de Adherencia con cemento asfáltico 60/70 | 95 |
| Figura 27 Realizando la selección de las partículas chatas y alargadas..... | 96 |
| Figura 28 Muestra de una sola cara fracturada que es de 0.3% | 98 |
| Figura 29 Ensayo de sales solubles de agregados finos..... | 101 |
| Figura 30 Proceso de saturación del agregado grueso | 104 |
| Figura 31 Material fino para el ensayo de absorción | 107 |
| Figura 32 Ensayo de equivalente de arena..... | 109 |
| Figura 33 Aparato para medir la angularidad del agregado fino | 110 |
| Figura 34 Aparición del halo azul..... | 112 |
| Figura 35 peso al 0.05% del OG | 115 |
| Figura 36 muestras en % de OG. | 115 |
| Figura 37 Mezclado del OG con el cemento asfáltico, utilizando un Dremel a 4000rpm.... | 115 |
| Figura 38 Muestra modificada con OG, se mezcla con los agregados pétreos..... | 116 |
| Figura 39 Procedimiento de compactación de las briquetas. | 117 |
| Figura 40 El total de briquetas al 0%, al 0.05%, al 0.5% y al 1.0% de OG..... | 118 |
| Figura 41 Briquetas sumergidas en baño maría por 30 minutos..... | 118 |
| Figura 42 Espécimen al 1% de OG, ensayado en el Equipo Marshall..... | 119 |
| Figura 43 En total se ensayaron 60 especímenes en la máquina de Marshall..... | 120 |
| Figura 44 Proceso de adición parcial del óxido de grafeno en polvo | 126 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo determinar la viabilidad técnico - económica de la adición parcial al 0.05%, al 0.5% y al 1% del óxido de grafeno en diferentes concentraciones para mezclas asfálticas 60/70 en caliente frente a la mezcla asfáltica convencional 60/70. Para la realización de esta investigación se utilizó la misma cantidad de agregado fino y agregado grueso según la norma peruanas del manual de carreteras del MTC. El tipo de investigación es aplicada, con un enfoque cuantitativo, el diseño de investigación es cuasi experimental, la población y la muestra coinciden en descripción como en cantidad y son las 15 muestras patrón y las 45 muestras modificadas con óxido de grafeno que en total son 60 briquetas. El procedimiento de las actividades son los siguientes: primero la obtención de materiales para el laboratorio, luego se realizó los ensayos por el método de Marshall respetando la norma del MTC E-504, para determinar la estabilidad y flujo, finalmente realizar un análisis comparativo de costos para determinar la viabilidad económica del óxido de grafeno con el cemento asfáltico 60/70. Se concluye que la utilización de una mezcla asfáltica modificada con óxido de grafeno en concentraciones de 0.05%, 0.5% y 1% por cada porcentaje de adición de cemento asfáltico, nos ofrecerá un mejor comportamiento en las propiedades fisicoquímica y mecánicas comparado con la mezcla convencional 60/70. Con la finalidad de mejorar el desempeño del pavimento flexible y por consiguiente alargando su vida útil.

PALABRAS CLAVES: Óxido de grafeno, mezclas asfálticas, cemento asfáltico 60/70, estabilidad y flujo de Marshall.

NOTA

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto**, por determinación de los propios autores amparados en el Texto Integrado del Reglamento RENATI, artículo 12.

REFERENCIAS

- Adnan, A. M., Luo, X., Lü, C., Wang, J., & Huang, Z. (2020). Improving mechanics behavior of hot mix asphalt using graphene-oxide. *Construction and Building Materials*, 254, 119261. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119261>
- Adnan, A. M., Luo, X., Lü, C., Wang, J., & Huang, Z. (2022). Physical properties of graphene-oxide modified asphalt and performance analysis of its mixtures using response surface methodology. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(5), 1378–1392. Scopus. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1804061>
- Anwar, A., Liu, X., & Zhang, L. (2023). Nano-cementitious composites modified with Graphene Oxide – a review. *Thin-Walled Structures*, 183, 110326. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.110326>
- Candia Ponce, D. G., & Ccorahua Quispe, V. L. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL*. [Universidad Andina del Cusco]. https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/4087/Daysi_Vladimir_Tesis_bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cardone, F., Spadoni, S., Ferrotti, G., & Canestrari, F. (2022). Asphalt mixture modification with a plastomeric compound containing recycled plastic: Laboratory and field investigation. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 55(3). Scopus. <https://doi.org/10.1617/s11527-022-01954-4>

