



Propuesta de uso de pavimento permeable aplicado en la intersección a desnivel (deprimido vial) que se encuentra ubicado en la Autopista Norte en la carrera 64 C cerca de la Terminal del Norte para mitigar las inundaciones ocasionadas por las fuertes lluvias.

Edilberto Manuel Mercado Atencia,

Valentina Flórez Ríos,

Manuela Mercado Moncada.

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Antioquia y Chocó

Sede Aburra Sur (Antioquia)

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

13 de Mayo de 2023

Propuesta de uso de pavimento permeable aplicado en la intersección vial a desnivel (deprimido vial) que se encuentra ubicado en la Autopista Norte en la carrera 64 C cerca de la Terminal del Norte para mitigar las inundaciones ocasionadas por las fuertes lluvias.

Edilberto Manuel Mercado Atencia,

Valentina Flórez Ríos,

Manuela Mercado Moncada.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor

Yony Andrés Benítez

Mg. En ciencias Naturales y Matemáticas

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Antioquia y Chocó

Sede Aburra Sur (Antioquia)

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

01 de octubre de 2022

Dedicatoria

Este trabajo de investigación queremos dedicárselo a todas las personas que pensaron en mejorar las condiciones de vida de los seres humanos, a quienes aportaron para la transformación de los caminos de herraduras a los primeros pavimentos. En especial a Edmund J. Desmedt, ya que fue la primera persona en producir el pavimento (rígido) como respuesta a la necesidad de mejorar las condiciones de movilidad y transitabilidad; y a Rafael Reyes, quien crea el Ministerio de Obras Públicas - MOP- el 7 de enero de 1905, con el propósito de mejorar las condiciones de movilidad de los colombianos, permitiendo así la transformación del territorio por medio de la construcción de vías.

Agradecimientos

Al ver los resultados logrados, solo nos queda dar las gracias a la Corporación Universitaria Minuto de Dios, por su vocación académica hacia la investigación, también a nuestro asesor Yony Andrés Benítez, por el acompañamiento constante, su conocimiento y orientación para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Queremos también dar las gracias a cada uno de los docentes que nos aportaron ideas y consejos, y a cada uno de los compañeros por compartir sus conocimientos de manera profesional; todo esto fue muy útil para la construcción de este trabajo realizado.

Contenido

Lista de tablas	7
Lista de figuras	8
Lista de ecuaciones	9
Resumen	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
CAPÍTULO I	13
1 Planteamiento del Problema	13
1.1 Pregunta de investigación.....	15
1.2 Justificación.....	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO II	16
2 Marco de referencias.....	16
2.1 Estado del arte	16
2.2 Marco teórico.....	22
2.2.1 Intersecciones a desnivel	22
2.2.2 Pavimentos.....	23
2.2.3 Tipos de pavimentos	23
2.3 Marco legal	26
CAPÍTULO III	27
3 Enfoque y alcance	27
3.1 Enfoque metodológico.....	27
3.2 Alcance.....	28
CAPÍTULO IV	28
4 Diseño metodológico	28
4.1 Población y muestra.....	28
4.2 Recolección de la información e instrumentos.....	29

4.3	Procedimiento y fundamento teórico	30
4.3.1	Inundaciones en el Valle de Aburrá	30
4.3.2	Inundaciones en la ciudad de Medellín	30
4.3.3	Descripción de la vía	31
4.4	Métodos para el análisis de datos	32
4.4.1	Estudio de tránsito	32
4.4.2	Cálculos y resultados Aforo realizado el día 13 de marzo del año 2023	37
4.4.3	Cálculos y resultados Aforo realizado el día 16 de marzo del año 2023	44
4.5	Cálculo de tránsito según el INVIAS	51
4.6	Pavimentos Asfálticos Porosos	52
4.6.1	Absorción en los pavimentos	56
4.7	Definición Nivel de servicio según Cáceres Huaman, W (2014)	56
5	Consideraciones éticas.....	62
CAPÍTULO V.....		63
5.1	Conclusiones	63
CAPÍTULO VI.....		64
6	Recomendaciones	64
Referencias.....		65

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Estado del arte</i>	20
Tabla 2 <i>Datos obtenidos del aforo realizado el día 13 de marzo del 2023</i>	38
Tabla 3 <i>Velocidades de recorrido y velocidad media espacial.</i>	40
Tabla 4 <i>Tiempo promedio de recorrido</i>	41
Tabla 5 <i>Velocidad media espacial</i>	42
Tabla 6 <i>Velocidad media temporal</i>	42
Tabla 7 <i>Datos obtenidos del aforo realizado el día 16 de marzo del 2023</i>	45
Tabla 8 <i>Velocidades de recorrido y velocidad media espacial</i>	47
Tabla 9 <i>Tiempo promedio de recorrido</i>	49
Tabla 10 <i>Velocidad media espacial</i>	49
Tabla 11 <i>Velocidad media temporal</i>	49
Tabla 12 <i>Franja granulométrica para mezclas drenantes</i>	54
Tabla 13 <i>Requisitos de los agregados para la mezcla drenante</i>	55

Lista de figuras

Figura 1 <i>Ubicación del deprimido vial</i>	26
Figura 2 <i>Coordenadas del deprimido</i>	26
Figura 3 <i>Ubicación de la población y muestra</i>	29
Figura 4 <i>Autopista Norte en la carrera 64C</i>	31
Figura 5 <i>Punto uno (A) aforo vehicular</i>	36
Figura 6 <i>Punto dos (B) del aforo vehicular</i>	37
Figura 7 <i>Velocidad de recorrido vs la cantidad de vehículos aforados</i>	43
Figura 8 <i>Velocidad vs tiempo</i>	44
Figura 9 <i>Velocidad de recorrido vs la cantidad de vehículos aforados</i>	50
Figura 10 <i>Velocidad vs tiempo</i>	51
Figura 11 <i>Configuración de los ejes de los vehículos más comunes en Colombia</i>	52
Figura 12 <i>Ejemplo estructura del pavimento asfáltico poroso (permeable)</i>	53
Figura 13 <i>Ejemplo de nivel de servicio A</i>	57
Figura 14 <i>Ejemplo de nivel de servicio B</i>	58
Figura 15 <i>Ejemplo de nivel de servicio C</i>	59
Figura 16 <i>Ejemplo de nivel de servicio D</i>	60
Figura 17 <i>Ejemplo de nivel de servicio E</i>	61
Figura 18 <i>Ejemplo nivel de servicio F</i>	62

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Velocidad	33
Ecuación 2 Velocidad media temporal.....	34
Ecuación 3 Velocidad media espacial.....	34
Ecuación 4 Tiempo promedio	35

Resumen

Las inundaciones en Colombia han aumentado durante los últimos años, debido al aumento de las precipitaciones y la falta de conciencia ciudadana. En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), se identifican unos puntos críticos donde se ha evidenciado las emergencias por estas inundaciones, uno de estos es la intersección a desnivel (deprimido vial) que se encuentra cerca de la Terminal del Norte en la Autopista Norte en la carrera 64C (cuando se presentan fuertes precipitaciones, este se inunda y quedan vehículos atrapados, hay congestión vehicular y pánico en la sociedad). Se considera que este deprimido vial tiene varios factores que no permiten el drenaje eficiente de las aguas que caen allí. Uno de estos factores es el pavimento, ya que solo está diseñado para tener resistencia a la compresión y no se tiene en cuenta las condiciones de permeabilidad para la evacuación de aguas lluvias.

Todas las consideraciones mencionadas anteriormente, fueron tenidas en cuenta para presentar como alternativa o propuesta el uso de pavimento asfáltico poroso, el cual permitirá contribuir al sistema de drenaje y disminuir las inundaciones en este sector.

Palabras clave: Drenaje, pavimento flexible, subrasante, subbase, base, superficie de rodadura, pavimento permeable, deprimido vial, inundación, permeabilidad.

Abstract

Floods in Colombia have increased in recent years, due to increased rainfall and lack of citizen awareness. In the Metropolitan Area of the Aburrá Valley (AMVA), some critical points are identified where emergencies due to these floods have been evidenced, one of these is the uneven intersection (depressed road) that is near the North Terminal on the North Highway in Carrera 64C (when heavy rainfall occurs, it floods and vehicles are trapped, there is traffic congestion and panic in society). It is considered that this depressed road has several factors that do not allow the efficient drainage of the waters that fall there. One of these factors is the pavement, since it is only designed to have compressive strength and the permeability conditions for the evacuation of rainwater are not taken into account.

All the considerations mentioned above were taken into account to present as an alternative or proposal the use of porous asphalt pavement, which will contribute to the drainage system and reduce flooding in this sector.

Keywords: Drainage, flexible pavement, subgrade, subbase, base, rolling surface, permeable pavement, road depressed, flood, permeability.

Introducción

El presente trabajo de investigación se refiere a una propuesta de uso de pavimento permeable aplicado en la intersección a desnivel (deprimido vial) que se encuentra ubicado en la Autopista Norte en la carrera 64 C cerca de la Terminal del Norte para mitigar las inundaciones ocasionadas por las fuertes lluvias.

La intersección a desnivel (deprimido vial) objeto de estudio, es uno de los puntos más afectados por las fuertes precipitaciones, la falta de conciencia ciudadana, los sistemas de drenajes obsoletos, la cercanía con el río Medellín y las quebradas aledañas. Todo en conjunto, generan en él inundaciones, lo que a su vez genera congestión vehicular, desgaste de la malla vial, atrapamiento de vehículos y pánico en la sociedad.

Estos factores fueron los que ocasionaron que se presentara esta propuesta de uso de pavimento permeable (asfáltico poroso), ya que este pavimento tiene la capacidad de drenar las aguas que caen en él.

Durante el trabajo de investigación se tuvo en cuenta estudios bibliográficos de casos similares utilizados en otros países, y la normativa AASHTO 93 y el INVIAS, lo que permite diseñar la estructura de este pavimento.

CAPÍTULO I

1 Planteamiento del Problema

En Colombia se presentan problemas de inundaciones en las intersecciones a desnivel (deprimidos viales), debido a las altas precipitaciones; según el artículo Cambio climático y medio ambiente publicado por las Naciones Unidas, la temperatura media anual puede subir temporalmente 1,5°C durante los próximos 5 años siguientes, lo que genera un 40% de probabilidades de aumento de las precipitaciones (26 de mayo, 2021); también se suma la falta de cultura ciudadana al arrojar basuras al suelo, la poca capacidad hidráulica en los sistemas de drenaje y la cercanía con ríos y quebradas, siendo todos estos factores determinantes para el problema inicialmente planteado.

Según dijo Leonardo Ruales, meteorólogo y coordinador del Centro Regional de Pronóstico y Alertas (CRPA) del convenio Dapard e Ideam, en entrevista para El Colombiano, en unas subregiones del departamento de Antioquia, durante los meses de junio, julio y agosto ha habido “excesos en las precipitaciones en comparación con la climatología histórica”.

En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), existen unos puntos críticos identificados por el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastre (DAGR), quienes aseguran que siempre deben atender allí situaciones de emergencia: Deprimidos viales. Cada vez que se presentan fuertes precipitaciones estos deprimidos viales se inundan, generando alto tráfico vehicular, deterioro en la malla vial, emergencias y pánico en la ciudadanía.

Debido a las inundaciones causadas por las fuertes precipitaciones y sobre todo en los deprimidos viales pertenecientes a la ciudad de Medellín, se encontraron históricos de los distintos accidentes ocurridos en estos lugares, tal como ocurrió en el deprimido vial ubicado en la Carrera 63D, entre las calles 42 y 44, en Conquistadores, donde el 17 de septiembre del año 1988 se presentaron

fuertes lluvias que generaron crecientes en el río Medellín y ocasionaron la inundación de este deprimido vial causando la muerte de tres personas que se desempeñaban en el ámbito de la música, los cuales quedaron atrapados en un vehículo tipo taxi. Debido a este suceso, la intersección a desnivel (deprimido vial) fue conocido como el “deprimido de los músicos”. (El Colombiano, 2023).

Treinta y cuatro años después, en la noche del 14 de enero del año 2023 se presentaron nuevamente fuertes precipitaciones que provocaron el desbordamiento del cauce del río Medellín lo que generó inundaciones en el “deprimido de los músicos”, en esta ocasión se da un nuevo accidente, en el cual se lamenta la pérdida de dos vidas humanas, ya que el vehículo de marca Audi (blindado) transitaba por el sector y quedó sumergido durante cuatro horas ocasionando la muerte de sus ocupantes. (El Colombiano, 2023).

Todos estos eventos, han servido de iniciativa para el proyecto y al analizar los diferentes deprimidos viales ubicados del Área Metropolitana de Valle de Aburrá, se toma como objeto de estudio, el que se encuentra ubicado cerca de la Terminal del Norte en la Autopista Norte en la carrera 64C, para realizar la propuesta de uso de pavimento permeable, ya que se ha evidenciado que en este deprimido vial se hallan factores altamente determinantes para dicho estudio: Se encuentra cerca al río Medellín y a quebradas aledañas, se han presentado inundaciones que han generado grandes inconvenientes de movilidad en el sector (vía de alto tránsito vehicular), el drenaje es deficiente, no satisface la demanda para la evacuación de las aguas lluvias y de las crecientes de los ríos y quebradas y se presenta taponamiento de los drenajes; lo que ha generado que se presenten emergencias de atrapamiento de vehículos tanto públicos como privados. (El Colombiano, 2022). El pavimento utilizado en este sector está diseñado para tener resistencia a la compresión (especificado en la normativa INVIAS) y no tiene en cuenta las características de permeabilidad necesarias para la evacuación de aguas lluvias y las crecientes; es por esta razón que este proyecto se enfoca en investigar la disminución de inundaciones

en el deprimido vial cerca de la Terminal del Norte en la carrera 64C por medio del pavimento permeable.

