

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**INFLUENCE OF DYNAMIC ANALYSIS BY INFRARED
THERMOGRAPHY (IRT) AND NON-DESTRUCTIVE TESTING (NDT)
ON ALTERNATIVE PREDICTIVE DIAGNOSIS OF AUTOMOTIVE
BRAKE ROTORS IN LIGHT VEHICLES**

AUTORES:

CISNEROS ROMERO, KEVIN GEOVANNY
SÁNCHEZ MEZA, CHRISTIAN ROBERTO

ING. ARTEGA LÓPEZ, OSCAR
TUTOR

ING. TERÁN HERRERA, HÉCTOR
CO-TUTOR

**Latacunga
2023**



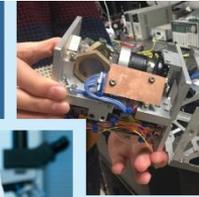
2023 Third Global Conference on
Recent Advances in Sustainable Materials

27 - 28, July 2023 | Namakkal, Tamil Nadu, India

GC-RASM 2023

Proceedings will be indexed in Scopus, Web of Science, Inspec, etc

THIRD EDITION



Publication Partners



Nano World Journal

and



Scientific.Net

Trans Tech Publications

Scopus indexed journals

Organized by
PGP College of Engineering and Technology
Namakkal, Tamil Nadu, INDIA

PUBLICATIONS

Journal Special Issue

Papers of GC-RASM 2023 will be published
as a **SPECIAL ISSUE** in the



NANO WORLD JOURNAL
Scopus indexed journal



Papers of GC-RASM 2023 will be published in the
following periodicals of Trans Tech Publications

1. **Materials Science Forum (MSF)** indexed in Scopus
2. **Key Engineering Materials (KEM)** indexed in Scopus
3. **Defect and Diffusion Forum (DDF)** indexed in Scopus
4. **Solid State Phenomena (SSP)** indexed in Scopus
5. **Advanced Materials Research (AMR)** listed in UGC-CARE

PROCEEDINGS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

ENSAYOS Y PRUEBAS

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES



INTRODUCCIÓN

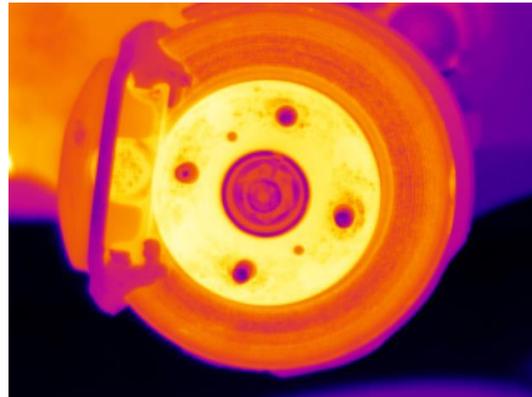
Los discos de freno están expuestos a esfuerzos mecánicos y térmicos que provocan diversos daños como grietas, picaduras, cristalización, óxidos, desgaste, fatiga, rugosidad y discontinuidades. En la industria automotriz, la detección de estos defectos se realiza mediante ensayos no destructivos (END) convencionales, como la inspección visual (VT) y la condición del espesor. Sin embargo, estos métodos tienen limitaciones y no proporcionan una evaluación detallada de la calidad del disco de freno. Para una evaluación detallada se proponen END alternativos, como la termografía infrarroja (IRT) aplicada dinámicamente y el ensayo por líquidos penetrantes (PT). La IRT es un método ampliamente utilizado en diversas industrias para aplicaciones de inspección y detección de defectos. La IRT aplicada dinámicamente se propone como un método de control alternativo, que permite una inspección en tiempo real rápida y precisa, sin contacto y sin necesidad de desmontar el disco de freno para su diagnóstico.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Realizar un análisis comparativo entre métodos convencionales y alternativos para evaluar la eficiencia de la Inspección por Termografía Infrarroja (IRT) en la detección de defectos en discos de freno, con el fin de analizar y caracterizar los defectos en el mismo.



OBJETIVOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar químicamente el disco de freno utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva.
- Recopilar información sobre la normativa internacional referida a métodos de diagnóstico convencionales y alternativos aplicables para la inspección de discos de freno.
- Comparar los resultados obtenidos con los diferentes métodos de diagnóstico TIR, LP e IV en términos de cobertura de inspección y detección de defectos.
- Determinar la eficiencia de la termografía infrarroja como método alternativo de diagnóstico, en relación con los métodos de IV y LP, para la detección de defectos en los discos de freno en vehículos ligeros.



CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES



Preparación de probeta



Probeta 1x1x1in aprox.



OLYMPUS DPO2000-C

ELEMENTOS

SAE 1215	Fe.	Mn.	S.	Cr.	Cu.	P.	Mo.
% Contenido	98,66	0,71	0,30	0,17	0,07	0,10	0,018
+/- Error	0,03	0,03	-	0,01	0,01	-	0,003

ASTM E1085:2016



ENSAYOS Y PRUEBAS

Non-destructive testing	Standards	Equipment and materials
Visual Testing VT	UNE - EN 13018 ASME Section V, subsection A, article 9	Human eyes
Penetrant Testing PT	ASTM E165 -02 ASTM E1417 ISO 3452 - 1 ASME BPVC.V	Penetrant Kit
Infrared thermography IRT	ISO 18434 – 1	FLUKE TiR32



INSPECCIÓN VISUAL

- El ensayo visual directo se realizó según la norma UNE - EN 13018, examinando las defectologías en la superficie del rotor del freno a 45° y a 250 [mm] entre el ojo humano y el objeto a ensayar. El ensayo se aplica a la luz del día con una luminancia superior a 1000 lux, esto según ASME BPVC.V - Artículo 9. Es necesario calcular la velocidad de la luz en el medio considerado, en este caso acero (v_{ph}) obteniendo 119916983.2 [m/s], con un índice de refracción (n) de 2.5 sometido a una velocidad de la luz en el vacío (c) de 299792458 [m/s], de acuerdo a la Ec. 1

$$v_{ph} = \frac{c}{n}$$



INSPECCIÓN VISUAL

Ensayo visual directo



ASME BPVC.V - Artículo 9



UNE - EN 13018



INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

- La evaluación se realiza según ASTM E 165-02, Tipo II, con penetrante líquido visible, método B - removible con disolvente. La temperatura de la superficie a ensayar es de 22,4 [°C]. Como el material del rotor de freno es acero SAE 1215 y su proceso es de fundición, los tiempos de aplicación del penetrante y del revelador para obtener una capilaridad adecuada sugieren 5 y 10 minutos respectivamente. Para la eliminación del líquido penetrante, el limpiador se aplica con la técnica del trapeado. El ensayo se realiza a la luz del día con una luminancia superior a 1000 lux.



INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

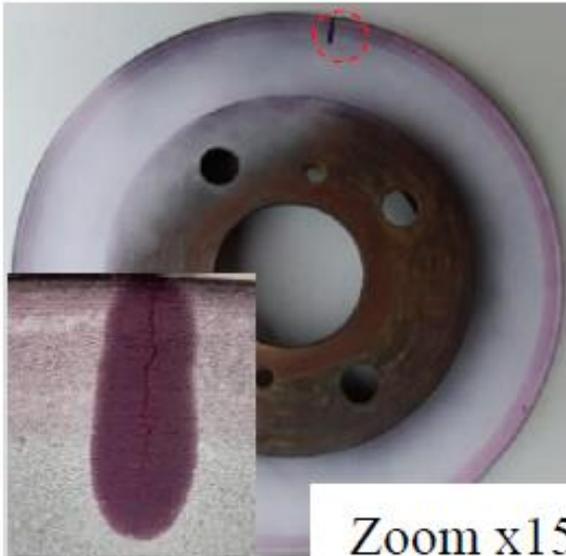
CRACK 3



CRACK 1



CRACK 2



Zoom x15



Zoom x11



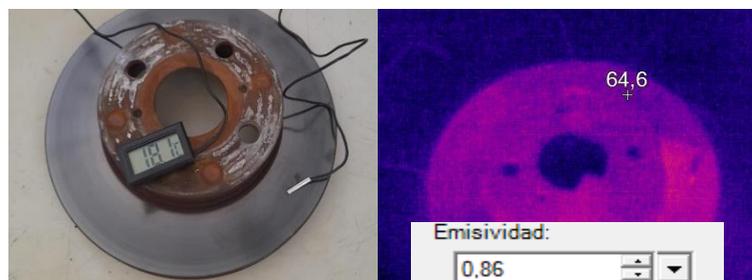
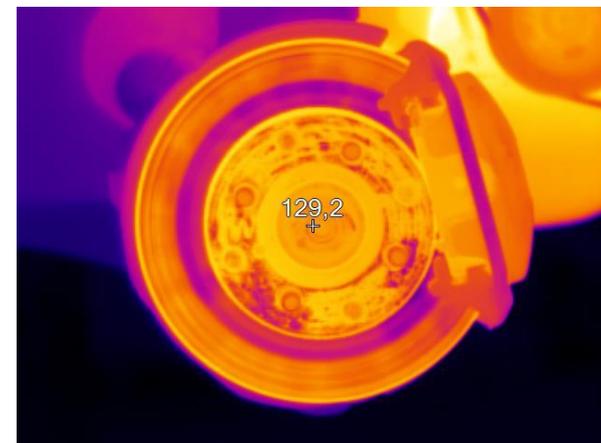
Zoom x9



INSPECCIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA

TERMOGRAFÍA INFRARROJA

NORMA	ISO 18434-1
TÉCNICA	STEP HEATING-DINÁMICO
ROTORES DE FRENO	NO DEBEN DESMONTARSE
APLICACIÓN DINÁMICA	PROCESOS DE FRENADO < 60 [km/h] x 90 s



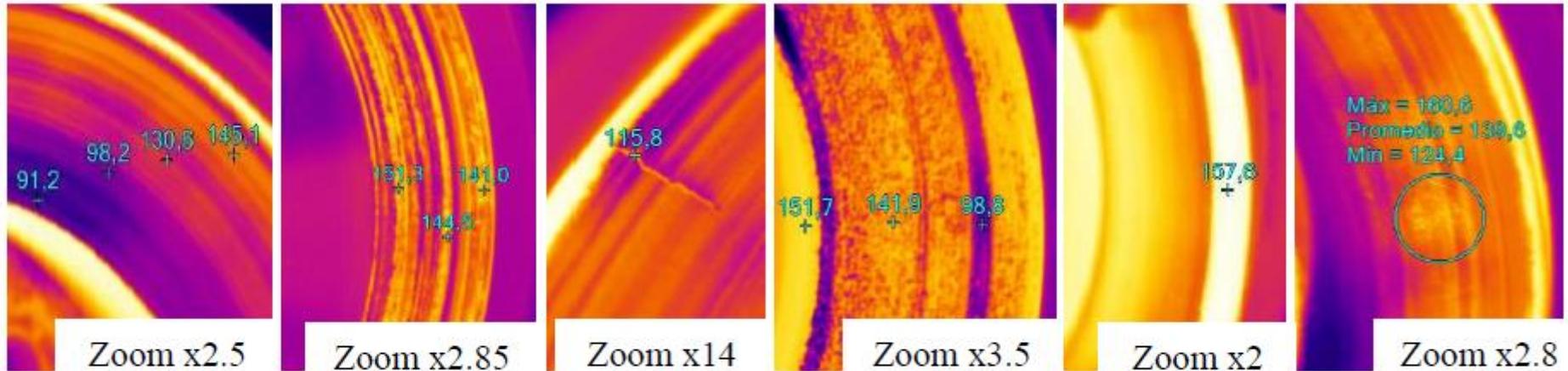
CALIBRACIÓN FLUKE TiR32

TEMP. AMBIENTE	290,64°K
TEMP. SUPERFICIAL	355,37 °K
HUMEDAD RELATIVA	93%
EMISIVIDAD – TERMÓMETRO	0,86
EC. WIEN	8 μm
EC.STEFAN BOLTZMANN	652,5 W/m^2



INSPECCIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA

Comparative quantitative thermography, para determinar la gravedad de una condición adversa.