- Carneiro, L., De Paula, J., & Ludvig, P. (2020). O USO DE ÓXIDO DE GRAFENO PARA REPARAÇÃO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO. *MEMORIAS CONPAT 2019*, 13. <https://doi.org/10.21041/CONPAT2019/V3REC316>
- Cubas Castro, D. F. (2019). *Resistencia mecánica de un material para afirmado incorporando caucho en diferentes porcentajes (60.8)* [Tesis de pregrado en Ingeniería Civil]. Universidad Privada del Norte.
- Debbarma, K., Debnath, B., & Sarkar, P. P. (2022). A comprehensive review on the usage of nanomaterials in asphalt mixes. *Construction and Building Materials*, 361, 129634. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129634>
- EG-2013. (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013. (2013). Ministerio de Transportes y Comunicaciones: Vol. I.* [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf)
- Eisa, M. S., Mohamady, A., Basiouny, M. E., Abdulhamid, A., & Kim, J. R. (2022). Mechanical properties of asphalt concrete modified with carbon nanotubes (CNTs). *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00930. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00930>
- Guerrero Chumacero, L. J., & Prado Cardenas, F. L. (2022). *Comparación en laboratorio de las propiedades mecánicas y la resistencia a la humedad de una mezcla asfáltica con caucho y una mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia.* [Ingeniero Civil]. Universidad de Piura.

- Guo, R., Tang, J., Gu, J., Guo, G., & Feng, X. (2022). Analysis on the road performance of graphene composite rubber asphalt and its mixture. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01664. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01664>
- Han, M., Muhammad, Y., Wei, Y., Zhu, Z., Huang, J., & Li, J. (2021). A review on the development and application of graphene-based materials for the fabrication of modified asphalt and cement. *Construction and Building Materials*, 285, 122885. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122885>
- He, J., Hu, W., Xiao, R., Wang, Y., Polaczyk, P., & Huang, B. (2022). A review on Graphene/GNPs/GO modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 330, 127222. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127222>
- Hernández Sampieri, R. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (Sexta Edición). McGRAW-HILL. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Methodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Li, S., Xu, W., Zhang, F., Wu, H., & Zhao, P. (2022). Effect of Graphene Oxide on the Low-Temperature Crack Resistance of Polyurethane–SBS-Modified Asphalt and Asphalt Mixtures. *Polymers*, 14(3). Scopus. <https://doi.org/10.3390/polym14030453>
- Lin, M., Wang, Z. L., Yang, P. W., & Li, P. (2019). Micro-structure and rheological properties of graphene oxide rubber asphalt. *Nanotechnology Reviews*, 8(1), 227–235. Scopus. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2019-0021>
- Liu, K., Zhang, K., & Shi, X. (2018). Performance evaluation and modification mechanism analysis of asphalt binders modified by graphene oxide. *Construction and Building Materials*, 163, 880–889. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.171>

