

## Análisis de la variabilidad horaria para la detección de daños en pavimentos flexibles usando termografía infrarroja

M. Pacara-Copa<sup>1\*</sup> , J. H. A. Rocha<sup>2</sup> , J. S. Ledezma-Pérez<sup>1</sup> 

\*Autor de Contacto: [marinapacara@gmail.com](mailto:marinapacara@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.468>

Recepción: 22/03/2020 | Aceptación: 05/08/2020 | Publicación: 01/09/2020

### RESUMEN

En este trabajo se discute el rango horario para optimizar e interpretar los resultados de la termografía infrarroja cuando es utilizada en la detección de daños en pavimentos flexibles. Se realizó un seguimiento de 14 horas continuas (5:00 a.m. a 7:00 p.m.) para cuatro zonas de estudio en una avenida céntrica de la ciudad de Cochabamba, Bolivia. El seguimiento evidenció un rango horario óptimo para la toma de imágenes termográficas de 11:00 a.m. hasta las 4:00 p.m.; también se constató la visualización del deterioro mediante la colorimetría diferenciada en los termogramas a diferentes horas. Este ensayo permite localizar las áreas en las que se puede efectuar una inspección detallada. Como limitante se tiene su sensibilidad a cambios en las condiciones ambientales.

**Palabras clave:** termografía infrarroja; pavimento flexible; inspección.

**Citar como:** Pacara-Copa, M., Rocha, J. H. A., Ledezma-Pérez, J. S. (2020), “Análisis de la variabilidad horaria para la detección de daños en pavimentos flexibles usando termografía infrarroja”, Revista ALCONPAT, 10 (3), pp. 350 – 363, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.468>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Tecnología, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia.

#### Contribución de cada autor

En este trabajo la autora M. Pacara-Copa contribuyó con la idea original, trabajo de campo y monitoreo, recolección de datos, elección y desarrollo de la metodología de trabajo, escritura del trabajo y discusión de resultados; el autor J. H. A. Rocha contribuyó con la elección y desarrollo de la metodología de trabajo, recolección de datos, discusión de resultados y revisión de la escritura de trabajo, y la autora J. S. Ledezma P. contribuyó con la discusión de resultados y revisión de la escritura de trabajo.

#### Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2020) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

#### Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2021 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2021.

## Time variability analysis for damage detection in flexible pavement using infrared thermography

### ABSTRACT

This document discusses the time range to optimize and understand infrared thermography results when used on damage detection for flexible pavement. A monitoring activity was performed during 14 continuous hours (5:00 a.m. to 7:00 p.m.) for four study areas in a centrally located avenue in Cochabamba City, Bolivia. This activity evidenced an effective time range to take thermographic images from 11:00 a.m. to 4:00 p.m. Damage visualization by differential colorimetry in thermograms at different times was also verified. This test enables locating areas where a detailed inspection may be performed. As a limitation, its sensibility to changes under environmental conditions is evident.

**Keywords:** infrared thermography; flexible pavement; inspection.

## Análise do melhor horário para a detecção de danos em pavimentos flexíveis usando termografia infravermelha

### RESUMO

Este trabalho discute o intervalo de tempo para otimizar e interpretar os resultados da termografia infravermelha quando é usada para detectar danos em pavimentos flexíveis. Um acompanhamento de 14 h contínuas (5h às 19h) foi realizado para quatro áreas de estudo em uma avenida central na cidade de Cochabamba, Bolívia. O acompanhamento mostrou um intervalo de tempo ideal para a obtenção de imagens termográficas a partir das 11h até às 16h. A visualização da deterioração também foi verificada pela colorimetria diferenciada nos termogramas em diferentes momentos. Este teste permite localizar áreas onde uma inspeção detalhada pode ser feita. Como limitação observa-se a sua sensibilidade às mudanças nas condições ambientais.

**Palavras-chave:** termografia infravermelha; pavimento flexível; inspeção.

### Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Reserva de derechos al uso exclusivo del título de la revista No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las obras de infraestructura vial son importantes para el desarrollo socioeconómico de un país, debido a que permiten la movilidad de personas y bienes (Vyas et al., 2019). Sin embargo, estas obras sufren daños (fisuras, deformación, desagregación, etc), por lo que son necesarias actividades de inspección, mantenimiento y rehabilitación para garantizar su vida útil y brindar condiciones óptimas de servicio (Solla et al., 2014).

En Bolivia, la historia del mantenimiento y conservación de carreteras se inició con la creación del Servicio Cooperativo Boliviano Americano de Caminos (SCBAC), fundado en 1955 (Lovera, 2017). Posteriormente, en 1961 se crea el Servicio Nacional de Caminos (SNC), entidad encargada de la administración y mantenimiento de carreteras. En el 2006 se establece la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) mediante la Ley 3507 (Bolivia, 2006a), cuya misión institucional es la integración nacional mediante la planificación y la gestión de la Red Vial Fundamental (RFV) (Bolivia, 2006b). Las actividades de la ABC comprenden: planificación, administración, estudios y diseños, construcción, mantenimiento, conservación y operación de la RVF y sus accesos (ABC, 2011).

A pesar de la existencia de normativas e instituciones encargadas de la conservación, en Bolivia un gran porcentaje de las vías presentan problemas visibles, mayormente en pavimento flexible (Los tiempos, 2016, 2019; Opinión, 2018). La atención oportuna para el mantenimiento y/o rehabilitación de las vías, sobrepasa la capacidad de las entidades encargadas, tales como la ABC. Esta situación se da por la falta de técnicas de inspección. Muchas vías principales, más que todo en las ciudades, no son inspeccionadas correctamente debido a la minimización en la interrupción del tráfico. Este último punto evita una correcta evaluación y diagnóstico del estado actual del pavimento flexible, de tal manera que las acciones tomadas para su rehabilitación son, en muchos casos, erróneas o improvisadas.

Existen algunos métodos reportados en la literatura para la inspección de infraestructura tanto en puentes como vías de pavimento rígido y flexible (Rehman et al., 2016; Janků et al., 2019; Dong et al., 2016). Siendo el georadar el método más utilizado (Khamzin et al., 2017; Fernandes and Pais, 2017; Tosti et al., 2018); no obstante, se requiere contacto directo con la infraestructura y corte de tráfico vehicular. Por tal motivo, se hace necesario emplear técnicas que permitan una inspección que no interrumpa el tráfico y que sea eficiente a distancia. En este sentido, surge la termografía infrarroja como una alternativa para este propósito. Esta técnica no precisa contacto directo con el objeto inspeccionado y puede ser realizada a diferentes distancias (Baggathiappan et al., 2013; Rocha et al., 2017).

Si bien existen estudios de inspección en pavimentos con termografía infrarroja (Garrido et al., 2018; Golrokh and Lu, 2019), la literatura relacionada a pavimentos flexibles es escasa (Solla et al., 2014; Lin et al., 2018; Vyas et al., 2019). Por tanto, todavía es necesario evaluar sus capacidades y limitaciones como método de inspección para pavimentos flexibles, sobretodo en campo, una vez que la información reportada es experimental y fue aplicada en diferentes lugares.

