



# Metodología para el diagnóstico de patologías en pavimentos rígidos. Caso de estudio: tramo entre estación Hospital - San Pedro, Metroplús de Medellín

*Methodology for the diagnosis of distress in rigid pavements. Case study: Field section between Hospital - San Pedro Station, BRT system (Metroplús of Medellín).*

John Arango R.<sup>2</sup>, Juan Berrío G.<sup>3</sup>, Lizeth Miranda R.<sup>4</sup>,  
Jeffer Valbuena M.<sup>5</sup>, Sebastián García C.<sup>6</sup>, Hernán Cañola<sup>7</sup>

Recibido: 07 abril de 2020 Aprobado: 02 septiembre de 2020

1 Este artículo es resultado de una "metodología establecida para el diagnóstico de patologías en pavimentos rígidos. Caso de estudio: Estación Hospital - San Pedro, Metroplús de Medellín".

2 Estudiante de Construcciones Civiles. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Medellín-Antioquia. Correo electrónico: jhondaarango@gmail.com. ORCID: 0000-0002-1812-4947

3 Estudiante de Construcciones Civiles. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Medellín-Antioquia. Correo electrónico: juandiegoberriongonzalez@gmail.com. ORCID: 0000-0001-7282-5317

4 Estudiante de Construcciones Civiles. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Medellín-Antioquia. Correo electrónico: lizethramos3@gmail.com. ORCID: 0000-0001-7374-0155

5 Estudiante de Construcciones Civiles. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Medellín-Antioquia. Correo electrónico: jefferval@gmail.com.

6 Tecnólogo en Construcciones Civiles. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Medellín-Antioquia. Correo electrónico: jsgarcia@est.colmayor.edu.co ORCID: 0000-0002-0188-961X

7 Autor correspondiente: Magíster en Construcción. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Medellín-Antioquia. Correo electrónico: hernan.canola@colmayor.edu.co. ORCID: 0000-0002-4707-9006

**Resumen:** La presente investigación estudió el deterioro de los pavimentos rígidos localizados entre las estaciones Hospital y San Pedro del Metroplús de Medellín, ocasionado por los problemas de diseño y de construcción que se presentaron después de la construcción de la Estación San Pedro en el año 2011. Esta investigación fue desarrollada en cuatro fases, a saber: reconocimiento del problema, prediagnóstico, estudio de manifestaciones patológicas y diagnóstico; se estudiaron las alteraciones patológicas físicas, mecánicas, biológicas y desajustes constructivos. Como resultado de esta investigación, se determinó que el deterioro de los pavimentos equivale a un 4,53 %, lo que corresponde a 208 m<sup>2</sup>, comparados con el área total de estudio 4.588 m<sup>2</sup>, además, que las patologías estudiadas en su gran mayoría (64,9 %) corresponden a alteraciones superficiales como fisuras, suciedad, erosión por rodadura, oxidación y alteraciones biológicas, y un 35,1 % del área total afectada corresponde a desprendimientos y grietas. Se establece que la presencia de afectaciones patológicas es inconstante y que la causa más probable del deterioro corresponde a la carencia de acciones correctivas y preventivas.

**Palabras clave:** Estación San Pedro, Estación Hospital, Metroplús, Medellín, pavimentos rígidos, daños patológicos.

**Abstract:** This research studied the rigid pavement distresses located between Hospital and San Pedro stations of Metroplús in the city of Medellín. Most of them appeared as result of all the constructive problems and design issues after the San Pedro station was built in 2011. This study was developed into four phases namely: recognition of the problem, pre-diagnosis, pathological study and diagnosis, where the physical injuries, mechanical injuries, biological injuries and building mistakes were studied.

As a result of this research it was determined that the deterioration of the pavements equals 4.53%, which corresponds to 208 m<sup>2</sup>, compared to the total study area 4588 m<sup>2</sup>. In addition, it is determined that the pathologies studied mostly correspond to surface alterations such as cracks, dirt, rolling

erosion, oxidation and biological alterations with 64.9%, and the remaining corresponds to landslides and cracks with 35.1% of the total affected area respectively. It is established that the presence of pathological affectations is inconstant and that the most likely cause of deterioration is the lack of corrective and preventive actions.

**Keywords:** San Pedro Station, Hospital Station, BRT system Metroplús, city of Medellín, Rigid pavements, distresses

## Introducción

A nivel mundial, Medellín ha sido reconocida como modelo de innovación (Modelo Medellín) con relación a los sistemas mixtos de transporte público (Metro, Metroplús, Metrocable y tranvía) que han permitido mejorar los procesos de movilidad y el componente social de las comunidades más vulnerables de la ciudad; esto como consecuencia de la intercomunicación entre diferentes estratos socioeconómicos, centros culturales, parques, bibliotecas y colegios que hacen parte de las 16 comunas de la ciudad [1-4].

Los sistemas de transporte público masivo implementados en Medellín tienen su origen en la década de los setenta con la construcción de la empresa Metro Ltda. y la puesta en funcionamiento del primer tramo en la década de los noventa [5-6]. Como consecuencia del impacto positivo que este sistema de transporte le podría proporcionar a la ciudad y con el fin de integrar a todas las comunidades de Medellín, en el año 1993 se creó la política nacional de transporte urbano (PNTU), que establecía los parámetros para el desarrollo de los sistemas de transporte integrado. En el año 2002, por parte de la Empresa de Desarrollo Urbano (EDU) y la Dirección de Planeación Municipal, se establecieron los lineamientos para la construcción de un sistema de transporte masivo de buses rápidos de mediana capacidad (BRT, por sus siglas en inglés) conocidos como Metroplús. En el año 2004, se creó el sistema de transporte rápido tipo teleférico conocido como Metrocable, con la finalidad de comunicar a las comunidades localizadas en las laderas con el centro de la ciudad mediante su vinculación con el sistema Metro. El 22 de diciembre del 2011

se puso en funcionamiento la primera línea del Metroplús con una infraestructura de 12,5 km, comprendidos entre la Universidad de Medellín en la Comuna 16 y el Parque de Aranjuez en la Comuna 4; finalmente, para el año 2016 se puso en funcionamiento el Tranvía de Ayacucho [3, 7-8]. Cabe resaltar que este tipo de sistemas de transporte masivo urbano han traído beneficios de tipo social y económico a la comunidad, como también han generado una cultura ciudadana con relación a su cuidado, conocida como la Cultura Metro [9].

