

Información General			
Facultad: Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías			
Programa académico: Ingeniería Eléctrica		Grupo(s) de investigación: Grupo de investigación de energías GIE	
Nombre del semillero – Siglas Alternativas de Generación de Energía AGE		Fecha creación:	
		Campus: Bucaramanga	
Líneas de Investigación: Almacenamiento Energético. Control, protección y mantenimiento de sistemas de potencia eléctrica. Smart Grids. Generación con energías renovables.			
Áreas del saber *			
	1. Agronomía veterinaria y afines		5. Ciencias sociales y humanas
	2. Bellas artes		6. Economía, administración, contaduría y afines
	3. Ciencias de la educación		7. Matemáticas y ciencias naturales
	4. Ciencias de la salud	X	8. Ingenierías, arquitectura, urbanismo y afines

Al diligenciar este documento autorizo a UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER, ubicada en Calle de los estudiantes 9-82 Ciudadela Real de Minas y con teléfono de contacto 6076917700, para que recolecte, almacene, use, circule y/o suprima mis datos personales. Lo anterior para dar cumplimiento a las finalidades incorporadas en la Política de Tratamiento de Información disponible en www.uts.edu.co, la cual declaro conocer y saber que en esta se especifican cuáles datos son sensibles. Así mismo, conozco que como titular me asisten los derechos a conocer, actualizar, rectificar y suprimir mis datos y revocar la autorización. Igualmente declaro que poseo autorización, de los otros titulares de datos que suministro, para que UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER les dé tratamiento conforme a las finalidades consignadas en la Política.

Información del Director del Proyecto

Nombre: Fabio Alfonso González		No. de identificación: 91.478.573	
Nivel de formación académica (Pregrado / Postgrado / Link de CvLAC): Ingeniero Electricista/ Magister en Potencia Eléctrica/ https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000335924		X	Asesor
			Líder de Semillero de Investigación
Correo electrónico: fagonzalez@correo.uts.edu.co			

Información de los autores

Nombre	No. Identificación	Correo electrónico
Santiago Cancino Rodríguez	1.005.289.924	scancinor@uts.edu.co

Proyecto

1. Título del proyecto: Uso de nano-partículas en Aceites de transformadores de potencia para mejorar sus propiedades dieléctricas, térmicas y vida útil.	MODALIDAD DEL PROYECTO **				
	PA	PI	TI	RE	Otra. ¿Cuál?
			X		
	Fecha creación del proyecto:				10/03/2025

