

## Uso de vehículo aéreo no tripulado (VANT) en la identificación de falla superficial en pavimento asfáltico

D. Cardoso Parente<sup>\*1</sup>, N. Carvalho Felix<sup>2</sup>, A. Pessoa Picanço<sup>3</sup>

\* Autor de Contacto: [denisparente@yahoo.com.br](mailto:denisparente@yahoo.com.br)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.161>

Recibido: 26-01-2017 | Aceptado: 12-04-2017 | Publicado: 31-05-2017

### RESUMEN

La presente investigación tuvo el propósito de desarrollar un procedimiento alternativo e innovador para identificar las manifestaciones patológicas superficiales en pavimento asfáltico de un tramo de vía identificado como TO-050, en Palmas - Tocantins. Como herramienta se utilizó un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), softwares para plano de vuelo y procesamiento de imágenes, mosaicos de ortofotos y Modelo Digital de Superficie (MDS) del área en estudio. Por medio de la interpretación visual de los productos generados fue posible identificar las manifestaciones patológicas en su variedad confrontando datos obtenidos por medio de las imágenes con datos de inspecciones en sitio. Aun cuando presenta un elevado potencial de reconocimiento de áreas comprometidas, hay que destacar que la inestabilidad del vehículo interfiere considerablemente en la calidad de las imágenes generadas.

**Palabras clave:** vehículo aéreo no tripulado; patología; pavimento asfáltico.

**Citado como:** D. Cardoso Parente, N. Carvalho Felix, A. Pessoa Picanço (2017), “Uso de vehículo aéreo no tripulado (VANT) en la identificación de falla superficial en pavimento asfáltico”, Revista ALCONPAT, 7 (2), pp. 160-171, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.161>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO, Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP / ULBRA, Brasil.

<sup>2</sup> Centro Universitário Luterano de Palmas - TO / CEULP ULBRA, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal do Tocantins – UFT, Brasil.

### 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)

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

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

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2018 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2017.

## Use of unmanned aerial vehicle (UAV) in the identification of surface pathology in asphalt pavement

### ABSTRACT

The present research had the purpose of developing an alternative and new procedure to identify the surface pathological manifestations in asphaltic pavement of a stretch of highway TO-050, in Palmas - TO. An unmanned aerial vehicle (UAV), flight plan and image processing software, orthophotos and Digital Surface Model (MDS) of the study area were used as tool. By means of the visual interpretation of the generated products it was possible to identify the pathological manifestations in its variety, comparing data obtained through the images with in loco inspection data. Even though it presents a high potential for recognition of compromised areas, it is important to highlight that the instability of the aircraft interferes considerably with the quality of the images generated.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle; pathology; asphalt pavement.

## Utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) na identificação de patologia superficial em pavimento asfáltico

### RESUMO

A presente investigação teve o propósito de desenvolver um procedimento alternativo e inovador para identificar as manifestações patológicas superficiais em pavimento asfáltico de um trecho da via TO-050, em Palmas - TO. Como ferramenta foi utilizado um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), softwares para plano de voo e processamento de imagens, mosaicos de ortofotos e Modelo Digital de Superfície (MDS) da área em estudo. Por meio da interpretação visual dos produtos gerados foi possível identificar as manifestações patológicas em sua variedade, confrontando dados obtidos por meio das imagens com dados de inspeções no local. Mesmo apresentando elevado potencial de reconhecimento de áreas comprometidas, cabe destacar que a instabilidade da aeronave interfere consideravelmente na qualidade das imagens geradas.

**Palavras chave:** veículo aéreo não tripulado; patologia; pavimento.

## 1. INTRODUCCIÓN

En virtud de las pocas inversiones ferroviarios e hidroviarios, y del alto costo del transporte aéreo, en Brasil, la mayoría del transporte de cargas y personas son realizadas por medios terrestres. Entre los tipos de pavimentos en las carreteras existentes existe el flexible (cuyo revestimiento está constituido por material betuminoso) y el rígido (formado por losas de concreto). (LUCENA, 2016)

Los pavimentos, según el DNIT (2011), configuran un patrimonio valioso, que debe ser conservado y restaurado de forma de garantizar su preservación. Cualquier interrupción ó reducción en la intensidad ó la frecuencia de los servicios de mantenimiento de esos pavimentos implica en aumentos en los costos de operación de los vehículos y en la necesidad de inversiones cada vez mayores con su recuperación.

