



FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

Evaluación en la aplicación de material compuesto alternativo en la fabricación en impresión
FFF del Retrovisor Nissan Sentra B13 (2013).

Realizado por: José

Daniel Mera Acosta

Director del proyecto:

Phd. Diana Peralta

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

QUITO, 8 de Marzo 2026

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, José Daniel Mera Acosta, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 1754721155, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Daniel Mera Acosta', written over a horizontal line.

José Daniel Mera Acosta

C.I.:1754721155

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los

Trabajos de Titulación.

Phd. Diana Peralta

LOS PROFESORES INFORMANTES:

Phd. JAIME MOLINA

Phd. GABRIELA MANCHENO

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

Ing. JAIME MOLINA

Ing. GABRIELA MANCHENO

Quito, 8 de marzo de 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jose Daniel Mera Acosta', is centered on the page. The signature is written in a cursive style with several loops and a long horizontal stroke at the bottom.

JOSE DANIEL MERA ACOSTA

C.I.: 1754721155

Agradecimientos

El autor agradece a la Universidad Internacional SEK y a la Facultad de Arquitectura e Ingenierías por el apoyo institucional brindado para el desarrollo de este trabajo. Asimismo, agradece al proyecto de investigación institucional asociado Universidad Internacional SEK, (FABRICACIÓN INTELIGENTE DE PIEZAS DE AUTOMOCIÓN CON MATERIALES COMPUESTOS Y TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN 3D PARA EL MERCADO ECUATORIANO) DII-P021819 cuyo respaldo permitió el acceso a él filamento técnico, la capacitación y certificación del curso de HYPERMESH. Finalmente, se expresa un agradecimiento a la directora del proyecto, PhD. Diana Peralta, por la orientación académica durante todas las etapas del estudio.

Resumen

El presente proyecto de investigación se dedicó a la determinación de la viabilidad del PolyMide CoPA al constituir un material alternativo a utilizar en la impresión 3D por FFF para la fabricación del prototipo de retrovisor en cuanto a las pruebas mecánicas y estructurales, así como estudiar el efecto de diferentes tipos de relleno sobre los resultados del comportamiento mecánico y estructural. Los resultados de los ensayos de tracción evidenciaron que la configuración de relleno concéntrico alcanzó un comportamiento global muy bueno, alcanzando los mayores valores y menor variabilidad de esfuerzo a la rotura (26,22 MPa) y carga a la rotura (540,01 N), y también se observó que esta configuración de relleno presentaba el mayor módulo de elasticidad (1357,06 MPa), por el contrario, el patrón de relleno rejilla fue el que mostró los valores más bajos y corría con una alta dispersión. A su vez, la simulación realizada en la herramienta Altair SimSolid con un valor de carga de 50N puso de manifiesto que el modelo en PolyMide CoPA disminuía el desplazamiento crítico de 1,265 mm frente a los 2,091 mm del ABS, lo que representaba aproximadamente una reducción del 40 % en la deformación del material, lo que incrementaba la estabilidad del conjunto y disminuía la probabilidad de afectar la condición funcional del retrovisor.

Palabras clave: Retrovisor automotriz, patrón de relleno, impresión 3D FFF.

Abstract

This research project focused on determining the viability of PolyMide™ CoPA as an alternative material for use in FFF 3D printing for the manufacture of a rearview mirror prototype, specifically in terms of mechanical and structural testing. The project also studied the effect of different infill patterns on mechanical and structural behavior. The tensile test results showed that the concentric infill configuration achieved very good overall performance, reaching the highest values and lowest variability in tensile strength (26.22 MPa) and tensile load (540.01 N). This infill configuration also exhibited the highest modulus of elasticity (1357.06 MPa). Conversely, the grid infill pattern showed the lowest values and exhibited high dispersion. In turn, the simulation carried out in the Altair SimSolid tool with a load value of 50N showed that the model in PolyMide™ CoPA reduced the critical displacement of 1.265 mm compared to 2.091 mm for ABS, which represented approximately a 40% reduction in material deformation, increasing the stability of the assembly and decreasing the probability of affecting the functional condition of the rearview mirror.

Keywords: Automotive rearview mirror, infill pattern, FFF 3D printing

Se recomienda la ejecución de una validación experimental del prototipo mediante el control del desplazamiento real con la aplicación de carga a 50N y del uso de dispositivos de medida adecuados para comparar el comportamiento físico con el numérico y mejorar el modelo.