- Liu, Z., Gu, X., Dong, X., Cui, B., & Hu, D. (2023). Mechanism and performance of graphene modified asphalt: An experimental approach combined with molecular dynamic simulations. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01749. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01749>
- Luis Reyna, J. J., & Silva Terrones, D. A. (2022). Escoria de acero y su influencia en las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas en caliente. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96522>
- Maheshwari, U., Varshney, D., Deshpande, D., & Ghodke, S. (2022). Development and Utilizing Graphene Oxide for the Wastewater Treatment: An Experimental Evaluation. *Materials Today: Proceedings*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.086>
- Minaya Gonzales, S., & Ordoñez Huamán, A. (2006). *DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS. (ICG) (SEGUNDA EDICION)*. ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia. www.construccion.org.pe
- Minaya Gonzales, S., & Ordoñez Huamán, A. (2019). SUPERPAVE Y EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS. *Instituto de Investigaciones-UNI*, 203.
- MTC E: (2016). *Manual Ensayo de Materiales*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- Peralta Barrera, R. V. (2023). *Estudio de las propiedades del óxido de grafeno y derivados obtenidos a partir de nanotubos de carbono para matrices de electrodos en baterías electroquímicas*. [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/3395>

- Ponce Quispe, A. J. (2021). Aplicación de fibras de vidrio en el diseño de mezcla asfáltica en caliente para rehabilitar pavimentos flexibles en Juliaca, 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75823>
- Prado Cabello, L. F., & Vigil Rojas, G. J. (2020). Análisis del diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada con aditivo RICOT Z 3000 para zonas de altura. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54861>
- Quispe Torres, G. (2022). *Desempeño óptimo de una mezcla asfáltica en caliente modificada con Polímero Styrene Butadiene Styrene (9)* [Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5601>
- Reyes Bazán, J. H. (2022). *Análisis de Propiedades de Mezclas Asfálticas en Caliente con adición de Aceite de Soya de acuerdo las Normas MTC – 2022 (1)* [UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO]. pdf.
- Russo, F., Eskandarsefat, S., Venturini, L., & Viscione, N. (2022). A complete study on an asphalt concrete modified with graphene and recycled hard-plastics: A case study. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01437. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01437>
- Russo, F., Veropalumbo, R., & Oreto, C. (2023). Climate change mitigation investigating asphalt pavement solutions made up of plastomeric compounds. *Resources, Conservation and Recycling*, 189, 106772. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106772>
- Santos Vizarreta, D. K., & Estrada Gutierrez, C. E. (2022). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice*

respecto a una mezcla asfáltica betutec pg 70-28.

<http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/5006>

- Sharifi, S., Ebrahimian-Hosseiniabadi, M., Dini, G., & Toghyani, S. (2023). Magnesium-zinc-graphene oxide nanocomposite scaffolds for bone tissue engineering. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(6), 104715. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104715>
- Singh, B. B., Mohanty, F., Das, S. S., & Swain, S. K. (2020). Graphene sandwiched crumb rubber dispersed hot mix asphalt. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(5), 652–667. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.02.003>
- Su, Z., Muhammad, Y., Sahibzada, M., Li, J., Meng, F., Wei, Y., Zhao, Z., & Zhang, L. (2019). Preparation and properties of aminated graphene fiber incorporated modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 229, 116836. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116836>
- Villa Roque, P. (2022). *INCIDENCIA DE LA MINERALOGÍA DE LOS AGREGADOS EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE* [Pre grado ingeniería Civil, Universidad Peruana los Andes]. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/4552>
- Wang, Y., Polaczyk, P., He, J., Lu, H., Xiao, R., & Huang, B. (2022). Dispersion, compatibility, and rheological properties of graphene-modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 350, 128886. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128886>
- Yong, P., Tang, J., Zhou, F., Guo, R., Yan, J., & Yang, T. (2022). Performance analysis of graphene modified asphalt and pavement performance of SMA mixture. *PLoS ONE*, 17(5 May). Scopus. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267225>

Yu, R., Wang, Q., Wang, W., Xiao, Y., Wang, Z., Zhou, X., Zhang, X., Zhu, X., & Fang, C.

(2021). Polyurethane/graphene oxide nanocomposite and its modified asphalt binder: Preparation, properties and molecular dynamics simulation. *Materials & Design*, 209, 109994. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109994>

Zhu, J., Zhang, K., Liu, K., & Shi, X. (2019). Performance of hot and warm mix asphalt mixtures enhanced by nano-sized graphene oxide. *Construction and Building Materials*, 217, 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.054>