Según Vieira *et al.*, (2016, la degradación precoz de los pavimentos rehabilitados y de los nuevos, está relacionada a aplicaciones de proyectos inadecuados para las vías, proyectos que muchas veces son elaborados sin un levantamiento detallado del pavimento o de la situación en que el

terreno se encuentra. En algunos casos ocurre que los métodos de evaluación de las condiciones reales de las vías son utilizados de forma inadecuada ó ineficiente.

La identificación de las patologías tiene por finalidad valorar el estado de conservación de los pavimentos asfálticos, permitiendo un diagnóstico de la situación funcional y con ello establecer soluciones técnicamente adecuadas, indicando las mejores alternativas para el mantenimiento ó restauración del pavimento. (MARCON, 1996)

Actualmente existen métodos de evaluación de pavimentos asfálticos que pueden pasar informaciones que permitirán saber la condición real de la superficie del pavimento asfáltico, y con esos resultados obtener las mejores formas para que sea realizada una acción preventiva ó una restauración de la vía. (SHAHIN, 1996)

En este contexto, el objetivo general de este trabajo es evaluar la potencialidad de las imágenes obtenidas por medio de VANT como subsidio en el proceso de identificación de fallas en pavimentos, con aplicación en un trecho de la vía TO-050, en Palmas – TO.

## 2. VANTs Y LA IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN EL PAVIMENTO.

Aún cuando las inspecciones visuales sean indispensables y la calidad del producto generado tenga de forma fidedigna el estado de conservación de trechos de vías, este proceso viene ganando soporte con el avance de nuevas tecnologías. Una de ellas es la tecnología de sensoriamiento por VANTs, que presenta características, como adquisición rápida de datos y movilidad frente a las adversidades temporales.

Según Bento (2008), la integración de sensores de imágenes con sensores de posición (Global Navigation Satellite System - GNSS) en la plataforma del VANT posibilita el georeferenciamiento directo, permitiendo los procesos de generación de Modelo Digital de Superficie (MDS) y de ortoimágenes, herramientas utilizadas en esa investigación buscando la identificación de fallas superficiales en un trecho pavimentado.

En los últimos años, el uso de VANTs para fines civiles comenzó a aumentar gracias a los avances tecnológicos, reducción de costos y de tamaño de los sensores relacionados al Sistema de Posicionamiento Global (GPS), vuelos pre-programados, IMUs (unidades de movimiento inercial) y auto-pilotos. En este sentido, la tecnología puede llenar algunas lagunas de conocimiento, mejorando la resolución espacial y temporal de los sistemas de sensores remoto-actuales más comunes. (NISHAR et al., 2016)

Breen *et al.*, (2015) relata que la relación costo-eficacia, facilidad de uso, flexibilidad de planificación e implantación de vuelo, la disponibilidad de una gama de sensores de alta resolución y software de post-procesamiento constatan a esa herramienta el potencial superior en relación a las imágenes de satélite e imágenes de aviones tripulados.

## 3. PROCEDIMIENTO

Con la intención de evaluar la aplicabilidad de las imágenes obtenidas por VANTs para mapeamiento e identificación de las fallas existentes en un trecho de la vía TO-050, se propone este estudio, de carácter metodológico exploratorio- descriptivo y cualitativo.

### 3.1. Área de estudio

Como unidad de muestra para la investigación, fue seleccionado un trecho de aproximadamente 3,0km de la vía estadual TO-050. Se trata de una vía de pista simple, pavimentada que conecta las ciudades de Palmas, Porto Nacional y Silvanópolis con una extensión total de 124km. En el mapa vial siguiente, es posible ver el alcance de la TO-050.