En este sentido, el presente trabajo tiene por objetivo discutir el rango horario para optimizar e interpretar los resultados de la termografía infrarroja cuando es utilizada en la detección de daños de pavimentos flexibles, considerando como caso de estudio dos tramos de la avenida San Martín de la ciudad de Cochabamba – Bolivia. El sector seleccionado se caracteriza por presentar un alto tráfico y congestión vehicular, además de presentar un pavimento flexible deteriorado (Los Tiempos, 2016).

## 2. TERMOGRAFÍA INFRARROJA

La radiación térmica es el tipo de radiación electromagnética que compete a la transferencia de calor y es emitida como consecuencia de las transiciones de energía de moléculas, átomos y electrones. La intensidad de la radiación infrarroja emitida por un cuerpo dependerá de la temperatura a la cual se encuentra la superficie, de esta manera, se considera que todo cuerpo cuya temperatura se encuentre por encima del cero absoluto (0 K) emite radiación infrarroja (Rocha et al., 2017).

La energía térmica irradiada por un objeto se expresará en función de la energía emitida por un radiador perfecto llamado cuerpo negro o ideal (Cengel, 2003).

El ojo humano puede ver la radiación en el espectro electromagnético entre 0.4 – 0.7  $\mu\text{m}$  (espectro visible), la banda infrarroja va de 0.9 – 14  $\mu\text{m}$ , siendo necesarios equipos para su detección. Las cámaras termográficas destinadas para inspección trabajan en la banda infrarroja. La relación entre la radiación electromagnética y la temperatura se explica a través de la ley de Stephan – Boltzmann, ecuación (1) (Baggathiappan et al., 2013).

$$W = \sigma * \epsilon * T^4 \quad (1)$$

Donde,  $W$  es la intensidad de la radiación ( $\text{w}/\text{m}^2$ ),  $\sigma$  es la Constante de Stephan – Boltzmann ( $5.67 * 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 * \text{K}^4$ ),  $\epsilon$  es la emisividad de la superficie y  $T$  es la temperatura medida (K).

## 3. PROCEDIMIENTO

Para lograr el objetivo del presente artículo se realizó un monitoreo del 20 al 27 de julio del 2020 durante 14 horas continuas. Las imágenes termográficas fueron tomadas cada hora, considerando como eje horario el medio día; es decir que se consideró 7 horas antes y 7 horas después. El rango horario de monitoreo fue de 5:00 a.m. a 7:00 p.m.

Se seleccionaron dos tramos de estudio: el primero ubicado en la avenida San Martin entre calle Jordán y Sucre, sobre la cual se encuentran frente a frente el Palacio de Justicia y el mercado 25 de mayo; y el segundo en la avenida San Martin entre avenida Heroínas y calle Colombia, en cuya recta se encuentran centros comerciales y ópticas.

Cada tramo de estudio se dividió en dos zonas para la toma de termogramas. En la Figura 1 se muestran las zonas donde fueron tomadas las imágenes termográficas: la Zona 1 se ubica en la avenida San Martin esquina Jordán acera Sudeste, de donde se obtienen imágenes panorámicas de toda la cuadra; la Zona 2 se localiza en la mitad del Tramo 1, avenida San Martin entre calle Jordán y Sucre acera Este; la Zona 3 se ubica en la intersección de la avenida San Martin y Heroínas sobre la jardinera central, y la Zona 4 se ubica en la mitad del Tramo 2, avenida San Martin entre avenida Heroínas y calle Colombia.

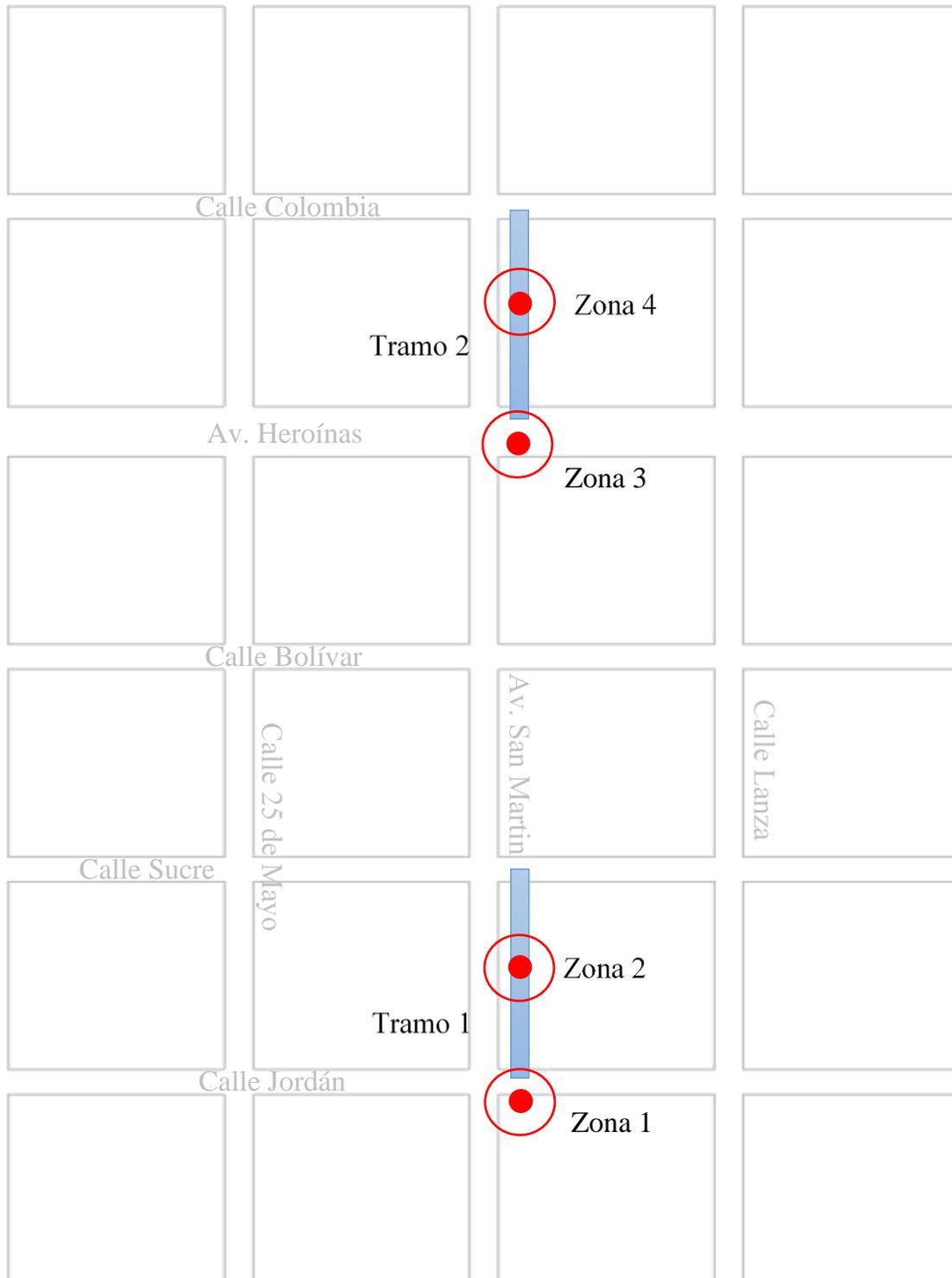


Figura 1. Zonas para la toma de imágenes termográficas.

