

19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

### MODELO DE INSPECCIÓN DE PATOLOGÍAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO. CASO ESTUDIO: FOZ DO IGUAÇU (BRASIL) – ACACÍAS (COLÔMBIA).

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Juan Pablo Rubio Romero<sup>1</sup>; Noé Villegas Flores<sup>2</sup>; Vinícius Viana Dobes<sup>3</sup>; Cecilia Arasy Cantero Núñez<sup>4</sup>*

#### RESUMEN

En las ciudades de Brasil de mediano y pequeño porte se han venido configurando nuevas estrategias de planeación, de dimensionamiento y sobre todo de construcción de pavimentos flexibles. Si bien, existen avances significativos en el sector de la tecnología del asfalto, el aspecto de durabilidad continúa siendo una carencia relevante en la respuesta al grado de deterioro precoz de las superficies de rodamiento de las vías urbanas en nuestro continente. Este estudio busca desarrollar una metodología de análisis, evaluación y especialmente de diagnóstico de superficies de rodamiento en vías urbanas que permita representar de forma eficiente los daños y deformaciones de este elemento constructivo. Esta herramienta metodológica propuesta está basada en la teoría de la decisión multicriterio MIVES y su configuración ha sido realizada y planeada a través de análisis de valor de un elemento constructivo para vías interurbanas mediante el proceso de jerarquía analítica (AHP). Para la validación del modelo, han sido evaluadas 5 vías en la ciudad de Foz de Iguazú (Brasil) y 5 vías en la ciudad de Acacías (Colombia) seleccionadas por su alto flujo vehicular y practicidad a la hora de identificar las correspondientes patologías. Finalmente se ha obtenido el IDEA (índice de deterioro del asfalto) a través del modelo desarrollado y a su vez, siendo implementado el uso de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) consiguiendo tiempos de inspección e identificación reducidos y efectuando el registro de fotografías aéreas para su respectivo procesamiento por intermedio de sistemas de información geográfica (SIG).

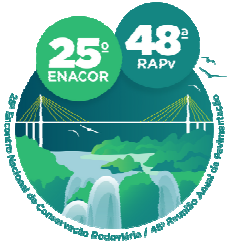
**PALAVRAS-CHAVE:** MIVES; Proceso jerárquico analítico (AHP); Vehículo aéreo no tripulado (VANT); Sistemas de información geográfica (SIG).

#### ABSTRACT

In Brazilian cities of medium and small size, new strategies for planning, dimensioning and, above all, construction of flexible pavements have been taking shape. Although there are significant advances in the asphalt technology sector, the durability aspect continues to be a relevant deficiency in the response to the degree of early deterioration of urban road surfaces in our continent. This study seeks to develop a methodology for the analysis, evaluation and especially diagnosis of urban road surfaces that allows for an efficient representation of the damage and deformation of this construction element. This proposed methodological tool is based on the multi-criteria decision theory MIVES and its configuration has been carried out and planned through the value analysis of a construction element for interurban roads by means of the analytical hierarchy process (AHP). For the validation of the model, 5 roads in the city of Foz do Iguaçu (Brazil) and 5 roads in the city of Acacías (Colombia) were evaluated, selected for their high vehicular flow and practicality in identifying the corresponding pathologies. Finally, the IDEA (asphalt deterioration index) has been obtained through the developed model and, at the same time, the use of an unmanned aerial vehicle (UAV) has been implemented, achieving reduced inspection and identification times and recording aerial photographs for their respective processing through geographic information systems (GIS).

**KEY WORDS:** MIVES; Analytic Hierarchy Process (AHP); Unmanned aerial vehicle (UAV); Geographic Information Systems (GIS).

<sup>1</sup> UNILA, e-mail: [juan.romero@aluno.unila.edu.br](mailto:juan.romero@aluno.unila.edu.br); [noe.flores@unila.edu.br](mailto:noe.flores@unila.edu.br); [yv.dobes.2022@aluno.unila.edu.br](mailto:yv.dobes.2022@aluno.unila.edu.br); [cac.nunez.2016@aluno.unila.edu.br](mailto:cac.nunez.2016@aluno.unila.edu.br)