<p>2. Planteamiento de la problemática: Los transformadores de potencia son de vital importancia en la industria eléctrica, permiten regular los voltajes en diferentes etapas del sistema energético; son usados en plantas generadoras, transmisión, en subestaciones para regular y distribuir energía. Debido a esto, es necesario garantizar las condiciones óptimas de operación para prevenir y prolongar su vida útil.</p> <p>Una de las partes implicadas para el funcionamiento de estos equipos, es el sistema de aislamiento y refrigeración, por lo cual, se busca la mejora del mismo (Arifianto & Cahyono, 2009) , y donde comúnmente se emplean aceites minerales, aceites vegetales (Azli et al., 2019) y otro tipo de aceites (Rouabeh et al., 2019). La degradación del aislante es inevitable debido a la influencia de factores como la temperatura, la humedad y el oxígeno (Poliakov et al., 2024) , además de fallas operativas que pueden acelerar el deterioro (Thiviyathan et al., 2022)</p> <p>En la búsqueda de mitigar estos efectos y mejorar la eficiencia y confiabilidad de los transformadores, se ha explorado la incorporación de aditivos en los aceites dieléctricos (Karthik et al., 2014) o su mejora mediante la mezcla de otros aceites (Senthilkumar et al., 2021). Entre estos aditivos, las nano-hojuelas de grafeno decoradas con algún tipo de nano-partículas (RAMÓN RAYGOZA, 2014)y el Mxene (Jamshidi et al., 2024) han demostrado mejoras en las propiedades dieléctricas y térmicas de los aceites aislantes. No obstante, aún existe una brecha de conocimiento sobre la estabilidad, compatibilidad y efectos a largo plazo de estas nano-partículas en transformadores en operación. (Kadim et al., 2023). En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo influye la adición de nano-partículas en las propiedades dieléctricas, térmicas y en la vida útil del aceite en transformadores de potencia?</p>
<p>3. Antecedentes: La investigación sobre su efecto en la rigidez dieléctrica, la conductividad térmica y la estabilidad química del aceite (Walvekar et al., 2021) permite desarrollar estrategias para reducir las fallas y mantener la vida útil de los transformadores.</p> <p>El uso de nano-partículas es una alternativa para mejorar las condiciones de los aceites debido a sus propiedades (Khan et al., 2019); algunas de las usadas son los óxidos metálicos, tales como el Óxido de Aluminio (Mansour & Elsaed, 2014), Oxido de Zinc (Muangpratoom et al., 2018), dióxido de titanio (Du et al., 2010) y sílice (Rafiq et al., 2016) ha demostrado mejoras en la conductividad térmica y la disipación de calor, retrasando la degradación del aceite; esto quiere decir que ofrece mayor confiabilidad del sistema eléctrico, y una reducción en la necesidad de reemplazar el aceite dieléctrico, promoviendo la sostenibilidad ambiental (Chronis et al., 2024).</p>
<p>4. Justificación: La importancia de la adición de nano-partículas en la composición química (KOZLOV & KURAKINA, 2024)de los aceites dieléctricos es fundamental para mejorar la eficiencia y confiabilidad de los sistemas eléctricos (Karatas & Bicen, 2022).</p> <p>Desde la perspectiva de avance tecnológico, esta investigación permite validar la viabilidad de estas nano-partículas en condiciones reales de operación, mejorando en gran medida la industria eléctrica. Por otro lado, ayuda a la reducción de costos que estén asociados a los mantenimientos correctivos y de falla en los equipos; además fortalece, las líneas de investigación de las UTS, especialmente en el Grupo de Investigación en Energía (GIE) y en el semillero AGE, promoviendo y aportando material para próximos estudios (UTS, 2024).</p>
<p>5. Marcos referenciales:</p> <p>Tensión de ruptura (Breakdown Voltage / Dielectric Breakdown Strength)</p> <p>Es la capacidad de los aceites de tolerar un campo eléctrico antes de llegar a perder sus propiedades aislantes; las nanopartículas mejoran estas propiedades al actuar como trampas de electrones, llegando a dispersar las cargas libres y reduciendo la probabilidad de ionización en el aceite.</p> <p>Estabilidad a la oxidación</p> <p>Los aceites dieléctricos deben resistir la oxidación para prevenir la formación de ácidos y lodos, las nanopartículas ayudan a reducir la velocidad de oxidación debido a que disipan el calor de manera mas eficiente y reduce el envejecimiento térmico del aceite</p> <p>Dispersión de cargas</p> <p>Es un principio electro-físico en el cual, algunas partículas con alta permitividad dispersan las líneas de campo eléctrico, reduciendo en gran medida los gradientes locales, previniendo las descargas parciales, lo cual también es importante para la integridad dieléctrica del fluido</p>

<p>Estabilidad del nanofluido</p> <p>Es la capacidad del sistema nanopartícula–aceite que permite la homogeneización sin sedimentación, lo que garantiza que las propiedades de mejora se mantengan y duren por mucho tiempo o la vida útil operativa del fluido.</p> <p>TiO₂ (Dióxido de titanio)</p> <p>Nanopartícula semiconductor con alta permitividad, la cual actúa como trampa de electrones, incrementando la tensión de ruptura, así mismo también tiene buena estabilidad térmica y es resistente a la oxidación.</p> <p>Fe₃O₄ (Magnetita)</p> <p>Nanopartícula magnética usada en ferrofluidos, la que mejora la conductividad térmica y ayuda a disminuir la magnitud de las descargas parciales, por otro lado, puede ser funcionalizada para mayor estabilidad.</p> <p>SiO₂ y ZnO</p> <p>Nanopartículas dieléctricas comunes, económicas y de alta disponibilidad, por un lado el SiO₂ mejora la resistencia al arco eléctrico y el ZnO aporta conductividad térmica y absorción de energía transitoria. Ambas son químicamente estables.</p>
<p>6. Objetivo general y objetivos específicos:</p> <p>Caracterizar las propiedades de los aceites de transformadores de potencia y las nano-partículas con mayor posibilidad de mejorar su eficiencia dieléctrica, termina y vida útil</p> <p>Identificar las desventajas de las nano-partículas al incorporarse en los aceites de transformadores de potencia considerando su impacto en el rendimiento y degradación del fluido</p> <p>Proponer una estructura experimental para estudiar el comportamiento del aceite de transformador con el uso de nano-partículas, utilizando los equipos disponibles en el laboratorio de AT de las UTS.</p>
<p>7. Metodología:</p> <p>Este proyecto es de tipo documental y propositivo, con un enfoque exploratorio-descriptivo, el cual se orienta principalmente al levantamiento de información y análisis de la misma sobre el uso de las nanopartículas en el aceite de transformadores para lograr mejorar las propiedades dieléctricas, térmicas y su vida útil; el proyecto de basa en las diferentes fuentes de información que estén relacionados con nanofluidos en sistemas eléctricos, de esta forma organizar los datos en función del tipo de nanopartícula, concentración, método de aplicación y resultados reexportados. Este análisis sirve como base para diseños en futuras pruebas experimentales y protocolos de validación técnica</p> <p>El proyecto no incluye: Uso o manejo de recurso vivo, agentes o muestras biológicas. Datos personales, entrevistas o encuestas. Representación de algún riesgo sobre la vida, el ambiente o los derechos humanos. Y se garantizará el cumplimiento de los principios de beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia y sus respectivos.</p>
<p>8. Avances realizados:</p> <p>La literatura existente abarca innumerables experimentos acerca de estas nanopartículas, ofreciendo alguna idea de lo que se espera en la aplicación en un caso real; se puede mencionar que algunas de las ventajas más importantes es la mejorar de la tensión de ruptura, siendo TiO₂ y Fe₃O₄ incrementan el voltaje de ruptura hasta un 33% y 15% respectivamente, al igual que Fe-Cu y otras combinaciones metálicas mejorar las condiciones en ciertas concentraciones. De igual manera, existen mejoras térmicas, la mejora de la conductividad térmica en al menos un 14.5% sin alterar la viscosidad, el enfriamiento real de los transformadores bajo pruebas por efectos termo-magnéticos causados por Fe₂O₃ y también la dispersión y comportamiento dieléctrico en bajas concentraciones de TiO₂ y SiO. Además, se redujeron las descargas parciales debido al uso de ferrofluidos basados en magnetita, aumentando la PDIV.</p> <p>Sin embargo, existen también algunas desventajas como la estabilidad coloidal limitada, ya que muchas NPs suelen sedimentarse, perdiendo efectividad; también se debe tener presente la concentración optima, ya que existen rasgos efectivos, por ejemplo de 200 ppm o 500 ppm para TiO₂ y Fe₂O₃, si se superan los valores, pueden llegar a generar puentes conductivos, reduciendo la tensión de ruptura. Además, en el caso de CuO o ZnO, arrojan en ocasiones resultados inestables debido al tamaño o forma de dispersión. Algo a mencionar es que algunos estudios no se</p>