1.1 Pregunta de investigación

¿Las inundaciones producidas por las fuertes lluvias en la intersección vial a desnivel (deprimido vial) que se encuentra ubicado en la Autopista Norte en la Carrera 64C cerca de la Terminal del Norte se pueden mitigar con el uso de un pavimento permeable y así mejorar las condiciones de movilidad?

1.2 Justificación

Se eligió esta idea de investigación de utilizar pavimento permeable en la intersección a desnivel (deprimido vial) que se encuentra cerca de la Terminal del Norte en la carrera 64C, debido a que se considera que se puede mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector y en general a todas las personas que circulen en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá desde el aspecto de la movilidad ya que es una vía primaria.

Al realizar la investigación de pavimento permeable, el problema puede mitigarse con la disminución de inundaciones en este deprimido vial debido a que este permitiría absorber los líquidos que caen en él, y en épocas de lluvia podría ayudar a los sistemas de alcantarillado con el drenaje del agua de manera más eficaz y eficiente, ya que se puede reducir el impacto del agua sobre el drenaje urbano, debido a lo anterior se podría presentar una prolongación del buen estado de la vía, mejoramiento del tráfico vehicular y calidad de vida de toda la población, principalmente la que se encuentra aledaña al sector, también se obtendría un gran mejoramiento en el impacto ambiental, pues se generaría menos contaminación debido a la porosidad ya que este reduce la cantidad de ruido ocasionado por los vehículos al transitar por el sector.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Elaborar una propuesta de uso de pavimento permeable para disminuir el riesgo de inundaciones en la intersección a desnivel (deprimido vial) que se encuentra en la Autopista Norte en la carrera 64C cerca de la Terminal del Norte, mediante la recopilación de información de fuentes secundarias.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis para determinar la capacidad de absorción que tendría el pavimento, a través de la recopilación de información secundaria.
- Definir el tipo de pavimento permeable que se va a utilizar e identificar si este va a conservar las mismas características a lo largo de toda su vida útil, basados en sus características técnicas.
- Investigar acerca del pavimento permeable y la utilización de este en las vías de alta circulación, para seleccionar el más adecuado con base a la ubicación geográfica del deprimido vial.

CAPÍTULO II

2 Marco de referencias

2.1 Estado del arte

Los pavimentos permeables proporcionan una superficie adecuada para el tránsito de peatones y/ o vehículos, al mismo tiempo que permiten que el agua de lluvia se infiltre a través de la superficie y hacia las capas estructurales subyacentes. (The Suds Manual, Previous Pavements, 2015).

En la Ciudad de Cuenca perteneciente a Ecuador, se encuentra ubicado el Aeropuerto Mariscal de Lamar, éste surge tras la llegada de Pan-American Grace Airways (Panagra) en el año de 1940, los estudios y análisis indicaron que la pista rudimentaria básica que era usada en un principio para el

aterrizaje de los primeros vuelos que se dieron hacia la ciudad no funcionaba para el modelo del aeropuerto deseado. La zona que cumplía con los requerimientos y parámetros para el emplazamiento de la infraestructura aeroportuaria fue la ubicada entre las avenidas España y Elia Liut. Luego de la adquisición de los terrenos con la participación de la Alcaldía de aquella época se inicia la construcción del aeropuerto que contaba con una terminal similar a un domicilio, de ahí su nombre “casa del aeropuerto” y una pista de lastre, finalmente, la inauguración fue el 13 de abril de 1941 (CORPAC, 2014). (Carvajal Sigüencia y Quishpi Machuca, 2018, p. 18).

Según Carvajal Sigüencia y Quishpi Machuca, el aeropuerto de Cuenca comenzó a presentar agrietamientos en su capa de rodadura con el pasar del tiempo, lo que ocasionaba infiltraciones en este, desmejorando la calidad del pavimento y volviéndose peligroso para las aeronaves que circulaban en este.

En el aeropuerto se tomaron las medidas correctivas aplicando un sellante asfáltico para dar solución a los agrietamientos, pero en el año 2016 una aeronave conocida como Embraer 190 de la aerolínea pública TAME E.P. perdió el control y cuando se detuvo quedó muy cerca a decenas de viviendas, todas las personas que iban dentro del avión salieron ilesas del incidente, según investigaciones de la Dirección General de Aviación Civil (DGAD) llegaron a la conclusión de que pudo haber sido el sellante asfáltico, ya que este genera deslizamientos de las aeronaves en el momento del aterrizaje, sobre todo cuando la pista se encuentra húmeda o encharcada por las lluvias. También realizaron como mantenimiento preventivo un recapeo, corrección de la pendiente longitudinal y transversal de la pista y finalmente cambio de tubería de drenajes en PVC ya que se encontraban obstruidas. (Noticia Nicolás Larenas, 2017)

Debido a lo mencionado anteriormente, Carvajal Sigüencia y Quishpi Machuca diseñaron un pavimento asfáltico poroso que cumpliera los parámetros de resistencia según la normativa establecida,

mediante las metodologías de la AASHTO 93, donde el contenido de vacíos debe variar entre el 15 y el 20% para obtener un incremento en la porosidad sin alterar la resistencia. (p.20).

Este tipo de pavimento se ha utilizado principalmente en estacionamientos, andenes y vías de tráfico ligero.

Otro lugar donde se han evidenciado inconvenientes es en Perú, ya que es un país que ha venido con un constante crecimiento de sus ciudades, una de las principales evoluciones que ha tenido este país es la construcción de carreteras con el fin de mejorar la comunicación con otros lugares fomentando el desarrollo del país, no obstante, se han venido presentando inconvenientes con respecto a los pavimentos convencionales y es que estos no permiten el acceso de agua lluvia hacia el sub suelo, ya que normalmente los pavimentos de alta resistencia son impermeables y estos son los utilizados en vías de alto tráfico vehicular.

En Perú se centran principalmente en la ciudad de Piura, ya que es una ciudad normalmente de un clima cálido, pero en algunos años ha variado entre fuertes sequías y lluvias torrenciales, la presencia de estas últimas ha causado grandes afectaciones, ya que se han presentado inundaciones por falta de permeabilidad de las superficies. (Rondoy Aguilar, 2018).

Según Rondoy Aguilar (2018), la ciudad de Piura contiene partes del suelo que pueden saturarse de manera constante y rápida generando que el sistema de saneamiento colapse cuando ocurren fuertes lluvias, ocasionando el estancamiento del agua sobre la superficie de rodadura o carpeta asfáltica, lo que conlleva a tener afectaciones en el pavimento.

Para solucionar lo planteado anteriormente, Rondoy Aguilar (2018) propone realizar un diseño de pavimento rígido permeable y drenaje pluvial con el fin de mejorar el tránsito en el tramo Jr. San Lorenzo en el mercado de Piura. Cuya investigación fue diseñar una mezcla de un pavimento permeable con respecto a la variación de relación de vacíos que permitan alcanzar las propiedades óptimas tanto como estructurales e hidráulicas para ser empleado en los pavimentos.

Toro Ojeda y Cayón Cayón realizaron un análisis y propuesta de los pavimentos permeables aplicados a las problemáticas presentadas en las ciudades de Santa Marta, Barranquilla y Valledupar, los cuales pueden presentar beneficios ambientales como una solución al encharcamiento de las superficies destinadas a la infraestructura vial, colocando captadores pluviales para posteriormente tratar el agua, los autores recomiendan usar estos captadores en zonas verdes, ya que permite el ingreso de agua y oxígeno para el crecimiento de plantas. (Toro Ojeda y Cayón Cayón, como se citó en María d, 2018).

En el año 2022 se utilizó pavimento permeable como estrategia para el control de escorrentías en la ciudad de Curicó en Chile, el cual no cumplió la hipótesis planteada inicialmente porque no se eliminaron las escorrentías totales de las inundaciones ocasionadas por el cambio climático.

El avance en Latinoamérica reside en países como Brasil y Chile; en Norte América (USA) incluso existen manuales de diseño y construcción por estado; en México están innovando en la creación y fabricación de nuevos tipos de pavimentos; y un claro ejemplo de ello se puede observar en el Parque Metropolitano de León, donde se utilizó para reducir la escorrentía. (Hernández Días y Martínez Llorente, 2014).

Tabla 1 Estado del arte

No.	Autor o Autores	Año	Mes	Aporte
1	Ley 768 del 2002	2002	8	Código Nacional de Tránsito
2	Mario Leandro Castro Espinosa	2011		Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano
3	Lina Mercedes Monsalve Escobar, Laura Cristina Giraldo Vásquez, Jessyca Maya Gaviria	2012		Diseño de pavimento flexible y rígido
4	Allex E. Álvarez-Lugo. Oscar J. Reyes-Ortiz. Rodrigo Miró	2014	5	A review of the characterization and evaluation of permeable friction course mixtures
5	Jorge Rodríguez Hernandez. Joseba Rodríguez Bayón. Daniel Castro Fresno. Francisco Bayesrter Muñoz	2014	5	Construcción de pavimentos permeables para el control en origen de la escorrentía urbana: ejemplo práctico del aparcamiento del palacio de deportes de la guía
6	Eusebio Cárdenas Gutiérrez, Angel Albiter Rodríguez, Janner Jaimes Jaramillo	2017		Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso del agua.
7	Lucas Niehuns Antunes *, EneDir Ghisi and Liseane Padilha Thives	2018	11	Permeable Pavements Life Cycle Assessment: A Literature Review
8	Sam Abdollahian 1, , Hamidreza Kazemi 2,*ID , Thomas Rockaway 2 and Venkata Gullapalli 3	2018	6	Stormwater Quality Benefits of Permeable Pavement Systems with Deep Aggregate Layers
9	Andrea Gabriela Carvajal Siguencia, Olga Cristina Quishpi Machuca	2018	5	Diseño de pavimento asfáltico poroso para el aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca
10	Br. Rosana Noemi Rondoy Aguilar	2019		"Diseño de un Pavimento Permeable y Drenaje Pluvial del Tramo Jr. San Lorenzo – Mercado de Piura, 2018"

No.	Autor o Autores	Año	Mes	Aporte
11	Masoud Kayhanian, Hui Li, John T. Harvey, Xiao Liang	2019	2	Application of permeable pavements in highways for stormwater runoff management and pollution prevention: California research experiences
12	Eco habitat	2019		Aguas pluviales: Pavimentación permeable y recolección de agua en las ciudades
13	Pedro Ronald Guerra Chayña, César Edwin Guerra Ramos	2020		Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible
14	Lucas Niehuns Antunes 1,* , Calum Sydney 2, Enedir Ghisi 1, Vernon R. Phoenix 2, Liseane Padilha Thives 1, Christopher White 2 and Emmanuelle Stefânia Holdefer Garcia 1	2020	10	Reduction of Environmental Impacts Due to Using Permeable Pavements to Harvest Stormwater
15	Mari E. Danz, William R. And Nicolas H. Buer	2020	5	Assessment of Restorative Maintenance Practices on the Infiltration Capacity of Permeable Pavement
16	Disfani, Mahdi M.1 mahdi.miri@unimelb.edu.au Mohammadinia, Alireza. Narsilio, Guillermo A. Aye, Lu	2020	3	Performance evaluation of semi-flexible permeable pavements under cyclic loads.
17	Luis Alfredo Toro Ojeda, Luis Sebastian Cayon Cayon	2021		Análisis sistemático de literatura presentado como modalidad de grado para la obtención del título de ingeniero civil.
18	Tianqi Liu · Yelly Lawluy · Yang Shi · Pow-Seng Yap	2021	8	Low Impact Development (LID) Practices: A Review on Recent Developments, Challenges and Prospects
19	Kia, Alalea1. Wong, Hong S.1 hong.wong@imperial.ac.uk Cheeseman, Christopher R.1	2021	3	High-strength clogging resistant permeable pavement.
20	Yu Zhiji; Gan Huihui; Xiao, Ming; Huang, Biao; Zhu, David Z; et al.	2021	2	Performance of permeable pavement systems on stormwater permeability and pollutant removal
21	Cindy Lorena Guavita Hernandez, Lency Marcela López Jurado, Nelson Andrés Garzón Soler			Capacidad en intersecciones a desnivel para zonas urbanas: Un estado del arte
22	Eusebio Cárdenas Gutiérrez, Angel Albiter Rodríguez, Janner Jaimes Jaramillo	2017		Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso del agua.
23	INVIAS			Manual de señalización vial INVIAS

Creación propia.

2.2 Marco teórico

En Colombia se han diseñado, planificado y construido obras de infraestructura que han permitido el desarrollo del país en cuanto a movilidad. Los deprimidos viales (también conocidos como intersecciones viales) son un claro ejemplo de esto, ya que han sido pensados para aliviar el tráfico vehicular.