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUCCIÓN

Según el reporte del Banco mundial, referente a la organización de las Naciones Unidas, en el año 2017, se tenía una población cercana al 55%, habitando en áreas urbanas, estimando que para el año 2050 se incrementará al 66%. En ciudades del Brasil, haciendo referencia a ciudades de mediano y pequeño tamaño (CALVO, 2016), no han sido atendidas correctamente las etapas de planeación, dimensionamiento y construcción de pavimentos, provocando que, la mayoría de estas vías presenten un alto grado de deterioro, reducción en sus niveles de servicio e incrementos de los costos de mantenimiento. Cheetham y Burdahl (1983) desarrollaron el índice de calidad para pavimentos, apoyados de una plataforma estadística que levanta datos. Este proyecto ha sido establecido para ser desarrollado bajo dos subáreas afines: Evaluación de indicadores urbanos y construcción de modelos multicriterio. Se busca principalmente construir una nueva herramienta metodológica que permita obtener un índice de calidad ante la inspección de pavimentos flexibles urbanos, planteando y evaluando las variables de forma integrada, organizada y con sustento científico, llevando en consideración conocimientos teóricos, metodológicos y fases de campo.

### Avance en la metodología MIVES

La metodología de trabajo adoptada para este caso de estudio, ha sido utilizada en la última década con avances significativos en sus distintas aplicaciones. El modelo MIVES plantea la filosofía de comparar alternativas, procesos, materiales o componentes, durante todo el ciclo de vida del proyecto. En definitiva, el planteamiento del modelo MIVES permite comparar, desde un contexto sostenible, distintas alternativas de un proyecto, permitiendo obtener un índice de valor o de sostenibilidad bajo las directrices de la teoría de multi atributos. En la tabla 1 se han reflejado las diversas aplicaciones encontradas en la literatura asociadas al concepto del modelo multicriterio MIVES. Cada una de estas metodologías considera atributos en su estructura principal con avances metodológicos para cada caso en particular.

**Tabla 1.** Aplicación MIVES (AUTOR, 2022).

Metodología	Atributos de la aplicación	Área de aplicación	Avances metodológicos
Villegas (2009)	Sistemas constructivos en carreteras	Carreteras	Nuevo sistema
Pons y De la Fuente (2013)	Elementos de concreto armado, condiciones mecánicas, geometría y sus procesos.	Estructuras	Funcional - estructura
Gómez (2015)	Gestión de recogida de residuos urbanos	Administración Pública	Criterios de Sostenibilidad
Golshid, <i>et al.</i> (2017)	Fachadas en vivienda.	Construcción civil	criterios arquitectura
Pujadas, <i>et al.</i> (2017)	Distribución de gasto público.	Planificación urbana	Políticas públicas.
Plà (2017)	Diseño sostenible de puentes de hormigón.	Estructuras	Análisis y criterios de Sostenibilidad.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



**Tabla 1.** Aplicación MIVES (AUTOR, 2022), (Continuación).

Gonzáles (2018)	Nave de almacenaje con estructura metálica.	Tecnología Industrial	Análisis y comparativo de sostenibilidad.
Vaca (2020)	Selección de material alternativo Híbrido o no convencional para construcción.	Construcción Civil	Materiales alternativos
Arnaiz (2021)	Construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible	Hidráulica	Análisis sostenible

## METODOLOGÍA

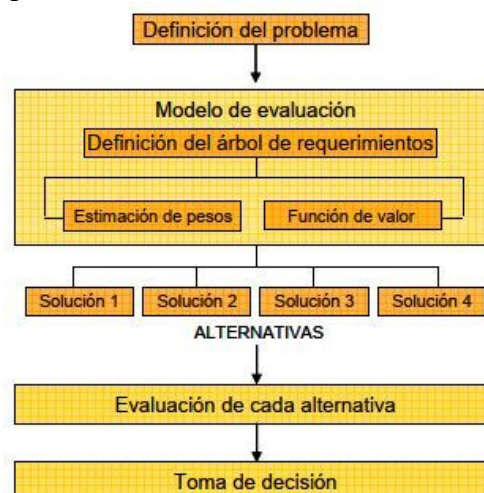
Para el desarrollo de este trabajo, se han utilizado el modelo Multicriterio MIVES, que incorpora el proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y la función utilidad o de valor (FV).

### MIVES como herramienta de toma de decisión

El modelo multicriterio integrado para la evaluación estructural, denominado MIVES, es una metodología que evalúa alternativas para un problema específico durante todo el ciclo de vida. Tal herramienta está enmarcada por la teoría de utilidad multi atributo y análisis de valor de cada uno de los indicadores elegidos, obteniendo un índice de sostenibilidad. (GARCÍA, 2008).

En la figura 1, se ha representado el algoritmo general del modelo multicriterio MIVES, para este caso en particular. Se ha representada el proceso de evaluación de la herramienta por medio de 6 etapas fundamentales. La primera etapa, denominada “caracterización del problema”, define los límites del sistema y las condiciones de contorno del problema a resolver. Es decir, se observan los agentes que intervienen en la toma de decisión. En esta fase, se aborda la composición de los 3 ejes principales: requerimientos (objetivos o metas del problema), componentes (elementos a ser analizados) y ciclo de vida (del problema).