El equipo utilizado fue un CAT S60 que viene equipado con una cámara FLIR integrada cuyas características se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones MyFLIR de S60.

<b>Cámara térmica y visual con MSX</b>	
Sensor Térmico	Tamaño de píxel de 17 mm, rango espectral de 8 a 14 mm.
Resolución térmica	80 x 60
Resolución visual	640 x 480
HFOV/VFOV	46° ± 1°/35°±1°
Frecuencia de imagen	8,7 Hz
Enfoque	Fijo 15 cm - Infinito
Integrado en Obturador	Automático/manual
<b>Radiometría</b>	
Rango dinámico de escena	-20°C - 120°C
Precisión	±5°C o ±5%
	Porcentaje de la diferencia entre la temperatura ambiente y la escena.
	60 s aplicables después del inicio cuando la unidad se encuentra entre 15°C y 35°C y la escena se encuentra entre 10°C y 120°C.
Sensibilidad Térmica (MRDT)	150 mK

Fuente: FLIR (2016)

Los termogramas resultantes del monitoreo (con un intervalo de 1 hora) fueron procesados y analizados mediante el programa *FLIRTools*.

*FLIRTools* además de ser una herramienta que facilita la creación de informes de inspección; permite editar y analizar imágenes con rapidez, ya que el programa tiene la opción de ajustar y modificar los parámetros; permite escalar el rango de temperaturas y/o cambiar la colorimetría según el escenario que sea conveniente al estudio.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados presentados corresponden al 22 de julio del 2018, puesto que permitía la detección de gradientes térmicos y la repetitividad de los datos. Es importante mencionar que dada la sensibilidad de la técnica a condiciones ambientales (nubosidad intermitente y lluvia) varios días fueron interrumpidos y descartados para este trabajo.

Los termogramas de las cuatro zonas fueron analizadas de manera visual en primera instancia, luego de manera cuantitativa para determinar el rango óptimo de toma de datos en la detección de defectos en pavimento flexible. Paralelamente se analizaron las cualidades del programa *FLIRTools* en beneficio de la técnica que se propone.

##### 4.1 Visibilidad del deterioro de la capa de rodadura en las imágenes termográficas

Después del monitoreo en campo, se procedió a verificar la visibilidad del deterioro en las imágenes termográficas. La Figura 2 muestra la Zona 4 y la Figura 3 el termograma.

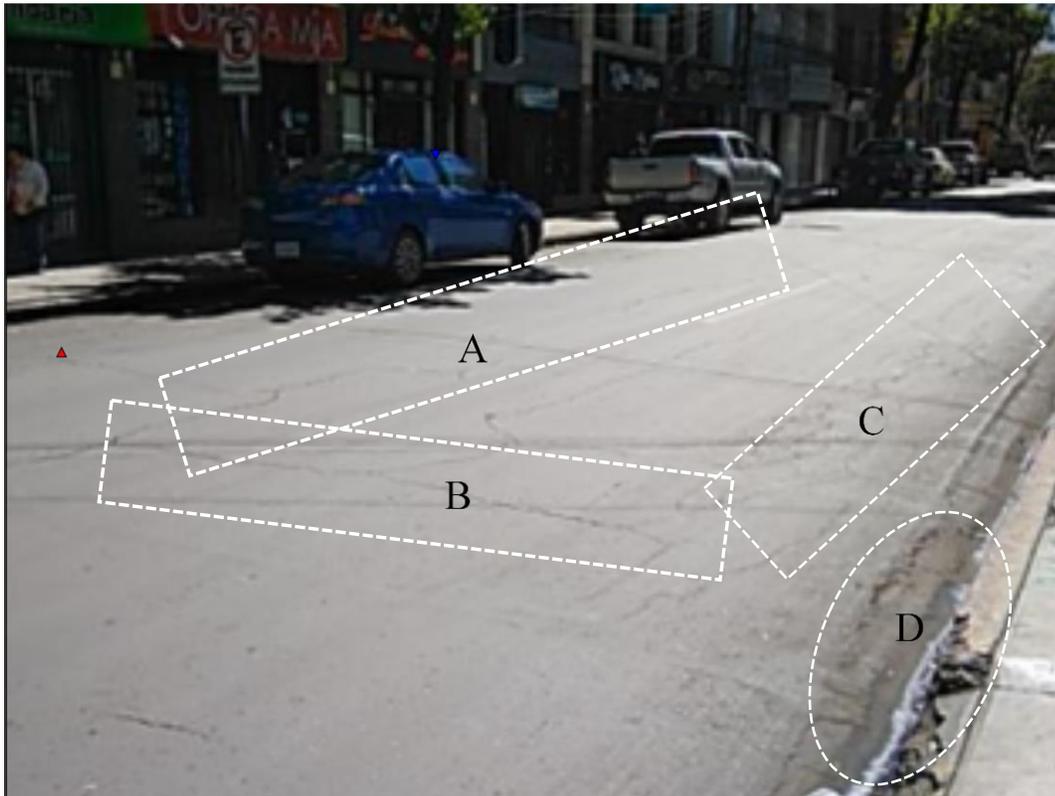


Figura 2. Imagen digital de la Zona 4.