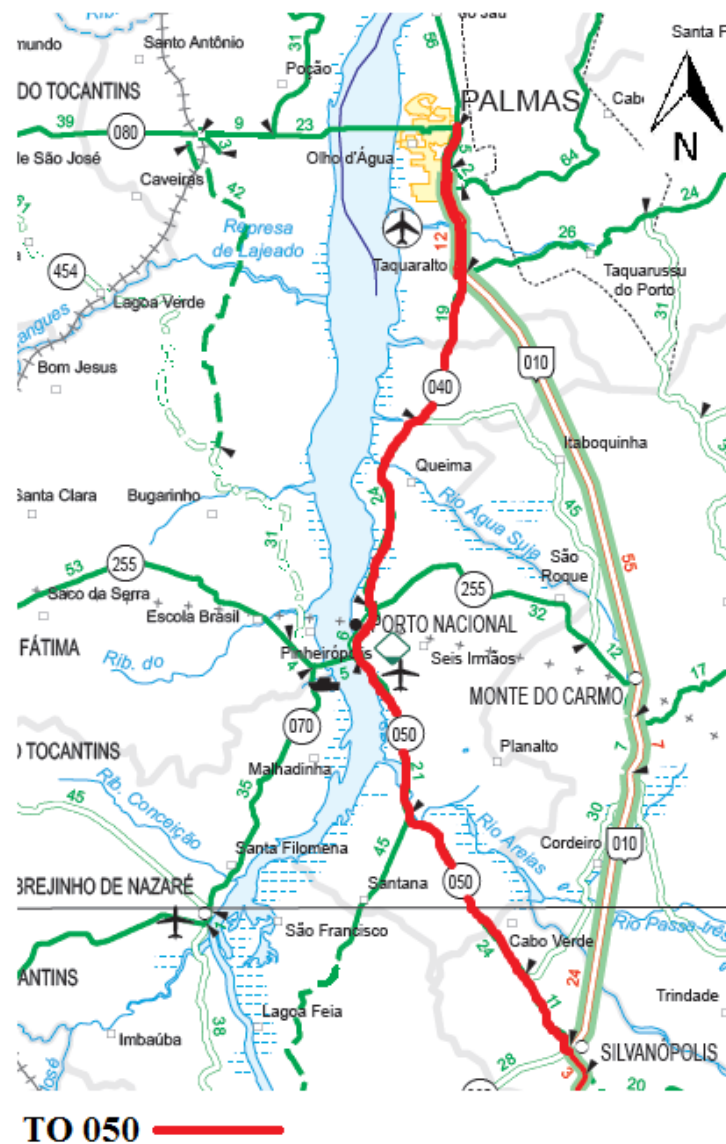


Figura 1. Vía estatal TO-050 conectando las ciudades de Silvanópolis, Porto Nacional y Palmas.

Actualmente el trecho en estudio es considerado de extrema importancia para la movilidad urbana de la capital Palmas, una vez que conecta el área central de la ciudad a las urbanizaciones Aurenys, Taquaralto, Sector Sonia Regina, Sector Jardín Santa Barbara, entre otros, presentando así un flujo de vehículos en horarios comerciales bastante intenso.

## 3.2. Materiales

### 3.2.1 VANT eBee y softwares de procesamiento de imágenes

Para la recolección de las imágenes fue utilizado el vehículo aéreo modelo eBee (Figura 2). Consta de una plataforma aérea con sensores específicos acoplados que permiten obtener imágenes fotográficas y videos. La aeronave trae incorporados los sensores que posibilitan la estabilidad del equipo en misión, tanto como la transmisión de datos que garantizan el acompañamiento directo de la ejecución del vuelo.





Figura 2. VANT modelo eBee.

La planificación de vuelo es elaborada por medio de la estación base con el siguiente conjunto: el software eMotion 2, responsable por la programación del vuelo y ejecución del trayecto de la aeronave, y una antena transmisora, que permite el acompañamiento en tiempo real de sobrevuelo, bien como el envío de comandos de aterrizaje, mudanzas de dirección y toma de imágenes. La interfaz del programa muestra informaciones importantes sobre el nivel de batería, temperatura ambiente, altitud, posición, duración y velocidad del vuelo, velocidad del viento, resolución y sobreposición longitudinal y latitudinal del área a ser sobrevolada, altitud y link del radio.

Para el procesamiento de las imágenes y generación de los mosaicos ortorectificados, la aeronave también dispone de software específico, el Terra 3D. En ese proceso los puntos capturados por el GPS de la aeronave son asociados a cada una de las imágenes.

### 3.2.2 Cámaras

Las cámaras utilizadas en la toma de las imágenes reúnen características adecuadas y compatibles con el sistema eBee y la aplicación de formación de ortomosaico, dos modelos S110 NIR y el S110 RGB, adaptadas de forma de ser controladas por el piloto automático de la aeronave. La cámara NIR adquiere datos en la banda del infrarrojo próximo y la cámara RGB obtiene datos de imagen en el espectro visible que consiste en la posibilidad de reproducir cualquier color, a partir de una mezcla de apenas tres colores primarios conjuntamente con la luz: azul, verde y roja.