La segunda etapa del modelo es considerada como la más importante del estudio. La construcción del “árbol de requerimientos” tiene como objetivo organizar, agrupar e identificar las variables seleccionadas en la primera etapa del análisis.



**Figura 1.** Proceso del modelo multicriterio MIVES (VILLEGAS, 2009).



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



La tercera etapa puede ser desarrollada de forma paralela. Es decir, por un lado, se aplica la herramienta del proceso de jerarquía analítica (AHP), definiendo los pesos o importancias a cada uno de los indicadores y las funciones utilidad o de valor (FV), que permite convertir los indicadores en unidades unidimensionales.

### Proceso de jerarquía analítica (AHP)

La ponderación (pesos) de los atributos (requerimientos, criterios e indicadores) para este caso en particular ha sido definida por medio de la metodología del proceso de jerarquía analítica (AHP, por sus siglas en inglés). Saaty (1980) define que durante el proceso de evaluación y calibración del modelo se emplean conceptos matemáticos, analíticos y psicológicos con el objetivo de contrastar de una forma empírica las comparaciones entre las variables.

El concepto de tal herramienta supone que la mente humana puede comparar dos atributos distintos de forma sencilla. Sin embargo, al interceder una tercera variable, la propia mente comienza a generar confusión para valorar los atributos de forma precisa (MILLER, 1956).

### Función utilidad o de valor (FV)

La metodología multicriterio MIVES integra en su modelo de evaluación el concepto de función de utilidad. Tal concepto se encuentra representado de forma analítica en la ecuación 1 y considera parámetros de caracterización de la propia función como son: “X<sub>mín</sub>”, “X<sub>máx</sub>” (definen los posibles límites mínimos y máximos de cualquier tipo de alternativa a ser evaluada). Por otro lado, los parámetros “k” y “c” permiten crear puntos de inflexión en el desarrollo de la forma de la función de valor. Finalmente, el parámetro “p” describe la pendiente de la curva. Para los casos donde el parámetro “p<sub>i</sub>” < 1, la curva mantiene una configuración cóncava. Mientras que para, p<sub>i</sub> > 1 la curva puede adoptar una forma en “S”. En casos donde p<sub>i</sub> = 1, el formato es representado en forma lineal.

$$V_{ind} = B * \left( 1 - e^{-K_i * \left( \frac{|X - X_{\min}|}{C_i} \right)^{p_i}} \right) \quad (1)$$

Por otro lado, el parámetro B es el factor que permite que la función se mantenga en el rango de valor de 0 a 1 y se calcula mediante la ecuación 2.

$$B = \left( 1 - e^{-K_i * \left( \frac{|X_{\max} - X_{\min}|}{C_i} \right)^{p_i}} \right)^{-1} \quad (2)$$

La caracterización de las funciones de valor, han sido concebidas llevando en consideración opiniones y experiencias de especialistas en asfaltos, que, por medio de las normativas de diseño y valores reconocidos, permitieron la ejecución de los cálculos correspondientes.

### Caracterización del caso estudio

Para el análisis y concretización de la herramienta metodológica, se tomaron como referencia el Distress Identification Manual (Manual de identificación de fisuras) de Estados Unidos, el manual del ministerio de transporte nacional de vías de Colombia y la normativa DNIT 005/2003 del



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



ministerio de transportes del Brasil, que caracterizan y evalúan la calidad de los componentes en vías urbanas, creando así un manual para la inspección visual de patologías existentes en pavimentos flexibles, dentro de los cuales se seleccionaron las 15 patologías más usuales en esta clase pavimentos. Se define la estructura principal de evaluación (Árbol de requerimientos), donde se identifican las principales patologías y deterioros de la estructura de un pavimento flexible que es estructurado a partir de la filosofía del modelo multicriterio MIVES (Modelo de cuantificación de valor para edificaciones sostenibles). Seguidamente se implementa el proceso de jerarquía analítica (AHP) para la asignación de los pesos y consecuentemente las respectivas funciones de valor de cada patología que permite obtener el índice de calidad de la estructura del pavimento flexible La calibración de la herramienta metodológica por medio de 2 casos, 5 vías urbanas en la ciudad de Foz do Iguaçu (Brasil) y 5 vías urbanas en la ciudad de Acacías (Colombia) mostradas en la tabla 2, que aprueba la herramienta metodológica implementada.