2.2.1 *Intersecciones a desnivel*

Las intersecciones a desnivel son procesos de adaptaciones que se construyen para no interrumpir el tráfico actual, el objetivo de estas es separar los flujos en diferentes niveles por medio de vías superiores o inferiores, para ello se usan estructuras como puentes, túneles, viaductos y rotondas (Guavita Hernández, López Jurado y Garzón Soler, s. f).

En Valle de Aburrá este tipo de estructuras son muy usadas en vías de alta circulación las cuales Como lo indican Guavita Hernández, López Jurao y Garzón Soler (s. f), Las intersecciones a desnivel se clasifican en:

- **Intersecciones de Tres ramas:** Utilizadas para conectar una vía transversal a una carretera principal.
- **Intersección de cuatro ramas con condición de parada:** Se utilizan en vías urbanas y rurales.
- **Intersecciones de cuatro ramas de libre circulación:** Se utiliza para para que una carretera se incorpore a otra, sin perder continuidad, el más utilizado en el tipo Diamante.
- **Intersecciones rotatorias:** Estas intersecciones son aplicadas donde exista suficiente espacio para construirla, ya que requiere la construcción de dos puentes.

El deprimido objeto de estudio (Terminal del Norte) se encuentra clasificado como una intersección a desnivel tipo rotatoria el cual consta de dos puentes. Para fines académicos solo se tendrá

en cuenta uno de los dos puentes (sentido Sur-Norte), con el fin de mejorar el alto flujo vehicular que se maneja en la zona, generando el deprimido en la parte inferior de los puentes.

2.2.2 Pavimentos

La intersección a desnivel (deprimido vial) ubicada en la carrera 64 C cerca de la Terminal del Norte posee una estructura que consta de una subrasante que es la capa compacta compuesta de material natural, sobre esta se apoya la sub-base, que consta de un material granular grueso, esta capa se emplea como base para la instalación de pavimentos. Sobre la sub-base se apoya la base que se compone de material triturado y materiales finos para formar la capa de apoyo para el pavimento; y finalmente se encuentra la superficie o capa de rodadura, que es la encargada de soportar directamente las cargas generadas por el tránsito.

2.2.3 Tipos de pavimentos

Según Giordani y Leone (s. f), los pavimentos se clasifican en:

- **Pavimento flexible**, compuesto por varias capas de asfalto que son las que soportan las deformaciones (vuelve a su estado natural después de liberar las cargas ejercidas sobre el), este tipo de pavimento es el más utilizado en las carreteras, ya que es el que mejor se adapta a cualquier condición climática, el que más soporta el peso vehículos y el que presenta una mayor vida útil.
- **Pavimento rígido**: Está compuesto por una capa de hormigón (cemento portland) que requiere unas juntas de dilatación para poder soportar el flujo vehicular.
- **Pavimento semirrígido**: Están compuestos por una mezcla de compuestos rígidos y flexibles, se usa en vías que presentan altos niveles de tráfico ya que están diseñados para soportar el peso generado por estos.

Pavimentos articulados: En este tipo de pavimentos, se utiliza estructuras prefabricadas que van unidas entre sí para generar la superficie (adoquines), es utilizada en zonas con tránsito vehicular liviano.

La intersección a desnivel (objeto de estudio) posee una estructura en forma de pavimento flexible, ya que cuenta con una superficie de rodadura conformada por asfalto. Esta vía es considerada una autopista, debido a que posee un alto flujo vehicular y está diseñada con el fin de que las deformaciones causadas por las cargas transmitidas de los vehículos vuelvan a su estado natural.

Con la evolución de los pavimentos, se han caracterizado en dos sectores:

- **Pavimentos permeables:** es un tipo de pavimento que permite que el agua de lluvia y otros líquidos fluyan a través de él y se filtren en el suelo subyacente. Los pavimentos permeables están diseñados para reducir el escurrimiento superficial y la escorrentía. Tanto pavimentos flexibles como rígidos presentan un tipo de pavimento permeable: pavimento asfáltico poroso y concreto poroso respectivamente.
- **Pavimentos impermeables:** Se consideran los pavimentos más tradicionales, ya que hacen que el agua de lluvia se escurra hacia los sistemas de alcantarillado.

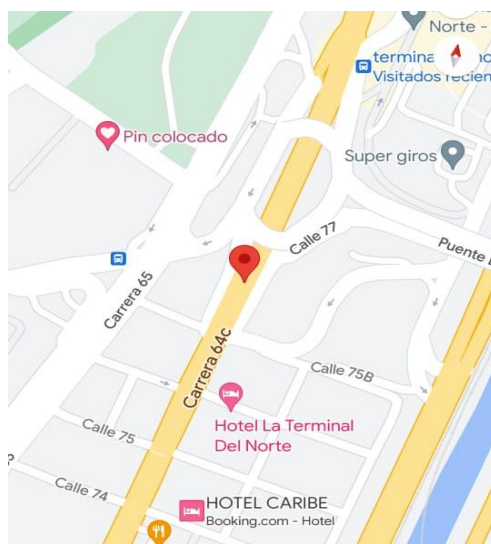
Los deprimidos viales se han visto muy afectados durante los últimos dos años, debido a los incrementos de las precipitaciones en todo el territorio nacional, lo cual ha contribuido para que en estas obras se presenten inundaciones. Según el artículo Cambio climático y medio ambiente publicado por las Naciones Unidas, la temperatura media anual puede subir temporalmente uno punto cinco grados celsius (1,5 °C) durante los próximos cinco años siguientes, lo que genera un cuarenta por ciento (40%) de probabilidades de aumento de las precipitaciones (26 de mayo, 2021). Pero no solo se han visto afectados por el factor de lluvias intensas, sino también por la falta de cultura ciudadana al arrojar basuras al suelo, la poca capacidad hidráulica en los sistemas de drenaje y la cercanía con ríos y quebradas.

La intersección a desnivel (deprimido vial) ubicado en la carrera 64C cerca de la Terminal del Norte ha venido presentando inundaciones en su superficie de rodadura (carpeta asfáltica) debido a las fuertes lluvias presentadas en los últimos años, ocasionadas por el cambio climático, aparte de esto también se han venido presentado dificultades en los drenajes del sector, ya que se ven obstruidos por basuras y la cantidad de agua causada por el desbordamiento principalmente del río Medellín y de otros afluentes cercanos al sector.

También se debe tener en cuenta que esta es una vía de alta circulación, una autopista, la cual consta de dos carriles, dos en el sentido Sur-Norte y dos en el sentido Norte-sur, cuenta con unos cuarenta y ocho metros (48m) de longitud por catorce punto cincuenta y cuatro metros (14,54m) de ancho aproximadamente entre ambas calzadas, también es una intersección a desnivel (deprimido vial) expuesta y debido a esto se utiliza el pavimento flexible de alta resistencia, el cual tiene una estructura que consta de la subrasante, subbase, base y superficie de rodadura establecidos en la normativa AASHTO-93 y el INVIAS.

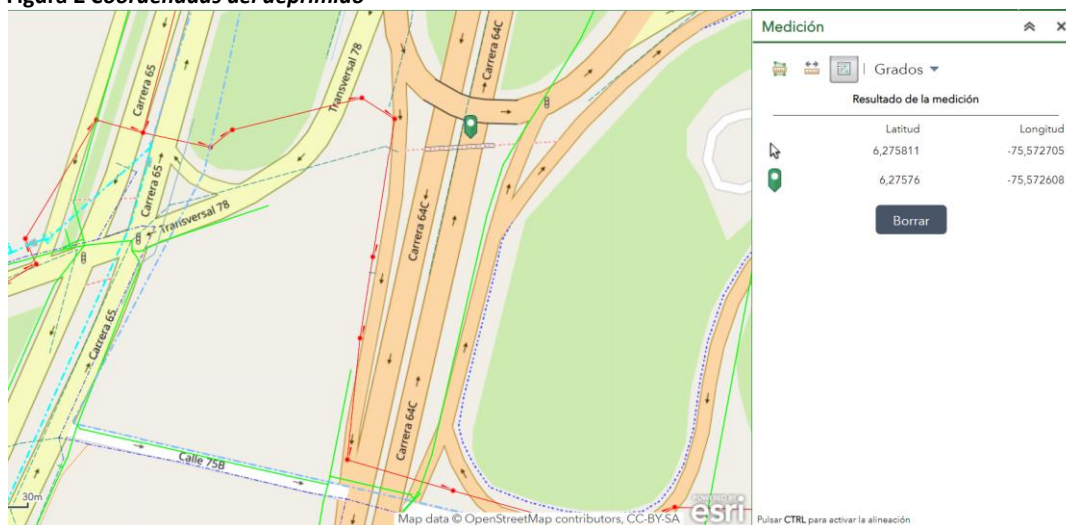
Una alternativa como posible solución es el pavimento permeable, ya que es un tipo de pavimento que permite que el agua de lluvia y otros líquidos fluyan a través de él y se filtren en el suelo subyacente. A diferencia de los pavimentos tradicionales, que son impermeables y hacen que el agua de lluvia se escurra hacia los sistemas de alcantarillado, los pavimentos permeables están diseñados para reducir el escurrimiento superficial y la escorrentía. Adicionalmente “Avances recientes en materiales y evaluación de mezclas asfálticas conllevaron al incremento del uso de mezclas drenantes en las dos últimas décadas como alternativa para mejorar la seguridad vial y controlar los niveles de ruido” (Álvarez, Reyes y Miró, 2014, p. 469.482).

Figura 1 Ubicación del deprimido vial



Tomado de Google Maps

Figura 2 Coordenadas del deprimido



Tomado de Geoport EPM, mapa de redes de acueducto y alcantarillado.

2.3 Marco legal

La normativa bajo la cual se diseñan y se construyen las vías en Colombia es el INVÍAS, en el Capítulo 4 artículo 442P-17 Mezcla asfáltica natural, se especifica que el pavimento debe ser aplicado con luz diurna, debe contener cierto tipo de agregados, los cuales deben cumplir con los criterios granulométricos establecidos en la presente normativa.

Según lo describe la normativa de EPM de Construcción de pavimento asfáltico, deben presentarse además las curvas, tablas y cálculos propios del diseño de la mezcla por método Marshall, incluyendo curvas de densidad, estabilidad, fluencia, vacíos en la mezcla total, vacíos llenos con asfalto y vacíos en los agregados. Las briquetas se deben elaborar con incrementos de 0,5% en el cemento asfáltico, dentro de un intervalo de 4,5 a 7,5%, recomendado para el diseño.

A demás el pavimento debe cumplir con la resistencia establecida para el cual fue diseñado teniendo en cuenta el nivel de permeabilidad para ser un drenante óptimo y que conserve las características requeridas estipuladas en la norma para ser aplicado en vías de alta circulación.

Otra normativa que se debe tener presente en este trabajo es la AASHTO 93 donde se debe tener en cuenta el periodo de diseño del pavimento y el número de ejes equivalentes con el fin de determinar el diseño de las capas que conformarán el pavimento, siendo en este caso la capa de rodadura, la base y la subbase.

CAPÍTULO III

3 Enfoque y alcance

3.1 Enfoque metodológico

Por medio de fuentes secundarias se realizarán análisis de información, las cuales orientarán dicha investigación.

El proceso parte de un trabajo de investigación por medio de consulta de referencias bibliográficas, el cual permite describir, analizar e interpretar los tipos de pavimentos permeables y los impactos sobre el entorno.

El trabajo de investigación tomará parte de este enfoque al analizar las resistencias de los tipos de pavimentos permeables y su vida útil. Estos enfoques permitirán la toma de decisiones para el desarrollo del trabajo de investigación.

3.2 Alcance

Por medio de estudios bibliográficos relacionados con pavimentos, pavimentos permeables, estudios hidrológicos, intersecciones a desnivel (deprimidos viales), entre otros, desarrollar un proceso de investigación para definir si la propuesta de uso del pavimento permeable aplicado en la intersección a desnivel (deprimido vial) ubicado en la carrera 64 C en el barrio Caribe cerca de la Terminal del Norte es viable, teniendo en cuenta que se debe realizar un filtro con la información necesaria, estableciendo variables que son foco similar de observación en las investigaciones y así determinar las principales bases del estudio.

