

**ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍAS DE REHABILITACIÓN DE
PAVIMENTOS CON TRATAMIENTOS EN CONCRETO PARA LA CALZADA
DE TRANSMILENIO ENTRE ESTACIÓN QUIROGA Y ESTACIÓN RESTREPO
SENTIDO SUR-NORTE**

Francy Daniela Beltrán Gómez

Herick Alejandro López Sánchez

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL BOGOTÁ D.C**

2020

**ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍAS DE REHABILITACIÓN DE
PAVIMENTOS CON TRATAMIENTOS EN CONCRETO PARA LA CALZADA
DE TRANSMILENIO ENTRE ESTACIÓN QUIROGA Y ESTACIÓN RESTREPO
SENTIDO SUR-NORTE**

Francy Daniela Beltrán Gómez

Herick Alejandro López Sánchez

Monografía presentada como requisito para optar por el título de:

Ingeniero Civil

Director:

Ing. Esp. ALEXANDRA MORALES REY

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL BOGOTÁ D.C**

2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA JURADO 1

FIRMA JURADO 2

Bogotá D.C, noviembre de 2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a toda mi familia, especialmente a mis padres que me apoyaron y motivaron día tras día desde el inicio de esta etapa, para continuar y no perder el horizonte de mis metas. Además, a mi hermano que siempre me incentivó a persistir por todo lo soñado y por último a las personas que aportaron de manera diferente en mi crecimiento como persona profesional.

F. Daniela Beltrán Gómez

Este trabajo se lo dedico a mi familia en especial a mis padres quienes han estado presentes en este proceso, apoyándome y brindándome todo lo necesario para llegar a este punto; al igual que todas las personas que han hecho posible la culminación de este logro.

Herick López Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Con la realización de este trabajo queremos agradecer a todas las personas que de una u otra manera han sido claves en este proceso de formación, a todos los docentes que han compartido a lo largo de este tiempo con nosotros brindándonos todos sus conocimientos.

Igualmente, dar las gracias a nuestra directora de proyecto de grado Alexandra Morales quien con su orientación y conocimientos ha hecho posible la realización y terminación de este trabajo.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. Objetivo General.....	16
3.2. Objetivos Específicos.....	16
4. MARCO CONCEPTUAL.....	17
4.1. Pavimento.....	17
4.2. Pavimentos en concreto.....	18
4.3. Definición de Variables.....	18
4.4. Intervenciones en pavimentos.....	22
4.5. Técnicas de Rehabilitación en concreto.....	23
4.5.1. Whitetopping.....	23
4.5.2. Concreto compactado con rodillo.....	27
5. METODOLOGÍA.....	30
6. ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	31
6.1. Enfoque estado del conocimiento.....	36
6.1.1. Antecedentes.....	38
6.1.2. Experiencias.....	39
6.2. Ventajas y desventajas técnicas Whitetopping y CCR.....	48
7. ESTADO MALLA VIAL DE TRANSMILENIO ENTRE ESTACIÓN QUIROGA Y ESTACION RESTREPO SENTIDO SUR – NORTE.....	49
7.1.1. Mantenimientos realizados Calzada de Transmilenio entre estación Restrepo y estación Quiroga sentido sur-norte.....	52
7.1.2. Inspección visual.....	55
8. CONCLUSIONES.....	60
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	62
10. ANEXOS.....	67
10.1. Registro Fotográfico.....	67

