

## Artículo Científico

**Análisis superficial de una fisura en pavimento flexible con termografía infrarroja****Surface analysis of a fissure in flexible pavement with infrared thermography**

Marina Pacara Copa 1.

1. Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.  
marinapacara@gmail.com

**RESUMEN**

Las diversas manifestaciones patológicas que se presentan en el pavimento flexible como ser las fisuras, deformación, ahuellamiento, desprendimientos, pérdida de las capas de la estructura, agrietamiento (fatiga), baches y parches, etc., siendo las mencionadas las más conocidas por ser detectadas a simple vista; cada una de estas merecen un dedicado estudio siendo muchas las razones por las cuales se llegan a manifestar. Este trabajo se centró en analizar de manera superficial una fisura en el pavimento flexible con termografía infrarroja realizando un monitoreo de 7 horas durante el día, desde las 11:00 hasta las 17:00. La fisura analizada pertenece a la calle vecinal Itos, de la zona sur de Cochabamba en la que se marcaron 6 puntos sobre la longitud de la fisura. Mediante el monitoreo de los 6 puntos se pudo observar y comprobar una tendencia ascendente relativamente homogénea de la temperatura en los distintos puntos, siendo cada una diferente por la gravedad que visiblemente se percibió en toda la trayectoria de la fisura; también se observó una temperatura máxima y mínima que se concluye que muestran los puntos de fisura superficial y fisura crítica (profunda) respectivamente. Siendo este un análisis superficial mediante la apreciación del ojo humano, versus los resultados de la termografía infrarroja, merece un estudio profundo y objetivo para ampliar, corroborar, descartar y corregir lo estudiado en este caso.

**Palabras claves:** Fisura. Pavimento flexible. Termografía infrarroja.

**ABSTRACT**

The various pathological manifestations that occur in the flexible pavement such as fissures, deformation, collapse, detachments, loss of the layers of the structure, cracking (fatigue), potholes and patches, etc., being those mentioned the best known to be detected with the naked eye; each of these deserves a dedicated study, with many reasons of why they manifest. This work focused on superficially analyzing a crack in flexible pavement with infrared thermography, performing a 7-hour monitor during the day, from 11:00 a.m. to 5:00 p.m. The analyzed fissure belongs to the Itos street in the southern area of Cochabamba, in which 6 points were marked over the length of the fissure. By monitoring the 6 points, a relatively homogeneous upward trend in temperature could be observed and verified at different points, each being different due to the severity that was visibly noticed throughout the fissure path; a maximum and minimum temperature was also observed, which was concluded to show the points of superficial fissure and critical (deep) fissure respectively. Since this is a superficial analysis through the appreciation of the human eye, versus the results of infrared thermography, it deserves a thorough and objective study to expand, corroborate, rule out and correct what has been studied in this case.

**Keywords:** Fissure. Flexible pavement. Infrared thermography.

## INTRODUCCIÓN

El pavimento flexible está compuesto por subbase, base y carpeta asfáltica; esta debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito y al intemperismo, así como transmitir los esfuerzos por las cargas del parque automotor mediante un mecanismo de disipación de tensiones. Entre las principales características que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes: resistencia estructural, deformabilidad, durabilidad y comodidad (Oviedo, 2007).

Los pavimentos flexibles son altamente sensibles al cambio de temperatura debido a su composición química y su reactividad con el oxígeno (Coromoto, 2012; Valdés et al., 2012). El componente principal del asfalto es un material relativamente inerte con respecto a una cantidad considerable de sustancias químicas, por eso se utilizan mucho en recubrimientos protectores (Coromoto, 2012; Valdés et al., 2012).

El deterioro en pavimentos flexibles son patologías que se hacen presentes en corto y/o largo plazo debido a diversas causas, entre las que podemos mencionar:

- Deficiencia en la dosificación del cemento asfáltico.
- Cálculo estructural erróneo.
- Incidencia de las condiciones ambientales a la cual está expuesta el pavimento flexible.