## 3.3. Métodos

### 3.3.1 Planificación de vuelo y adquisición de las imágenes

Una vez seleccionada el área de vuelo y el tamaño del píxel, el software dispone automáticamente el área, tiempo estimado de vuelo, altitud, espaciado entre líneas de trayecto y distancia a ser recorrida. El plano establecido para la presente investigación vislucró la identificación de fallas superficiales en un trecho de 3,0km de vía, por medio de un único arreglo de sobreposiciones de vuelo y uso de dos tipos de sensores en la captura de las imágenes. La Figura 3 trae detallado el proceso de sobreposición de las imágenes.

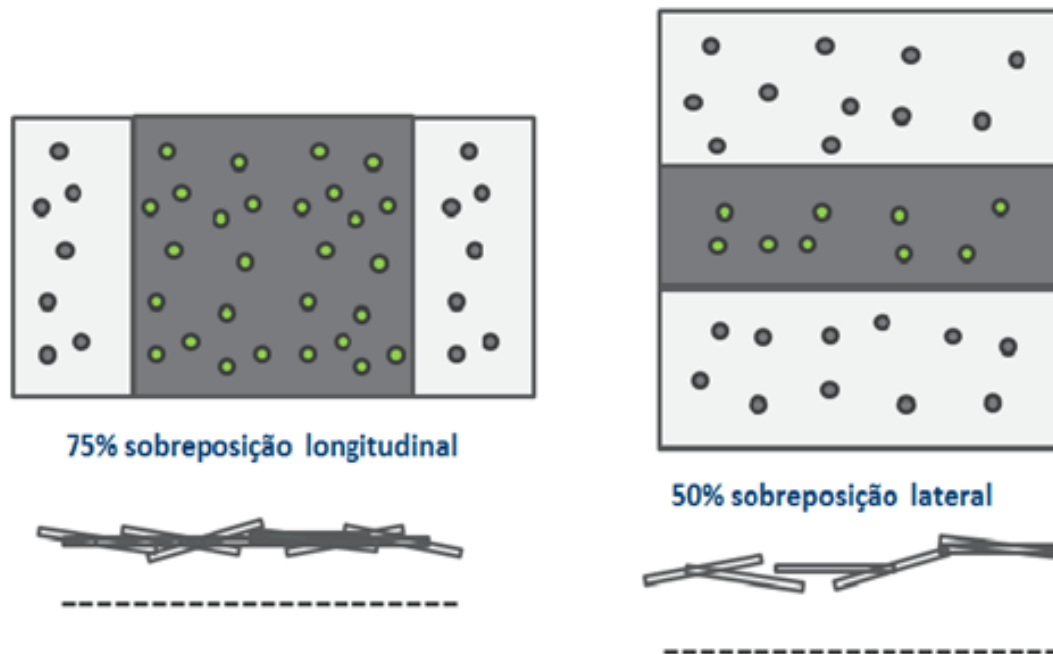


Figura 3. Sobreposición longitudinal y lateral de imágenes.

### 3.3.2 Montaje del ortomosaico

El mosaico debidamente georreferenciado fue obtenido luego de una serie de etapas, que incluía la remoción de los errores y distorsiones causadas por el proceso de adquisición de las imágenes, y visualizó orientar las imágenes relacionando unas con otras y con relación a la escena completa. El georreferenciamiento de las imágenes es hecho por el software compatible con el modelo del sensor y de la aeronave, que dispone de GPS de navegación acoplado. Las coordenadas capturadas orientan todas las imágenes en la formación del mosaico georreferenciado. Su obtención posibilita el levantamiento de datos medibles, como área y volumen, facilitando la identificación de puntos imaginados.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

### 4.1. Análisis de la superficie del pavimento

El análisis de las fallas en el trecho vial de la TO-050 fue realizado por medio de la fotointerpretación de los mosaicos, que versa distinguir e identificar elementos en la superficie terrestre, por medio de las respuestas espectrales de los dos sensores utilizados. Dentro de la variedad de fallas superficiales encontradas, se destacan fallas de borde, baches y hundimientos con soplado lateral.

La Figura 4 presenta la falla de borde del revestimiento en un trecho en el hombrillo de la vía. Se percibe en esa imagen la pérdida de material entre el hombrillo y la isla central, ocasionando por el desvío irregular y la ausencia de media vía, lo que hace al pavimento vulnerables a ese tipo desagregación.