Para la construcción y puesta en funcionamiento de los sistemas mixtos de transporte público (metro, metroplús, metrocable y tranvía) se han implementado diversos sistemas constructivos como: pavimentos rígidos, pavimentos flexibles, pavimentos articulados, placa huellas, estructuras metálicas de soporte vertical para cables aéreos, estructuras verticales de concreto para el soporte de viaductos, sistemas de rieles, etc., que han presentado un buen funcionamiento por el buen manejo y mantenimiento por parte de las entidades encargadas. Sin embargo, durante la construcción de los sistemas mixtos de transporte público se han presentado inconvenientes relacionados con la infraestructura física y con diseños inadecuados que han llevado al detrimento patrimonial de bienes públicos, como es el caso de los pavimentos rígidos pertenecientes al Sistema Metroplús de la ciudad de Medellín, específicamente de la estación San Pedro de este sistema [10-11]. En muchas investigaciones alrededor del mundo se han estudiado problemáticas similares desde la etapa constructiva relacionadas con el deterioro de pavimentos rígidos, sus causas y soluciones, como se expone a continuación:

Broto [12] y Zanni [13] determinaron que el desgaste prematuro de pavimentos obedece a problemas de diseños y problemas constructivos, combinados con la exposición constante de estos elementos viales a los agentes externos. De igual manera, Toirac [14] establece que la presencia de alteraciones, como grietas y fisuras sobre superficies planas de concreto, puede ser causada por procesos inadecuados de construcción como sobre-vibrado y exceso de llaneado en

los acabados arquitectónicos; de igual manera, Mosa *et al.* [15] establecen que las causas y clasificación de patologías como: fisuración y agrietamientos podrían ser de gran ayuda para el control y prevención de estas lesiones durante la ejecución de sistemas constructivos viales. Asimismo, Dhakal [16] y Lytton [17] determinaron que las vibraciones en los pavimentos rígidos pueden generar problemas relacionados con discontinuidades, grietas y deflexiones que afectan la estabilidad estructural de estos sistemas, lo cual implica procesos de rehabilitación mediante geomembranas que permiten recobrar su funcionalidad estructural. Finalmente, Cangrejo *et al.* [18] establecen en su estudio sobre diagnósticos patológicos en proyectos públicos, que la carencia de especificaciones técnicas, los errores de diseño y la falta de adecuados procesos constructivos conducen al detrimento patrimonial de las ciudades.

A causa de la importancia del tema y de los estudios anteriores orientados a determinar, clasificar y solucionar patologías en sistemas constructivos, en esta investigación se pretende analizar el estado de la infraestructura física de los corredores viales entre la estación Hospital y la estación San Pedro del Sistema Metroplús de Medellín a partir de un diagnóstico patológico, lo anterior como metodología para el diagnóstico de alteraciones patológicas en pavimentos rígidos. Se seleccionó este tramo para el análisis a raíz de las múltiples críticas constructivas y técnicas derivadas de la inclinación de la estación San Pedro.

### Marco teórico

Para el análisis del estado de deterioro de sistemas constructivos como es el caso de los pavimentos rígidos pertenecientes a la estación Hospital y la estación San Pedro del Metroplús de Medellín, se debe recurrir a ramas de la arquitectura y la ingeniería civil relacionadas con la patología constructiva, la cual permite determinar las tipologías de lesiones, causas, solución a problemáticas, recomendaciones de uso y mantenimiento, mediante la realización de inspecciones oculares, ensayos de campo, visitas y clasificación de los proyectos con relación a

su tiempo de construcción [19-28]. La palabra *patología* proviene del griego *Pathos* que significa enfermedad y *Logos*, estudio [20,29]; es así que la patología constructiva estudia las enfermedades de las obras arquitectónicas, por esta razón, en esta investigación se considera necesario el uso de esta rama de la arquitectura y la ingeniería para determinar el estado de deterioro de los pavimentos rígidos en el tramo vial entre las estaciones San Pedro y Hospital del Metroplús de la ciudad de Medellín [12,19, 20].

Los sistemas constructivos de pavimentos utilizados en la construcción del tramo vial entre ambas estaciones corresponden a pavimentos rígidos, los cuales se encuentran constituidos por hormigón armado distribuido sobre capas superficiales de materiales procesados como bases

y sub-bases granulares sobrepuestas por encima de la subrasante, con la finalidad de generar una distribución de cargas aplicadas a dicha superficie por la acción del tránsito continuo vehicular [30]. Como consecuencia de lo anterior, esta investigación aplicará los conceptos de la patología para la obtener resultados y hacer el diagnóstico físico del tramo vial Hospital - San Pedro.

### Metodología

La estrategia establecida para el desarrollo de esta investigación descriptiva tiene como base la sistematización de resultados y la inspección ocular y fotográfica de los pavimentos rígidos del tramo vial comprendido entre las estaciones Hospital y San Pedro del Metroplús de la ciudad de Medellín (Figura 1).



Figura 1. Tramo vial entre las estaciones Hospital y San Pedro.  
Fuente: Elaboración propia a partir de imagen proporcionada por Google maps (2020).

El desarrollo experimental de este proyecto se fundamentó en cuatro etapas, distribuidas en subetapas, que permitieron establecer la recurrencia de daños de alteraciones patológicas en relación con su tipología, cuantificación y

ubicación planimétrica, esto con la finalidad de establecer una valoración en cuanto a las lesiones presentes en el tramo vial de estudio, como se muestra en la Figura 2.