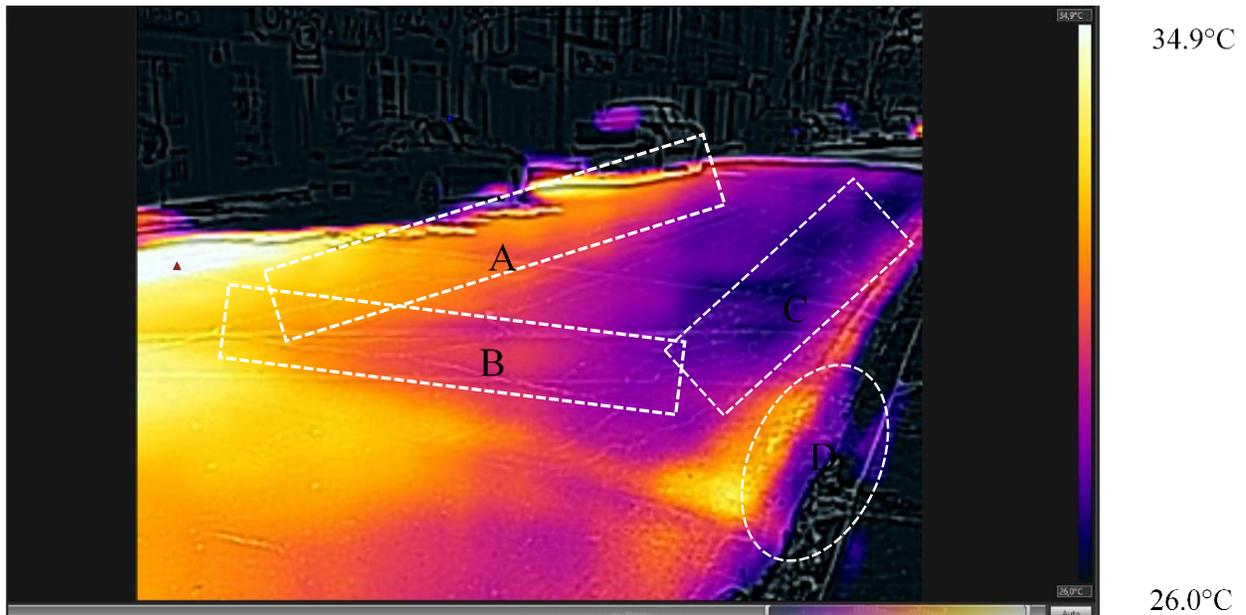


Figura 3. Imagen térmica de la Zona 4.

En la Figura 2 se distinguen fisuras transversales (B) y longitudinales (A), piel de cocodrilo (C), desprendimiento de agregados (D), entre otros defectos. En la Figura 3 se muestra la imagen termográfica de la zona anteriormente mencionada, donde se puede apreciar la colorimetría variada que pone en evidencia de manera preliminar una relación con las fallas observadas en la Figura 2. Nótese que la imagen termográfica de la Figura 3 muestra en la parte lateral derecha el rango de temperaturas, este rango varía de 26°C a 34.9°C. Las áreas de color amarillo con tendencia a blanco representan temperaturas altas y las áreas de color azul con tendencia a negro representan

temperaturas bajas. La paleta de colores puede ser modificada a conveniencia del usuario. No obstante, se observa que no existe uniformidad en el pavimento asfáltico, pues se distinguen áreas frías y calientes.

#### 4.2 Variación de las imágenes termográficas a diferentes horas

Se analizó de manera visual la colorimetría diferenciada de la Zona 1 a diferentes horas del día bajo un mismo rango de temperaturas con la ayuda del programa *FLIRTtools*. En la Figura 4 se presentan las imágenes termográficas de la Zona 1 en tres horarios diferentes y en un mismo rango de temperaturas. El rango de temperaturas fue 23°C como máximo y 16°C como mínimo. Las Figuras 4a, 4b y 4c corresponden a las 7:00 a.m., 1:00 p.m. y 6:00 p.m., respectivamente.

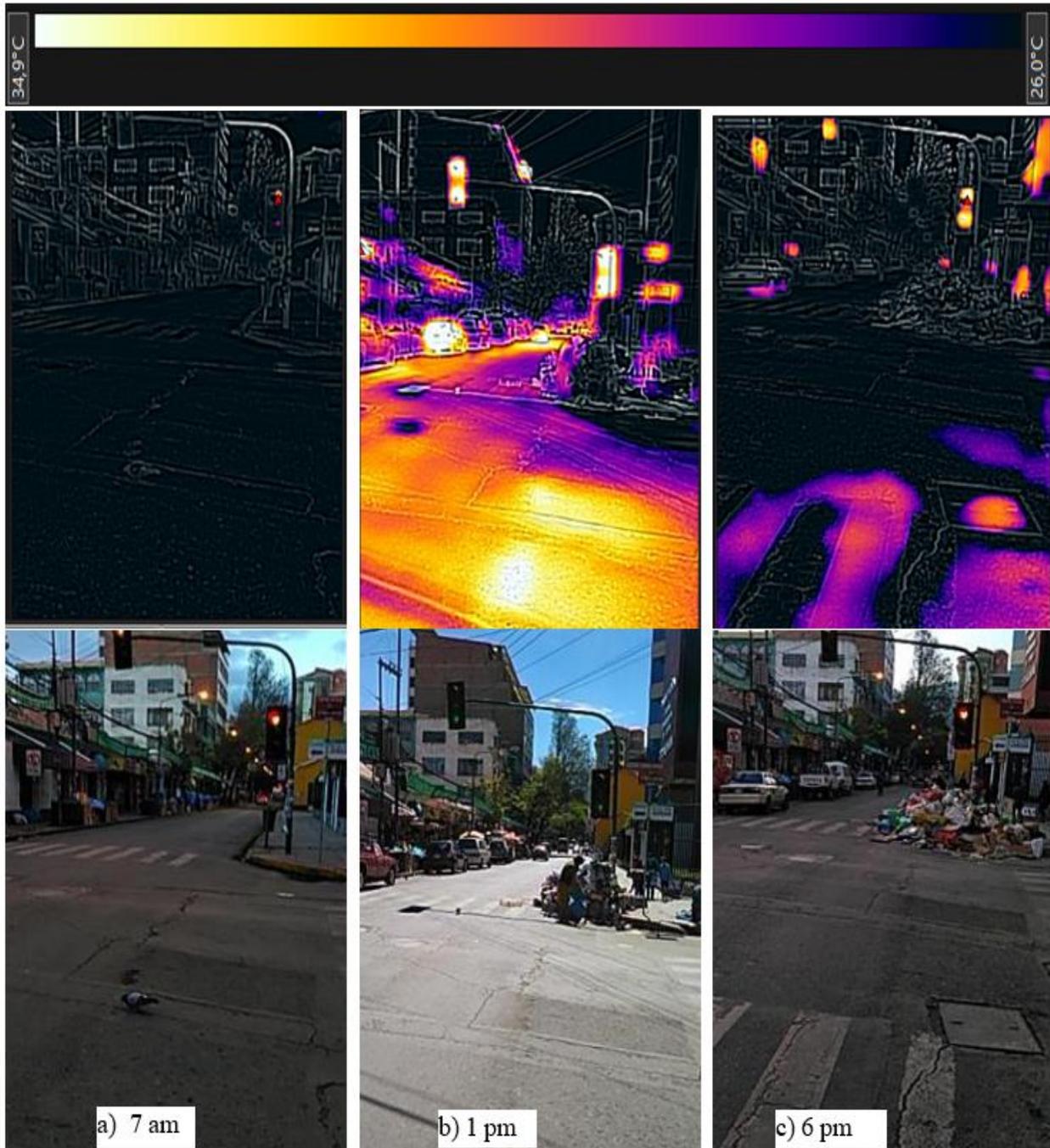


Figura 4. Visibilidad de las imágenes termográficas a diferentes horas del día de la Zona 1.