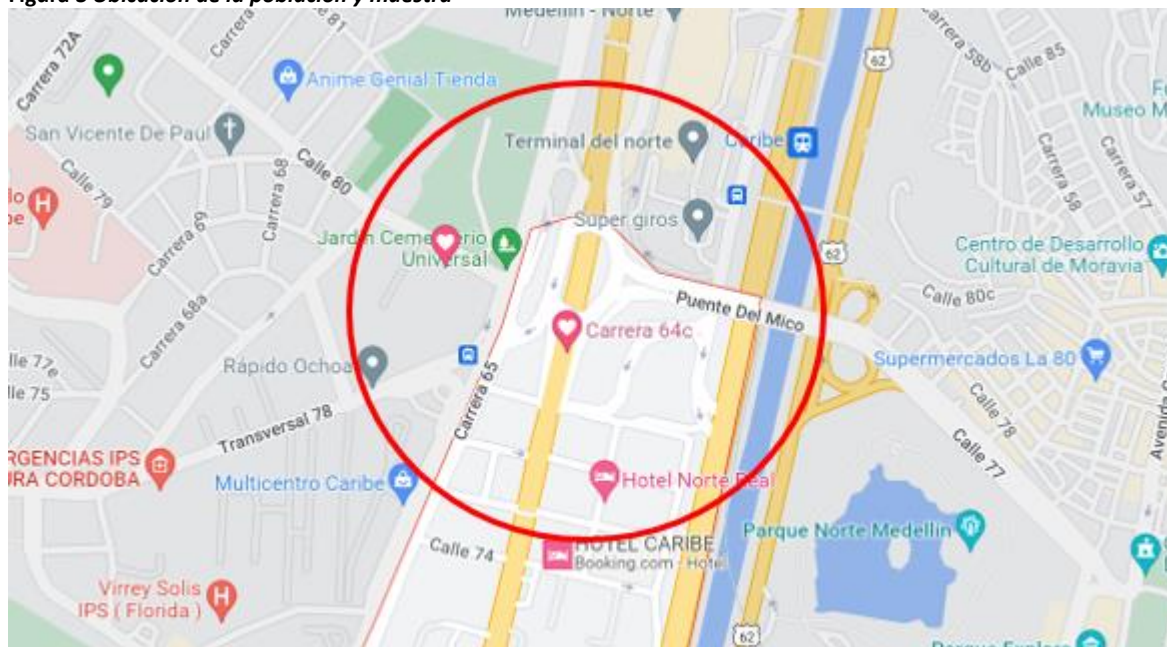
CAPÍTULO IV

4 Diseño metodológico

4.1 Población y muestra

Población perteneciente a la Ciudad de Medellín en especial la que se encuentra ubicada en el barrio Caribe en la zona noroccidental cerca de la terminal del Norte en la carrera 64C. La ciudad de Medellín cuenta con una población de 2.376.337 habitantes. DANE. (2019, 05 de Julio).

Figura 3 Ubicación de la población y muestra



Tomada de Google Maps.

4.2 Recolección de la información e instrumentos

Mediante el levantamiento de información secundaria se realizará el análisis del comportamiento de los pavimentos permeables tomando como base principal la normatividad vigente, teniendo en cuenta lo anterior se observa que en el cruce de la cota más baja se ha presentado inundaciones, esto ha ocurrido debido a fuertes lluvias dando como resultado el desbordamiento de ríos y quebradas aledañas, mediante esta investigación se explorarán posibles opciones para la solución del problema presentado, para ello se utilizarán fuentes de información secundaria, la cual ayudará a definir las características fundamentales del comportamiento del pavimento permeable.

La capacidad vehicular se determinará tomando una muestra representativa de vehículos, lo que ayudará a identificar los tipos de automóviles que circulan por estas vías, para determinar el tiempo

y la velocidad, estos son factores importantes para determinar el nivel de servicio para el cual se encuentra diseñada la vía y la capacidad portante del pavimento; este análisis determinará si se puede utilizar pavimento permeable en este sector. Se tendrán en cuenta las opiniones de expertos en el tema, que orientarán el proceso de investigación. También se interpretará el comportamiento del volumen de tránsito y finalmente se identificarán los factores que afectan la velocidad.

Al obtener el resultado del nivel de servicio, se realizará una comparación con la normativa (INVIAS) para verificar la cantidad de ejes que circulan en este sector, siendo este factor determinante para las condiciones de operación de un flujo de vehículos.

4.3 Procedimiento y fundamento teórico

4.3.1 Inundaciones en el Valle de Aburrá

Las inundaciones en el Valle de Aburrá son cada vez más frecuentes debido a las altas precipitaciones que se presentan, pues los sistemas de drenaje no están siendo suficientes para evacuar las aguas pluviales.

A demás la ciudad ha ido creciendo y evolucionando permanentemente según Toro Ojeda y Cayón Cayón (2021), lo que ocasiona que los sistemas de drenaje se vuelvan casi obsoletos comparándolos con el nivel de incremento de la población y la ciudad, además, en la mayoría de casos las construcciones se realizan con el fin de que sean poco permeables para evitar deterioros prematuros en estas.

4.3.2 Inundaciones en la ciudad de Medellín

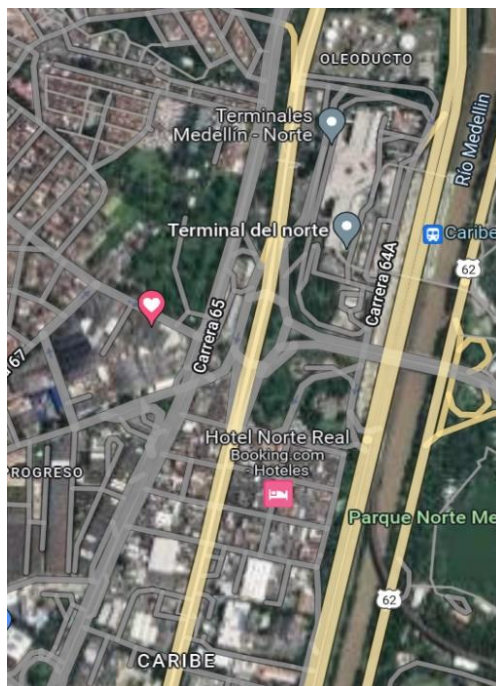
La urbanización produce cambios en el territorio que suelen destruir o invadir los humedales y llanuras de inundación de una cuenca. La construcción de obras de infraestructura generalmente implica remover la vegetación, el suelo y el agua que son elementos constitutivos de los humedales. También es normal que con las obras de infraestructura se ocupen y modifiquen las llanuras de inundación. Una de

las consecuencias de la urbanización en el Valle de Aburrá ha sido la destrucción e invasión de humedales y llanuras de inundación en la cuenca del río Medellín. Queda muy poco espacio entre vías, edificaciones y cauces del río y sus afluentes. De hecho, algunos cauces están completamente cubiertos por la ciudad como es el caso de la quebrada Santa Elena que fluye bajo la Avenida La Playa. “Canalizar para industrializar” fue una idea detrás del desarrollo de Medellín en el siglo XX. (Salazar, s.f)

4.3.3 Descripción de la vía

La intersección a desnivel (deprimido vial) se encuentra ubicado en la carrera 64 C cerca de la Terminal del Norte, el cual hace parte de la Autopista Norte de la Ciudad de Medellín. Esta es una vía de alta circulación la cual cuenta con dos carriles en ambas calzadas en sentido Sur-Norte y Norte-Sur.

Figura 4 Autopista Norte en la carrera 64C



Tomado de Google Maps.

4.4 Métodos para el análisis de datos

4.4.1 Estudio de tránsito

Según Monsalve Escobar, Giraldo Vásquez y Gaviria Maya para realizar un buen estudio de tránsito se deben tener en cuenta los siguientes elementos: La capacidad de soporte del suelo o subrasante, el tránsito que circulará en la estructura sobre su periodo de diseño, las condiciones climáticas y los materiales con los que se construye (2012).

El tránsito es una de las variables más importantes al momento de diseñar la estructura de un pavimento, pues las dimensiones de los vehículos influyen en el diseño geométrico de la vía, mientras que el número de ejes y el peso de estos son factores determinantes para el diseño de la estructura. (Monsalve Escobar, Giraldo Vásquez y Gaviria Maya, 2012)

Para dar inicio al cálculo de los vehículos que circulan por un sector se debe realizar un aforo vehicular, este me permite determinar la cantidad de vehículos de diferentes tipos y calcular la velocidad para la cual se encuentra diseñada la vía.

La velocidad se ha convertido en uno de los principales indicadores utilizado para medir la calidad de la operación a través de un sistema de transporte. A su vez, los conductores, considerados de una manera individual, miden parcialmente la calidad de su viaje por su habilidad y libertad en conservar uniformemente la velocidad deseada. Se sabe, además, por experiencia que el factor más simple a considerar en la selección de una ruta específica para ir de un origen a un destino, consiste en la minimización de las demoras, lo cual obviamente se logra con una velocidad buena, sostenida y que ofrezca seguridad.

Tanto en el proceso del proyecto de una nueva vía de comunicación como en el de la ampliación de una vía existente, es imprescindible conocer las condiciones actuales de operación de la vialidad existente, así como establecer las condiciones que se espera obtener en el futuro. Aunque son

dinámicos, los errores que se cometan en la determinación de volúmenes de tránsito se traducirán en problemas como congestión por volúmenes muy superiores a los proyectados.

Es fundamental en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los meses del año, etc. Dicha variación se analiza en función de su distribución por carriles, su distribución direccional y composición. Es importante conocer la variación del volumen del tránsito dentro de las horas pico y cuantificar la duración de los flujos máximos, para así realizar la planeación de los controles de tránsito para estos períodos durante el día, tales como prohibición de estacionamientos, disposición de los tiempos de los semáforos, entre otros.

Para el objeto de estudio se realizaron dos aforos vehiculares (13 y 16 de marzo del 2023) en la intersección a desnivel ubicada en la carrera 64C cerca de la Terminal del Norte, con el propósito de determinar la velocidad, ya que es uno de los principales indicadores utilizados para medir la calidad de operación a través de los sistemas de transporte.

- **velocidad (v)**: Según Iparraguirre, L. (2009), se define la velocidad (v) como el espacio recorrido en un determinado tiempo. Cuando la velocidad es constante, queda definida como una función lineal de la distancia y el tiempo, tal como se observa en la ecuación (1).

Ecuación 1 Velocidad

$$v = \frac{d}{t} \quad (1)$$

Donde:

v : Velocidad constante [Km/h]

d : Distancia recorrida [Km]

t : Tiempo de recorrido [h]

-Según el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cantón en Ecuador, **La velocidad de punto** es la velocidad de un vehículo a su paso por un determinado punto de una carretera o de una calle. Como dicha velocidad se toma en el preciso instante del paso del vehículo por el punto, también se le denomina velocidad instantánea.

-**La velocidad media temporal (v_t)**: Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo seleccionado. Se dice entonces, que se tiene una distribución temporal de velocidades de punto (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cantón en Ecuador).

Ecuación 2 Velocidad media temporal

$$v_t = \frac{\sum_{i=1} v_i}{n} \quad (2)$$

Donde:

v_i : velocidad del vehículo i

v_t : Velocidad media temporal

n : número total de vehículos observados o tamaño de la muestra

-**La Velocidad media espacial (v_e)**: es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos que en un instante dado se encuentran en un tramo de carretera o calle. Se dice entonces, que se tiene una distribución espacial de velocidades de punto. Para un espacio o distancia dados, la velocidad media espacial se calcula dividiendo la distancia por el promedio de los tiempos empleados por los vehículos en recorrerla (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cantón en Ecuador).

Ecuación 3 Velocidad media espacial

$$v_e = \frac{\sum_{j=1} v_j}{m} \quad (3)$$

Ecuación 4 Tiempo promedio

$$t (\text{prom}) = \frac{\sum_{n=1}^m t}{m} \quad (4)$$

Donde:

v_e : Velocidad media espacial

v_j : Velocidad del vehículo "j"

m : número total de vehículos observados o tamaño de la muestra.

-Velocidad de recorrido: llamada también velocidad global o de viaje, es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde principio a fin de viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cantón en Ecuador).

-Velocidad de marcha: Para un vehículo, la velocidad de marcha o velocidad de crucero, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento. El tiempo de marcha excluye todas las paradas y demoras (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cantón en Ecuador).

-Estudios de velocidad: Un estudio de velocidad sirve para cuantificar la eficiencia de un sistema vial y medir tendencias de velocidades.

-Estudio de velocidad de punto

Los estudios de velocidad de punto se aplican para:

- Determinar la tendencia de velocidades de los vehículos en un tramo específico.
- Determinar la relación entre accidentes y velocidad que pueda ayudar a tomar medidas de corrección para evitar accidentes.
 - Establecer límites de velocidad máxima y mínima.
 - Determinar longitudes en zonas de rebase prohibido.
 - Localizar y definir los tiempos de semaforización.
 - Evaluar los resultados de algún cambio efectuado en las condiciones y controles de tránsito existentes.

- Evaluar los efectos de las distribuciones de las velocidades reales en las características de los elementos geométricos de la vía.
- Realizar estudios de investigación sobre capacidades, efecto de obstrucciones laterales en la velocidad, teoría de flujo vehicular.

-Estudios de velocidad de recorrido: Los estudios de velocidad de recorrido sirven para evaluar la calidad del movimiento vehicular a lo largo de una ruta y determinar la ubicación, tipo y magnitud de las demoras del tránsito. En este tipo de estudios juega un rol importante el tiempo total de recorrido en el que, como ya se definió anteriormente, incluye las demoras debidas al tránsito.

Los dos aforos vehiculares se realizaron sobre la intersección a desnivel (deprimido vial) ubicado en la carrera 64C cerca de la Terminal del Norte en la ciudad de Medellín, dando inicio desde las 6:25 pm y finalizando a las 7:34 pm.

Se tomó la decisión de realizar los aforos vehiculares en horas de la noche (conocida como la hora pico), para tener una mejor visualización del sector y segmentar de la mejor manera los vehículos que transitan en el lugar, se aforaron los vehículos livianos de color blanco en todas las gamas.