Referencias Bibliográficas

1. Afrose, M. F., Masood, S. H., Iovenitti, P., Nikzad, M., & Sbarski, I. (2016). Effects of build orientation on fatigue behaviour of FDM processed parts. *Rapid Prototyping Journal*, 22(3), 526–535. <https://doi.org/10.1108/RPJ-05-2014-0053>
2. ASTM International. (2014). ASTM D638-14: Standard test method for tensile properties of plastics. <https://www.astm.org/Standards/D638.htm>
3. ASTM International. (2016). ASTM D6267-16: Standard guide for composite materials for automotive applications. <https://doi.org/10.1520/D6267-16>
4. Cárdenas, A., Reyes, M., & Paredes, D. (2023). Análisis experimental del esfuerzo a tracción en materiales PLA, ABS y TPU impresos en 3D según ASTM D638-14. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 24(4), 156–167. <https://reviberpol.org/wpcontent/uploads/2023/12/2023-24-4-156-167-1.pdf>
5. Ding, L., Zou, B., Wang, K., & Ding, S. (2019). Investigation of the mechanical properties of 3D printed carbon fiber reinforced polymers. *Composites Part B: Engineering*, 174, 106956. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106956>
6. Frascio, M., Zafferani, A., Monti, M., & Avalle, M. (2024). Investigating enhanced interfacial adhesion in multi-material filament 3D printing. *Progress in Additive Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s40964-024-00570-8>

7. Gebisa, A. W., & Lemu, H. G. (2018). Investigating effects of FDM process parameters on compressive properties of ULTEM 9085. *Procedia Manufacturing*, 30, 745–752. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.104>
8. Goh, G. D., Agarwala, S., Goh, G. L., Dikshit, V., Sing, S. L., & Yeong, W. Y. (2017). Recent advances in 3D printing of lightweight and cellular structures. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 28, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2020.01.006>
9. Hedjazi, L., Belhabib, S., Stephant, N., Durand, S., & Guessasma, S. (2023). Effects of microstructural arrangement on the mechanical behavior of 3D printed polyamide. *Symmetry*, 15(10), 2119. <https://doi.org/10.3390/sym15102119>
10. Ichakpa, M., et al. (2023). Mechanical and thermal properties of 3D-printed polyamide 6, graphene oxide and glass-fibre-reinforced composites. *Journal of Composites Science*, 7(6), 227. <https://doi.org/10.3390/jcs7060227>
11. Kumar, S., & Kruth, J. P. (2010). Composites by rapid prototyping technology. *Materials & Design*, 31(2), 850–856. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.07.011>
12. Llanes-Cedeño, E. A., Peralta-Zurita, D., Pucha Tambo, M., & Rocha-Hoyos, J. C. (2019). Caracterización mecánica a flexión de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3D. *Ingenius*, (22), 100–112. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2019000200100
13. Martínez, J. A., & Rodríguez, M. L. (2020). Avances en la fabricación de componentes automotrices mediante impresión 3D. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Automotriz*, 34(2), 45–60. <https://www.revlatinaingauto.com/articulo/avancesimpr3d>

14. Mendes, L. A., Silva, F. J., & Silva, E. (2017). FDM materials and mechanical properties. *Procedia Manufacturing*, 12, 353–358. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.08.045>
15. Polymaker. (2018). PolyMide™ CoPA Technical Data Sheet. <https://polymaker.com/product/polymide-copa/>
16. Popescu, D., Zapciu, A., Amza, C., Baciu, F., & Marinescu, R. (2018). FDM process parameters influence on the mechanical properties of 3D printed parts. *Rapid Prototyping Journal*, 24(3), 505–513. <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2016-0151>
17. Rankouhi, B., Javadpour, S., Delfanian, F., & Letcher, T. (2016). Failure analysis and mechanical characterization of 3D printed ABS with FDM process. *Polymer Testing*, 60, 296–306. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.04.002>
18. Rosero Obando, F. A., Tapia Gudiño, F. E., & Garzón Pérez, L. A. (2019). Análisis del consumo de combustible por efecto de la selección del tren motriz en los taxis de Ibarra, Ecuador. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 8(22). <https://www.researchgate.net/publication/336604458>
19. Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286–1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>
20. Smith, A., Thompson, B., & Patel, D. (2021). PolySmooth Polymaker for functional and aesthetic parts in 3D printing. *International Journal of Additive Manufacturing*, 8(1), 12–19.
21. Sood, A. K., Ohdar, R. K., & Mahapatra, S. S. (2010). Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. *Materials & Design*, 31(1), 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.06.016>