Al observar las imágenes termográficas en relación a las imágenes digitales se puede notar que, en la Figura 4b, correspondiente a la 1:00 p.m., el asfalto flexible presenta diferentes temperaturas sobre su superficie, no sucede lo mismo con la Figura 4a (7:00 a.m.) que no muestra ninguna diferencia de temperaturas en el pavimento. En la Figura 4c (6:00 p.m.) se puede apreciar que solo algunos sectores del pavimento muestran temperaturas cercanas al valor máximo, de acuerdo al rango de temperatura utilizado.

#### 4.3 Determinación del rango horario óptimo durante el día para la toma de imágenes termográficas

Para determinar el rango óptimo horario de toma de imágenes termográficas fue utilizada la diferencia de temperaturas de dos sectores de diferentes características, a modo de obtener un diferencial que pueda ser evaluado mediante una gráfica.

Para obtener la diferencia de temperaturas se utilizó la ecuación (2), expresión propuesta en la literatura para el análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados (Washer et al., 2010; Farrag et al., 2016; Rocha et al., 2017).

$$\Delta T = T_c - T_f \tag{2}$$

Donde,  $\Delta T$  es el diferencial o gradiente térmico ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_c$  es la temperatura del área deteriorada en estudio ( $^{\circ}\text{C}$ ) y  $T_f$  es la temperatura de un área diferente a la deteriorada ( $^{\circ}\text{C}$ )

Las Figuras 5, 6, 7 y 8, muestran la variación de temperatura durante el tiempo de monitoreo de dos puntos con características diferentes. Cada figura presenta los resultados de una de las cuatro zonas analizadas, esto para que se pueda apreciar el diferencial térmico o gradiente de temperatura ( $\Delta T$ ).

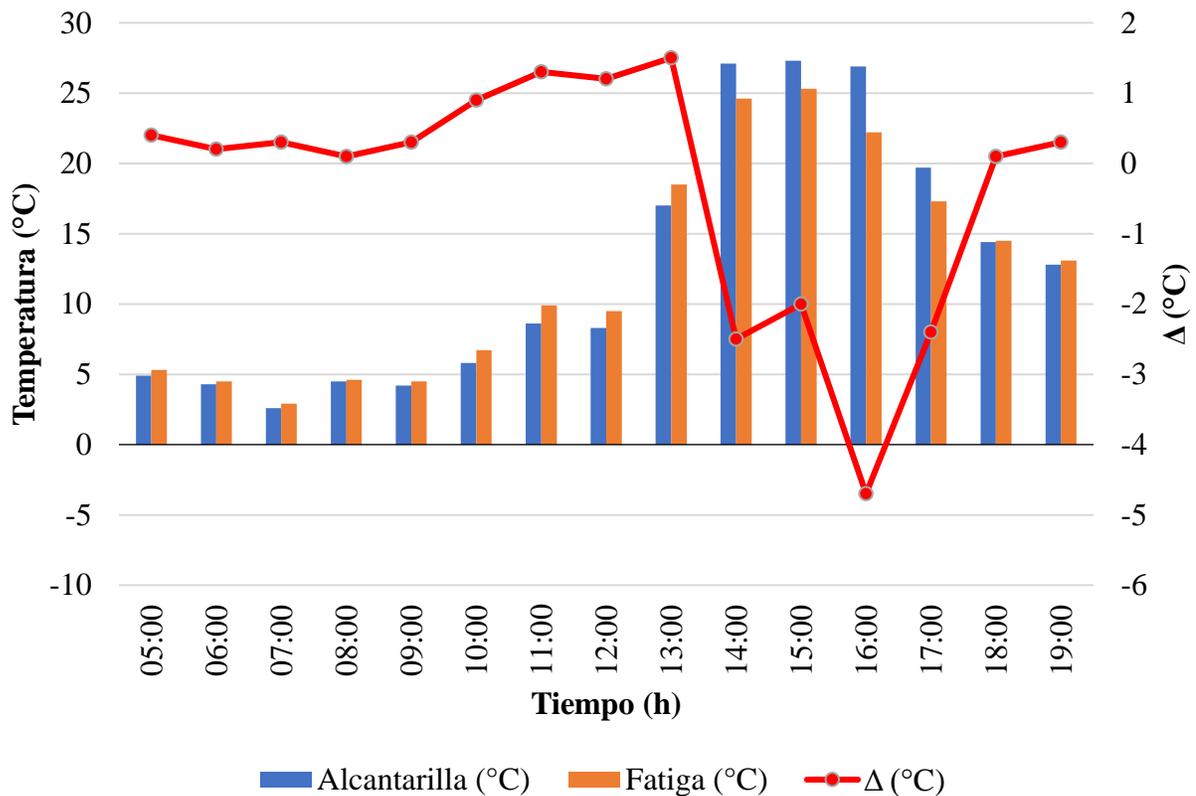


Figura 5. Temperaturas de la Zona 1.

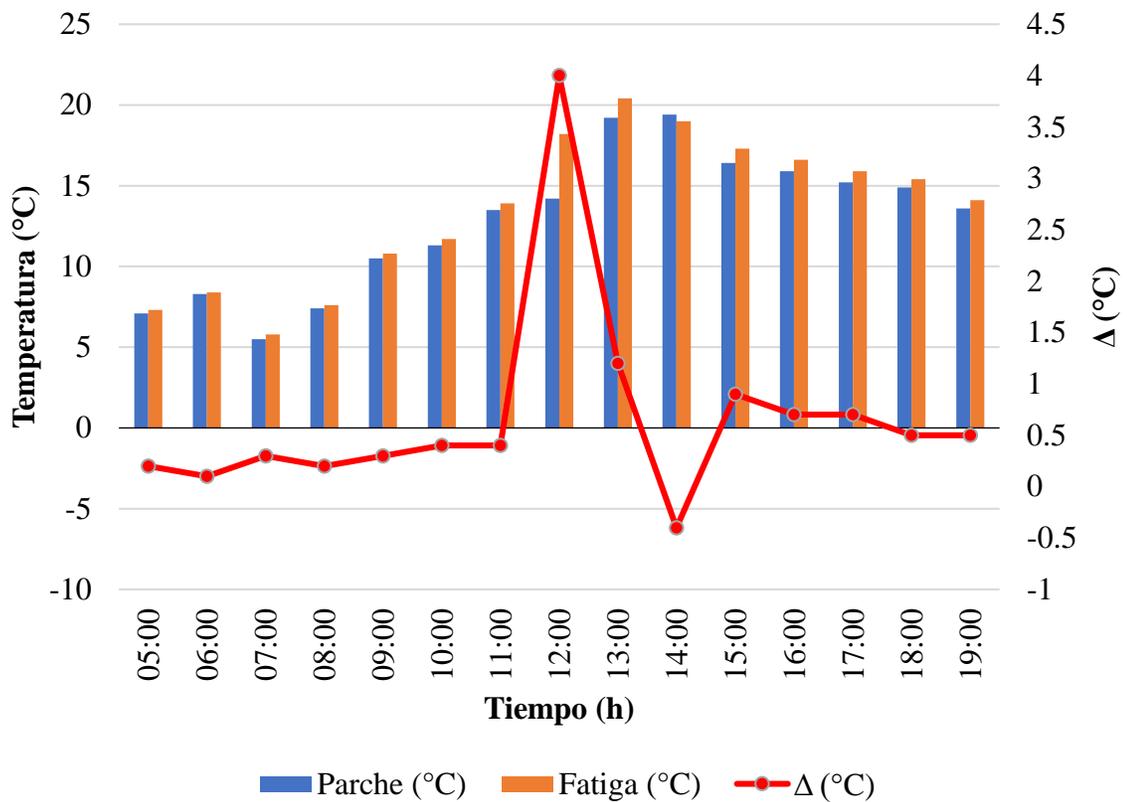


Figura 6. Temperaturas de la Zona 2.