**Tabla 2.** Calles/avenidas del caso estudio (AUTOR, 2022).

<b>BRASIL (Foz do Iguaçu, Paraná)</b>	<b>COLOMBIA (Acacías, Meta)</b>
1- Av. Paraná	6- Av. 7 de Agosto
2- Av. República Argentina	7- Calle 13
3- Av. Juscelino Kubitschek (JK)	8- Calle 14
4- Av. Costa e Silva	9- Calle 16
5- Av. José Maria de Brito	10- Calle 18

El uso del vehículo aéreo no tripulado (VANT) para la inspección e identificación de patologías fue implementado en otras 5 vías diferentes del caso estudio (ver tabla 3), en la ciudad de Foz do Iguaçu, con la finalidad de corroborar la reducción de tiempo a 1/3 con relación al método tradicional de inspección visual; en ese contexto, para la correcta visualización de las muestras de patologías mapeadas, se buscó determinar la mejor altura para ajuste del GSD (Ground Sample Distance) “Distancia de muestra de suelo”. La selección de GSD conforme la altura es necesaria para las demarcaciones adecuadas de las patologías. Así, a partir de las pruebas realizadas en campo, se optó por la altura de 20 metros en relación al nivel del suelo, con ajustes de escala cartográfica para la demarcación y visualización, en el tratamiento final de los mapas.

**Tabla 3.** Calles seleccionadas para ejecutar mapas georreferenciados (AUTOR, 2022).

**Foz do Iguaçu, Paraná.**

- 1- Av. Para ti.
- 2- Calle Buritama.
- 3- Calle Guariba.
- 4- Calle Rio Claro.
- 5- Trecho gramadão.





19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Materialización del manual de inspección visual en pavimentos flexibles

En la figura 2, se evidencia los grados de severidad asociados a la patología piel de cocodrilo, y en la figura 3 es presentado la estructura principal del manual de inspección visual de patologías en pavimentos flexibles con diversas particularidades para su fácil entendimiento, el cual cuenta con una descripción de la patología, forma de inspección visual, posibles causas, ocurrencia, patología futura posible y peso MIVES.



Figura 4. Caracterización de la patología "Fatigue cracking".



Figura 5. Baja severidad "Fatigue cracking"

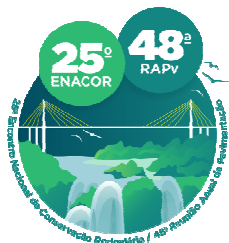


Figura 6. Severidad intermedia "Fatigue cracking"



Figura 7. Severidad alta "Fatigue cracking"

Figura 2. Referencias de patologías y sus grados de severidad asociados (AUTOR, 2022).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



1.1. FATIGUE CRACKING (PIEL DE COCODRILO)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Ruptura de la superficie de rodamiento por fisuras interconectadas	Identificación con características de "piel de cocodrilo"	Repetición de cargas del tráfico.	Normalmente en la trayectoria de las ruedas.	Deformaciones, descascaramientos, baches.	
Representación Gráfica					
<p>Figura 1. Patología "Fatigue Cracking"</p>			<p>Figura 2. Grados de severidad, Patología "Block Cracking"</p>		
Forma de la Patología					
<p><b>Hipótesis de Falla</b></p>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Límite de su capacidad.</li> <li>• El pavimento ha sido sometido a cargas mayores a las de diseño.</li> <li>• Las dimensiones del espesor son menores a las solicitadas por el proyecto.</li> <li>• Ausencia de control de calidad en ejecución de obra.</li> <li>• Presencia de agua debilitado la estructura del pavimento.</li> </ul>		

Figura 3. Estructura principal del manual para la inspección visual de patologías (AUTOR, 2022).

Esta obra bibliográfica, confeccionada por los autores, recopila toda información necesaria de más de 15 patologías a ser analizadas para cualquier escenario debido a la rigurosidad y necesidad por la cual fue diseñado. Seguidamente, fue realizada la definición de la estructura principal (Árbol de requerimientos) donde se centró en identificar y seleccionar las patologías más redundantes conforme la tabla 4.

Tabla 4. Árbol de requerimientos (AUTOR, 2022).