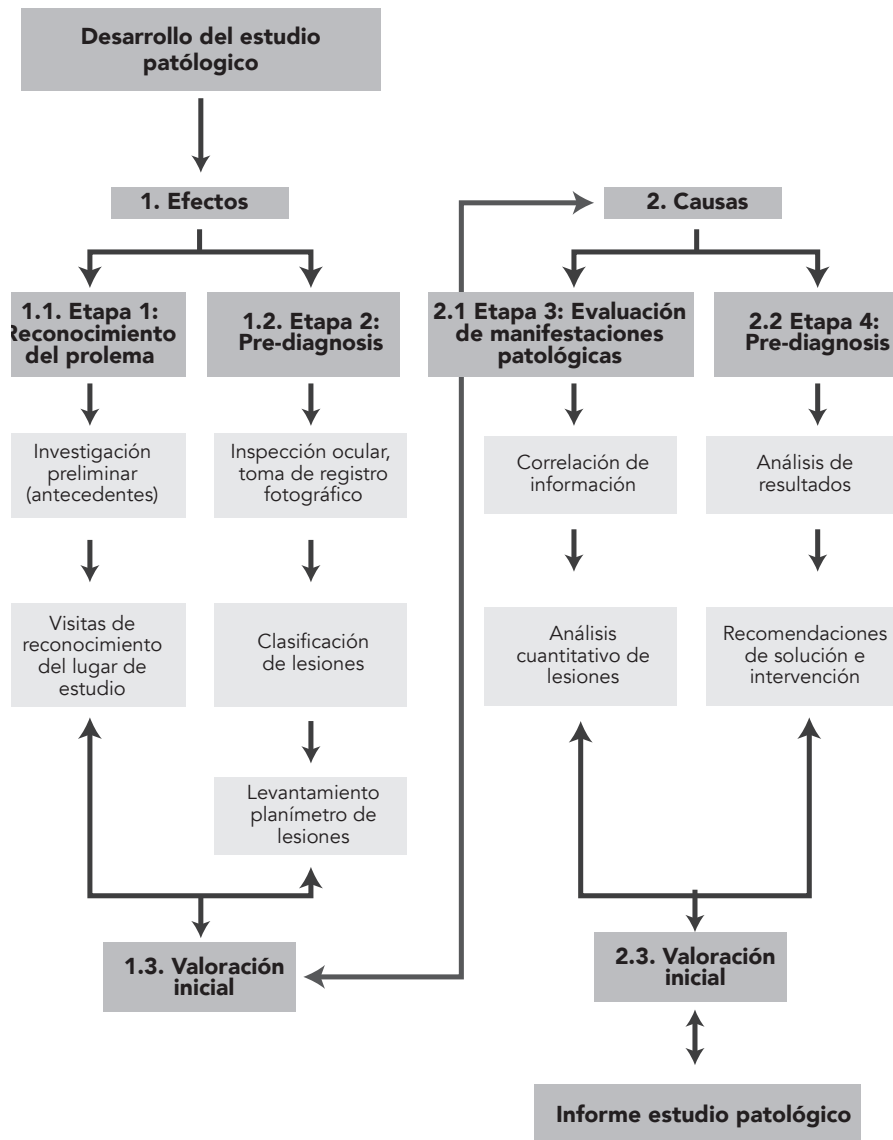


Figura 2. Etapas para el desarrollo del estudio patológico.  
 Fuente: Elaboración propia (2020).

## Desarrollo del estudio de manifestaciones patológicas

### Reconocimiento del problema

Debido a la necesidad de mejora continua en cuanto a infraestructura pública y movilidad, actualmente la ciudad de Medellín cuenta con sistemas de transporte público masivos que permiten una intercomunicación eficiente entre

las diferentes comunas de la ciudad. Sin embargo, los cortos períodos de tiempo, la calidad de los procesos constructivos y de los materiales, la carencia de planeación y la construcción constante de proyectos públicos que incluyen colegios, bibliotecas, parques educativos y estaciones de transporte, han ocasionado que se presenten problemáticas relacionadas con la durabilidad, el deterioro prematuro de sistemas constructivos,



lesiones patológicas y, en especial, errores de diseño, como es el caso de la estación San Pedro del Metroplús de Medellín, la cual ha sido criticada por la comunidad del valle de Aburrá por no cumplir los estándares de calidad establecidos por parámetros normativos nacionales e internacionales (norma NTC 6047 [31] y ASTM F1951-14 [32]), y porque además se considera como un detrimento patrimonial [33], a diferencia del resto de estaciones construidas hasta la fecha. Dada esta situación, en este proyecto se pretende analizar el deterioro de los sistemas constructivos aledaños a la estación San Pedro del sistema Metroplús, como es el caso de los pavimentos rígidos localizados entre esta estación y la estación Hospital del mismo sistema.

El tramo vial de análisis se encuentra localizado en la carrera 51 del barrio Sevilla, vinculado a la Comuna 4 Aranjuez de la ciudad de Medellín, donde la frecuencia de autobuses articulados, que hacen parte de la línea 1 del Metroplús, corresponde a 2 minutos y 55 segundos entre autobuses y una velocidad comercial de 16 km/h [34], además, por la afluencia peatonal y la cercanía con instituciones de gran demanda comercial, cultural y educativa como la Universidad de Antioquia, el Centro Comercial Aventura (sector Sevilla) al oeste, el Museo Cementerio San Pedro al norte, el barrio Prado Centro al sur y el Hospital San Vicente de Paul al suroeste (Figura 3), este sector presenta una constante movilidad vehicular.



Figura 3. Localización del tramo vial y sus colindancias. Fuente: Elaboración propia a partir de imagen proporcionada por Google maps (2020).

Los elementos constructivos que constituyen este tramo vial son: placa huellas, sumideros, sardineles, señalización vial, bordillos y señalización vertical correspondiente a semáforos (ver Figura 4). Los pavimentos rígidos de estudio presentan una doble calzada: el primero es ascendente en sentido oriente-occidente, con un área de 2.208 m<sup>2</sup> (422,7 m de longitud y un ancho promedio de 5,22 m), aproximadamente, y el segundo, descendente, con un área de 2.380 m<sup>2</sup> (422,7 m de longitud y un ancho promedio de 5,63 m), para un área total de 4.588 m<sup>2</sup>.