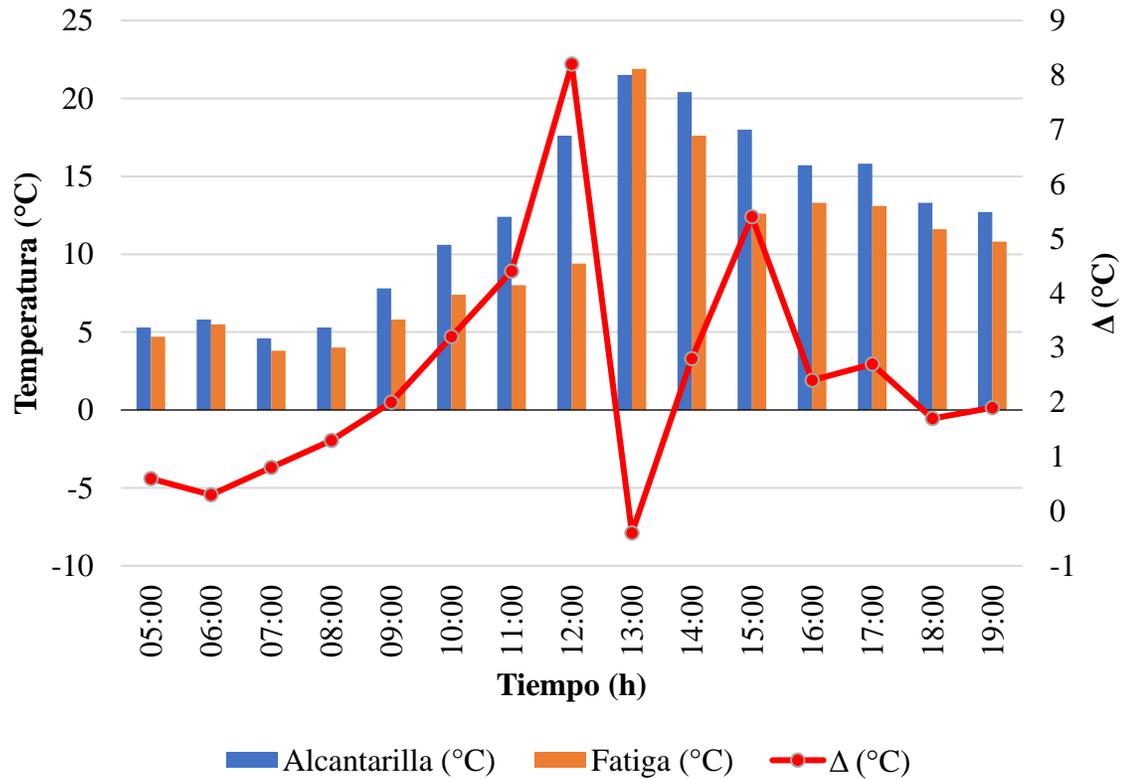


Figura 7. Temperaturas de la Zona 3.

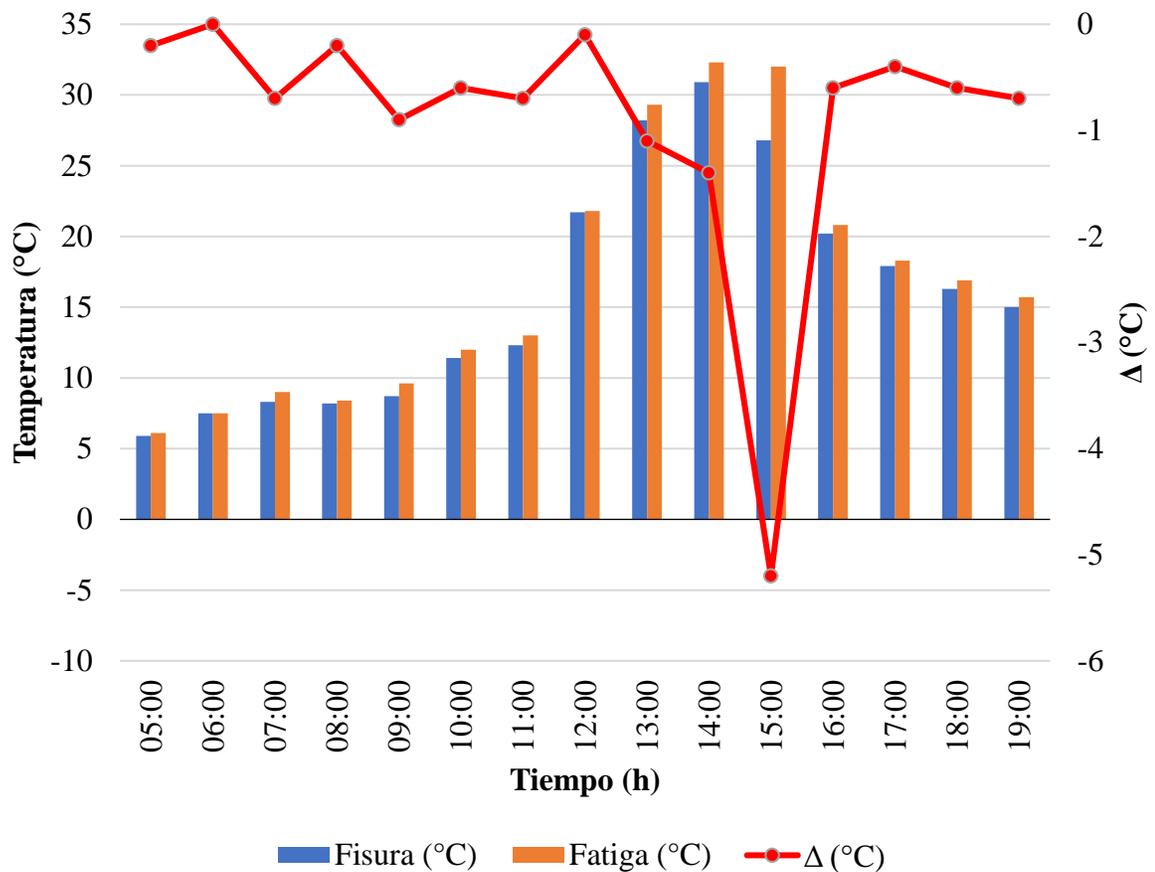


Figura 8. Temperaturas de la Zona 4.