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Confort	Fisuras	Piel de Cocodrilo
		Fisura en bloque
Funcional	Daños Superficiales	Pulimento del agregado (PU)
		Fisura de borde
	Fisuras	Fisura longitudinal
		Fisura por reflexión de juntas
		Fisura transversal



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
www.rapvenacor.com.br

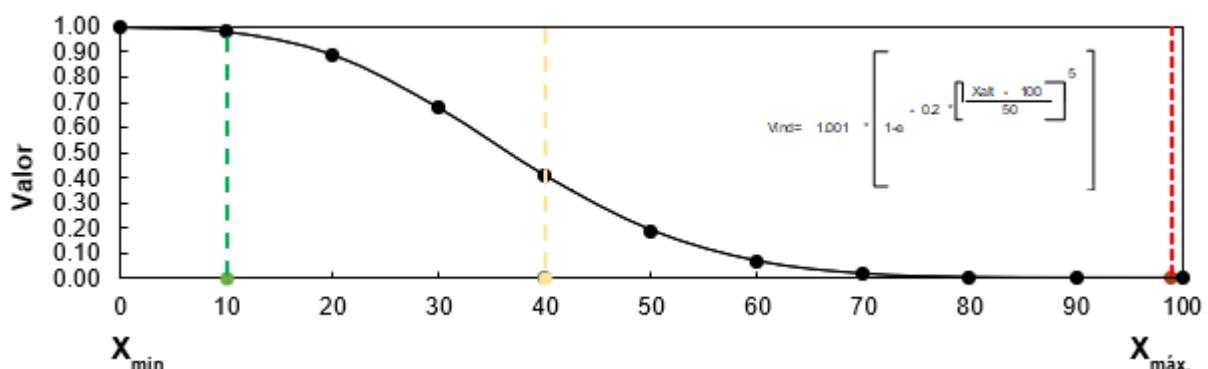


**Tabla 4.** Árbol de requerimientos (AUTOR, 2022), (Continuación).

		Parches
	Parches y baches	Ahuellamiento
	Deformaciones superficiales	Ondulación (OND)
		Exudación
	Otros daños	Afloramiento de finos
<b>Estructural</b>	Parches y baches	Baches
	Daños superficiales	Pérdida del agregado (PA)
	Otros daños	Separación de la berma

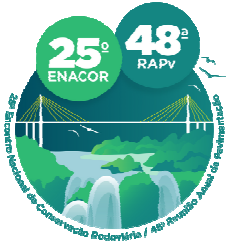
Se pensó inicialmente en una serie de requerimientos que tuviera aquel pavimento flexible (i.e., Condición estructural, condición ambiental, condición de tráfico, funcionalidad y confort), sin embargo, después de un exhausto análisis se llegó a conclusión que los requerimientos esenciales fueron confort, funcionalidad y condición estructural, debido a que los otros no tenían tanto impacto para el objetivo central del proyecto; y se asociaron a unos criterios (i.e., fisuras, daños superficiales, parches, y otros tipos de daños), que se relacionaban directamente con los requerimientos. Desarrollando el modelo de evaluación que permitiera obtener el índice de calidad de la estructura del pavimento flexible, como se observa en el gráfico 1, se optó por innovar, incorporando los grados de severidad (bajo, intermedio, alto) a las funciones de valor, en un rango específico estipulado con anterioridad. Para obtener el grado de deterioro de cada patología fue necesario implementar tablas guías con consideraciones y ponderaciones (puntos) otorgados con la finalidad de evaluar cada fisura de estudio (ver tabla 5).

**Gráfico 1.** Función de valor para la patología piel de cocodrilo (AUTOR, 2022).



El formato de curva en “S” significa que el evaluador define un valor de satisfacción o grado de deterioro bajo hasta una puntuación de 10 puntos, a partir de ahí hasta los 40 puntos se tiene un nivel intermedio y mayor a 40 puntos un grado de deterioro alto. Esto quiere decir, que, si la vía presenta valores mayores a 40 puntos, deberá ser atendida a corto plazo para así evitar aún más daños en lo que compete a la estructura del pavimento, afectando los requerimientos de confort, funcionalidad y estructural. Considerando los parámetros, y las irregularidades que podrán ser encontradas a la hora de realizar la inspección visual del pavimento, se asignaron una serie de puntos acorde a la magnitud de la irregularidad, por ejemplo, si se localiza la fisura piel de cocodrilo y solo se encuentran rupturas abiertas y profundas, tendrá una puntuación de 10, lo que la





19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



catalogaría como una figura con grado de deterioro bajo. Sucesivamente, a la medida que se localicen más irregularidades, se realizará la evaluación de las inconsistencias y así mismo su grado de deterioro asociado.