Figura 4. Doble calzada del tramo vial de análisis, A-D son colindantes a la estación Hospital y B-C, con la estación San Pedro. Fuente: Elaboración propia (2020).

Hoy en día, el tramo Hospital - San Pedro se destaca por ser uno de los que presenta mayor afluencia y circulación de buses articulados del sistema masivo de movilidad Metroplús, sin olvidar que la estación San Pedro no está en funcionamiento desde enero del 2012 —un año después de la inauguración de la línea 1 a la cual pertenece—, hasta la fecha, y esto debido a su inclinación, la cual representa un riesgo para la comunidad por la dificultad de las maniobras de parada y arranque de los buses articulados. Se dice que la estación se adecuará para servir como una “bibliometro” y un espacio de capacitación. En junio de 2018, debieron haber comenzado las obras, sin embargo, a la fecha (octubre de 2020) no se han iniciado, a pesar de que se dispone de un presupuesto de 760 millones de pesos para las respectivas adecuaciones [35].

### Prediagnóstico

Para el desarrollo de esta etapa se ejecutó un registro fotográfico y una inspección ocular que permitió establecer y verificar las lesiones presentes en el tramo vial de análisis; el recorrido de inspección se inició de forma ascendente hasta llegar a la estación San Pedro, y luego se continuó en sentido descendente hasta llegar a la estación Hospital (Figura 5).



Figura 5. Sistema de recorrido. Fuente: Elaboración propia a partir de imagen proporcionada por Google maps (2020).

Los daños patológicos se clasificaron según su causa de origen [36-37], y se codificaron por medio de un código y un color para su posterior localización, a su vez los daños se dividieron en cinco grupos con sus respectivos subgrupos, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de daños patológicas..

Clasificación por grupo de daños	Clasificación por color	Tipo de lesión	Clasificación por código
Daños físicos	Azul	Humedad	F-H
		Suciedad	F-S
		Erosión por rodadura	F-E
		Vandalismo	F-V

Clasificación por grupo de daños	Clasificación por color	Tipo de lesión	Clasificación por código
Daños Mecánicos	Rojo	Grietas	M-G
		Fisuras	M-F
		Desprendimientos	M-D
Daños biológicos	Verde	Organismos vegetales	B-V
		Organismos animales	B-A
Daños químicos	Amarillo	Oxidación	Q-O
		Corrosión	Q-C
Daños (desaciertos constructivos)	Violeta	Errores constructivos	L-ERR

Fuente: Elaboración propia (2020)

Una vez identificadas las alteraciones en el tramo vial, se procedió con su levantamiento planimétrico, correlación y cuantificación. Para hacer la planimetría, el tramo vial se dividió en cinco zonas con sus respectivas áreas y clasificación, como se muestra en la Figura 6 y en la Tabla 2.



Figura 6. Zonificación de áreas de análisis. Fuente: Elaboración propia a partir de imagen proporcionada por Google maps (2020).

**Tabla 2.** Área y clasificación por zonas del tramo vial.

Zona	Código	Área (m <sup>2</sup> )
Estación hospital	Z1	1.618
Intersección inferior	Z2	113
Transición	Z3	1.746
Intersección superior	Z4	169
Estación San Pedro	Z5	942

Fuente: Elaboración propia (2020).

El levantamiento planimétrico se hizo posterior a la zonificación, clasificación e identificación de daños patológicos, con la finalidad de determinar cuál(es) de las alteraciones identificadas presentaban mayor recurrencia entre las zonas que constituyen el tramo vial de estudio (Figuras 7, 8 y 9)

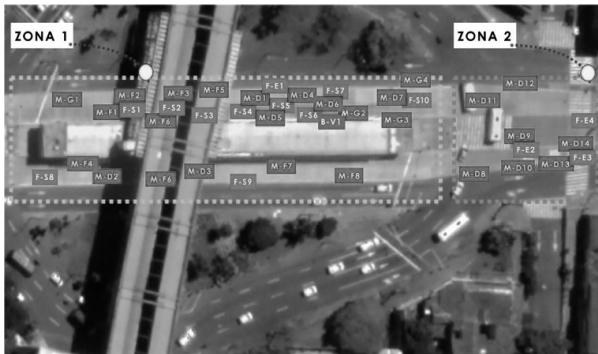


Figura 7. Levantamiento planimétrico de daños Zona 1 y Zona 2.  
Fuente: Elaboración propia a partir de imagen proporcionada por Google maps (2020).



Figura 8. Levantamiento planimétrico de daños Zona 3.  
Fuente: Elaboración propia a partir de imagen proporcionada por Google maps (2020).

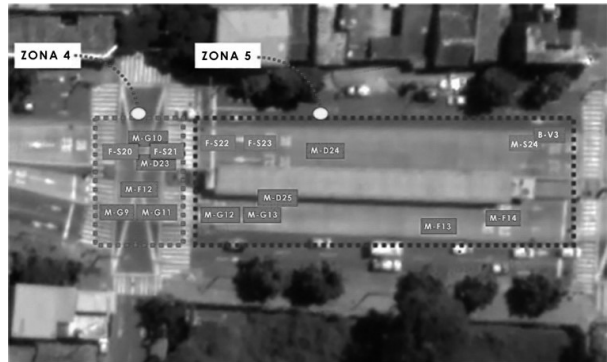


Figura 9. Levantamiento planimétrico de daños Zona 4 y Zona 5.  
Fuente: Elaboración propia a partir de imagen proporcionada por Google maps (2020).

## Resultados

### Análisis patológico

Independiente de su magnitud, los daños encontrados a través de la inspección ocular y el pre-diagnóstico en el tramo vial son recurrentes, algunos son superficiales y corresponden a las zonas con suciedad y otros son más relevantes debido a la presencia de grietas y desprendimientos, sin embargo, presentan similares características con relación a los efectos sobre la superficie de los pavimentos rígidos. En total se analizaron 89 daños, cuya recurrencia entre zonas se muestra en la Tabla 3.