Figura 4. Pérdida de revestimiento del hombrillo.

En la Figura 5 son expuestas áreas afectadas por remiendos, fallas con mayor incidencia en el trecho sobrevolado. Generalmente los remiendos son causados por intervenciones correctivas en el pavimento, a razón de hundimientos, resbaladizos, grietas interconectadas, huecos, etc.

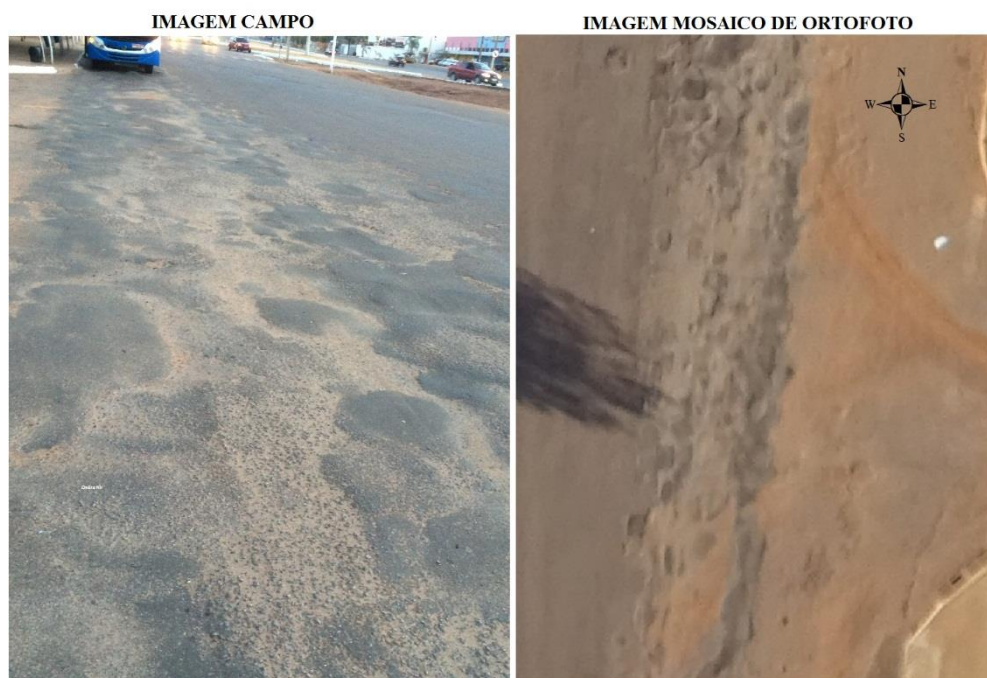


Figura 5. Remiendos de emergencias.

Hundimientos y levantamientos laterales también se muestran presentes en algunos trechos. La Figura 6 ilustra ese tipo de fallas, caracterizado por la formación de depresiones en el sentido longitudinal de la vía, acompañada de movimiento lateral o de elevaciones de las áreas adyacentes. Esa manifestación patológica está asociada al tráfico de vehículos pesados de transporte público (autobuses), que es más intenso en esa línea.