La Figura 9 muestra el diferencial de temperaturas ( $\Delta T$ ) de las cuatro zonas en función del tiempo, además de la temperatura ambiente y la humedad relativa. Se puede observar que los valores máximos de los gradientes térmicos se dan entre las 11:00 a.m. y 4:00 p.m.; también se observa que desde las 5:00 a.m. a 8:00 a.m. los valores diferenciales son mínimos, siendo este periodo no apto para un análisis adecuado. El periodo de 4:00 p.m. a 7:00 p.m. muestra valores diferenciales pequeños, esto se debe al proceso de enfriamiento (noche), una vez que no está presente la radiación solar, los sectores calentados tienden a equilibrarse con el medio ambiente (Washer et al., 2010), Figura 4c. Se puede observar que el mejor periodo es de 11:00 a.m. a 4:00 p.m. porque existe mayor diferencial en la temperatura y permite la visualización de los defectos en los termogramas. Esto concuerda con otras investigaciones que indican que cuanto los gradientes térmicos sean más elevados los defectos son detectados (Solla et al., 2014; Farrag et al., 2016; Rocha et al., 2017). Respecto al comportamiento de los gradientes térmicos con la temperatura ambiente y la humedad relativa, se puede observar que los gradientes máximos ocurren cuando la temperatura ambiente es alta y la humedad relativa baja; contrariamente, cuando la temperatura ambiente es baja y la humedad relativa existen gradientes térmicos menores, 5:00 a.m. a 8:00 a.m. Lo que corrobora que la técnica es sensible a las condiciones ambientales (Rocha and Póvoas, 2017). Si bien el presente artículo solo se aplicó en una época del año, la técnica puede ser utilizada en cualquier estación del año. Es necesaria la exposición solar y una temperatura ambiente elevada. No obstante, los periodos óptimos de inspección cambiarían de acuerdo a la estación, dependiendo de las horas de exposición a la radiación solar y la temperatura del ambiente (Washer et al., 2010).

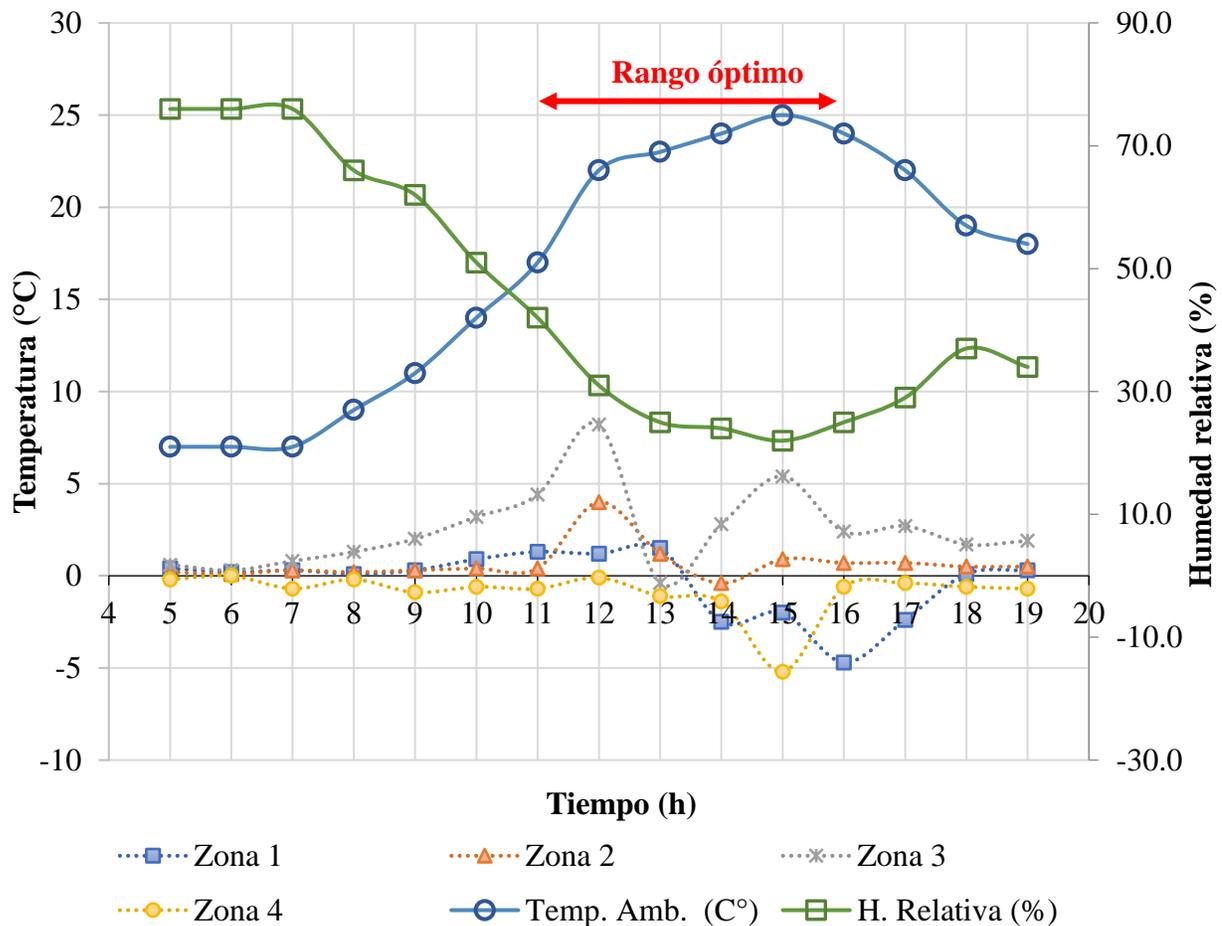


Figura 9. Gradiente de temperatura de las 4 zonas en estudio.

## 5. CONCLUSIONES

En conclusión, la aplicación de la termografía infrarroja en la detección de daños de pavimentos flexibles arroja resultados positivos. El ensayo puede ser considerado como método de inspección preliminar no destructivo, puesto que, es capaz de analizar grandes áreas en pequeños intervalos de tiempo; sin embargo, estos periodos son limitados a las horas de la tarde. El rango óptimo de inspección encontrado fue de 11:00 a.m. a 16:00 p.m.

La técnica puede detectar anomalías no visibles, indicando el sector afectado, pero no el tipo y magnitud del daño. Este aspecto requiere de una inspección detallada donde con otros estudios y ensayos se podría determinar con exactitud el tipo y naturaleza de daño que refleja la colorimetría del termograma.

La técnica muestra gradientes térmicos bajos en días nublados a diferencia de días soleados con temperaturas altas. Los cambios bruscos de temperatura ambiente durante el seguimiento arrojan datos discontinuos que son perjudiciales para el análisis del comportamiento del deterioro en pavimentos flexibles, sobre todo tratándose de inspecciones preliminares. La aplicación de termografía infrarroja activa y otros ensayos no destructivos podría reducir estas incertezas y generar resultados más objetivos.