Una de las manifestaciones más comunes en el pavimento flexible son las fisuras, que son discontinuidades en la carpeta asfáltica en dirección al tránsito o perpendicular al mismo, indicando la presencia de esfuerzos de tensión en alguna capa de la estructura (Miranda, 2010). En la actualidad, Bolivia no realiza minuciosos estudios para verificar la magnitud de severidad de las fisuras presentes en las vías, el inventario de daños se limita meramente a una apreciación visual de la fisura en campo tomando en cuenta la longitud y ancho de abertura principalmente; este trabajo lo realiza personal capacitado y con amplia experiencia; no obstante, se hace necesario buscar otras técnicas que puedan coadyuvar a una mejor valoración de la severidad de las fisuras.

En este sentido, se propone la técnica de la termografía infrarroja como alternativa para dicha tarea; sin embargo, es necesario realizar estudios complementarios para apreciar las limitaciones del método con respecto a su aplicación en pavimento flexible; cabe mencionar que esta técnica tiene un considerable avance en campo de la ingeniería eléctrica, mecánica (Muñoz et al., 2017; Revillas, 2011) e ingeniería civil, más propiamente hormigones (Rocha et al., 2017; FLIR, 2016).

El presente trabajo pretende analizar de manera superficial una fisura presente en el pavimento flexible con termografía infrarroja, haciendo una comparación con una apreciación visual, tomando como caso de estudio la calle vecinal Itos ubicada en la zona sur de Cochabamba, en la que la carpeta asfáltica tiene un año de antigüedad.

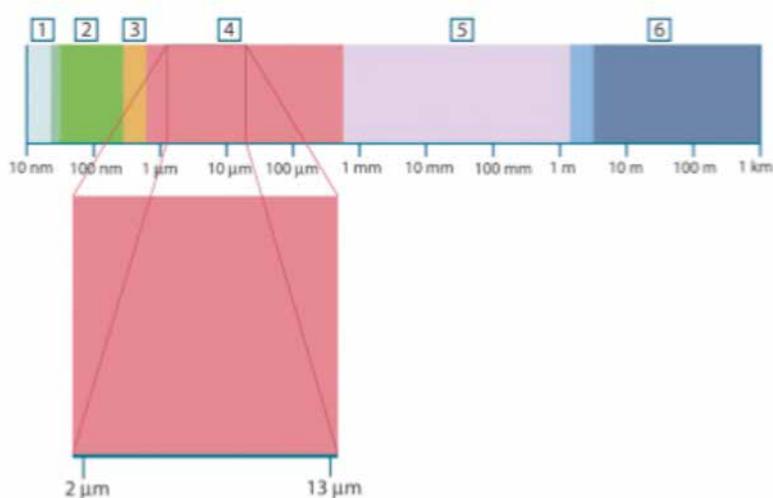
La aplicación de la termografía infrarroja es posible ya que es capaz de analizar grandes áreas en pequeños intervalos de tiempo, pero con limitaciones horarias; además de detectar anomalías no visibles para el ojo humano (Pacara et al., 2019), siendo este último el aspecto que se aprovecha para el análisis de este trabajo.

### TERMOGRAFÍA INFRARROJA

La termografía utiliza la banda espectral del infrarrojo. En el extremo de la longitud de onda corta, la frontera se encuentra en el límite de la percepción visual, en el rojo profundo: mientras que en el extremo de longitud de onda larga se funde con las longitudes de onda de radio de microondas, en el intervalo del milímetro.

Con frecuencia, la banda del infrarrojo se subdivide en cuatro bandas menores cuyos límites son igualmente arbitrarios, como la infrarroja cercana ( $0,75-3 \mu\text{m}$ ), la infrarroja media ( $3-6 \mu\text{m}$ ), la infrarroja lejana ( $6-15 \mu\text{m}$ ) y la infrarroja extrema ( $15-100 \mu\text{m}$ ) (Figura N°1).

Figura N°1. Espectro electromagnético



Fuente: FLIR, 2016.

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; Rocha et al., 2017). La cámara convierte la radiación infrarroja en una imagen visible de temperatura, conocida como termograma.