Índice de figuras

Figura 1 Estado Malla vial Arterial Bogotá	13
Figura 2 Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 1 de 2.....	14
Figura 3 Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 2 de 2.....	14
Figura 4 Pavimentos de concreto	18
Figura 5 Selección de variables diseño pavimento en concreto.....	19
Figura 6 Costo total del pavimento vs. No. vehículos pesados por día.....	20
Figura 7 Índice de servicio vs Edad de los pavimentos	21
Figura 8 Intervenciones en pavimentos.....	22
Figura 9 <i>Aplicación de técnica Whitetopping, antes (izquierda) y después de su ejecución (derecha)</i>	23
Figura 10 Tipos de capas de refuerzo de hormigón	24
Figura 11 Opción de capa de refuerzo de hormigón según pavimento existente.....	25
Figura 12 Tren de colocación y compactación CCR.....	28
Figura 13 Etapas de la metodología	30
Figura 14 Documentos por año	31
Figura 15 Documentos por país o territorio	32
Figura 16 Documento por tipo	33
Figura 17 Rehabilitación corredor de buses mediante técnica Whitetopping	40
Figura 18 Aplicación de Whitetopping en la ciudad de Tijuana, Baja.....	41
Figura 19 Estado original de la Vía 1 de 3.....	42
Figura 20 Estado original de la Vía 2 de 3.....	42
Figura 21 Estado original de la Vía 3 de 3.....	43
Figura 22 Superficie de concreto de la vía.....	43
Figura 23 Estado final de la vía.....	44
Figura 24 Estado actual de la vía 1 de 4.....	45
Figura 25 Estado actual de la vía 1 de 4.....	45
Figura 26 Estado actual de la vía 3 de 4.....	46
Figura 27 Estado actual de la vía 4 de 4.....	46
Figura 28 Ubicación zona de estudio	49
Figura 29 Estado malla vial calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte.....	51
Figura 30 <i>Tipo de superficie calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte</i>	51
Figura 31 Mantenimiento periódico calzada en estudio.....	53
Figura 32 Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 1 de 6.....	67
Figura 33 Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 2 de 6.....	68

Figura 34 Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 3 de 6.....	68
Figura 35 Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 4 de 6.....	69
Figura 36 Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 5 de 6.....	69
Figura 37 Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 6 de 6.....	70

Índice de tablas

Tabla 1 Criterios de selección de espesor para capas de refuerzo de hormigón (Whitetopping)..	26
Tabla 2 Criterios de diseño Concreto Compactado con Rodillo	29
Tabla 3 Estado de la Malla vial de la calzada entre la estación Quiroga y la estación Restrepo	50
Tabla 4 Troncales Transmilenio intervenidas mediante contrato IDU-1387-2017	52
Tabla 5 Intervenciones realizadas entre la calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte.....	54
Tabla 6 Inspección visual calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte.....	56

Resumen

En esta monografía se describe la problemática que existe en la ciudad de Bogotá D.C. debido al mal estado de su red vial, en especial la malla vial arterial la cual corresponde al sistema de Transmilenio. Para el desarrollo de este trabajo se realizó una investigación y análisis de bases de datos de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas, en primera instancia con palabras claves relacionadas a la monografía y así mismo de las tecnologías Whitetopping y Concreto Compactado con Rodillo.

De acuerdo a lo anterior, se llevó a cabo la elaboración del documento conforme a un proceso de investigación y consulta de fuentes con un análisis cuantitativo, informativo y crítico. Al igual que se realizó un análisis del estado actual de la calzada en estudio, dando a conocer sus problemáticas viales, malos mantenimientos, entre otros.

Como resultado, se encuentran tecnologías con base en capas de concreto como refuerzo al pavimento existente, usándolo como sobre capas de reemplazo parcial de la existente. Las capas pueden construirse con concreto, capas adheridas o no adheridas.

Además, se evidencia la utilización en diferentes países como reparación en vías de concreto asfáltico e hidráulico. En Bogotá solo se evidencia la implementación en un proyecto de estas tecnologías de acuerdo a la consulta realizada, se recomienda que es una alternativa tecnológica a considerar dentro de las técnicas de rehabilitación.

Palabras claves:

Rehabilitación, Whitetopping, concreto compactado con rodillo, malla vial

Astract

This monograph describes the problems that exist in the city of Bogotá D.C. due to the poor condition of its road mesh, especially the arterial road mesh which corresponds to the Transmilenio system. For the development of this work, an investigation and analysis of databases of abstracts and citations of articles from scientific journals was carried out, in the first instance with keywords related to the monograph and also of the Whitetopping and Roller Compacted Concrete technologies.

According to the above, the document was prepared in accordance with a process of investigation and consultation of sources with a quantitative, informative and critical analysis. As was an analysis of the current state of the road under study, making known its road problems, poor maintenance, among others.