**Tabla 3.** Recurrencia y cuantificación de daños por zona.

Tipo de lesión, independiente de su magnitud	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Cantidad de daños
F-H	0	0	0	0	0	0
F-S	10	0	9	2	3	24
F-E	1	3	4	0	0	8
F-V	0	0	0	0	0	0
M-G	4	0	4	3	2	13
M-F	8	0	3	1	2	14
M-D	7	7	8	1	2	25
B-V	1	0	1	0	1	3
B-A	0	0	0	0	0	0
Q-O	0	0	2	0	0	2
Q-C	0	0	0	0	0	0
L-ERR	0	0	0	0	0	0
Cantidad de daños por zona	31	10	31	7	11	89

Fuente: Elaboración propia (2020).

De forma paralela a la clasificación y localización planimétrica de los daños, se realizaron mediciones de las áreas de afectación. La relación entre las

áreas de afectación en cuanto a las zonas de análisis se muestra en la Tabla 4 y Tabla 5.

**Tabla 4.** Áreas de afectación por zona y lesión.

Tipo de daño	Área de afectación (m <sup>2</sup> )					Área afectada por lesión (m <sup>2</sup> )
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	
F-H	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F-S	29,0	0,0	35,3	2,7	2,6	69,6
F-E	2,0	1,2	27,5	0,0	0,0	30,7
F-V	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M-G	2,3	5,2	51,3	1,1	0,7	60,6
M-F	3,0	1,2	25,6	0,45	1,5	31,8

M-D	2,5	5,2	3,2	0,7	0,5	12,1
B-V	0,5	0,0	0,6	0,0	0,4	1,5
B-A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q-O	0,0	0,3	0,5	0,0	0,0	0,8
Q-C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
L-ERR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Área de afectación por zona	39,3	13,1	144	5,0	5,7	208

Fuente: Elaboración propia (2020).

**Tabla 5.** Relación porcentual de áreas y áreas de afectación.

Zona	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Área (m <sup>2</sup> )	1.618	113	1.746	169	942
Área total (m <sup>2</sup> )	4.588				
Área de afectación (m <sup>2</sup> )	39,3	13,1	144	5	5,7
Área total de afectación (m <sup>2</sup> )	208				
Relación porcentual de afectación por zona (%)	18,9	6,3	69,2	2,4	2,7
Relación porcentual de Afectación con el área total de análisis (%)	4,5				

Fuente: Elaboración propia (2020).

Una vez cuantificadas las alteraciones patológicas, se estableció que los daños más recurrentes presentes en las zonas de estudio corresponden a los mecánicos con un 50.2% y los daños físicos con un 48.2%, y en menor porcentaje los daños biológicos (0,72 %) y los daños químicos (0,38 %). Se debe resaltar que no se encontraron daños por desaciertos constructivos en los pavimentos rígidos, sin embargo, es de precisar, como lo establecen los referentes, que la estación San

Pedro del Metroplús de Medellín se puede clasificar como un desacierto constructivo debido a su pendiente del 14 %, la cual no cumple con los estándares de funcionalidad establecidos por la norma NTC 6047 [31], que determina que una rampa con un gradiente superior a 1 en 12 (8,3 %) es difícil de usar y puede representar riesgo de accidente, por lo tanto, se recomienda no hacer uso de ella (ver Figura 10).

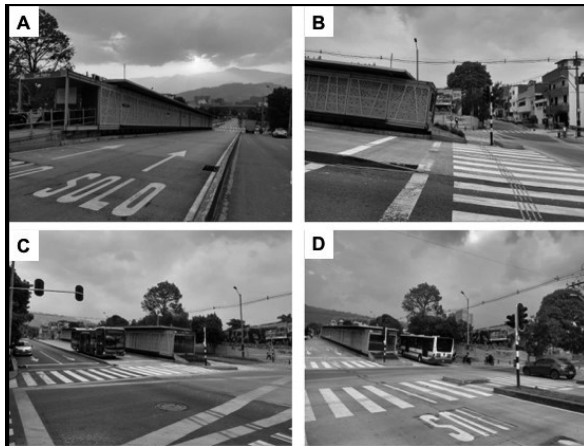


Figura 10. Inclinación estación San Pedro Metroplús desde diferentes puntos de vista (A Oeste, B Norte, C y D Noreste). Fuente: Elaboración propia (2020).

Además, se pudo determinar que los daños más frecuentes en relación con el área de afectación, corresponden a grietas y ensuciamientos como se ve en la Tabla 4, y la cuantificación porcentual de las alteraciones de acuerdo con su área de afectación se muestra en la Figura 11.

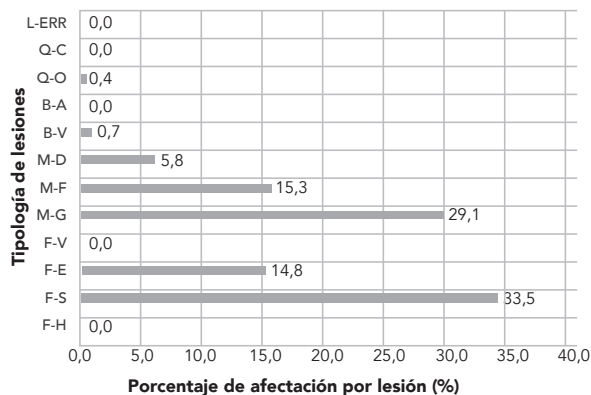


Figura 11. Cuantificación porcentual de daños patológicos. Fuente: Elaboración propia (2020).

