



Análisis de simetría térmica en motores

Roxana De León Lomelí *

Tecnológico Nacional de México / IT de San

Luis Potosí,

San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

Juan Manuel Fortuna Cervantes

Tecnológico Nacional de México / IT de San

Luis Potosí,

San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

Arturo Acuña Mancilla

Tecnológico Nacional de México / IT de San

Luis Potosí,

San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

Efrén Flores García

Tecnológico Nacional de México / IT de San

Luis Potosí,

San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

* Autor de correspondencia: luz.dl@slp.tecnm.mx

Resumen: *El análisis de imágenes es un área de la ciencia que permite hacer diagnósticos aplicando técnicas matemáticas y computacionales. Existen diversos tipos de imágenes, de cámara fotográfica, infrarrojas, rayos x, entre otras. En el caso de las imágenes térmicas, que reflejan el calor de los objetos, proporcionan información importante y que ha sido ampliamente utilizada en el sector salud. En el presente artículo se aborda el análisis de estas imágenes para detección de fallas en motores, caracterizando la huella de calor de este durante el ciclo de trabajo. Detectar estos signos tempranos mediante el análisis visual de imágenes térmicas es clave para implementar acciones correctivas oportunas que prolonguen la vida útil del sistema y eviten costosos tiempos de inactividad.*

Palabras clave: *análisis de imágenes, fricción, motores, termografía.*

1. Introducción: lo que debemos saber de inicio

¿Puede una imagen térmica ayudar a identificar si un motor está a punto de fallar? La termografía infrarroja, es una técnica que permite analizar gráficamente la temperatura superficial de los objetos, y se ha convertido en una herramienta importante para el

mantenimiento predictivo de motores eléctricos y mecánicos (Maldague, 2001; Ibarra-Castanedo, 2013).

Una imagen termográfica es la representación visual del calor de los objetos, en donde los sensores infrarrojos detectan la radiación emitida por la superficie de un objeto y la traducen en una escala de colores. Los tonos más cálidos representan zonas más calientes y los tonos más fríos zonas de menor temperatura (Ibarra-Castanedo, 2013). Esta herramienta se ha usado con éxito para detectar fugas térmicas, cortocircuitos, puntos calientes, fricción anormal y otros signos tempranos de falla en equipos industriales (Yang & Kim, 2006).

En el área médica se aplica para localizar puntos de posible enfermedad, como lo es el análisis de simetría térmica para detección de cáncer de mama. En el análisis se comparan los patrones térmicos para identificar anomalías (Prabha et al., 2017).

En el caso del análisis de imágenes térmicas de motores, si existe un correcto funcionamiento, se encuentra una distribución térmica simétrica entre sus componentes equivalentes, como bobinas, rodamientos, ejes o carcasa. Esta simetría indica que las partes del motor trabajan de forma balanceada, disipando calor de manera similar (ISO, 2008). Caso contrario, al aparecer asimetrías térmicas, es posible intuir problemas como:

- Sobrecarga en uno de los componentes
- Desgaste mecánico desigual
- Fallas en el aislamiento eléctrico
- Fricción excesiva por falta de lubricación
- Conexiones eléctricas defectuosas

Existen diversos estudios donde se hace análisis de imágenes térmicas para detección de fallas en motores. En (Alvarado-Hernández, 2022) se describe el desarrollo de un sensor inteligente basado en la termografía para apoyo en el diagnóstico de fallas en rodamientos y engranajes en motores de inducción. En (Mendoza & López, 2024) proponen un método que combina técnicas de aprendizaje automático y de análisis de imágenes térmicas para el diagnóstico de fallas en motores de inducción. Finalmente, (Al-Masri & Al-Ali, 2025) propone un método de diagnóstico de fallas en motores de inducción monofásicos utilizando termografía infrarroja y técnicas de inteligencia artificial.

En este artículo exploramos cómo el análisis de simetría en estas imágenes puede ayudarnos a identificar fallas estructurales de forma no invasiva.

2. Fundamentos Teóricos: reglas y principios científicos importantes

El análisis de simetría en imágenes infrarrojas (IR) se basa en las propiedades simétricas inherentes en los componentes del motor para la segmentación de las imágenes, la detección de fallas y la interpretación de datos. Con esta técnica es posible mejorar la precisión y eficiencia del diagnóstico del motor.

¿Cómo se analiza la simetría en imágenes térmicas?

Existen diferentes formas de hacerlo. Una primera inspección puede hacerse mediante un análisis cualitativo visual, que se basa en la apreciación del observador, suele ser subjetivo y poco preciso. La forma más adecuada es mediante un análisis cuantitativo computacional, para ello existen diversas técnicas, que aplican algoritmos para dividir la imagen en dos mitades (izquierda y derecha, o superior e inferior) y calcular las diferencias píxel a píxel o por regiones. Una métrica sencilla y útil es el índice de simetría térmica (SI) se describe en la Ec. (1):

$$SI = \frac{1}{N} \sum |I_L(x, y) - I_R(x, y)| \quad (1)$$

Donde I_L e I_R representan la intensidad térmica de los píxeles en lados simétricos, y N es el número total de píxeles comparados. Un valor de SI cercano a cero indica poca diferencia y por tanto alta simetría. Este tipo de análisis permite detectar anomalías sutiles que podrían pasar desapercibidas a simple vista (Ibarra-Castanedo, 2013).