As a result, technologies based on concrete layers are found to reinforce the existing pavement, using it as a partial replacement layer for the existing one. Layers can be built with concrete, bonded or unbonded layers.

In addition, the use in different countries as repair of asphalt and hydraulic concrete roads is evidenced. In Bogotá, only the implementation of these technologies in a project is evidenced according to the consultation carried out, it is recommended that it is a technological alternative to be considered within the rehabilitation techniques

Keywords:

Rehabilitation, Whitetopping, Roller Compacted Concrete, Road Mesh

1. INTRODUCCIÓN

La malla vial en Colombia, es esencial para el desarrollo y crecimiento del país, siendo el único medio de transporte de personas y mercancías, permitiendo cumplir necesidades primordiales como lo son la salud, la enseñanza y la economía. (Rivera, 2015)

En Bogotá la malla vial no cumple con su vida útil ya que falla antes de desempeñar el ciclo de duración establecido en la construcción del proyecto. La falta de los mantenimientos establecidos es la principal causa del deterioro, generando con el paso del tiempo altos costos y la extensión de las fallas. (Dinero, 2016)

Según (Movilidad, 2019), El sistema masivo de Transmilenio es el principal medio de transporte de los habitantes de Bogotá, es por ello que mantener en buen estado la calzada del sistema es una oportunidad para mejorar la operación y disminuir los sobrecostos de mantenimiento de las mismas. Evitar el deterioro progresivo de estas vías trae consigo enormes beneficios a la operación del sistema además de brindar un servicio adecuado a los usuarios que utilizan el sistema todos los días.

El proceso de rehabilitación en los pavimentos se encuentra relacionado con su monitoreo permanente para diagnosticar su desempeño y condición. En los últimos tiempos, la aplicación de las diferentes tecnologías de pavimentos en concreto ha alcanzado una gran influencia, debido a sus grandes oportunidades y beneficios para su implementación en diferentes proyectos viales (López, 2017).

Con esta monografía se espera dar a conocer los beneficios de las diferentes tecnologías para la rehabilitación en concreto de los pavimentos, las cuales buscan adecuarse no solo a las necesidades del proyecto sino también satisfacer y cumplir con la

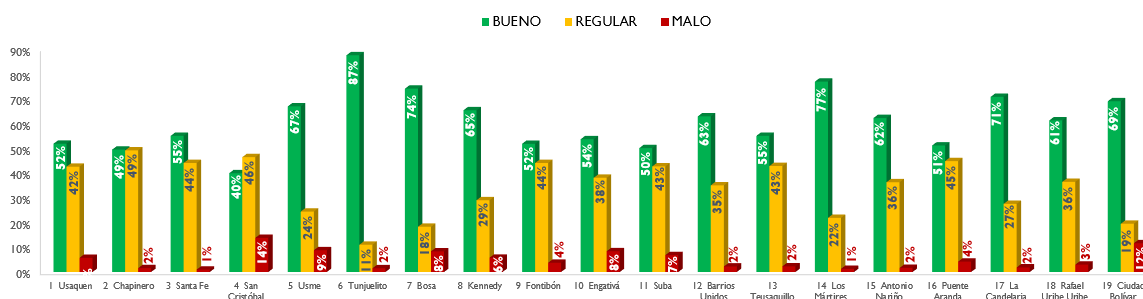
debida demanda de tráfico según la vía, puesto que en la actualidad se ha elevado la demanda de emplear las soluciones de rehabilitación de los pavimentos en concreto en lugar del asfalto.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de mantenimiento preventivo y el exceso de tráfico son las principales causas del deterioro de las losas de la malla vial de Transmilenio. Según el (IDU, Boletín de prensa, 2014), las estaciones Quiroga, Olaya y Restrepo son una de las más concurridas de la Troncal Caracas sur, lo que el deterioro de esta red vial ocasiona consigo una gran influencia sobre la seguridad vial y la movilidad de los usuarios. De acuerdo con (Movilidad, 2019), de 13.359.728 viajes al día que realizan los habitantes de Bogotá, más de 2.000.000 de estos son en Transmilenio lo que requiere proporcionar un servicio de calidad a todos sus usuarios. La figura 1, presenta el estado de la malla vial en Bogotá por localidades.