Para dar inicio al conteo de los vehículos se definieron dos puntos para realizar el aforo, el primero (punto A) se encuentra ubicado al inicio de la intersección a desnivel de la carrera 64C en el sentido Sur-Norte tal como se observa en la figura 5 y el segundo (punto B) en la rotonda al finalizar el deprimido vial, tal como se observa en la figura 6, siendo la distancia entre ambos puntos de aproximadamente 300m.

Figura 5 Punto uno (A) aforo vehicular

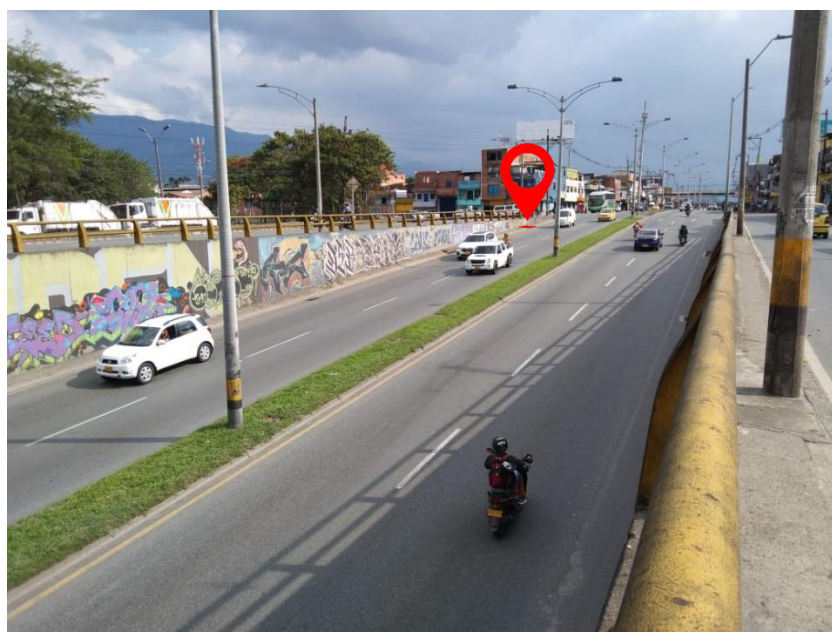


Imagen propia

Figura 6 Punto dos (B) del aforo vehicular



Tomada de Google Maps.

La recolección de datos se realiza durante una hora aproximadamente con el fin de tener una considerable cifra de coincidencias de vehículos entre ambos puntos.

4.4.2 Cálculos y resultados Aforo realizado el día 13 de marzo del año 2023

En la tabla 1 se presentan los datos recolectados durante el aforo de velocidades en los puntos establecidos, entre el inicio de la intersección a desnivel de la carrera 64C en el sentido Sur-Norte y el segundo en la rotonda al finalizar el deprimido vial con sus respectivos tiempos, teniendo en cuenta solo los vehículos livianos en todas las gamas del color blanco.

Tabla 2 Datos obtenidos del aforo realizado el día 13 de marzo del 2023

Nº	PLACA	TIEMPO DE PASO EN A (BARANDA)	TIEMPO DE PASO EN B (AL FINALIZAR LA GLORIETA)
		h:min:seg	h:min:seg
1	HHS228	0:25:17	0:26:49
2	ABU054	0:26:45	0:28:06
3	MIL957	0:27:27	0:29:12
4	JBQ575	0:28:13	0:29:24
5	ISV897	0:27:33	0:29:19
6	JKL576	0:29:48	0:31:16
7	DHY069	0:29:48	0:31:20
8	IAZ787	0:31:23	0:32:56
9	MIZ544	0:32:10	0:33:47
10	EPP380	0:34:15	0:35:29
11	IEU327	0:36:34	0:37:28
12	GXN835	0:37:13	0:38:47
13	IHS068	0:37:54	0:39:40
14	MUK068	0:38:20	0:39:24
15	HNV867	0:38:24	0:39:18
16	BEZ736	0:38:41	0:40:09
17	SNU488	0:39:44	0:40:37
18	IFM452	0:42:20	0:43:21
19	EHL248	0:42:52	0:43:45
20	JKP399	0:43:16	0:44:16
21	MBP652	0:46:46	0:47:41
22	IOV638	0:47:11	0:48:51
23	ISV288	0:48:21	0:49:25
24	ISU501	0:48:27	0:50:09
25	MVW750	0:48:36	0:50:14

Nº	PLACA	TIEMPO DE PASO EN A (BARANDA)	TIEMPO DE PASO EN B (AL FINALIZAR LA
		h:min:seg	h:min:seg
26	MKX161	0:48:55	0:50:36
27	ISV750	0:49:21	0:50:53
28	MLH612	0:49:57	0:50:57
29	ISV013	0:50:40	0:51:20
30	MUL309	0:51:24	0:52:14
31	DIL181	0:51:43	0:52:30
32	EPP552	0:52:17	0:53:45
33	BFF434	0:52:54	0:54:30
34	UEO055	0:53:47	0:55:15
35	EHK598	0:54:20	0:55:18
36	MIW968	0:54:36	0:56:09
37	ICZ878	0:54:50	0:55:45
38	KKD251	0:56:00	0:57:11
39	HZM552	0:56:14	0:57:51
40	FHV512	0:57:24	0:58:28
41	WLI946	0:57:28	0:58:30
42	EHK301	0:57:40	0:58:47
43	USY647	0:58:16	0:59:16
44	JBO483	0:58:22	0:59:33
45	IHS902	0:58:55	1:00:15
46	MNW699	0:59:11	1:01:00
47	VAS682	0:59:43	1:00:47
48	AHG599	1:00:41	1:02:22
49	INS070	1:02:00	1:03:40
50	DIK941	1:02:43	1:03:43

Creación propia.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para las velocidades de cada uno de los vehículos aforados, en este caso 50 automóviles. A partir de estos resultados se puede establecer a partir de las velocidades obtenidas, que el flujo vehicular era constante.

Tabla 3 Velocidades de recorrido y velocidad media espacial.

TIEMPO DE RECORRIDO		VELOCIDAD DE RECORRIDO		VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL
		DISTANCIA	VELOCIDAD DE RECORRIDO	
h:min:seg	horas	Km	Km/h	
0:01:32	0,0256	0,300	11,739	0,121
0:01:21	0,0225	0,300	13,333	0,137
0:01:45	0,0292	0,300	10,286	0,106
0:01:11	0,0197	0,300	15,211	0,157
0:01:46	0,0294	0,300	10,189	0,105
0:01:28	0,0244	0,300	12,273	0,127
0:01:32	0,0256	0,300	11,739	0,121
0:01:33	0,0258	0,300	11,613	0,120
0:01:37	0,0269	0,300	11,134	0,115
0:01:14	0,0206	0,300	14,595	0,150
0:00:54	0,0150	0,300	20,000	0,206
0:01:34	0,0261	0,300	11,489	0,118
0:01:46	0,0294	0,300	10,189	0,105
0:01:04	0,0178	0,300	16,875	0,174
0:00:54	0,0150	0,300	20,000	0,206
0:01:28	0,0244	0,300	12,273	0,127
0:00:53	0,0147	0,300	20,377	0,210
0:01:01	0,0169	0,300	17,705	0,183
0:00:53	0,0147	0,300	20,377	0,210
0:01:00	0,0167	0,300	18,000	0,186
0:00:55	0,0153	0,300	19,636	0,202
0:01:40	0,0278	0,300	10,800	0,111
0:01:04	0,0178	0,300	16,875	0,174
0:01:42	0,0283	0,300	10,588	0,109
0:01:38	0,0272	0,300	11,020	0,114

TIEMPO DE RECORRIDO		VELOCIDAD DE RECORRIDO		VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL
h:min:seg	horas	DISTANCIA Km	VELOCIDAD DE Km/h	
0:01:38	0,0272	0,300	11,020	0,114
0:01:41	0,0281	0,300	10,693	0,110
0:01:32	0,0256	0,300	11,739	0,121
0:01:00	0,0167	0,300	18,000	0,186
0:00:40	0,0111	0,300	27,000	0,278
0:00:50	0,0139	0,300	21,600	0,223
0:00:47	0,0131	0,300	22,979	0,237
0:01:28	0,0244	0,300	12,273	0,127
0:01:36	0,0267	0,300	11,250	0,116
0:01:28	0,0244	0,300	12,273	0,127
0:00:58	0,0161	0,300	18,621	0,192
0:01:33	0,0258	0,300	11,613	0,120
0:00:55	0,0153	0,300	19,636	0,202
0:01:11	0,0197	0,300	15,211	0,157
0:01:37	0,0269	0,300	11,134	0,115
0:01:04	0,0178	0,300	16,875	0,174
0:01:02	0,0172	0,300	17,419	0,180
0:01:07	0,0186	0,300	16,119	0,166
0:01:00	0,0167	0,300	18,000	0,186
0:01:11	0,0197	0,300	15,211	0,157
0:01:20	0,0308	0,300	9,730	0,100
0:01:49	0,0303	0,300	9,908	0,102
0:01:04	0,0178	0,300	16,875	0,174
0:01:41	0,0281	0,300	10,693	0,110
0:01:40	0,0278	0,300	10,800	0,111
0:01:00	0,0167	0,300	18,000	0,186

Creación propia.

En la tabla 4 se presenta el tiempo promedio de corrido en el tramo establecido.

Tabla 4 Tiempo promedio de recorrido

TIEMPO PROMEDIO DE RECORRIDO
(h)
0,024

Creación propia.

En la tabla 5 se presenta la velocidad media espacial, obtenida a partir de la distancia y el tiempo promedio del total de los vehículos aforados.

Tabla 5 Velocidad media espacial

VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL
(Km/h)
12,703

Creación propia.

En la tabla 6 se presenta la velocidad media temporal, obtenida por la media aritmética de la velocidad de todos los vehículos aforados.

Tabla 6 Velocidad media temporal

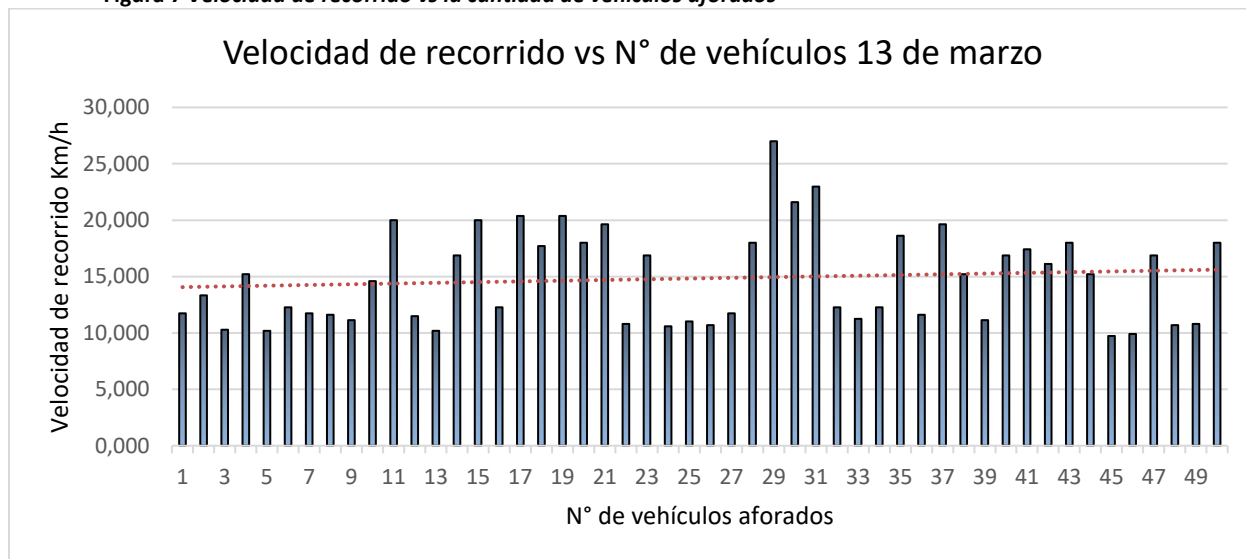
VELOCIDAD MEDIA TEMPORAL
(Km/h)
14,437

Creación propia.

En la figura 7, se observa la representación gráfica del comportamiento que presentan los vehículos aforados respecto a sus velocidades, en este se observa una tendencia de los datos obtenidos, ya que muestran un comportamiento de forma continua y constante, es decir, que la mayoría de vehículos automotores que circulan en el sector poseen una velocidad constante, lo que quiere decir que al momento de realizar el recorrido por la intersección a desnivel los vehículos poseen una

velocidad de aproximadamente 15 Km/h, también se observa que hubo vehículos que pasaron por el sector con una velocidad mínima inferior a 10 Km/h.

