

Diagnóstico y viabilidad de sistemas térmicos para aplicaciones industriales en la región de Cúcuta

Carlos Daniel Jimenez Barrera
Código estudiantil: 202213124465

Stevenson Omar Velandria Gelvez
Código estudiantil: 202123123209

Raul Abraham Suarez
Código estudiantil: 202323127988

Trabajo de investigación del programa: **Ingeniería Mecánica**

Tutor:

Pedro Jesus Gomez Penaloza

Resumen

El presente proyecto aborda el diagnóstico, diseño y evaluación de sistemas solares térmicos híbridos aplicados a procesos industriales y agrícolas en la región de Cúcuta, Norte de Santander. La motivación principal surge de una realidad evidente: aunque la ciudad cuenta con un recurso solar abundante, con niveles de irradiación promedio entre 5.8 y 6.2 kWh/m²/día, el aprovechamiento térmico real sigue siendo muy limitado, alcanzando eficiencias menores al 15%. Esta brecha energética obliga a que sectores productivos continúen dependiendo de combustibles fósiles como el gas y la leña, lo que incrementa las emisiones de dióxido de carbono y perpetúa prácticas poco sostenibles.

Frente a este panorama, se plantea la implementación de un sistema híbrido solar térmico que combina dos tecnologías complementarias: colectores cilíndricos

fabricados con materiales reciclados y concentradores parabólicos reutilizados. La integración de ambos dispositivos permite captar tanto la radiación difusa como la directa, logrando un mejor aprovechamiento del recurso solar disponible. Esta propuesta no solo responde a una necesidad técnica, sino también a un compromiso ambiental y social, al promover la reutilización de materiales y la reducción de costos de construcción.

El desarrollo del proyecto incluyó varias etapas. En primer lugar, se realizó la caracterización de la radiación solar en la zona de estudio utilizando herramientas como el *Global Solar Atlas*, lo que permitió identificar los horarios de mayor intensidad y validar la viabilidad del sistema. Posteriormente, se diseñó el prototipo híbrido mediante software CAD (SolidWorks), integrando criterios de eficiencia térmica y simplicidad constructiva. La fase experimental consistió en pruebas de calentamiento y medición de temperaturas, comparando el desempeño de cada configuración: colector cilíndrico, concentrador parabólico y sistema híbrido. Finalmente, se llevó a cabo un análisis preliminar de costos y beneficios ambientales, considerando la reducción de emisiones y la replicabilidad del sistema en contextos rurales.

Los resultados obtenidos fueron alentadores. El colector cilíndrico alcanzó temperaturas cercanas a los 66 °C en aproximadamente 35 minutos, mientras que el concentrador parabólico logró superar los 84 °C en 22 minutos. El sistema híbrido, al combinar ambas tecnologías, alcanzó un máximo de 88 °C en solo 18 minutos, demostrando una mayor continuidad térmica y eficiencia. Además, el costo estimado de construcción fue de alrededor de \$270.000 COP, significativamente menor que el de sistemas comerciales equivalentes. El uso de materiales reciclados como botellas PET,

pintura térmica y antenas parabólicas reutilizadas no solo redujo gastos, sino que también aportó un valor ambiental al proyecto, al disminuir la generación de residuos y fomentar la economía circular.

En términos de impacto, el sistema híbrido se presenta como una alternativa viable y replicable para comunidades rurales, instituciones educativas y pequeñas industrias de la región. Su diseño accesible y de bajo costo lo convierte en una herramienta práctica para promover la autonomía energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Asimismo, su aplicación en procesos como el secado de frutas, el calentamiento de agua o la cocción básica abre posibilidades de uso inmediato en sectores productivos locales.

Las conclusiones del estudio destacan que las condiciones solares de Cúcuta son altamente favorables para la implementación de tecnologías térmicas. El sistema híbrido, además de ser sostenible y económico, representa un aporte académico y técnico para la región, al demostrar que es posible integrar innovación, reutilización de materiales y eficiencia energética en un mismo proyecto. Se identificaron también oportunidades de mejora, como el uso de vidrio cerrado en el colector para potenciar el efecto invernadero y la incorporación de seguimiento solar manual en el concentrador parabólico, lo que podría aumentar aún más el rendimiento térmico.