(a) Crystallization

(b) Grooves

(c) Crack

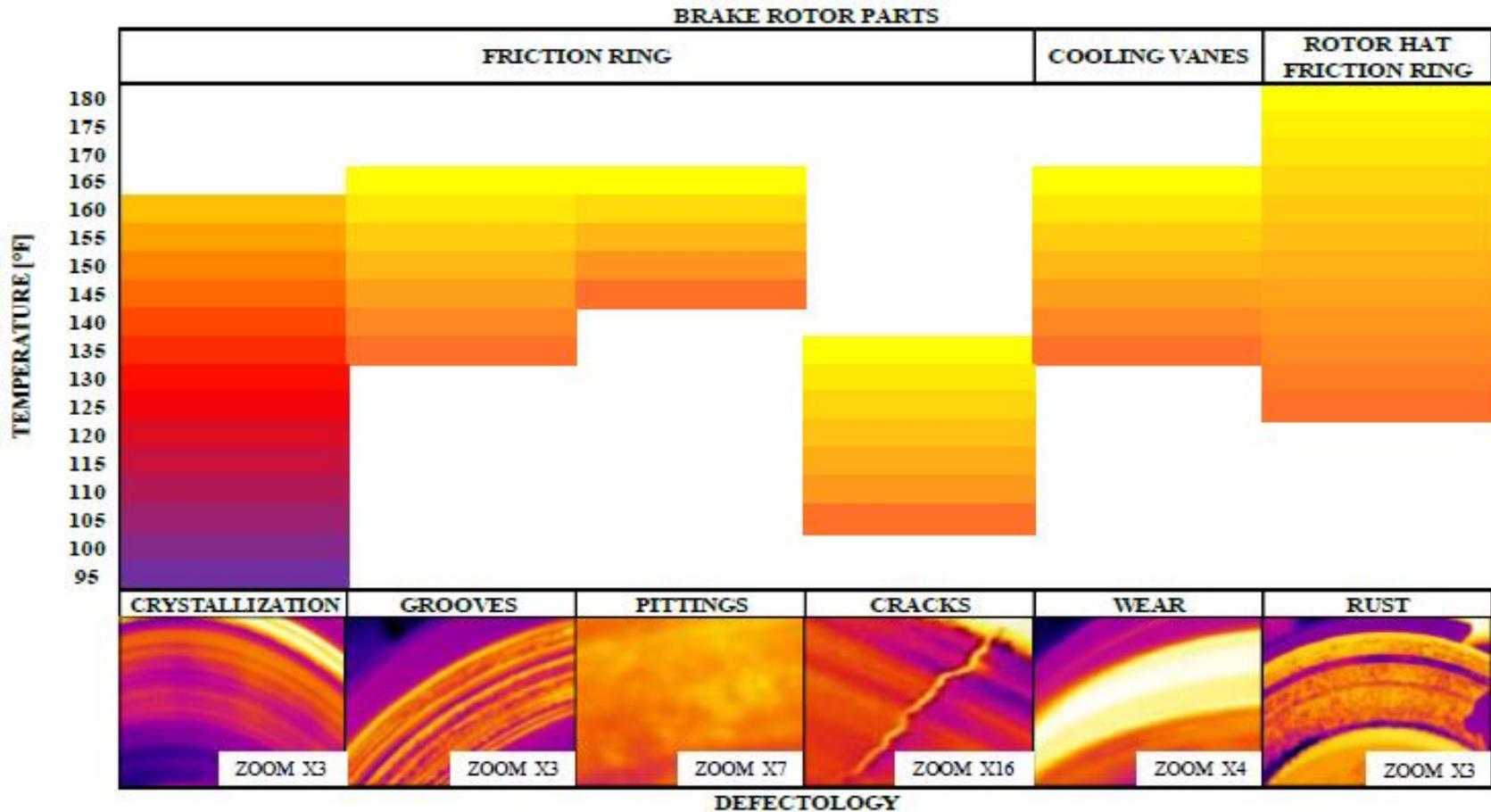
(d) Rust

e) Wear

(f) Pitting



ANÁLISIS DE RESULTADOS

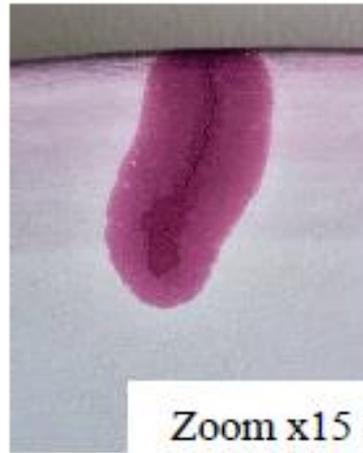


ANÁLISIS DE RESULTADOS

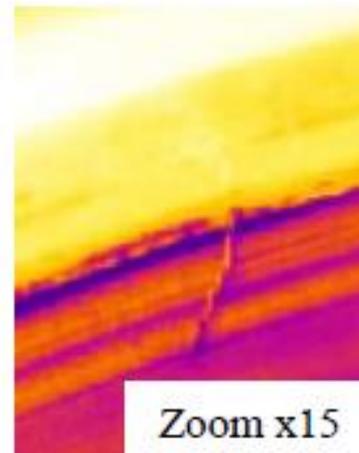
Analogy of non-destructive testing (NDT) applied to a crack in a brake disc.



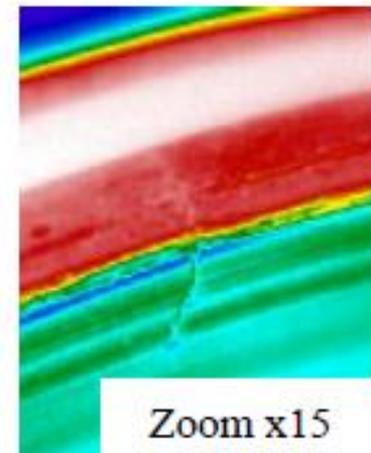
(a) VT



(b) PT



(c) IRT



(d) IRT High Contrast



CONCLUSIONES

- Mediante termografía infrarroja, se puede observar la cristalización en el anillo de fricción del disco de freno, aparece en forma de anillos a temperaturas entre 95 [°F] y 160 [°F], se muestra en tonos de azul, violeta y rojo a amarillo incandescente.
- Las estrías se extienden en forma de anillos brillantes por toda la superficie de fricción del disco de freno, dependiendo del espesor y la profundidad, aparecen a temperaturas de 135 [°F] a 165 [°F], en tonos de naranja a amarillo brillante, en este rango de temperatura y tonos de color también se puede identificar el defecto de desgaste, pero este se manifiesta en las paletas ubicadas entre los anillos de fricción, es identificado por la técnica CQT con un diferencial de temperatura de 16.57%.
- Las picaduras aparecen en el anillo de fricción del disco de freno en formas irregulares, presentan temperaturas de 145 [°F] a 165 [°F] en tonos de color de naranja a amarillo brillante, en estos mismos tonos, pero a temperaturas de 105 [°F] a 135 [°F] las grietas aparecen en forma lineal, irregular y tangencial al disco de freno.



CONCLUSIONES

- El óxido se extiende por el anillo de fricción y la campana del disco de freno en formas aglomeradas irregulares, en contraste de naranja a amarillo brillante a temperaturas de 125 [°F] a 180 [°F]. La superficie del anillo de fricción muestra tonalidades azuladas y violáceas que indican las zonas de contacto con la pastilla de freno; si estas tonalidades no se distribuyen uniformemente en esta región, el disco de freno muestra rozamiento.
- Haciendo una analogía entre las diferentes técnicas de ensayos no destructivos se ha determinado que el ensayo IRT es el más efectivo, tiene una cobertura de inspección superior del 8,33% en comparación con el método VT y del 33,66% en relación con el método PT, es capaz de detectar seis tipos de defectología encontrada en el disco de freno, tales como cristalización, estrías, picaduras, grietas, desgaste y óxido. Es importante mencionar que esta técnica presenta una limitación en la detección de discontinuidades abiertas al realizar una termografía general del disco de freno, requiere de un acercamiento y análisis de defectos utilizando el software SmartView de Fluke. En la detección de discontinuidades abiertas, se ha determinado que la técnica más efectiva es la prueba de líquidos penetrantes.