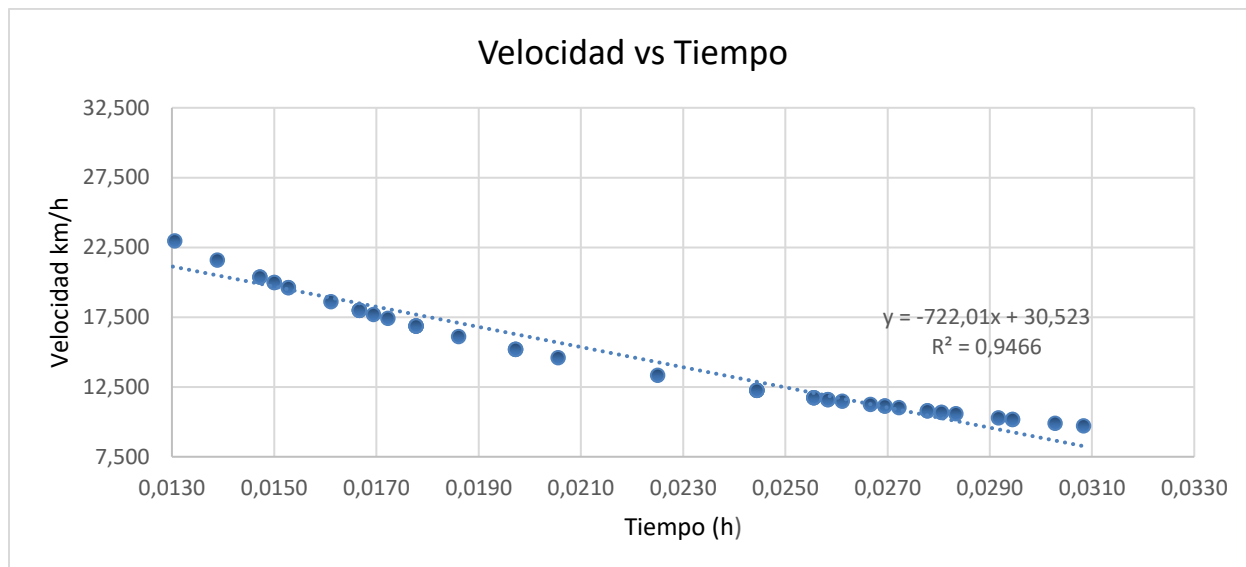
Figura 7 Velocidad de recorrido vs la cantidad de vehículos aforados



Creación propia.

En la figura 8, se presenta gráficamente la velocidad respecto al tiempo, donde se observa que mientras el tiempo de recorrido sea menor, mayor será la velocidad del vehículo, es decir que son inversamente proporcionales, ya que velocidad es igual a espacio sobre tiempo.

Figura 8 Velocidad vs tiempo



Creación propia.

4.4.3 Cálculos y resultados Aforo realizado el día 16 de marzo del año 2023

En la tabla 7 se presentan los datos recolectados durante el aforo de velocidades realizado el día 16 de marzo del año 2023 en los puntos establecidos, entre el inicio de la intersección a desnivel de la carrera 64C en el sentido Sur-Norte y el segundo en la rotonda al finalizar el deprimido vial con sus respectivos tiempos, teniendo en cuenta solo los vehículos livianos en todas las gamas del color blanco.

Tabla 7 Datos obtenidos del aforo realizado el día 16 de marzo del 2023

Nº	PLACA	TIEMPO DE PASO EN A (BARANDA)	TIEMPO DE PASO EN B (AL FINALIZAR LA GLORIETA)
		h:min:seg	h:min:seg
1	MJL370	0:25:11	0:26:37
2	HNZ176	0:25:50	0:27:08
3	EPP995	0:27:50	0:29:09
4	JKK725	0:28:10	0:29:25
5	KHP805	0:29:06	0:30:28
6	JKD111	0:29:17	0:30:43
7	IAR750	0:30:43	0:32:01
8	ELL631	0:32:00	0:33:29
9	DLX043	0:32:05	0:33:33
10	EHL577	0:33:14	0:34:46
11	HHW277	0:33:17	0:34:34
12	DFV439	0:33:21	0:34:43
13	MIV909	0:34:04	0:35:29
14	IHR132	0:34:47	0:36:03
15	TJZ059	0:35:01	0:36:15
16	ISR993	0:35:08	0:36:27
17	EPT288	0:36:36	0:37:55
18	HFN587	0:38:23	0:39:44
19	JBL613	0:39:42	0:41:08
20	IFW223	0:40:39	0:42:09
21	DSZ527	0:41:03	0:42:29
22	GVM902	0:41:55	0:43:18
23	LGP267	0:42:30	0:44:01
24	INR399	0:43:27	0:44:56
25	LGN015	0:44:07	0:45:28

Nº	PLACA	TIEMPO DE PASO EN A (BARANDA)	TIEMPO DE PASO EN B (AL FINALIZAR LA
		h:min:seg	h:min:seg
26	IHQ007	0:44:57	0:46:17
27	EBX282	0:45:15	0:46:39
28	JHT452	0:45:45	0:47:08
29	IUC612	0:46:12	0:47:38
30	GHV381	0:46:50	0:48:12
31	HTQ773	0:47:16	0:48:50
32	EHZ315	0:47:55	0:49:22
33	KKA564	0:48:23	0:49:59
34	HXV063	0:49:01	0:50:35
35	IPR925	0:49:35	0:51:09
36	NCL709	0:50:00	0:51:24
37	LKS081	0:50:22	0:51:48
38	MGV028	0:50:49	0:52:12
39	RHV814	0:51:34	0:52:59
40	FCR915	0:51:53	0:53:15
41	JPV676	0:52:10	0:53:34
42	KMR667	0:52:51	0:54:19
43	NSR505	0:53:20	0:54:37
44	MPN194	0:53:58	0:55:25
45	IYQ086	0:54:12	0:55:45
46	JBL305	0:54:41	0:56:16
47	GTX008	0:55:07	0:56:41
48	ENV432	0:55:25	0:56:53
49	TAS990	0:55:43	0:57:10
50	JHO903	0:56:12	0:57:36

Creación propia.

En la tabla 8 se presentan los resultados obtenidos para las velocidades de cada uno de los vehículos aforados, en este caso 50 automóviles. A partir de estos resultados se puede establecer a partir de las velocidades obtenidas, que el flujo vehicular era constante.

Tabla 8 Velocidades de recorrido y velocidad media espacial

TIEMPO DE RECORRIDO		VELOCIDAD DE RECORRIDO		VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL
		DISTANCIA	VELOCIDAD	
h:min:seg	horas	Km	Km/h	
0:01:26	0,0239	0,300	12,558	0,124
0:01:18	0,0217	0,300	13,846	0,137
0:01:19	0,0219	0,300	13,671	0,135
0:01:15	0,0208	0,300	14,400	0,143
0:01:22	0,0228	0,300	13,171	0,130
0:01:26	0,0239	0,300	12,558	0,124
0:01:18	0,0217	0,300	13,846	0,137
0:01:29	0,0247	0,300	12,135	0,120
0:01:28	0,0244	0,300	12,273	0,122
0:01:32	0,0256	0,300	11,739	0,116
0:01:17	0,0214	0,300	14,026	0,139
0:01:22	0,0228	0,300	13,171	0,130
0:01:25	0,0236	0,300	12,706	0,126
0:01:16	0,0211	0,300	14,211	0,141
0:01:14	0,0206	0,300	14,595	0,145
0:01:19	0,0219	0,300	13,671	0,135
0:01:19	0,0219	0,300	13,671	0,135
0:01:21	0,0225	0,300	13,333	0,132
0:01:26	0,0239	0,300	12,558	0,124
0:01:30	0,0250	0,300	12,000	0,119
0:01:26	0,0247	0,300	12,135	0,120
0:01:23	0,0231	0,300	13,012	0,129
0:01:31	0,0253	0,300	11,868	0,118
0:01:29	0,0247	0,300	12,135	0,120
0:01:21	0,0225	0,300	13,333	0,132

TIEMPO DE RECORRIDO		VELOCIDAD DE RECORRIDO		VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL
		DISTANCIA	VELOCIDAD	
h:min:seg	horas	Km	Km/h	
0:01:20	0,0222	0,300	13,500	0,134
0:01:24	0,0233	0,300	12,857	0,127
0:01:23	0,0231	0,300	13,012	0,129
0:01:26	0,0239	0,300	12,558	0,124
0:01:22	0,0228	0,300	13,171	0,130
0:01:34	0,0261	0,300	11,489	0,114
0:01:27	0,0242	0,300	12,414	0,123
0:01:36	0,0267	0,300	11,250	0,111
0:01:34	0,0261	0,300	11,489	0,114
0:01:34	0,0261	0,300	11,489	0,114
0:01:24	0,0233	0,300	12,857	0,127
0:01:26	0,0239	0,300	12,558	0,124
0:01:23	0,0231	0,300	13,012	0,129
0:01:25	0,0236	0,300	12,706	0,126
0:01:22	0,0228	0,300	13,171	0,130
0:01:24	0,0233	0,300	12,857	0,127
0:01:28	0,0244	0,300	12,273	0,122
0:01:17	0,0214	0,300	14,026	0,139
0:01:27	0,0242	0,300	12,414	0,123
0:01:33	0,0175	0,300	17,143	0,170
0:01:35	0,0264	0,300	11,368	0,113
0:01:34	0,0261	0,300	11,489	0,114
0:01:28	0,0244	0,300	12,273	0,122
0:01:27	0,0239	0,300	12,558	0,124
0:01:24	0,0233	0,300	12,857	0,127

Creación propia.

En la tabla 9 se presenta el tiempo promedio de corrido en el tramo establecido.

Tabla 9 *Tiempo promedio de recorrido*

TIEMPO PROMEDIO DE RECORRIDO
(h)
0,024

Creación propia.

En la tabla 10 se presenta la velocidad media espacial, obtenida a partir de la distancia y el tiempo promedio del total de los vehículos aforados.

Tabla 10 *Velocidad media espacial*

VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL
(Km/h)
12,541

Creación propia.

En la tabla 11 se presenta la velocidad media temporal, obtenida por la media aritmética de la velocidad de todos los vehículos aforados.

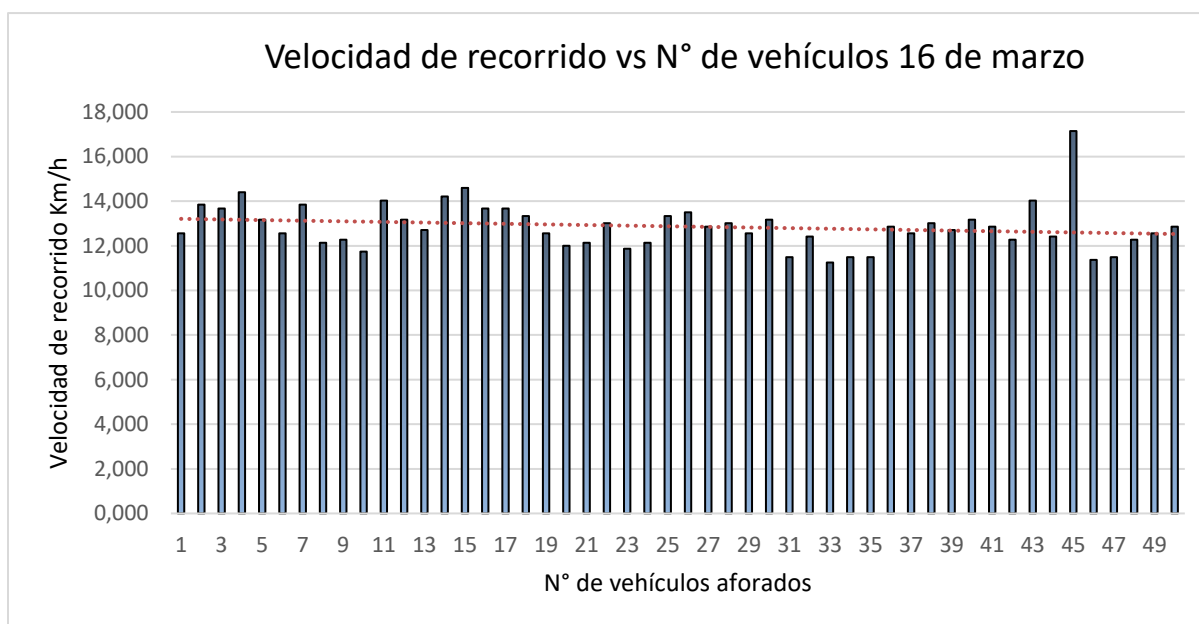
Tabla 11 *Velocidad media temporal*

VELOCIDAD MEDIA TEMPORAL
(Km/h)
12,602

Creación propia.