## Diagnóstico

A partir de la evaluación de las alteraciones patológicas en los pavimentos rígidos entre las estaciones Hospital y San Pedro del Metroplús de Medellín, se pudo establecer lo siguiente: el tramo con más cantidad de daños y más área de afectación corresponde a la Zona 3, por la cantidad de daños y el área afectada (Tabla 4), además, es

el tramo con mayor área degradada por grietas, con el 84,6 % del área total que presenta esta lesión, le siguen los tramos de la Z2 (8,6 %), la Z1 (3,8 %), la Z4 (1,8 %) y, por último, la Z5 (1,2 %). Las grietas en los pavimentos son profundas y su anchura oscila entre 2 y 5 cm. Estos daños de tipo mecánico pueden presentar una orientación diagonal y horizontal con relación a la disposición de las placas huellas y, en algunos casos, rompen los extremos de los pavimentos. (Figura 12). Hay que subrayar que este tipo de alteraciones podría ocasionar un mayor deterioro en los pavimentos rígidos por los procesos de filtración de agua, y producir daños en las bases de soporte por pérdida de estabilidad y lavado de finos [12].

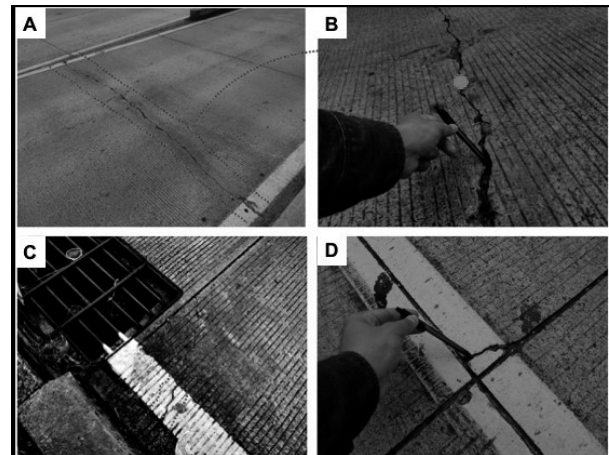


Figura 12. Presencia de grietas en zonas de análisis (A-B Grieta transversal y C-D Grietas en bordes). Fuente: Elaboración propia (2020).

También se estableció que la alteración más recurrente en las zonas de análisis corresponde a los ensuciamientos, y aunque no presentan un proceso de afectación relevante que comprometa la estabilidad de los pavimentos, sí afecta su estética y posible funcionalidad dependiendo del tipo de suciedad; por ejemplo, los derrames de aceite, que comprometen la movilidad de determinados tipos de vehículos, según el manual de deterioros de pavimentos del Instituto Nacional de Vías [38]. Estas alteraciones tienen mayor presencia en el tramo Z3, con el 50,7 % del total de afectación por esta lesión, y el tramo Z1 con el 41,7 %, luego, con menor presencia en los tramos Z4 con 3,9 %, Z5 con 3,7 % y Z2 con 0,0 %. Por tratarse de alteraciones

superficiales, se determina que este tipo de lesión no compromete la estabilidad de los pavimentos rígidos, aunque en algunos casos comprometen la funcionalidad de los sumideros, por el depósito y la acumulación de residuos sólidos que pueden obstruir, parcial o totalmente, el flujo del agua al interior de estos sistemas de evacuación de aguas, como se muestra en la Figura 13.

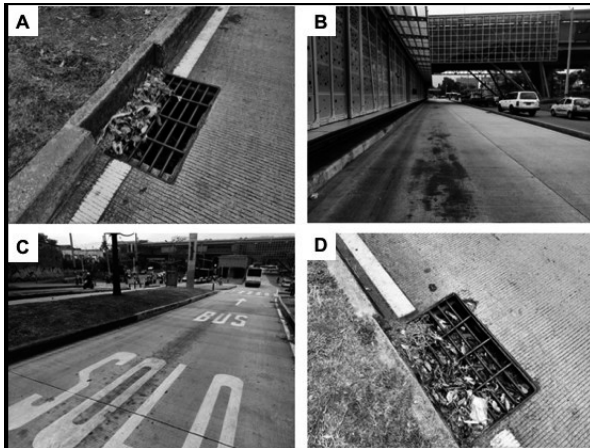


Figura 13. Ensuciamientos en zonas de análisis (A-D Obstrucción de sumideros y B-C Suciedad sobre pavimentos rígidos). Fuente: Elaboración propia (2020).

Otras alteraciones representativas analizadas en este estudio corresponden a los desprendimientos y los daños físicos por erosión. Este tipo de lesión es consecuencia de que no se reparan las grietas existentes, las cuales, al estar sometidas a procesos de vibración por efecto del tránsito continuo, llegan a ocasionar el desprendimiento del concreto que constituye los pavimentos rígidos (ver Figura 14). Para el caso de los desprendimientos, el tramo con mayor afectación es el Z2 con el 43 %, le sigue el

Z3 con 26,4 % y el tramo Z1 con 20,7 % del área total afectada; en menor proporción e impacto, el tramo Z4 con 5,8 % y el Z5 con 4,1 %.

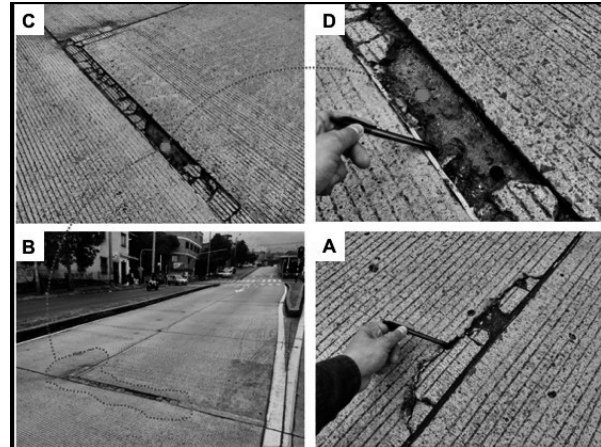


Figura 14. Presencia de desprendimientos en zonas de análisis. (A, B, C y D, proceso de formación de desprendimientos). Fuente: Elaboración propia (2020).