Figura 1

Estado Malla vial Arterial Bogotá



Fuente: Tomado de Sistema de información geográfica- SIGIDU

Según(IDU, ESTADÍSTICAS MALLA VIAL DE BOGOTÁ, 2019-II), la malla vial arterial de la calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo se encuentra en su mayoría en buen estado. Sin embargo, al no realizar los mantenimientos periódicos y adecuados en varios tramos que comprenden este carril, los daños que genera el exceso de tráfico en la vía no han podido ser minimizados, extendiéndose cada vez más a

lo largo del mismo. La figura 2 y 3 presentan los daños más evidentes en la calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte.

Figura 2

Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 1 de 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 3

Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 2 de 2



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2, se observan Grietas Transversales: Severidad Baja (Pavimento Rígido), Piel de Cocodrilo: Severidad Baja (Pavimento Flexible), lo contrario de la Figura 3, que presenta Grietas de Esquina: Severidad Alta y Grietas Transversales: Severidad Alta

(Pavimento Rígido), Separación en Juntas: Severidad Alta y Piel de Cocodrilo: Severidad Baja (Pavimento Flexible), lo cual es posible llegar al análisis de que si no realizan los mantenimientos requeridos, será necesaria la rehabilitación por completo.

3. OBJETIVOS

3.1.Objetivo General

- Construir el estado del conocimiento sobre tecnologías de rehabilitación de pavimentos en concreto para la mejora del rendimiento y estado de la calzada de Transmilenio entre la estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte.

3.2.Objetivos Específicos

- Analizar base de datos de recursos bibliográficos haciendo énfasis en artículos de revistas científicas con temas relacionados a la monografía
- Presentar proyectos viales donde se implementaron las tecnologías de rehabilitación en concreto para pavimentos que comprende esta monografía
- Examinar el estado actual de la calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte

4. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se dan a conocer diferentes términos que se deben tener en cuenta para el diseño y rehabilitación de pavimentos mediante las tecnologías comprendidas en esta monografía.

4.1.Pavimento

Consiste en un conjunto de capas, que están diseñadas y construidas con materiales adecuadamente compactados para soportar cargas de tráfico repetidas que ejercerá sobre este el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Las principales funciones con las que debe cumplir los pavimentos son (Montejo, 2002):

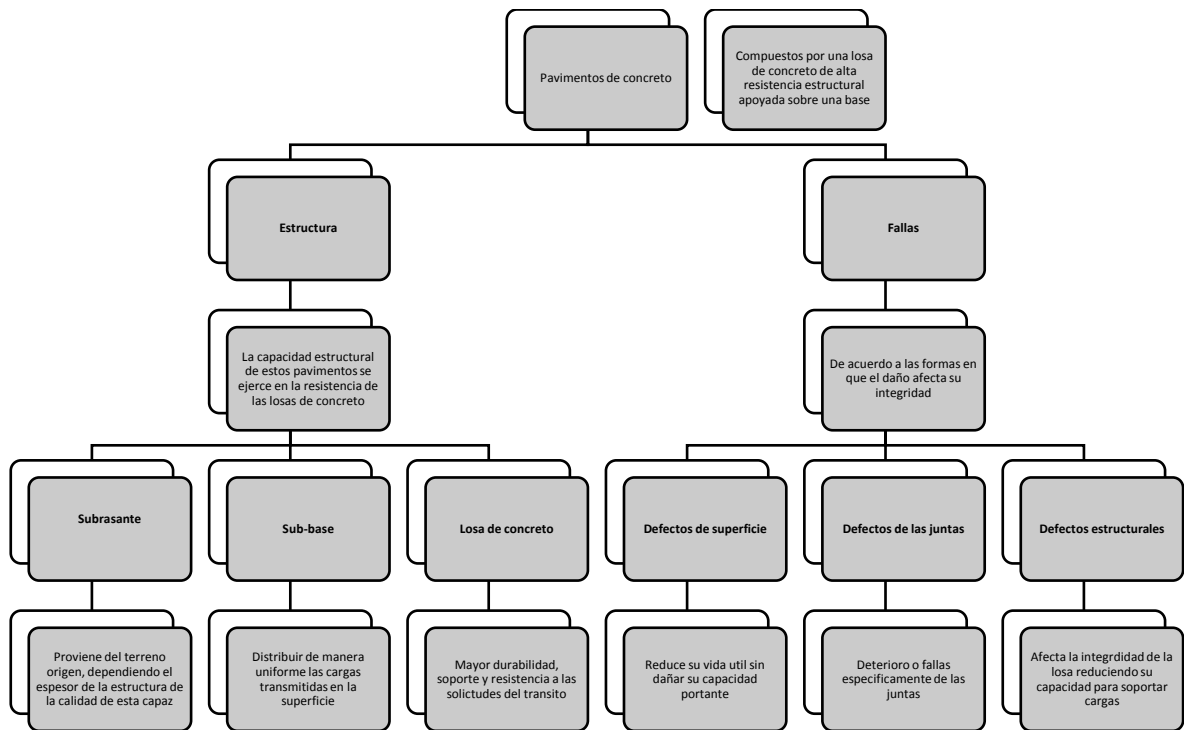
- Suministrar una superficie adecuada de rodamiento
- Apropiado color y textura
- Resistencia a la acción de tránsito
- Transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante

4.2. Pavimentos en concreto

En la figura 4, se da a conocer aspectos a tener en cuenta sobre los pavimentos en concreto.

Figura 4

Pavimentos de concreto



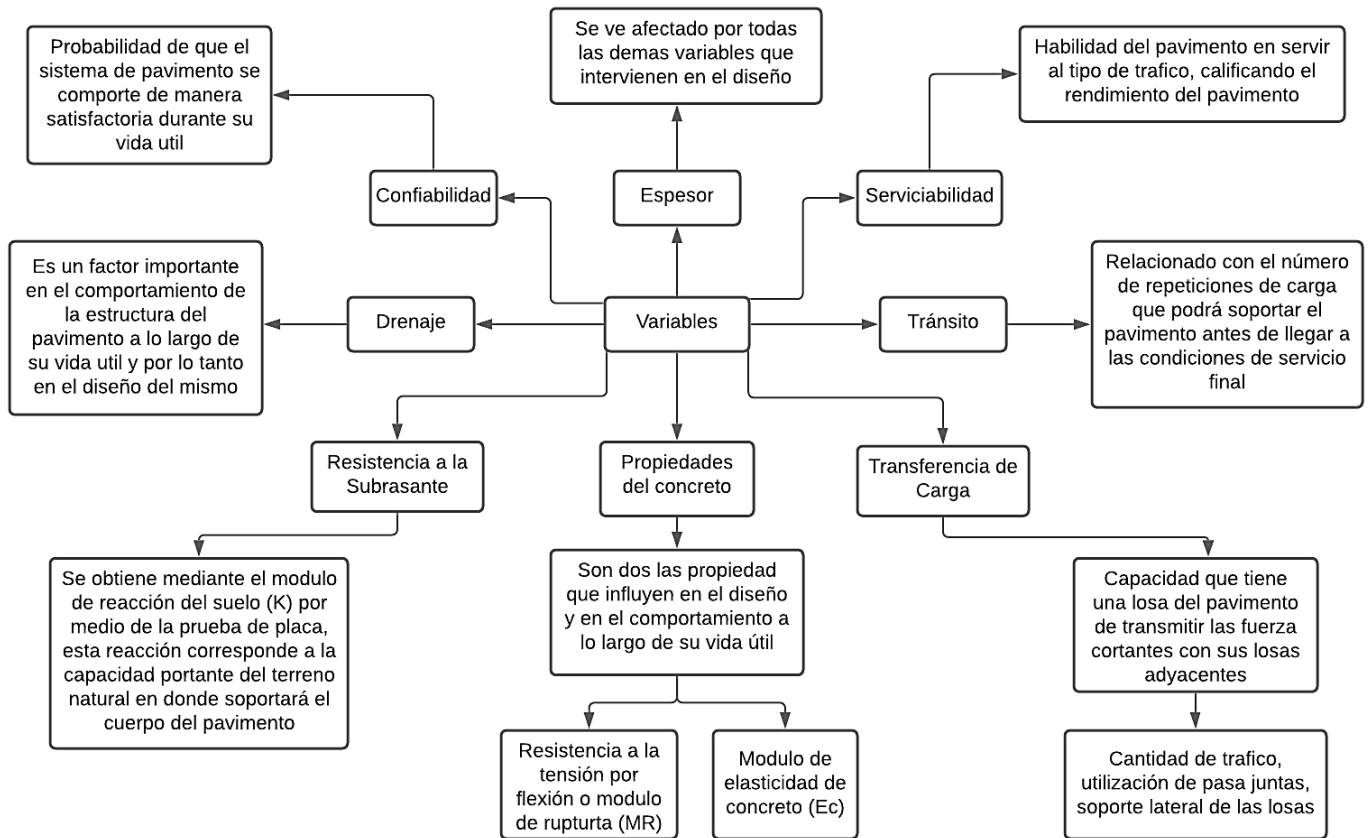
Fuente: Elaboración propia, a partir de (INVIAS, 2018) & (ICPC, Ministerio Transporte , & INVIAS, 2020) & (Montejo, 2002)