En la figura 9, se observa la representación gráfica del comportamiento que presentan los vehículos aforados respecto a sus velocidades, en este se observa una tendencia de los datos obtenidos, ya que muestran un comportamiento de forma continua y constante, es decir, que la mayoría de vehículos automotores que circulan en el sector poseen una velocidad relativamente constante, lo que quiere decir que al momento de realizar el recorrido por la intersección a desnivel los vehículos poseen una velocidad de aproximadamente 13 Km/h, también se observa que hubo vehículos que pasaron por el sector con una velocidad mínima de 11 Km/h. Además, se evidencia que el vehículo N°45 al momento de atravesar la intersección a desnivel (deprimido vial) tenía una velocidad de 14 Km/h, siendo esta la máxima velocidad de recorrido aforada de la muestra tomada de cincuenta (50 vehículos)

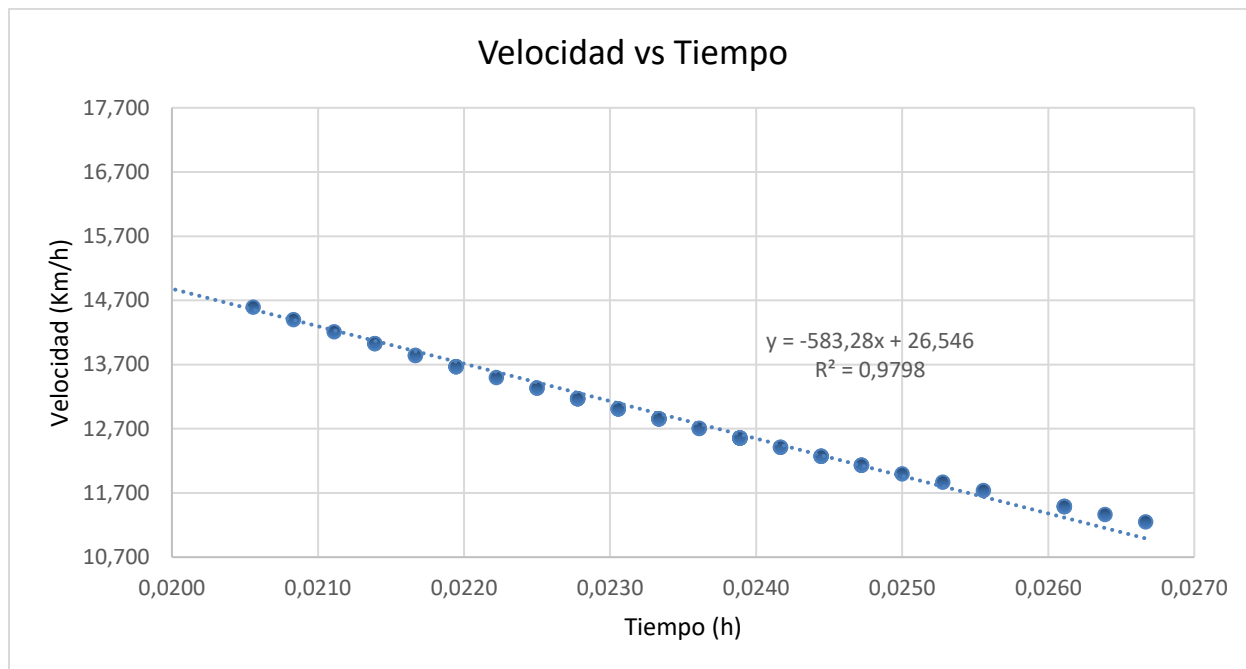
Figura 9 Velocidad de recorrido vs la cantidad de vehículos aforados



Creación propia.

En la figura 10, se presenta gráficamente la velocidad respecto al tiempo, entre el tiempo de recorrido sea menor, mayor será la velocidad del vehículo, es decir con inversamente proporcionales.

Figura 10 Velocidad vs tiempo



Creación propia.

4.5 Cálculo de tránsito según el INVIAS

Según la Resolución 4100 del 28 de diciembre del 2004, expedida por el ministerio de transporte, los vehículos se clasifican en:

A: Automóviles, camperos, camionetas y microbuses.

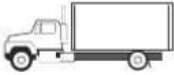

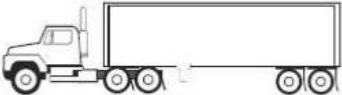
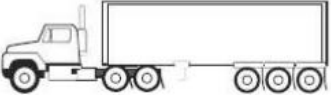
B: Busetas y buses.

C: Vehículos de carga.

Con el primer dígito se designan los ejes del camión o del tractocamión:

- La letra S significa semirremolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.
- La letra R significa remolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.
- La letra B significa remolque balanceado y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

Figura 11 Configuración de los ejes de los vehículos más comunes en Colombia

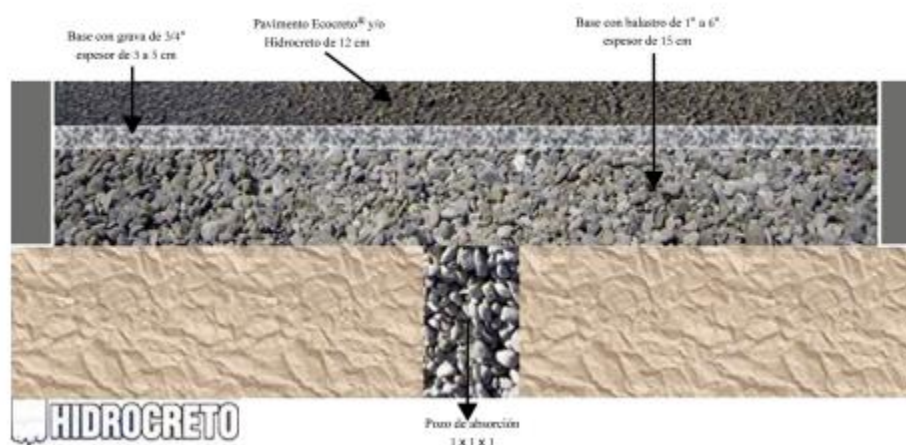
Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Doblero
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Tomada de la Resolución 4100 del 2004 INVIAS.

4.6 Pavimentos Asfálticos Porosos

La principal característica de los pavimentos porosos es su capacidad drenante, que facilita la evacuación del agua a comparación de los pavimentos convencionales. La mezcla está integrada por un cementante bituminoso, agregados gruesos uniformemente graduados y un bajo porcentaje de material fino (arena), obteniendo un porcentaje de vacíos que varía del 15 al 20% del volumen total de la mezcla (Trujillo López y Quiroz Lasprilla, 2013, como se citó en Carvajal Sigüencia y Quishpi Machuca, 2018).

Figura 12 Ejemplo estructura del pavimento asfáltico poroso (permeable)



Tomada de Pavimentos Permeables. Cárdenas Gutiérrez, E. Albitier Rodríguez, A. Jaimes Jaramillo, J.

-Asfalto: Para mezclas asfálticas porosas el contenido de asfalto debe estar presente en un mínimo del 5.75% del volumen total de la mezcla, en el caso que la granulometría posea un tamaño máximo nominal de 3/8". Para tamaños mayores la cantidad del contenido de asfalto disminuye al 3%. Al momento de seleccionar el tipo de asfalto se recomienda un cemento asfáltico con una penetración 20 (AC-20) con la finalidad de mejorar las propiedades de resistencia y porosidad de la mezcla (NAPA, 2003, como se citó en Carvajal Siguencia y Quishpi Machuca, 2018).

-Material Bituminoso: El material bituminoso para elaborar la mezcla drenante será cemento asfáltico modificado con polímeros, que corresponda a los tipos I o II del Artículo 414. El tipo por utilizar, será el indicado en los documentos técnicos del proyecto (INVÍAS, Capítulo 4, Art.453)

-Granulometría: Los agregados finos y gruesos deben cumplir con el tamizaje establecido en la imagen 6 para las mezclas drenantes.

Tabla 12 Franja granulométrica para mezclas drenantes

TIPO DE MEZCLA	TAMIZ (mm / U.S. Standard)						
	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA						
ÚNICA	100	70-100	50-75	15-32	9-20	5-12	3-7
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FORMULA DE TRABAJO (+-)	4%			3%		1%	

Tomado de INVIAS Capítulo 4, Artículo 453.

Este tipo de pavimento es una alternativa o propuesta para ser usada en zonas donde se presentan gran cantidad de inundaciones en la Ciudad de Medellín, teniendo en cuenta estudios bibliográficos de casos similares utilizados en diferentes lugares del país o de otros países.

La zona que se escogió para realizar esta propuesta es la intersección a desnivel (deprimido vial) que se encuentra ubicado en la Carrera 64C cerca de la Terminal del Norte donde se puede observar con claridad la falta de capacidad de los drenajes para evacuar las aguas lluvias. Por este motivo se pensó en realizar una propuesta para usar el pavimento asfáltico poroso en este sitio para ayudarle al sistema de drenaje del sector y evitar inundaciones.

Se tuvo en cuenta la normativa AASHTO 93 y el INVIAS teniendo en cuenta que se debe diseñar este pavimento cumpliendo las normativas anteriormente mencionadas.

Tabla 13 Requisitos de los agregados para la mezcla drenante

CARACTERÍSTICA	NOSMA DE ENSAYO INV	NIVEL DE TRÁNSITO
		NT2 Y NT3
Dureza, agregado grueso (o)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%)	E-218	25
500 revoluciones		5
100 revoluciones		
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	20
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos	E-224	110
Valor en seco, mínimo (kN)		75
Relación húmedo/seco, mínimo (%)		
Coefficiente de pulimiento acelerado, mínimo	E-232	0.5
Durabilidad		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio, máximo (%)	E-220	18
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0.5

Tomado de INVIAS Capítulo 4, Artículo 453.

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal que, al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. (INVIAS, Art.400.2.1)

Para el agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No.4); y para el agregado fino la porción comprendida entre los tamices de 4.75 mm y 75 µm (No.4 y No.200) y llenante mineral la que pase el tamiz de 75 µm (No.200). (INVIAS, Art.400.2.1)

También se debe tener en cuenta el cemento asfáltico (emulsión), ya que según el Desarrollo Urbano de la Alcaldía Mayor de Bogotá es un producto bituminoso semisólido preparado a partir de hidrocarburos naturales a partir del proceso de destilación, el cual contiene una proporción muy baja de

productos volátiles, posee propiedades aglomerantes y es esencialmente soluble en tricloroetileno¹.

(Alcaldía Mayor de Bogotá, Desarrollo Urbano, S.f)

4.6.1 Absorción en los pavimentos

El concepto permeable es una solución que, gracias a sus propiedades físicas, permite la captación y aprovechamiento del agua de lluvia, reduciendo así no sólo el nivel de inundación, sino también la renovación de las aguas mediante la filtración de agua.

Esta tecnología ofrece ventajas que los pavimentos convencionales no tienen, la más importante es eliminar charcos, como lo dice Alejandro Álvarez, Director Comercial concreto ecológico de México “El pavimento permeable puede absorber 85 litros de agua por metro cuadrado por minuto”. Ya que es un material muy similar al hormigón hidráulico normal, pero fabricado sin "materiales finos" como la arena, sustituido por un aditivo especial 100% a base de agua, lo que lo hace amigable con el medio ambiente.

4.7 Definición Nivel de servicio según Cáceres Huaman, W (2014)

Se entiende por capacidad el número máximo de vehículos por unidad de tiempo que razonablemente puede esperarse que pasen por un tramo de un camino, en un sentido o en dos sentidos, bajo las condiciones imperantes del camino del tránsito.

El Nivel de Servicio (NS) es una medida cualitativa del efecto que pueden tener en la capacidad muchos factores tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tránsito, la libertad de maniobras, la seguridad, los costos de operación, entre otros.

Según Cáceres Huaman, W (2014) y el Manual de capacidad y Niveles de Servicio en vías multicarril INVIAS (2020), los niveles de servicio se clasifican en:

Nivel de servicio A

Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito, como se observa en la figura 13. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al conductor, pasajero o peatón, es excelente.

Figura 13 Ejemplo de nivel de servicio A



Tomado de Cueva del ingeniero civil.

Nivel de servicio B

Está dentro del rango de flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de la selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra en relación con la del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno. Los conductores tienen una razonable libertad para seleccionar su velocidad y su carril. El límite menor de velocidad con mayor volumen en este nivel de servicio se relaciona con los volúmenes de servicio usados en el proyecto de carreteras.

Figura 14 *Ejemplo de nivel de servicio B*



Tomado de Cueva del ingeniero civil.

Nivel de servicio C

pertenece al rango de flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros

usuarios. la selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. el nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

las velocidades y las maniobras resultan más controladas por los mayores volúmenes. la mayor parte de los conductores ven restringida su libertad de elegir la velocidad, cambiar carriles o rebasar. aún se obtiene una relativamente satisfactoria velocidad de operación, con volúmenes de servicio apropiados para el proyecto de arterias urbanas.

Figura 15 Ejemplo de nivel de servicio C



Tomado de Cueva del ingeniero civil.

Nivel de servicio D

representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. la velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. los pequeños incrementos de flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.

se acerca al flujo inestable, con velocidades de operación tolerables, pero que pueden ser considerablemente afectadas por los cambios en las condiciones del tránsito. los conductores tienen poca libertad de maniobras, pero las condiciones son tolerables por periodos cortos.

Figura 16 *Ejemplo de nivel de servicio D*



Tomado de Cueva del ingeniero civil.

Nivel de servicio E

el funcionamiento está en él, o cerca del límite de su capacidad. la velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. la libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo o peatón a “ceder el paso”. los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores o peatones. la circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos de flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

representa una operación a menores velocidades que en el nivel de servicio d, con volúmenes que se acercan a la capacidad del tramo. al llegar a esta, las velocidades, normalmente, pero no

siempre, son de cerca de 50 km/h. el flujo es inestable y pueden ocurrir paradas de duración momentánea.

Figura 17 Ejemplo de nivel de servicio E



Tomado de Cueva del ingeniero civil.

Nivel de servicio F

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.

Se refiere a un flujo que opera forzado, a bajas velocidades, donde los volúmenes son menores que los correspondientes a la capacidad. Estas condiciones resultan de las colas de vehículos producidas por alguna obstrucción en la corriente. Las velocidades se reducen considerablemente y pueden ocurrir paradas cortas o largas, debido al congestionamiento. En casos extremos, la velocidad y el volumen pueden tener valor cero.