## 6. REFERENCIAS

- ABC – Administradora Boliviana de Carreteras (2011), “*Manual de diseño de conservación vial*”. ABC, La Paz, Bolivia, p. 365. Last access on May 30, 2019. Available at: [http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/09/manual\\_de\\_diseño\\_de\\_conservación\\_vial\\_abc.pdf](http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/09/manual_de_diseño_de_conservación_vial_abc.pdf)
- Bagavathiappan, S., Lahiri, B., Saravanan, T., Philip, J. (2013), *Infrared thermography for condition monitoring - A review*. Infrared Physics & Technology. 60(1):35-55. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.03.006>
- Bolivia (2006a), *Ley N°3507*, 27 de octubre de 2006. Último acceso 30 de mayo de 2019. Disponible en: [http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/07/Ley\\_3507.pdf](http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/07/Ley_3507.pdf)
- Bolivia (2006b), *Decreto Supremo N°28946*, 25 de noviembre de 2006. Last access on May 30, 2019. Available at: [http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/07/Decreto\\_Supremo\\_N%C2%BA\\_28946.pdf](http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/07/Decreto_Supremo_N%C2%BA_28946.pdf)
- Cengel, Y. (2003), “*Heat Transfer, a practical approach*”. McGraw-Hill, Segunda Edición, p. 932.
- Farrag, S., Yehia, S., Qaddoumi, N. (2016). *Investigation of Mix-Variation Effect on Defect-Detection Ability Using Infrared Thermography as a Nondestructive Evaluation Technique*. Journal of Bridge Engineering, 21(3):1-15. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000779](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000779)
- Fernandes, F. M., Pais, J. C. (2017), *Laboratory observation of cracks in road pavements with GPR*. Construction and Building Materials, 154:1130-1138. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.022>
- FLIR (2016), “*Smartphone S60 de Cat® Manual del usuario*”. Last access on May 28, 2019. Available at: <https://www.catphones.com/download/User-Manuals/S60-Smartphone/S60-Manual-del-usario-Espa%C3%B1ol.pdf>
- Garrido, I., Lagüela, S., Arias, P. (2018), Infrared Thermography’s Application to Infrastructure Inspections. *Infrastructures*, 3(3):1-19. Doi: <https://doi.org/10.3390/infrastructures3030035>
- Golrokh, A. J., Lu, Y. (2019), *An experimental study of the effects of climate conditions on thermography and pavement assessment*. International Journal of Pavement Engineering, 1-12. Doi: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1656809>
- Janků, M., Cikrle, P., Grošek, J., Anton, O., Stryk, J. (2019), *Comparison of infrared thermography, ground-penetrating radar and ultrasonic pulse echo for detecting delaminations in concrete bridges*. Construction and Building Materials, 225:1098–1111. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.320>
- Khamzin, A. K., Varnavina, A. V., Torgashov, E. V., Anderson, N. L., Sneed, L. H. (2017), *Utilization of air-launched ground penetrating radar (GPR) for pavement condition assessment*. Construction and Building Materials, 141:130-139. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.105>
- Lin, S., Ashlock, J., Williams, R. C., Lee, H. D., Wang, Y. (2018), *Evaluation of three nondestructive testing techniques for quality assessment of asphalt pavements*. Nondestructive Testing and Evaluation, 33(4):361-375. Doi: <https://doi.org/10.1080/10589759.2018.1484921>
- Los Tiempos (2016), “*Caos de tráfico vehicular en la ciudad de Cochabamba*”. Last access on May 30, 2019. Available at: <http://www.lostiempos.com/actualidad/opinion/20161221/columna/caos-trafico-vehicular-ciudad-cochabamba>

- Los Tiempos (2016), “Población protesta por el mal estado de las calles en Cochabamba”. Last access on June 25, 2019. Available at: <https://www.lostiempos.com/actualidad/local/20160420/poblacion-protesta-mal-estado-calles-cochabamba>
- Los Tiempos (2019), “Cochabamba: ciudad de baches y eternas fallas en el asfalto”. Último acceso 25 de junio de 2020. Disponible en: <https://www.lostiempos.com/especial-multimedia/20190408/cochabamba-ciudad-baches-eternas-fallas-asfalto>
- Lovera, G. C. (2017), “La política caminera del modelo de capitalismo de Estado de 1952 – 1985”, Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés, p. 126.
- Muñoz-Potosí, A., Pencue-Fierro, L., León-Téllez, J. (2009), *Análisis Termográfico Para La Determinación De Puntos Críticos En Equipos Mecánicos Y Eléctricos*. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 7(1):1-4. Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90312171013>
- Opinión (2018), *Alcaldía inicia reparación de baches en las calles*. Último acceso 25 de junio de 2020. Disponible en: <https://www.opinion.com.bo/articulo/cochabamba/alcald-iacute-inicia-reparaci-oacute-n-baches-calles/20180220000500605048.html>
- Rehman, S., Ibrahim, Z., Memon, S. A., Jameel, M. (2016), *Nondestructive test methods for concrete bridges: A review*. Construction and Building Materials. 107(15):58-86. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.011>
- Revillas, S. (2011), “Guía de la termografía infrarroja, aplicaciones en ahorro y eficiencia energética”. eBuilding, Madrid, España, p. 189. Available at: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-la-Termografia-Infrarroja-fenercom-2011.pdf>
- Rocha, J., Póvoas, Y. (2017), *Infrared thermography as a non-destructive test for the inspection of reinforced concrete bridges: A review of the state of the art*. Revista ALCONPAT, 7(3):200-214. Doi: <https://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.223>
- Rocha, J., Póvoas, Y., Silva, M., Monteiro, E. (2017), *Análise da Profundidade de Fissuras em Concreto com Termografia Infravermelha*. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, 2(3): 58-65. Doi: <https://doi.org/10.25286/repa.v2i3.688>
- Solla, M., Lagüela, S., González-Jorge, H., Arias, P. (2014), *Approach to identify cracking in asphalt pavement using GPR and infrared thermographic methods: Preliminary findings*. Ndt & E International, 62:55-65. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2013.11.006>
- Tosti, F., Ciampoli, L. B., D'Amico, F., Alani, A. M., Benedetto, A. (2018), *An experimental-based model for the assessment of the mechanical properties of road pavements using ground-penetrating radar*. Construction and Building Materials, 165: 966-974. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.179>
- Vyas, V., Patil, V. J., Singh, A. P., Srivastava, A. (2019), *Application of infrared thermography for debonding detection in asphalt pavements*. Journal of Civil Structural Health Monitoring, 9:325-337. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13349-019-00337-8>
- Washer, G., Fenwick, R., Bolleni, N. (2010), *Effects of Solar Loading on Infrared Imaging of Subsurface Features in Concrete*. Journal of Bridge Engineering, 15(4): 384-390. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000117](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000117)