En cuanto a las patologías físicas por erosión, se pudo determinar que el tramo más afectado, respecto al área total afectada por esta alteración patológica, corresponde al Z3 con el 89,6 %, y en menor proporción el Z2 con 6,5 % y Z1 con 3,9 %; Z4 y Z5 no presentan afectación. La erosión en los pavimentos se genera por la fricción durante el arranque y frenado de vehículos pesados que transitan continuamente por este tramo vial. Se resalta que la erosión es una lesión superficial al igual que los daños biológicos, los daños químicos y las fisuras (ver Figura 15). Por esa razón, estos daños no representan procesos de degradación críticos que comprometan la durabilidad de los pavimentos rígidos del tramo vial objeto de estudio.



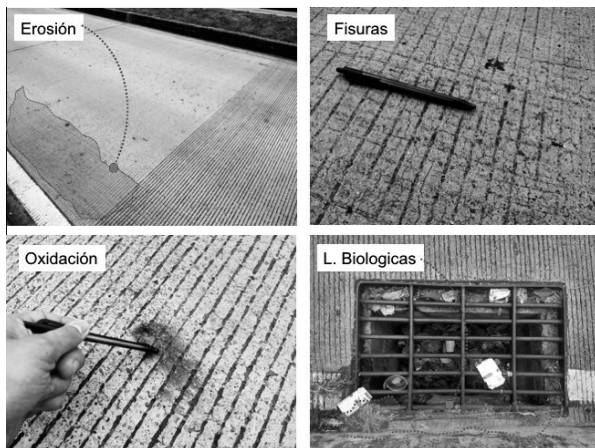


Figura 15. Daños superficiales en zonas de análisis.

Fuente: Elaboración propia (2020).

### Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos durante las 4 etapas que componen el estudio de los daños patológicos presentes en los pavimentos rígidos entre las estaciones Hospital y San Pedro, se puede establecer que pese a los errores de diseño durante la construcción de la estación San Pedro, los daños presentes en los pavimentos no comprometen su estabilidad, a pesar de que las alteraciones tipo M-G representan el segundo daño más recurrente. Por otra parte, la estrategia metodológica empleada permitió reconocer que el tramo vial podría abordarse desde la rama de la patología curativa o general, ya que su campo de aplicación está relacionado con la evidencia de daños posteriores a la construcción de los sistemas viales, es decir, problemáticas que ocasionan procesos de deterioro en los pavimentos rígidos [39].

Se concluye que el deterioro del tramo vial de análisis es bajo ( $208 \text{ m}^2$ ), en comparación con el área total de estudio que corresponde a  $4.588 \text{ m}^2$ , lo que equivale a un 4,5 % de área afectada con relación a un 95,5 % de área en condiciones óptimas para su uso. Vale la pena aclarar que la realización de este estudio se debió al sinnúmero de problemáticas sociales, económicas y técnicas derivadas de la construcción de la estación San

Pedro, ya que desde su entrega, a diferencia del resto de estaciones del Metroplús hasta la actualidad, esta estación ha sido foco de críticas y de investigaciones llevadas a cabo por los entes de control público [33]. Además, se determina que los daños presentes en los pavimentos en su gran mayoría, un 64,9 %, corresponden a daños superficiales como fisuras, suciedad, erosión por rodadura, oxidación y daños biológicos, y el resto de daños críticos, por sus efectos secundarios, corresponden a los desprendimientos y grietas, con el 35,1 % del área total afectada. Asimismo, el tipo de daños más frecuentes pertenece a los mecánicos con el 50,3 %, seguidos de los daños químicos y los biológicos con un 0,8 y un 1,5 %, respectivamente, del área total de afectación. Por último, aunque el área de afectación es baja con relación al área total de análisis, se recomienda realizar acciones correctivas sobre los daños existentes, con el fin de evitar un mayor deterioro en los pavimentos rígidos que comprenden el tramo vial de estudio.

### Trabajo futuro

Se recomienda darle continuidad a la realización de estudios patológicos en los pavimentos rígidos que constituyen los diferentes tramos viales del sistema Metroplús de la ciudad de Medellín, con la finalidad de determinar cuáles son los efectos, causas que conllevan a sus procesos de deterioro y analizar cuáles son las patologías predominantes y menos recurrentes en los pavimentos rígidos que constituyen todas las estaciones del Metroplús.

### Agradecimientos

La diagramación de imágenes en esta investigación no hubiera sido posible sin la ayuda de la publicista y diseñadora gráfica Daniela Torres Botero, por lo anterior, los investigadores de este estudio le agradecemos por todo el apoyo incondicional.