En síntesis, este proyecto no solo valida la viabilidad técnica de los sistemas híbridos solares térmicos en Cúcuta, sino que también plantea un camino hacia la transición energética regional. Su enfoque práctico, ambiental y social lo convierte en una propuesta replicable y escalable, capaz de contribuir al desarrollo sostenible y a la

construcción de un modelo energético más limpio y accesible para las comunidades locales.

Palabras clave: Sistemas solares térmicos, viabilidad, colectores solares, híbrido, sostenibilidad

Abstract

This project addresses the diagnosis, design, and evaluation of hybrid solar thermal systems applied to industrial and agricultural processes in the Cúcuta region of Norte de Santander. The main motivation stems from an evident reality: although the city has abundant solar resources, with average irradiation levels between 5.8 and 6.2 kWh/m²/day, actual thermal utilization remains very limited, reaching efficiencies of less than 15%. This energy gap forces productive sectors to continue depending on fossil fuels such as gas and firewood, which increases carbon dioxide emissions and perpetuates unsustainable practices.

Faced with this situation, the implementation of a hybrid solar thermal system is proposed, combining two complementary technologies: cylindrical collectors manufactured with recycled materials and repurposed parabolic concentrators. The integration of both devices allows for the capture of both diffuse and direct radiation, achieving better use of the available solar resource. This proposal not only addresses a technical need but also an environmental and social commitment by promoting the reuse of materials and reducing construction costs.

The project's development included several stages. First, solar radiation in the study area was characterized using tools such as the Global Solar Atlas, allowing for the identification of peak intensity times and validating the system's viability. Subsequently,

the hybrid prototype was designed using CAD software (SolidWorks), incorporating criteria for thermal efficiency and ease of construction. The experimental phase consisted of heating tests and temperature measurements, comparing the performance of each configuration: cylindrical collector, parabolic concentrator, and hybrid system. Finally, a preliminary analysis of environmental costs and benefits was conducted, considering emissions reductions and the system's replicability in rural contexts.

The results obtained were encouraging. The cylindrical collector reached temperatures close to 66°C in approximately 35 minutes, while the parabolic concentrator exceeded 84°C in 22 minutes. The hybrid system, combining both technologies, reached a maximum temperature of 88°C in just 18 minutes, demonstrating greater thermal continuity and efficiency. Furthermore, the estimated construction cost was around COP \$270,000, significantly lower than that of equivalent commercial systems. The use of recycled materials such as PET bottles, thermal paint, and repurposed satellite dishes not only reduced expenses but also added environmental value to the project by decreasing waste generation and promoting a circular economy.

In terms of impact, the hybrid system presents itself as a viable and replicable alternative for rural communities, educational institutions, and small industries in the region. Its accessible and low-cost design makes it a practical tool for promoting energy independence and reducing dependence on fossil fuels. Likewise, its application in processes such as fruit drying, water heating, or basic cooking opens up possibilities for immediate use in local productive sectors.

The study's conclusions highlight that Cúcuta's solar conditions are highly favorable for the implementation of thermal technologies. The hybrid system, in addition to being sustainable and economical, represents an academic and technical contribution to the region, demonstrating that it is possible to integrate innovation, material reuse, and energy efficiency in a single project. Opportunities for improvement were also identified, such as the use of sealed glass in the collector to enhance the greenhouse effect and the incorporation of manual solar tracking in the parabolic concentrator, which could further increase thermal performance.

In short, this project not only validates the technical viability of hybrid solar thermal systems in Cúcuta, but also proposes a path toward the regional energy transition. Its practical, environmental, and social approach makes it a replicable and scalable proposal, capable of contributing to sustainable development and the construction of a cleaner and more accessible energy model for local communities.