**Tabla 5.** Puntuación y valores límites para la patología piel de cocodrilo (AUTOR, 2022).

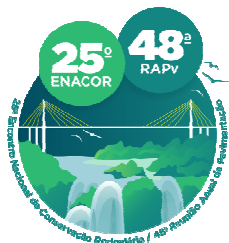
<b>PIEL DE COCODRILO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Inspección visual</b>	<b>Ponderación</b>
Fisuras	Inicio de fisuramiento sin interconexión	5
	Presencia de fisuras interconectadas	10
	Rupturas selladas y poca profundidad	5
	Rupturas abiertas y profundas	10
	Apreciación de rupturas formando padrones de fisuramiento	20
Bombeo de finos	Evidencia clara de bombeo	25
Conformación	Evidencia de depresiones en patologia	35

#### **GRADO DE DETERIORO**

<b>BAJO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>ALTO</b>
0 ≥ 10	11 ≥ 40	<40

El peso de los atributos para los requerimientos, criterios e indicadores fueron definidos a través de la herramienta AHP – (Proceso de jerarquía analítica), donde la comparación entre los atributos se realizó entre grupos del mismo origen, en el formato matricial. La tabla 6 presenta cada una de las variantes consideradas para esta investigación. Los pesos son indicados en porcentaje, llevando en consideración la importancia de estos aspectos. Cabe destacar que la concepción y aplicación de la herramienta AHP se ejecutó bajo la supervisión y conocimientos de especialistas en el área de pavimentos asfálticos.

En ese sentido, con los levantamientos de datos recolectados a través de la inspección visual de las vías en estudio, las funciones de valor estipuladas y las asignaciones de los pesos otorgados por el formato matricial AHP, se calcula el IDEA (índice de deterioro del asfalto) para cada una de las calles/avenidas, conforme el gráfico 2. Un grado de deterioro próximo de cero (0) es aquella que no presenta casi ningún tipo de afectación en su carpeta asfáltica, por tanto, no requiere mantenimiento y es apta para el tránsito, y un grado de deterioro próximo de uno (1) ejemplifica que la vía requiere manutención e intervención, lo que genera problemas de confort, funcionalidad y estructural. Si bien, los resultados indican que no hay ninguna carretera con una condición deplorable o próximo de uno (1) sin embargo, esta herramienta metodológica implementada puede ser replicada a una mayor extensión de vía sin ningún inconveniente. Ahora bien, se procede a ordenar de manera ascendente los resultados obtenidos, de la vía que presenta menor condición del pavimento y la vía que en su defecto debería prestarse más atención para futura intervención.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

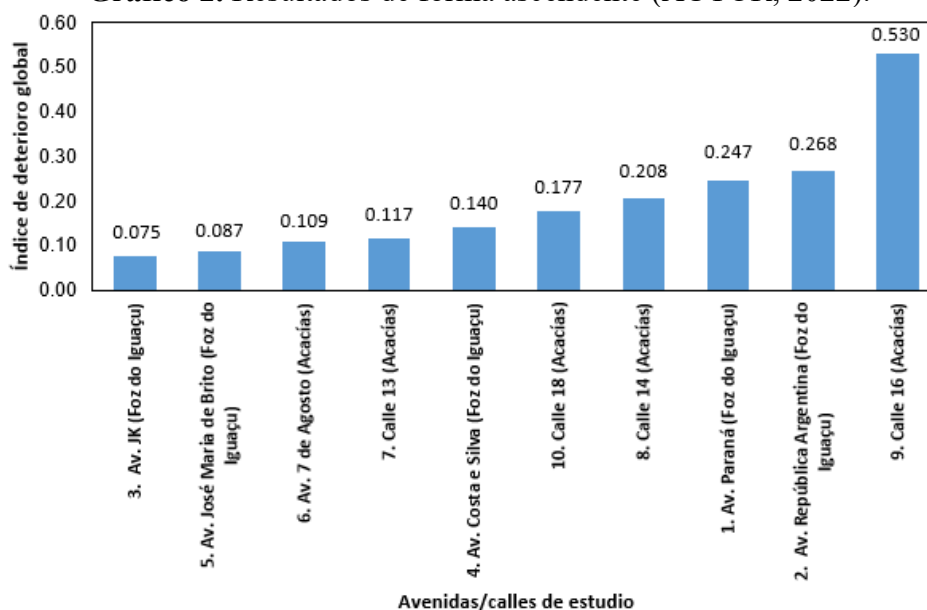
www.rapvenacor.com.br



Tabla 6. Pesos asignados por medio de la AHP (AUTOR, 2022).

REQUERIMIENTOS	Peso (W)	CRITERIOS	Peso (W)	INDICADORES	Peso (W)
Confort	10%	Fisuras	70%	Piel de cocodrilo	40%
				Fisura de bloque	60%
Funcional	35%	Daños superficiales	30%	Pulimento del agregado (PU)	100%
				Fisuras	20%
		Fisura longitudinal	20%		
		Fisura por reflexión de juntas	30%		
		Fisura transversal	25%		
		Parches y baches	35%	Parches	100%
		Deformaciones superficiales	15%	Ahuellamiento	35%
				Ondulación (OND)	40%
				Exudación	25%
		Otros daños	30%	Afloramiento de finos	100%
Estructural	55%	Parches y baches	35%	Baches	100%
				Daños superficiales	25%
		Otros daños	40%	Separación de la berma	100%

Gráfico 2. Resultados de forma ascendente (AUTOR, 2022).