22. Wang, S., Liu, W., & Zhang, J. (2021). Optimization of automotive component design using additive manufacturing: A case study on rearview mirrors. *Computers in Industry*, 123, 103297. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103297>
23. ZwickRoell. (2025). Ensayo de flexión en 3 puntos ASTM D790 para plásticos rígidos y semirrígidos. <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticosymateriales-termoendurecibles/ensayo-de-flexion-en-3-puntos-astm-d790/>
24. Agrawal, A. P., Karmakar, S., & Sarma, S. S. (2023). An investigation of combined effect of infill pattern, density and localized reinforcement on tensile & impact strength of FDM PLA. *Heliyon*, 9(4), e15046. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15046>
25. Derise, M. R., & Zulkharnain, A. (2020). Effect of infill pattern and density on tensile properties of 3D printed polylactic acid parts via fused deposition modeling (FDM). *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 20(2), 54–63.
26. D’Errico, G., Di Schino, A., & Ciardiello, R. (2022). A review of automotive spare-part reconstruction based on additive manufacturing. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(6), 133. <https://doi.org/10.3390/jmmp6060133>
27. Hassine, S. B. H., Boujelbene, M., & Salah, M. B. (2024). Experimental study of the tensile behavior of structures obtained by FDM 3D printing process. *Polymers*, 16(11), 1562. <https://doi.org/10.3390/polym16111562>
28. Ichakpa, M., Lin, L., Zhang, Z., Li, S., & Lu, H. (2023). Investigation on mechanical and thermal properties of 3D-printed PA6, PA6/GO and PA6/GF under dry, wet and hightemperature conditions. *Journal of Composites Science*, 7(6), 227. <https://doi.org/10.3390/jcs7060227>

29. Polymaker. (2020). *PolyMide™ CoPA – Product information sheet*. Polymaker.
30. Daly, M., Tarfaoui, M., Bouali, M., & Bendarma, A. (2024). Effects of infill density and pattern on the tensile mechanical behavior of 3D-printed glycolized polyethylene terephthalate reinforced with carbon-fiber composites by the FDM process. *Journal of Composites Science*, 8(4), 115. <https://doi.org/10.3390/jcs8040115>
31. Jafor, M. A., Sayah, N., Smith, D. E., Stano, G., & Fleck, T. J. (2024). Systematic evaluation of adhesion and fracture toughness in multi-material fused deposition material extrusion. *Materials*, 17(16), 3953. <https://doi.org/10.3390/ma17163953>
32. King, R. (2019, April 9). SimSolid “Real World” Validation Manual for Stress Accuracy. Altair. https://altair.co.kr/docs/default-source/resource-library/simsolid-real-world-validationmanual.pdf?sfvrsn=750e0cd0_1
33. Jafor, M. A., Sayah, N., Smith, D. E., Stano, G., Fleck, T. J., & colaboradores. (2024). Systematic Evaluation of Adhesion and Fracture Toughness in Multi-Material Fused Deposition Material Extrusion. *Materials (Basel)*, 17(16), 3953. <https://doi.org/10.3390/ma17163953>
34. Nguyen, T. T., Tran, V. T., Pham, T. H. N., Nguyen, V.-T., Thanh, N. C., Thi, H. M. N., Duy, N. V. A., Thanh, D. N., & Nguyen, V. T. T. (2023). Influences of Material Selection, Infill Ratio, and Layer Height in the 3D Printing Cavity Process on the Surface Roughness of Printed Patterns and Casted Products in Investment Casting. *Micromachines*, 14(2), 395. <https://doi.org/10.3390/mi14020395>
35. Rabbi, M. F., & Chalivendra, V. (2021). Interfacial fracture characterization of multimaterial additively manufactured polymer composites (PLA/Nylon; influencia de parámetros de impresión).
36. United Nations Economic Commission for Europe. (2009/2013). UN Regulation No. 46 – Devices for indirect vision.

37. Tamayo y Tamayo, M. (2013). El proceso de la investigación científica (5.ª ed.). Editorial Limusa.
38. McIlroy, C., & Olmsted, P. D. (2017). Disentanglement effects on welding behavior of polymer melts during fused-filament fabrication. *Polymer*, 123, 376–391. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.07.007>
39. Unterweger, C., Brüggemann, O., & Fürst, C. (2014). Synthetic fibers in additive manufacturing of polymer composites. *Polymers for Advanced Technologies*, 25(9), 1030–1036. <https://doi.org/10.1002/pat.3303>
40. Fang, G., Li, Y., Zhang, H., & Wang, X. (2023). Continuous fiber reinforced composites in additive manufacturing: A review. *Composites Part B: Engineering*, 249, 110380. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.110380>
41. Wagmare, P., Kulkarni, A., & Deshmukh, S. (2024). Mechanical performance of fiberreinforced filaments for fused filament fabrication: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 28, 1450–1465. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.12.045>
42. Ahmadifar, M., Therriault, D., & Brailovski, V. (2021). Additive manufacturing of polymermatrix composites: A review of material extrusion technologies. *Journal of Composite Materials*, 55(27), 3865–3892. <https://doi.org/10.1177/00219983211024574>
43. Fico, D., Rizzo, A., Casavola, C., & Moramarco, V. (2022). A review of polymer composite materials for additive manufacturing. *Polymers*, 14(6), 1107. <https://doi.org/10.3390/polym14061107>