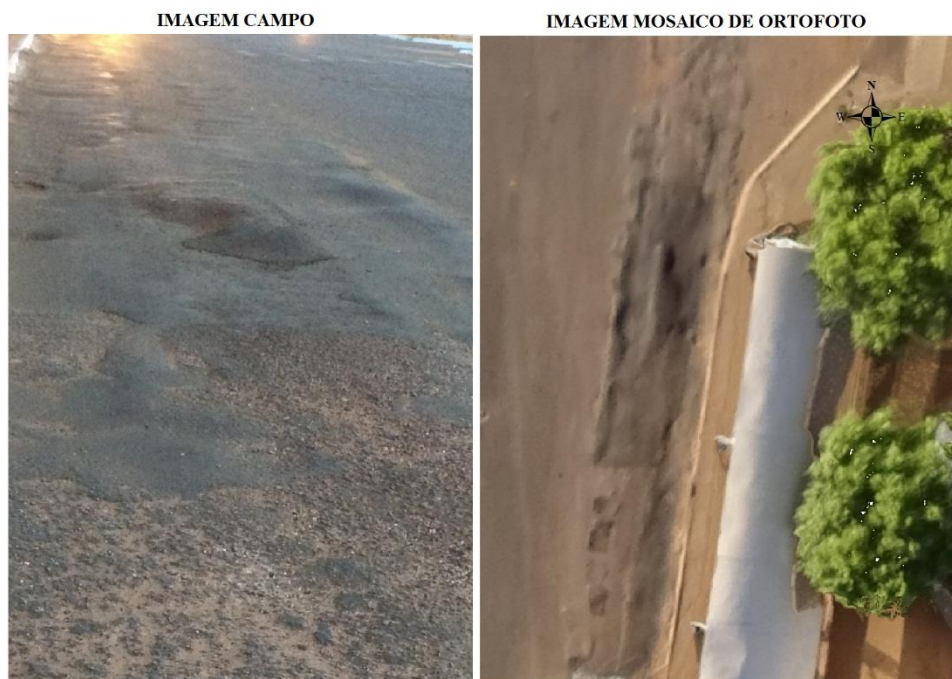


Figure 6. Hundimientos y levantamientos en el trecho de tráfico pesado.

La Figura 7 evidencia un área conteniendo juntas de servicio en el sentido longitudinal, localizadas entre el viejo y el nuevo pavimento ejecutado para ampliación de la pista.



Figura 7. Junta de servicio en trecho ampliado da vía.

Las áreas comprometidas por desgaste superficial pueden ser observadas en la Figura 8. En esas situaciones ocurre la pérdida de la capa asfáltica que recubre los agregados, pudiendo ser acompañado por el desgaste de los agregados, exponiendo los mismos a la acción de las ruedas de los vehículos, siendo agravado por la acción abrasiva del tráfico, donde ocurre así la pérdida de los agregados, generando aspereza superficial del pavimento.





Figura 8. Desgastes superficiales en la entrada de la ciudad de Palmas - TO.

La aparición del material betuminoso sin agregado en la capa de revestimiento, llamado exudación, ilustrada en la Figura 9, se caracteriza por presentar una superficie brillante, y también fue un tipo de falla identificada.



Figura 9. Exudación en el trecho próximo a la Urbanización Taquaralto.

#### 4.2. Comparativo de las áreas comprometidas

Con la finalidad de probar la confiabilidad de los datos levantados por medio de las imágenes, fueron hechas comparaciones entre las áreas del pavimento afectadas por las fallas levantadas en campo y por medio del MDS de la TO-050. La Figura 10 ejemplifica el proceso de levantamiento de un área afectada por bacheo profundo.



Figura 10. Bacheos profundos en las proximidades de la entrada a la Urbanización Santa Helena.

Como unidad de muestra fueron puntualizadas 10 áreas a lo largo de toda la superficie del pavimento. Los resultados obtenidos por medio de los mosaicos y mediciones en sitio, así como las diferencias absolutas y porcentuales encontradas, están en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparativo entre las áreas de bacheos identificados.

Figura	Área en sitio (m <sup>2</sup> )	Área de MDS (m <sup>2</sup> )	Diferencia entre áreas (m <sup>2</sup> )	Diferencia porcentual (%)
1	9,61	9,49	0,12	1,25
2	6,68	6,58	0,10	1,50
3	10,35	10,20	0,15	1,45
4	0,26	0,23	0,03	11,54
5	0,70	0,68	0,02	2,86
6	0,96	0,91	0,05	5,21
7	0,98	0,92	0,06	6,12
8	0,77	0,73	0,04	5,19
9	0,32	0,29	0,03	9,37
10	5,70	5,55	0,25	4,38

Los resultados evidencian que mientras mayor el área comprometida, menores las distorsiones proporcionales observadas en el ortomapa. Tal hecho puede ser explicado por el recubrimiento de una misma región afectada por un mayor número de imágenes, es decir, áreas mayores aparecen en más imágenes super puestas, aumentando así la precisión del análisis.

El margen de acierto es relevante y corresponde a 95,43%, en promedio, de similitud, tomando en cuenta que los resultados extraídos tuvieron un valor próximo al valor real, lo que constata la precisión de los MDSs y dos softwares de procesamiento.

### 4.3. Análisis comparativa entre imágenes NIR y RGB

En las imágenes RGB fue posible diferenciar baches recientes y más viejos, por medio de colores y de los formatos, mientras que las imágenes NIR, los baches recientes son claramente evidenciados por tener una tonalidad más oscura y una geometría bien definida. La Figura 11 muestra que baches antiguos no aparecen en las imágenes con infrarrojo, quedando oculto el color y el formato, lo que dificultó la interpretación correcta de las fallas.