En la literatura se han reportado algunas metodologías de análisis de asimetría en imágenes térmicas un poco más complejas. Por ejemplo, el uso de algoritmos basados en comportamientos de la naturaleza (fractales, por ejemplo) combinados con filtros de difusión anisotrópica (un material o fenómeno anisotrópico es aquel que no es igual en diferentes direcciones) tienen una alta precisión y se han aplicado en la segmentación de tejidos mamarios. Este método permite distinguir de forma efectiva entre tejidos normales y anormales (Prabha et al., 2017).

3. Desarrollo del Trabajo: *aplicando las reglas y principios científicos*

El análisis de simetría térmica, para detección de fallas en el funcionamiento de motores, es especialmente útil en mantenimiento predictivo, pues permite detectar fallas antes de que se presente un daño crítico, reducir el tiempo de inactividad de equipos, optimizar el uso de recursos de mantenimiento, prolongar la vida útil de motores y maquinaria (ISO, 2008). Además, al tratarse de una técnica no invasiva, puede realizarse el análisis con el motor en funcionamiento, sin interrumpir el proceso productivo.

En la Figura 1 se muestra un comparativo de dos sistemas de motores acoplados. En la primera de ellas se aprecia la distribución equilibrada del trabajo, y por consiguiente de la energía. Mientras que en la segunda existe un desacoplo que genera el desbalance, ocasionando asimetría térmica en el funcionamiento del sistema.

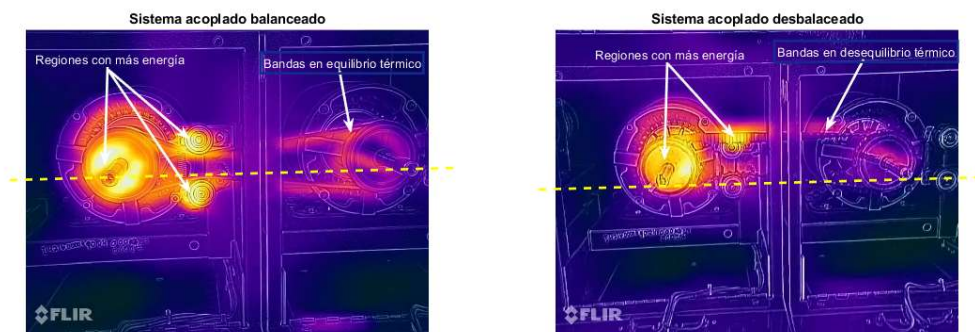


Figura 1 Comparativos de sistemas de motores acoplados balanceados y desbalanceados.

Obtenida de: elaboración propia.

Para leer estas imágenes inicialmente se deberá poner atención a las zonas más brillantes, que indican *zonas calientes* o dónde se tiene un nivel de energía mayor. Mientras que zonas más oscuras significan temperaturas menores o *zonas frías*. Por simple inspección visual las imágenes evidencian zonas de incremento térmico, atribuibles a procesos de fricción, genera concentraciones de desgaste y fenómenos de fatiga en baleros. Este aumento de temperatura induce una degradación progresiva en las superficies internas de rodado. Como consecuencia la lubricación de fábrica en baleros-grasa de fábrica- tiende a perder sus propiedades o a desplazarse fuera de la zona crítica, incrementando la fricción y

causando una exposición de los elementos de rodado a mayores niveles térmicos, acelerando su deterioro.

De igual manera esta elevación de temperatura se concentrará en el campo del estator (parte del motor que se mantiene sin movimiento), lo que produce desgaste en el aislamiento (cristalización del barniz aislante). Este mal funcionamiento puede derivar, a largo plazo, en cortos magnéticos e incremento térmico, causando un aumento en la corriente nominal, y por ende mayor consumo de energía proporcionada por la compañía suministradora.

Sin pasar por alto el esfuerzo mecánico al que se está sometiendo la banda de transmisión, que eventualmente terminará fatigándose, sobrecalentándose y finalmente rompiéndose. Esto provocará la detención de la actividad para que desempeñe durante el tiempo que tome su reemplazo.

El análisis de simetría puede dar un análisis macro del sistema, pero también puede dar un enfoque micro. Por ejemplo, se puede observar que en el caso del sistema desbalanceado el balero inferior no tiene movimiento, debido al daño por el desbalance. Por lo tanto, no tiene movimiento, fricción y calor. Como se muestra en la Figura 2, donde se hace un comparativo de distribución térmica a 30 segundos del arranque.