encontraron mejoras en ningún aspecto mencionado, y por otro lado, existe un impacto ambiental incierto, debido a que aún no se sabe con claridad acerca de la toxicidad o degradación de ciertas nanopartículas a largo plazo.

9. Resultados esperados:

La mezcla de pequeñas partículas en aceites de transformadores puede subir muy mucho la tensión de ruptura dieléctrica y la capacidad de conducir el calor, lo que significa una mejor función y larga vida de estos equipos. Por ejemplo, se ha visto que partículas como TiO_2 pueden subir el voltaje de ruptura hasta un 33%, y las de Fe_3O_4 hasta el 15%. Estos cambios son muy importantes para asegurar que el sistema eléctrico funcione bien.

El uso de pequeños fluidos en el aislamiento y el enfriamiento de transformadores también puede bajar los costos de mantenimiento y evitar fallas. Al hacer mejor la estabilidad química y de temperatura del aceite, se reducen las necesidades de recambio y por esto, los gastos en mantenimientos imprevistos.

Sin embargo, aunque las nanopartículas tienen ventajas interesantes, debemos estar atentos a algunas limitaciones, como la inestabilidad coloidal y posibles daños al medio ambiente que no se han revisado por completo. Por eso, es muy importante hacer más estudios para saber cómo afectan estas nanopartículas nuestro entorno y hallar las cantidades mejores que garantizan sus beneficios sin producir problemas.

10. Cronograma:

Caracterizar las propiedades de los aceites de transformadores de potencia - 5 semanas

Identificar las desventajas de las nano-partículas al incorporarse en los aceites de transformadores de potencia - 5 semanas

Proponer una estructura experimental para estudiar el comportamiento del aceite de transformador - 6 semanas

11. Bibliografía:

Arifianto, I., & Cahyono, B. (2009). Power transformer cooling system optimization. Proceedings of the IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials. <https://doi.org/10.1109/ICPADM.2009.5252508>

Azli, S. A., Hezri Fazalul Rahiman, M., Yusoff, Z. M., Fadzilah Razali, N., Abd Wahid, S. S., & Sufian Ramli, M. (2019). A Review on Alternative Oils as Dielectric Insulating Fluids on Power Transformer. 2019 IEEE 15th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), 198–201. <https://doi.org/10.1109/CSPA.2019.8695983>

Chronis, I., Tang, C., & Psomopoulos, C. S. (2024). An improved approach for the evaluation of the environmental impact of nano-modified insulating oils in electrical transformers. IET Nanodielectrics. <https://doi.org/10.1049/NDE2.12089>