Figura 11. Comparativo entre las imágenes de las cámaras RGB e NIR.

En cuanto los resultados obtenidos, se percibe una diferencia significativa, tomando en consideración que algunas manifestaciones patológicas no aparecen en el sensor NIR, principalmente las de tonalidades más claras, como baches, desgastes superficiales, hundimientos y protuberancias.

## 5. CONCLUSIONES

El sistema VANT utilizado en esta investigación no pretende sustituir la metodología utilizada por las normas de ingeniería para el levantamiento de manifestaciones patológicas en pavimentos, y sin agregar nuevas informaciones al método usado, maximizando las informaciones por medio de imágenes georreferenciadas, que podrán ser consultadas al momento deseado, haciendo posible aclarar incertezas.

En la evaluación visual de las imágenes obtenidas por los dos sensores, NIR y RGB, para la identificación de manifestación patológica obtenida por el sensor infrarrojo, se evidencia la necesidad de transferir detalles, para una correcta identificación de los defectos del pavimento. En contraparte las imágenes con asociación de las tres bandas de colores presentan mayor riqueza de informaciones, facilitando la identificación y la interpretación correcta de la falla.

En lo que se refiere al levantamiento de áreas comprometidas por fallas, se observó que existe una diferencia poco significativa en términos porcentuales entre los datos levantados por medio de los mosaicos generados y los levantados en campo.

La metodología se muestra, por tanto, prometedora, por presentar resultados rápidos, pudiendo ser utilizada como apoyo para identificación de defectos y medición cuantitativa de servicios de recuperación y mantenimiento del pavimento.

Como dificultades encontradas la herramienta se muestra inestable en vuelo, lo que puede generar imprecisiones geométricas de sus productos, y el hecho de la presencia de sombras, en caso de los vuelos no tienen horarios propicios planificados y prevista la velocidad del viento no son hechas. Con ello, y a pesar de las limitaciones, la herramienta presenta una buena contribución para la identificación de fallas en pavimentos.



## 6. REFERÊNCIAS

- Barella, R. M., “*Inventário de defeitos superficiais de pavimentos com o auxílio de imagens digitais*”, Tese de Mestrado, Escola Politécnica da USP, (2001) p 52.
- Bento, M. (2008), “*Unmanned Aerial Vehicles: An Overview*”, Inside GNSS, January/February, pp. 54-61.
- Breen, B., Brooks, J. D., Jones, M. L. R., Robertsons, J., Betschart, S., Kung, O., Cary, S. C., Lee, C. K., Pointing, S. B. (2015), “*Aplication of an unmanned aerial vehicle in spatial mapping of terrestrial biology and human disturbance in the McMurdo Dry Valleys, East Antarctica*”, Polar Biol, 38:573–578.
- Lucena, L. C. F. L., Silveira, I. V., Costa, D. B. (2015), “*Evaluación de ligantes asfálticos modificados com óleo da Moringa Olífera Lam para uso em mezclas mornas*”, Revista Matéria, v. 21, n. 1, pp. 72 – 82.
- Manual de Gerência de Pavimentos – IPR 745/2011. Rio de Janeiro: DNIT, Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, 2011.
- Marcon, A. F., “*Contribuições ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina*”, Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico da Aeronáutica de Sao José dos Campos, (1996).
- Nishar, A., Richards, S., Breen, D., Robertson, J., Breen, B. (2016), “*Thermal infrared imaging of geothermal environments and by an unmanned aerial vehicle (UAV): A case study of the Wairakei - Tauhara geothermal field, Taupo, New Zealand*”, Renewable Energy 86 (2016) 1256 - 1264.
- Shahin, M. Y. (2005), “*Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*”, second. New York: Chapman & Hall.
- Silva, J. S., Assis, H. Y. E. G., Brito, A. V., Almeida, N. V., “*VANT como herramienta auxiliar na análise da cobertura e uso da terra*” In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, (2015).
- Vieira, S. A., Júnior, A. A. E. P., Oliveira, F. H. L., Aguiar, M. F. P., “*Análise comparativa de metodologias de evaluación de pavimentos por medio do IGG e PCI*” In: Conex. Ci. e Tecnol. Fortaleza, Ceara. v. 10, n. 3, p. 20 – 30, nov. 2016.