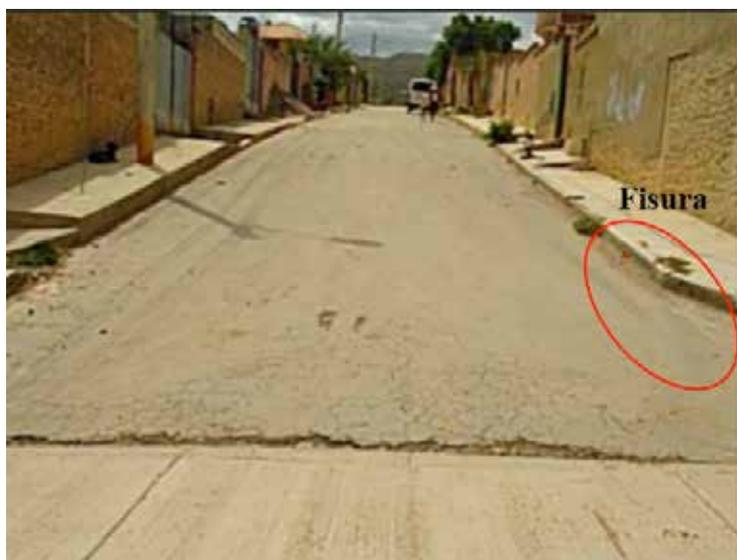
### MATERIALES Y MÉTODOS

Para lograr el objetivo del presente trabajo se realizó un monitoreo de 7 horas en fecha 17 de marzo del 2019 mediante la toma de imágenes termográficas a cada hora, desde las 11:00 am hasta las 17:00 pm.

La zona de estudio se encuentra en la zona sud de Cochabamba, calle vecinal Itos, cuya carpeta asfáltica tiene una antigüedad de un año en la que se evidencian diversas anomalías de las cuales es de interés para este trabajo la fisura.

En la Figura N°2 se aprecia la vista panorámica de toda la calle y la ubicación de la fisura en particular para el propósito de este estudio, también se pone en evidencia las diversas anomalías presentes en el sector.

Figura N° 2. Calle Itos vista panorámica.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

La fisura se encuentra a 1.7 m de distancia del inicio al costado derecho, con una longitud de 0.7m de severidad leve según apreciación visual. El equipo utilizado fue un CAT S60 que viene equipado con una cámara FLIR integrada cuyas características se observan en la Tabla N°1.

Tabla N°1. Especificaciones MyFLIR de S60

Cámara térmica y visual con MSX	
Sensor Térmico	Tamaño de pixel 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
Radiometría	
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

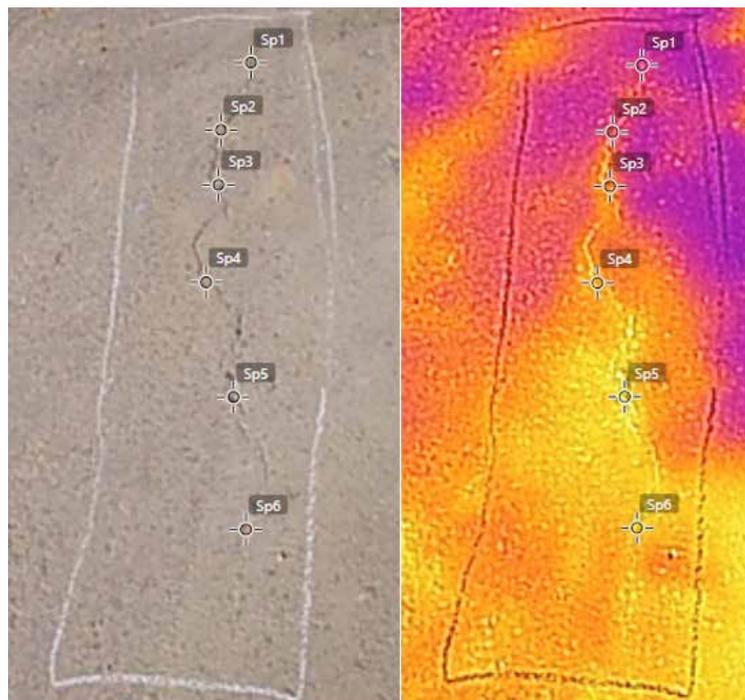
Fuente: FLIR, 2016.

Las imágenes termográficas obtenidas durante el monitoreo horario fueron procesadas y analizadas mediante el programa FLIRTools, que además de ser una herramienta que facilita la creación de informes de inspección, permite editar y analizar imágenes con rapidez, ya que el programa permite el ajuste y modificación de los parámetros, escalar el rango de temperaturas y/o cambiar la colorimetría según el escenario que convenga al estudio (Pacara et. al., 2019).