Keywords: Solar thermal systems, feasibility, solar collectors, hybrid, sustainability

BIBLIOGRAFÍA

1. BPM Geomembrana. (2025). Geomembranas. Recuperado de <https://bpmgeomembrana.com>
2. Canales-Gutiérrez, Á., et al. (2021). Diseño de un modelo de biodigestor anaerobio como alternativa para la generación de metano. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(2), 81–91. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308-38592021000200081&script=scj_arttext

3. Carvalho, A. M., & Ciri3n, L. E. C. (2022). Compostaje y biodigestores como soluci3n al problema de los residuos org3nicos en el medio rural. *Ciencia Latina*, 6(4), 990–1013. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/2641>
4. CENACE. (2023). Radiaci3n solar en Colombia. Centro Nacional de Despacho. <https://www.cenace.org.co>
5. CORPONOR. (2014, septiembre 24). CORPONOR gestion3 diez biodigestores para el sector porc3cola de Norte de Santander. <https://corponor.gov.co/web/index.php/2014/09/24/corponor-gestiono-diez-biodigestores-para-el-sector-porcicola-de-norte-de-santander>
6. Cort3s Rangel, R. J. (2021). Identificaci3n de las condiciones f3sico-qu3micas de un biodigestor anaerobio y de los lodos que se generan en la producci3n de biog3s. Repositorio Universidad Libre. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/23886>
7. El Com3n. (2021, septiembre 9). Iniciamos un nuevo proyecto con biodigestores. <https://www.elcomun.org/iniciamos-un-nuevo-proyecto-con-biodigestores>
8. Haoyang Environmental Technology (Shandong) Co., Ltd. (2025). Geomembrane. Recuperado de <https://www.haoyangeosynthetics.com/geomembrane>
9. Instituto de Energ3a Solar. (2021). Colectores solares: dise1o y eficiencia. Universidad Polit3cnica de Madrid.
10. Joachin Padilla, L. A. (2023). Evaluaci3n t3cnica en la generaci3n de biog3s en biodigestores de gallinaza y residuos de comida r3pida. Repositorio UVG. <https://repositorio.uvg.edu.gt/entities/publication/300e0643-1cfa-4b2d-a007-aef1645b2ceb>
11. Mart3nez, J. (2020). Evaluaci3n de biodigestores tubulares como alternativa de energ3a renovable. Universidad UDCA.

<https://repository.udca.edu.co/entities/publication/38c6f5eb-4d26-4ffc-a592-ba90c756a348>

12. Mesinas, C. M., et al. (2021). Estudio comparativo de biofermentos no enriquecidos y enriquecidos en digestores tipo batch y semi-continuos. TECTZAPIC, 7(2), 40–53.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8524230>

13. Pino Panchi, E. O., et al. (2025). Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos. Alfa Revista, 9(25), 177–190.

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2664-09022025000100177&script=sci_arttext

14. Producción Animal. (s. f.). Manual de biodigestores. <https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/93-Manual-de-Biodigestores-Final.pdf>

15. Proyecto de investigación Universidad Politécnica Salesiana. (2023). Colecta parabólica. Repositorio UPS. <https://dspace.ups.edu.ec>

16. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). (s. f.). Diseño y análisis de biodigestores tubulares rurales.

<https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/bdd70f6d-55a8-4122-8e1e-baa759dbc79e/content>

17. Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS). (2022). Diseño de un biodigestor tubular como alternativa sostenible para comunidades rurales.

<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/7588>

18. Universidad Nacional de Colombia. (2022). Energía solar térmica en aplicaciones industriales. Facultad de Ingeniería Energética.

19. Venegas-Venegas, J. A., et al. (2023). Potencial de biogás, energía eléctrica, reducción de CO₂eq y rentabilidad de biodigestor-motogenerador para establos

lecheros en México. *Estudios Sociales*, 33(62).

<https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2395->

[91692023000200122&script=sci_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2395-91692023000200122&script=sci_arttext)

20. Zapata, M., & Gómez, F. (2022). Impacto de los biodigestores en la producción agrícola sostenible en Colombia. *Revista de Agricultura y Medio Ambiente*, 14(2), 50–64. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2022.02.003>