## Referencias

- [1] A. Echeverri. *Medellín: medio ambiente, urbanismo, sociedad*. Medellín: Centro de Estudios Urbanos y Ambientales, Universidad EAFIT, 2010.
- [2] P. Brand y J. D. Dávila, "La gobernanza del transporte público urbano: indagaciones alrededor de los Metrocables en Medellín", *Bitácora Urbano Territ.*, vol. 21, núm. 2, pp. 85-96, 2012.
- [3] Sistema Integradado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA), *Nuestro Tranvía: para quienes vivimos la ciudad metro a metro*. Medellín: Empresa Metro de Medellín Ltda, 2015.
- [4] L. López, *Presente y futuro de la movilidad urbana : ¿Cómo moverse mejor en las ciudades latinoamericanas?* Caracas: Fundación Ciudad Humana, 2008.
- [5] A. Mejía y B. Marina, *Del tranvía de mulas al metro de Medellín: Cien años de esfuerzos para desarrollar un sistema de transporte masivo en el valle del Aburrá*. Bogotá: Planeta, 2010.
- [6] R. Moller, *Transporte urbano y desarrollo sostenible en América Latina: el ejemplo de Santiago de Cali*. Cali: Universidad del Valle, 2006.
- [7] L. Y. Gómez y V. Semeshenko, "Transporte y calidad de vida urbana. Estudio de caso sobre el Metroplús de Medellín, Colombia", *Lect. Econ.*, núm. 89, pp. 103-131, 2018.
- [8] Y. Aspillá, "Metrocable de Medellín: un servicio público de transporte", *Medellin, Una Mirada al Ambiente*, vol. VIII, núm. 1, pp. 38-46, 2012.
- [9] E. Restrepo y J. Gutiérrez (Metro de Medellín Ltda.), *La Cultura Metro: un modelo de gestión social y educativo para la Ciudad*. Medellín: Metro de Medellín, 2005.
- [10] D. Álvarez, "Iniciará mantenimiento a malla vial de Metroplús por imperfecciones en la vía", *El palpitar.com*, Medellín, 16-oct.-2015.
- [11] D. Zambrano, "¿Qué pasó con la estación San Pedro, el 'elefante blanco' de Metroplús?", *El Colombiano*, Medellín, 20-dic.-2018.
- [12] C. Broto y V. Soria, *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*, vol. 6, *Structure*. Madrid, 2005.
- [13] E. Zanni, *Construction Pathology and restoration of architecture works*. Argentina, 2008.
- [14] J. Toirac Corral, "Patología de la construcción: grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención", *Cienc. Soc.*, vol. 29, núm. 1, pp. 72-114, 2004.
- [15] A. M. Mosa, R. Atiq, M. Raihantaha, and A. Ismail, "Classification of construction problems in rigid highway pavements", *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 5, núm. 3, pp. 378-395, 2011.
- [16] N. Dhakal, M. A. Elseifi, & Z. Zhang, "Mitigation strategies for reflection cracking in rehabilitated pavements – A synthesis", *Int. J. Pavement Res. Technol.*, vol. 9, núm. 3, pp. 228-239, May 2016.
- [17] R. L. Lytton, "Use of geotextiles for reinforcement and strain relief in asphalt concrete", *Geotext. Geomembranes*, vol. 8, núm. 3, pp. 217-237, Jan. 1989.
- [18] C. Cangrejo, H. Cañola, J. Pérez, & A. Builes, "Analysis of pathological injuries from visual inspection of the quality schools in the city of Medellin (Colombia), built between 2004 and 2007", in *Rehabend 2020 Congress*.
- [19] M. Muñoz Hidalgo, *Manual de patología de la edificación. Detección, diagnosis y soluciones*. Madrid: Manuel Muñoz Hidalgo, 2012.
- [20] D. Watt & P. Swallow, *Buinding Pathology*. Oxford: Blackwell, 2003.
- [21] S. Harris, *Building Pathology: Deterioration, Diagnostics, and Intervention*. New York: John Wiley & Sons, 2001.

- [22] A. Pereira, F. Palha, J. de Brito, & J. D. Silvestre, Inspection and diagnosis system for gypsum plasters in partition walls and ceilings, *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, núm. 4, pp. 2146-2156, Apr. 2011.
- [23] B. Amaro, D. Saraiva, J. de Brito, & I. Flores-Colen, "Inspection and diagnosis system of ETICS on walls", *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, pp. 1257-1267, Oct. 2013.
- [24] P. E. Josephson & Y. Hammarlund, "The causes and costs of defects in construction", *Autom. Constr.*, vol. 8, núm. 6, pp. 681-687, Aug. 1999.
- [25] S. Polley, *Understanding the Building Regulations*, 6th ed. New York: Routledge, 2001.
- [26] F. Fiol, *Manual de patología y rehabilitación de edificios*. Burgos: Universidad de Burgos, 2014.
- [27] H. J. Donini y R. Orlor, *Análisis de las patologías en las estructuras de hormigón armado: causas, inspección, diagnóstico, refuerzo y reparación*. Bogotá: Nobuko, 2016.
- [28] G. Inés y O. M. Pedro, "Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos", *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 15, núm. 3, pp. 391-402, jul. 2014.
- [29] A. Broto y Ch. Mostaedi, *Enciclopedia Broto de Patologías de la construcción*. Barcelona, 2006.
- [30] A. Rico, *La ingeniería de suelos en la vías terrestres carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. México, D. F.: Limusa, 2005.
- [31] Icontec, Norma Técnica Colombiana, NTC-6047: Accesibilidad al medio físico, espacios de servicio al ciudadano en la administración pública, requisitos. Bogotá, 2004.
- [32] ASTM F 1951-99. Standard Specification for Determination of Accessibility of Surface Systems under and around Playground Equipment: ASTM F1951-14. ASTM International, West Conshohocken, 2014.
- [33] B. Gonzales, "Contraloría ratifica detrimento patrimonial por estación de Metroplús", *El Tiempo*, Medellín, 28-nov.-2018.
- [34] Metro de Medellín, "Datos del sistema," 2016. Disponible en: [https://archive.is/20160216184042/https://www.metrode.medellin.gov.co/Portals/4/Images/Viaje con nosotros/ Cuadro- sistema-2000x 1624- 25112015.jpg](https://archive.is/20160216184042/https://www.metrode.medellin.gov.co/Portals/4/Images/Viaje%20con%20nosotros/Cuadro-sistema-2000x1624-25112015.jpg).
- [35] V. Restrepo, "Metroplús reabrirá estación San Pedro, pero no será parada de buses", *El Colombiano*, Medellín, 28-ago-2016.
- [36] H. Cañola, J. Pérez, y A. Builes, "Análisis patológico de la obra mural del maestro Ramón Vásquez en la ciudad de Medellín, Colombia", Euro-American Congress REHABEND. Burgos, 2016.
- [37] J. Ochoa, J. Carvajal, y H. Cañola, "Evaluación de lesiones estructurales en viviendas por movimiento en masa. caso de estudio barrio 'La Esmeralda' del municipio de Amagá en Colombia", Euro - American Congress REHABEND. Cáceres, 2018.
- [38] Instituto Nacional de Vías (Invias) y Universidad Nacional de Colombia, "Estudio e investigación del estado actual de las obras de la Red nacional de carreteras", 2006.
- [39] M. Mena, C. García, y S. Valbuena, *Patología constructiva en vivienda popular, identificación, tratamiento y estudios de caso*. Colombia: Editorial UD, 2015.