## RESULTADOS

Para una mejor apreciación del análisis superficial de la fisura mediante la termografía infrarroja se tiene, en la Figura N°3, el termograma en la que se observa claramente la colorimetría diferenciada de la fisura en base a su entorno, donde los colores con tendencia al negro indican temperaturas bajas y los colores con tendencia al blanco o amarillo indican temperaturas altas (Pacara et. al., 2019; Rocha et. al., 2017). Aparentemente, hay sectores de mayor temperatura que otros a lo largo de la fisura, sin embargo, este aspecto será detallado mediante los valores de temperatura resultantes del monitoreo horario.

Figura N°3. Imagen convencional vs termograma de la fisura



Fuente: Elaboración propia, 2019.

La Figura N° 3 muestra la fisura descrita anteriormente en una imagen convencional versus una imagen termografía en la que se muestra 6 puntos aleatorios Sp1, Sp2, Sp3, Sp4, Sp5 y Sp6, de los cuales se extrajo las temperaturas correspondientes al monitoreo horario como muestra la Tabla N°2, donde indica que las temperaturas pico de cada punto son a las 16:00.

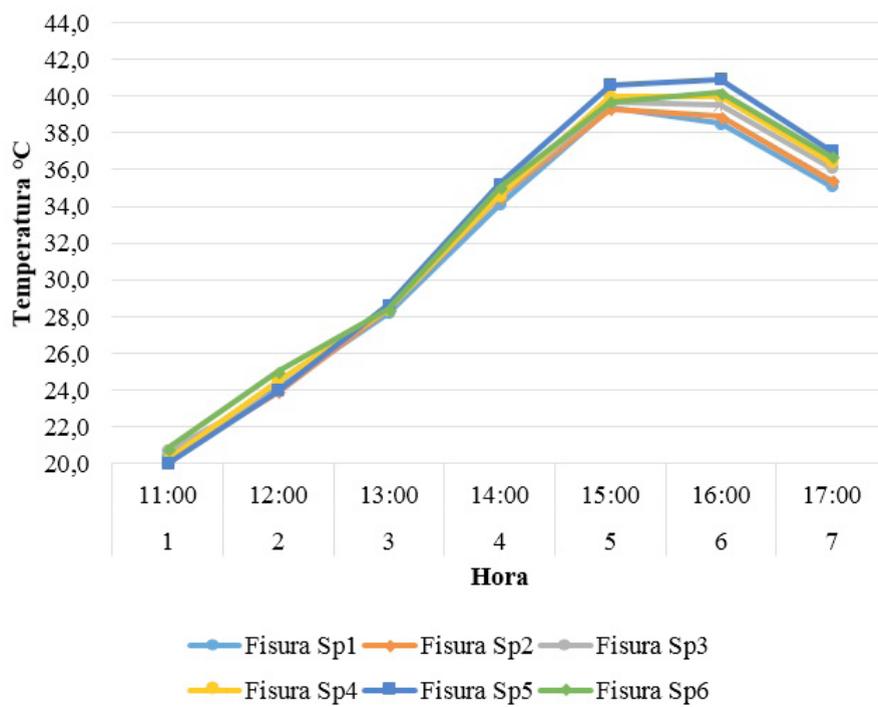
Tabla N°2. Monitoreo de temperaturas fisura

Nro	Hora	Tipo de Deterioro: Fisura						
		Deterioro 3	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6
1	11:00		20,4	20,2	20,7	20,2	20,0	20,8
2	12:00		24,1	23,9	24,0	24,5	24,0	25,0
3	13:00		28,2	28,4	28,6	28,4	28,6	28,4
4	14:00		34,1	34,5	34,6	34,6	35,2	35,0
5	15:00		39,4	39,3	39,7	40,0	40,6	39,7
6	16:00		38,5	38,9	39,5	40,0	40,9	40,2
7	17:00		35,1	35,4	36,1	36,4	37,0	36,7

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La Figura N° 4 muestra el comportamiento de los 6 puntos sobre la fisura con respecto al tiempo de exposición al sol, considerando que antes de las 11 (hora de inicio de monitoreo) el clima era desfavorable (nublado); se observa que los valores más altos de cada punto se da entre las 15:00 y 16:00 horas, en este intervalo de tiempo se puede apreciar el mayor diferencial de temperaturas entre los 6 puntos, que nos indica que el puntos Sp5 indica la temperatura máxima de la serie con un valor de 40,9 °C y el punto Sp1 que muestra el valor más bajo de la serie con un 38,5 °C, considerándose este el punto más crítico.