El nivel de servicio presentado en la intersección a desnivel (deprimido vial) ubicado en la carrera 64C cerca de la Terminal del Norte es Tipo F, debido a que en ciertas horas del día conocidas como “horas pico” se presenta un aumento del flujo vehicular, el cual genera un retraso en las velocidades y congestión en el sector. También al realizar el análisis del aforo vehicular se obtiene que las velocidades no superan los 20 Km/h, lo que quiere decir que entre las 18:00 y las 19:30 el flujo vehicular es lento.

Figura 18 Ejemplo nivel de servicio F



Tomado de Cueva del ingeniero civil.

5 Consideraciones éticas

- La información consignada en esta investigación es completamente verídica.
- No se hará uso de la información, sin previa autorización, para esto, se contará con una serie de cartas que validarán el permiso para poder acceder y utilizarla.
- Siendo coherentes con la normatividad y haciendo cumplimiento a la ley, se dará reconocimiento a los derechos de autor, por esta razón, se citarán todas las referencias bibliográficas utilizadas para este proyecto de investigación.

CAPÍTULO V

5.1 Conclusiones

Al realizar el análisis y comparación de las figuras 8 y 10 se observa que los gráficos obtenidos en los aforos realizados los días 13 y 16 de marzo del año 2023 se forman curvas características de una carretera multicarril en Colombia.

Como es una vía de alto tráfico vehicular, por las inundaciones presentadas debido a las fuertes lluvias se puede afectar el nivel de servicio (tipo F) y el buen funcionamiento de la malla vial, afectando la circulación por el sector, por lo anterior se recomienda el uso del pavimento asfáltico poroso en este sector, ya que permitiría disminuir las inundaciones que se presentan, teniendo en cuenta las condiciones del pavimento vial, ya que este se encuentra expuesto a la intemperie.

Para realizar el mantenimiento de un pavimento flexible se recomienda realizarlo al menos una vez al año, donde se realizan inspecciones visuales para verificar los posibles daños que se puedan presentar en este; y depende principalmente de los factores como son la velocidad, el volumen y el tipo de tráfico, el clima y las condiciones ambientales.

Debido a los beneficios ambientales, sociales y de movilidad, los pavimentos permeables son cada vez más populares para carreteras de alto tráfico. Este tipo de pavimento permite que el agua lluvia se filtre y penetre en el suelo en lugar de fluir sobre la superficie y causar inundaciones. Sin embargo. Algunos de los beneficios del uso de pavimentos permeables en carreteras de tráfico pesado son la reducción de la escorrentía superficial, la mejora de la calidad del agua subterránea, la reducción de la necesidad de sistemas de drenaje tradicionales, la reducción del efecto de isla de calor y el aumento de la seguridad vial para un mejor agarre en superficies secas.

Además, los pavimentos permeables ayudan a reducir los costos de mantenimiento de las carreteras a largo plazo porque son más resistentes al agrietamiento y al desgaste que los pavimentos convencionales.

Con el pavimento permeable no solo se reducirán las inundaciones, sino que también se van a reducir los inconvenientes en el tráfico vehicular, tranquilidad en la población, disminución de emergencias, reducción de demandas contra el estado, recuperación de la confianza ciudadana, disminución de recursos económicos y disminución del deterioro de la maya vial.

CAPÍTULO VI

6 Recomendaciones

Se recomienda una capa de pavimento asfáltico poroso mínimo de 20cm, teniendo en cuenta que entre mayor sea la capa de rodadura, mayor será su capacidad de absorción. Para la construcción de la subbase y base granular se debe tener en cuenta lo estipulado en la construcción de pavimentos flexibles en la normativa INVIA.

Es posible utilizar pavimento permeable en un deprimido vial. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el diseño y la construcción de un deprimido vial con pavimento permeable deben seguir las normas y estándares de ingeniería establecidos para garantizar un funcionamiento seguro y efectivo.

Al hablar con expertos en el tema de pavimentos consideran que el pavimento permeable asfáltico poroso puede ayuda a evacuar las aguas escorrentías ocasionadas por las fuertes lluvias, sin embargo, este tipo de pavimento no garantiza la evacuación total de este tipo de aguas, ya que su función principal sería evitar que se forme un espejo de agua sobre la superficie de rodadura; también coinciden en que para evacuar de forma total el agua acumulada en las intersecciones a desnivel (deprimidos viales) se deben realizar obras complementarias como lo son: sumideros, cunetas, bombeo, drenajes, filtros.

Es importante tener en cuenta que no todos los pavimentos permeables son adecuados para carreteras de alto tráfico, ya que pueden no ser lo suficientemente fuertes o duraderos para soportar el tráfico vehicular constante. Es importante elegir el tipo de revestimiento permeable que se adapte a la situación individual.

Referencias

- Carvajal siguencia, A.G., Quishpi Machuca. O.C., Diseño de pavimento asfáltico poroso para el aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca. [Trabajo de grado Universidad de Cuenca].
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30335/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Castro Espinosa, M. L. (2011). Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano. [Trabajo de grado Pontificia Universidad Javeriana]. <https://core.ac.uk/download/pdf/71418921.pdf>
- Invías. (<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7032-mezcla-asfaltica-natural-articulo-442p-17/file>)
- Empresas Públicas de Medellín. (2018). Norma de construcción de pavimento asfáltico.
https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normastecnicas/NC_MN_OC05_04_Pavimento_asfaltico_compressed.pdf?ver=tirV5QjM1g8CPCM96-zlrg%3D%3D
- EPM. (s.f). Mapa de redes de acueducto y alcantarillado. Geoportal EPM.
<https://grupoepm.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=591f5234f4a544e38bfe36d564320e0>
- Toro Ojeda, L.A. y Cayon Cayon, L.S. (2021). *Análisis de pavimentos permeables como solución alternativa al problema de inundaciones en la calle 22 y la carrera 5 de la Ciudad de Santa*

Marta, la calle 17 y la 12 en Barranquilla y calle 1 en Valledupar entre los años 2015-2021.

[2021 Pavimento Permeable Problema.pdf](#)

DANE. (2019, 05 de Julio). *Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018.*

<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190709-CNPV-presentacion-medellin.pdf>

De la Cruz, V. (2020, 10 de septiembre). ¿Por qué se inundan los deprimidos de Medellín cuando llueve?

El Colombiano. <https://www.elcolombiano.com/antioquia/deprimidos-y-zonas-de-medellin-se-inundan-cuando-llueve-FO13599729>

Naciones Unidas. (2021, mayo 26). *Cambio climático: La tierra cerca de calentarse 1,5°C en los próximos*

cinco años. Naciones Unidas. <https://news.un.org/es/story/2021/05/1492492>

CORPAC (Corporación Aeroportuaria de Cuenca). (2014). Datos técnicos.

<http://www.aerpuertocuenca.ec/acerca-de-corpac/datos-tecnicos/>

Larenas, N. (2017, 30 de julio). Informe sobre el accidente de Tame en Cuenca. *Nicolás Larenas (NL).*

<https://www.nlarenas.com/2017/07/informe-sobre-el-accidente-de-tame-en-cuenca/>

Guerra Chayña, P.R. y Guerra Ramos, C.E. (2020). *Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible* [Tesis de Maestría en Ingeniería Civil mención Geotecnia,

Universidad Nacional del Altiplano, Perú]. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2071-081X2020000200008&script=sci_arttext

Congreso de la República. (2002). Ley 769 del 2002. Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones.

https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/ley-769-de-2002-codigo-nacional-de-transito_3704_0.pdf

Guavita Hernández, C. L., López Jurado, L. M., Garzón Soler, N.A. (s.f). Capacidad en intersecciones a desnivel para zonas urbanas: un estado del arte. *Revista Ingeniería Gran Colombia.*

https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4981/Capacidad_intersecciones_desniv_el_zonas.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20objetivo%20de%20las%20intersecciones,directo%20del%20tr%C3%A1fico%20en%20uno

Pérez Porto, J., Gardey, A. (2013). Definición de drenaje. Definición.De. <https://definicion.de/drenaje/>

Díez Herrero, A., Llorente, M., Laín Huerta, L. (2008). *Mapas de peligrosidad por avenidas e*

inundaciones. Guía metodológica para su elaboración [Trabajo de grado, Instituto Geológico y Minero de España]

<https://www.igme.es/publicaciones/publiFree/MapasPeligrosidad/Mapas%20de%20peligrosidad%20por%20avenidas%20e%20inundaciones.pdf>

Gómez Vallejos, S. J. (2014). “*diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del óvalo Grau – Trujillo - La Libertad*” [Trabajo de grado, Universidad Privada Atenor Orrego]

http://200.62.226.186/bitstream/20.500.12759/638/1/REP_ING.CIVIL_SUSAN.GOMEZ_DISE%c3%91O.ESTRUCTURAL.PAVIMENTO.FLEXIBLE.ANILLO.VIAL.%c3%93VALO.GRAU.TRUJILLO.LA.LIBERTAD.pdf

Cortés García, A. L. (2006). Análisis de los contenidos sobre “permeabilidad” en los libros de texto de Educación Primaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 5 N.º 1.*

https://www.researchgate.net/profile/Angel-Cortes-Gracia/publication/28105736_Analisis_de_los_contenidos_sobre_permeabilidad_en_los_libros_de_texto_de_Educacion_Primaria/links/606c37bf299bf13f5d5e37ee/Analisis-de-los-contenidos-sobre-permeabilidad-en-los-libros-de-texto-de-Educacion-Primaria.pdf

DANE. (2019, 05 de Julio). *Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018.*

<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190709-CNPV-presentacion-medellin.pdf>

INVIAS. (2012). Capítulo 4, Artículo 453. Pavimentos asfálticos. Norma y especificaciones 2012 INVIAS.

<http://gerconcesion.co/invias2013/453%20MEZCLA%20DRENANTE.pdf>

INVIAS. (2012). Capítulo 4, Artículo 400. Pavimentos asfálticos. Norma y especificaciones 2012 INVIAS.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/35600/2021nestorgomez181.pdf?sequence=185&isAllowed=y#:~:text=Los%20agregados%20p%C3%A9treos%20empleados%20para,d el%20agua%20y%20del%20tr%C3%A1nsito.>

N.N. (2023, 17 de enero). Ya habían condenado a la alcaldía de Medellín por ahogamiento en el deprimido de Conquistadores. *El Colombiano*.

<https://www.elcolombiano.com/antioquia/condena-a-la-alcaldia-de-medellin-por-ahogamiento-de-tres-musicos-en-el-deprimido-de-conquistadores-OC20112639>

N.N. (2023, 16 de enero). La historia de la pareja que murió ahogada en un Audi en Medellín. *El*

Colombiano. <https://www.elcolombiano.com/antioquia/el-dagr-d-esta-sin-contratistas-para-atender-las-emergencias-FA20022676>

N.N. (2022, 2 de agosto). Pilas: Deprimido de la terminal del Norte permanece cerrado tras inundación

por fuertes lluvias. *El Colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/antioquia/deprimido-de-la-terminal-del-norte-en-medellin-cerrado-por-lluvias-NM18275190>

The Suds Manual. (2015). Previous Pavements. Editorial Ciria.

https://media.marshalls.co.uk/image/upload/v1581417015/The_SuDs_manual.pdf

Alcaldía Mayor de Bogotá. (S.f). Cemento asfáltico. <https://www.idu.gov.co/web/content/7596/200-11.pdf>

Gracia Soguero, J. (S.f). Oxidación catalítica de Tricloroetileno (TCE) en emisiones gaseosas con cobre/cobalto soportado sobre zeolita Beta. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de

Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86367/Gracia%20Soguero%20-%20Oxidaci%3bn%20catal%3aditica%20de%20tricloroetileno%20en%20emisiones%20gas>

[eosas%20con%20cobre/cobalto%20soportado%20sobre%20zeolita%20Beta.pdf?sequence=3&is](#)

[Allowed=y](#)

Iparraguirre, L. (2009). *Mecánica Básica Fuerza y Movimiento*. Saavedra 789.

<http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL001845.pdf>

Méndez, D. (2009). Maestría en vías Terrestres propedéutico. [Curso: Ingeniería de tránsito].

<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/velocidad-ingenieria-de-transito.pdf>

INVIAS. (2020). Manual de capacidad y Niveles de Servicio para vías multicarril. INVIAS.

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/11027->

[manual-de-capacidad-y-niveles-de-servicio-para-vias-multicarril-2020/file](https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/11027-manual-de-capacidad-y-niveles-de-servicio-para-vias-multicarril-2020/file)

Cáceres Huaman, W. (2014). Niveles de Servicio - Ingeniería de Tránsito y Desarrollo Vial.

<https://es.scribd.com/doc/245680087/Niveles-de-Servicio-Ingenieria-de-Transito-y-Desarrollo->

[Vial#](#)

Castro, M. (2012). Pavimento permeable. Revista digital alcaldes de México.

<https://www.alcaldesdemexico.com/ecosustentable/pavimento->

[permeable/#:~:text=El%20pavimento%20permeable%20es%20capaz,por%20metro%20cuadrad](https://www.alcaldesdemexico.com/ecosustentable/pavimento-permeable/#:~:text=El%20pavimento%20permeable%20es%20capaz,por%20metro%20cuadrad)

[o%20cada%20minuto](#)