19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Del gráfico se puede inferir que, la vía que presenta un índice de deterioro más próximo de uno (1) es la Calle 16 (Acacias) con ID: 0.530 y la vía que se encuentra con mejores condiciones es la Avenida JK (Foz do Iguaçu). Por otra parte, las vías que fueron objeto de estudio fueron analizadas con el mayor rigor posible, referente a flujos vehiculares e importancias en cada una de las ciudades. A partir de fotografías aéreas y una simbología confeccionada, fue posible verificar e identificar patologías en las vías seleccionadas (ver figura 4), reduciendo así los tiempos de ejecución de la inspección y concretizando los mapas de georreferenciación por medio del programa Agisoft Metashape Pro, versión: 1.18.3, 64 bits, para la obtención de ortomosaicos georeferenciados, a partir de la correlación de las coordenadas obtenidas por el aparato GNSS (Global Navigation Satellite System) “Sistema global de navegación por satélite” que establecen el posicionamiento geoespacial autónomo a través del uso de satélites artificiales (RTK).

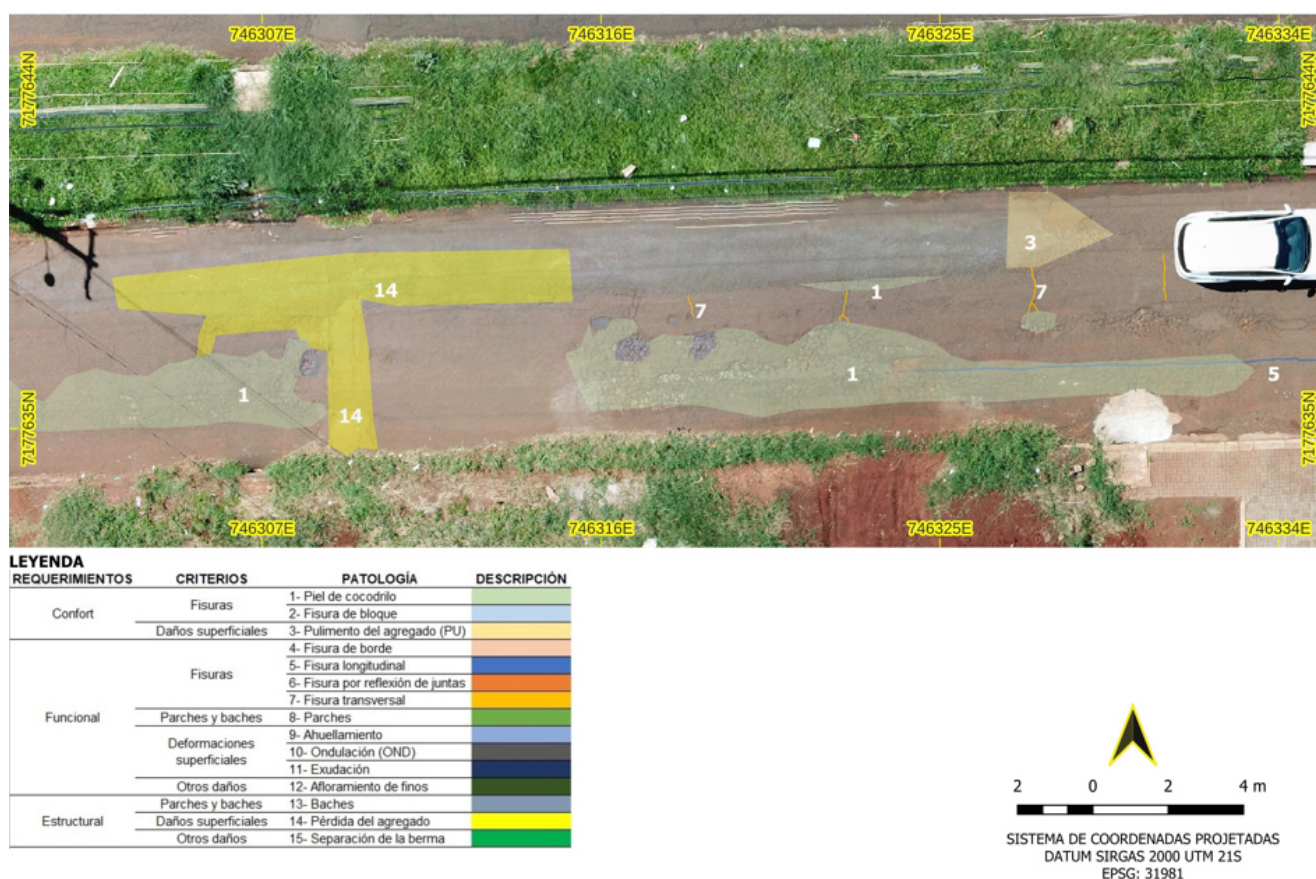


Figura 4. Mapa georreferenciado (AUTOR, 2022).

## CONCLUSIONES

Los resultados encontrados permitieron validar la herramienta metodológica implementada, dando confiabilidad en el tratamiento de datos, permitiendo recolectarlos de manera precisa y sistemática (i.e., creación del manual, formulario de levantamiento en campo), limpieza y preprocesamiento de los datos, garantizando que estuvieran correctos, completos y libres de errores, la aplicación de métodos analíticos válidos (i.e., funciones de valor) y revisión de pares (i.e., apoyo de especialistas en el área de pavimentos flexibles), de esta manera, la cera de confiabilidad de la pesquisa es verificada, pudiendo ser replicada su aplicación en otro tipo de ciudades y/o escenarios que involucren este tipo de patologías. La implementación del vehículo aéreo no tripulado (VANT) como fuente alternativa para la inspección e identificación de patologías fue de gran ayuda para



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



lograr visualizar y corroborar la reducción en los tiempos, con características de vuelo que permitieron tener un margen de visión mayor, sin embargo, la creación de los mapas requieren el uso de más artificios matemáticos y de programas específicos que, generan mejor presentación y practicidad de los resultados, consumen más tiempo en su debido procesamiento de imágenes. Finalmente, se resalta que esta investigación mezcla diversas áreas de trabajo, como lo son: Amplias referencias bibliográficas, conceso de especialistas del área de pavimentos, levantamientos de campo en dos diferentes países, inspecciones visuales e inspecciones aéreas, herramientas metodológicas matemáticas, criterios de análisis de valor que respaldan las correctas decisiones tomadas en el recorrer del trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALVO, M. **Estratificação de municípios brasileiros para avaliação de desempenho em saúde**. Florianópolis: Epidemiol.Ser.Saude, 2016. 