Du, Y. F., Lv, Y. Z., Wang, F. C., Li, X. X., & Li, C. R. (2010). Effect of TiO_2 nanoparticles on the breakdown strength of transformer oil. Conference Record of IEEE International Symposium on Electrical Insulation. <https://doi.org/10.1109/ELINSL.2010.5549772>

Jamshidi, A., Hajilary, N., & Hajilari, M. (2024). Insight into the investigation of applying MXene nanoparticles to enhance the properties of transformer oil. Nano-Structures & Nano-Objects, 37, 101078. <https://doi.org/10.1016/J.NANOSO.2023.101078>

Kadim, E. J., Noorden, Z. A., Adzis, Z., & Azis, N. (2023). Nanoparticle Effects on the Electrical and Thermal Performance of the Transformer Mineral Oil. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 30(5), 1932–1940. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2023.3285851>

Karatas, M., & Bicen, Y. (2022). Nanoparticles for next-generation transformer insulating fluids: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 167, 112645. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2022.112645>

Karthik, R., Cavallini, A., & Azcarraga, C. G. (2014). Investigations on the effect of nanoparticles in mineral oil. 2014 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP 2014, 695–698. <https://doi.org/10.1109/CEIDP.2014.6995885>

Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. Arabian Journal of Chemistry, 12(7), 908–931. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2017.05.011>

KOZLOV, V. K., & KURAKINA, O. E. (2024). INFLUENCE OF TRANSFORMER OIL CHEMICAL COMPOSITION ON ITS TECHNICAL CHARACTERISTICS. *Herald of Technological University*, 27(3), 35–40. https://doi.org/10.55421/1998-7072_2024_27_3_35

Mansour, D. E. A., & Elsaed, A. M. (2014). Heat transfer properties of transformer oil-based nanofluids filled with Al₂O₃ nanoparticles. *Conference Proceeding - 2014 IEEE International Conference on Power and Energy, PECon 2014*, 123–127. <https://doi.org/10.1109/PECON.2014.7062426>

Muangpratoom, P., Kunakorn, A., Pattanadach, N., Vittayakorn, W., & Thungsook, K. (2018). Dielectric Properties of Mineral Oil-based Nanofluids using Zinc Oxide Nano-composites for Power Transformer Application. *2018 Condition Monitoring and Diagnosis, CMD 2018 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/CMD.2018.8535968>

Poliakov, M., Vasylevskiy, V., & Poliakov, O. (2024). Evaluation of the Relative Aging Rate of the Insulation of the Mineral-Oil-Immersed Power Transformer According to the Data of the IEC 60076–7 Standard. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 31(1), 102–110. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2023.3338582>

Rafiq, M., Li, C., Du, Q., Lv, Y., & Yi, K. (2016). Effect of SiO₂ nanoparticle on insulating breakdown properties of transformer oil. *ICHVE 2016 - 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application*. <https://doi.org/10.1109/ICHVE.2016.7800767>

RAMÓN RAYGOZA, E. D. R. S. (2014). DIELECTRIC MINERAL OIL CONDITIONED WITH GRAPHENE NANOFILAKES. <https://patentimages.storage.googleapis.com/c1/25/d3/7f11527e657768/WO2014065647A1.pdf>

Rouabeh, J., M'barki, L., Hammami, A., Jallouli, I., & Driss, A. (2019). Studies of different types of insulating oils and their mixtures as an alternative to mineral oil for cooling power transformers. *Heliyon*, 5(3), e01159. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2019.E01159>

Senthilkumar, S., Karthick, A., Madavan, R., Arul Marcel Moshi, A., Sundara Bharathi, S. R., Saroja, S., & Sowmya Dhanalakshmi, C. (2021). Optimization of transformer oil blended with natural ester oils using Taguchi-based grey relational analysis. *Fuel*, 288, 119629. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2020.119629>

Thivyanathan, V. A., Ker, P. J., Leong, Y. S., Abdullah, F., Ismail, A., & Zaini Jamaludin, M. (2022). Power transformer insulation system: A review on the reactions, fault detection, challenges and future prospects. *Alexandria Engineering Journal*, 61(10), 7697–7713. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2022.01.026>

UTS. (n.d.). Ingeniería Eléctrica - Unidades Tecnológicas de Santander. Retrieved February 17, 2025, from <https://www.uts.edu.co/sitio/ingenieria-electrica/>

Walvekar, R., Zairin, D. A., Khalid, M., Jagadish, P., Mubarak, N. M., & TCSM, G. (2021). Stability, thermo-physical and electrical properties of naphthenic/POME blended transformer oil nanofluids. *Thermal Science and Engineering Progress*, 23, 100878. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2021.100878>

* Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)

** PA: Proyecto de Aula, PI: Proyecto integrador, TI: Trabajo de Investigación, RE: Recursos Educativos Digitales Abiertos (REDA)