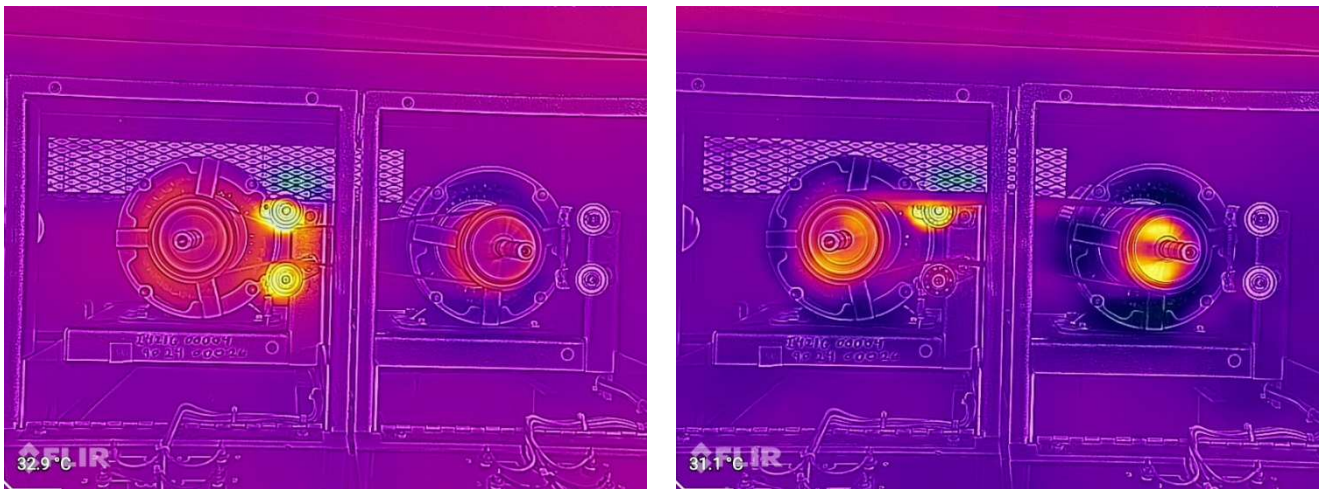


Figura 2 Comparativos de distribución térmica a 30 segundos del arranque. En la imagen de la izquierda el sistema es alineado y por lo tanto la carga está balanceada, con un balance térmico adecuado. En la imagen de la derecha el sistema tiene un desbalance y esto genera una asimetría térmica en el sistema.

Obtenida de: elaboración propia.

4. Conclusiones: lo que podemos aprender de este artículo

Si bien el análisis de simetría en imágenes térmicas es una poderosa herramienta, pues permite identificar patrones de calentamiento anormal en componentes críticos del motor, como baleros, campo del estator y bandas de transmisión. Estas elevaciones térmicas no solo indican procesos de fricción y desgaste mecánico, sino que también anticipan fallas eléctricas, pérdida de eficiencia energética y paros operativos. Detectar estos signos tempranos mediante el análisis visual de imágenes térmicas es clave para implementar acciones correctivas oportunas que prolonguen la vida útil del sistema y eviten costosos tiempos de inactividad.

Entre las áreas de oportunidad que se tienen es que las fallas tienen un tiempo de incubación que, por desgaste y calentamiento, que pudieran prevenirse con un análisis inicial termográfico y compararlo con análisis térmicos periódicos. Algunas partes del motor, como los baleros, por ejemplo, tienden a presentar cambios en sus comportamientos físicos, provocando ruidos que pueden llegar a ser molestos, avisando al personal para su cambio.

5. Referencias: por si quieres seguir conociendo más

- Al-Masri, A., & Al-Ali, A. (2025). AI-Driven Thermography-Based Fault Diagnosis in Single-Phase Induction Motors. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143(2), 1234–1245. <https://doi.org/10.1016/j.jtac.2025.01.045>
- Alvarado-Hernández, A. I., Zamudio-Ramírez, I., Jaen-Cuéllar, A. Y., Osornio-Ríos, R. A., Donderis-Quiles, V., & Antonino-Daviu, J. A. (2022). Infrared Thermography Smart Sensor for the Condition Monitoring of Gearbox and Bearings Faults in Induction Motors. *Sensors*, 22(16), 6075. <https://doi.org/10.3390/s22166075>
- Ibarra-Castanedo, C. (2013). *Infrared thermography for nondestructive testing*. CRC Press.
- International Organization for Standardization. (2008). *ISO 18434-1: Condition monitoring and diagnostics of machines — Thermography — Part 1: General procedures*. <https://www.iso.org/standard/37081.html>
- International Organization for Standardization. (2009). *ISO 10816-3: Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ*. <https://www.iso.org/standard/41170.html>
- Maldague, X. P. V. (2001). *Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing*. Wiley-Interscience.

- Mendoza, R., & López, J. (2024). Fault Diagnosis in Induction Motors through Infrared Thermal Imaging and Machine Learning Techniques. *Machines*, 12(8), 497. <https://doi.org/10.3390/machines12080497>
- Prabha, S., Suganthi, S. S., & Sujatha, C. M. (2017). *Analysis of Breast Thermal Images Using Anisotropic Diffusion Filter Based Modified Level Sets and Efficient Fractal Algorithm* (pp. 10–17). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9059-2_2