10 p. Disponible en:

<https://www.scielo.br/j/ress/a/nYQtkd4HypncJ5Rkk9hKntS/?lang=pt&format=pdf>.

CHEETHAM, A; BERDAHL, G. **Development and implementation of Alberta's pavement information and needs system**. Transportation Research Record. Whashington D.C. n.938. 1983.

GARCÍA, A. (2008). **Planteamiento MIVES para la evaluación caso de la EHE**. Dialnet. N. 91, (Pp. 28-36).

GÓMEZ, A. (2015). **Estudio comparativo de los modelos de gestión en la recogida de residuos urbanos mediante criterios de sostenibilidad**. Tesis de grado Universidad de Cataluña. Escuela técnica Superior de Ingeniería de caminos, canales y puertos. Disponible en:

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79419/TFG\\_Aitor\\_Gomez.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79419/TFG_Aitor_Gomez.pdf).

MILLER, G. (1956). **The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information**. The Psychological Review. Vol. 63 (Pp. 81-97).

MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VIAS – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. **Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Octubre 2006.

PLÀ, V. (2017). **Aplicación de la toma de decisión Multi-criterio al diseño sostenible de puentes de Hormigón**.

Tesis de Master Universidad Politécnica de Valencia. Programa de Master en Ingeniería Civil. Ingeniería de la construcción y proyectos de Ingeniería Civil. Disponible en: <http://masterdehormigon.es/images/TFM/VPP.pdf>.

PONS, O; DE LA FUENTE, A. (2016). **Multi criteria decision making method for sustainable site location of post disaster temporary housing in urban areas**. Journal of Civil Engineering and Management. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.05.008>.

SAATY, T. (1980). **AHP: The analytic Hierarchy Process**. Mc Graw-Hill. Disponible en:

<https://docplayer.net/14799261-Analytic-hierarchy-process-ahp.html>.

U.S. DEPARTAMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program**. Publication No. FHWA – RD – 03 – 031. June 2003.

VILLEGAS, N. (2009). ISBN: 9788469351673. **Análisis de valor en la toma de decisión aplicado a carreteras**. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña UPC. Departamento de Caminos, canales y puertos de Barcelona. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/6175>.