Figura N°4. Deterioro 3: Temperaturas registradas en fisura



Fuente: Elaboración propia, 2019.

El punto Sp1 según su comportamiento y valor de temperatura siendo esta la más alta de la serie indica que la fisura en esa sección es superficial en tanto que el punto Sp5 con la temperatura más baja indica que la fisura en esa sección es la más profunda de toda la longitud estudiada. A su vez, este sería el punto de inicio de la falla extendiéndose cuesta abajo, este aspecto es coincidente con las temperaturas indicadas en la Tabla N°2 siguiendo una secuencia lógica y relativamente ordenada.

## DISCUSIÓN

Dado que el levantamiento del inventario de las patologías presentes en una vía se basa simplemente en una apreciación visual y confiando en la experiencia y criterio del observador, solo se puede definir la severidad del daño en tres niveles alto, medio y bajo; con el uso de la termografía infrarroja además de la imagen convencional y termográfica se puede analizar otros aspectos como la sección más crítica, el epicentro de la falla y la tendencia o ruta de la fisura; estos suman a favor de la aplicación de la técnica sin embargo al ser comparado simplemente con una visualización este trabajo requiere de estudios posteriores con ensayos más certeros que verifiquen o amplíen los resultados encontrados.

## Conclusiones

La termografía infrarroja es eficiente para analizar fisuras en pavimento flexible ya que puede aportar con otros datos que visualmente no se pueden apreciar cómo ser la sección crítica, epicentro de la fisura y ruta de la fisura, estos datos pueden ayudar a entender el comportamiento de las fisuras para un adecuado tratamiento de ellas coadyuvando así a una buena gestión de vías.

El presente trabajo es un análisis superficial, pero con otros estudios se podría definir nuevos niveles de severidad en base al comportamiento de las temperaturas y el diferencial térmico entre los puntos.

El punto Sp1 presenta la temperatura más baja que indica el epicentro de la falla y siguiendo la secuencia lógica de los puntos Sp2, Sp3, Sp4, Sp5 y Sp6 se define la dirección de la fisura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cengel, Y. (2003), Heat Transfer, a practical approach. McGraw-Hill, Segunda Edición, p. 932.
- Coromoto L. (2012). Influencia de la Temperatura en las Propiedades de Mezclas Asfálticas en Caliente Mediante Termografía (Tesis de licenciatura). Universidad Simón Bolívar, Sartenejas-Venezuela, p. 108.
- FLIR (2016). Smartphone S60 de Cat® Manual del usuario. Último acceso: 28 de mayo de 2019. Disponible en: <https://www.catphones.com/download/User-Manuals/S60-Smartphone/S60-Manual-del-usario-Espa%C3%B1ol.pdf>
- Miranda R. (2010), Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos (Tesis de licenciatura). Universidad Austral de Chile, Valdivia-Chile, p. 93.
- 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), 2009, 1-4.
- Oviedo G. (2007). Manual de Mantenimiento de Pavimentos Asfálticos. Editorial IMMECA, Mérida-Venezuela.
- Pacara M., Rocha J. y Ledezma J. S. (2019). Termografía Infrarroja como Alternativa no Destructiva para la evaluación de deterioros en pavimentos flexibles. XV Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción, Chiapas – México, p. 11.
- Revillas, S. (2011), Guía de la termografía infrarroja, aplicaciones en ahorro y eficiencia energética. eBuilding, Madrid, España, p. 189. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/>

Guia-de-la-Termografia-Infrarroja-fenercom-2011.pdf

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.

<https://doi.org/10.25286/repa.v2i3.688>

Valdés, G, Pérez-Jiménez, F, & Martínez, A. (2012). Influencia de la temperatura y tipo de mezcla asfáltica en el comportamiento a fatiga de los pavimentos flexibles. Revista de la construcción, 11(1), 87-100.

<https://doi.org/10.4067/S0718-915X2012000100009>

Derechos de Autor (c) 2019 Mariana Pacara Copa.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)