4.3. Definición de Variables

En la figura 5, da a conocer las diferentes variables a tener en cuenta para el diseño de pavimentos en concreto.

Figura 5

Selección de variables diseño pavimento en concreto



Fuente: Elaboración propia, a partir de (ICPC, Ministerio Transporte , & INVIAS, 2020)

(CIPRIANO, 2020), habla de la importancia y las ventajas de los pavimentos en concreto dando a conocer los siguientes aspectos sobre el comportamiento de estos pavimentos frente a los demás:

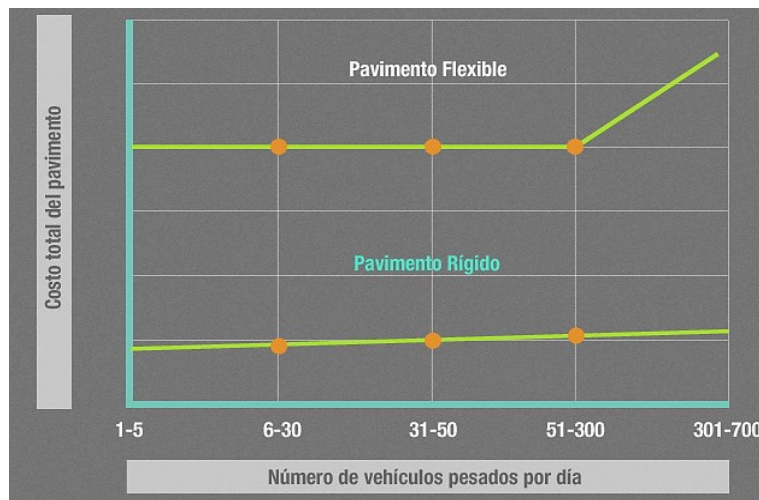
Costo de mantenimiento: Dentro de los grandes beneficios de estos pavimentos frente a los demás es el ahorro en costo de mantenimiento, debido a la gran demanda de

tráfico a las que se somete diariamente las vías estas deben ser construidas con materiales de alta resistividad. (CIPRIANO, 2020)

La gran mayoría de presupuesto de los proyectos viales se aportan en el mantenimiento de las vías por las diferentes fallas que estas presentan al empezar su servicio, es allí cuando la utilización de este material se convierte en una de las mejores elecciones debido a las oportunidades de durabilidad y solidez que ofrece. (CIPRIANO, 2020). La figura 6, da a conocer el costo total del pavimento vs No. De vehículos pesados por día del pavimento rígido frente al flexible.

Figura 6

Costo total del pavimento vs. No. vehículos pesados por día



Fuente: Tomado de (Tecnología del concreto- Conoce la importancia y las ventajas de los pavimentos de concreto)

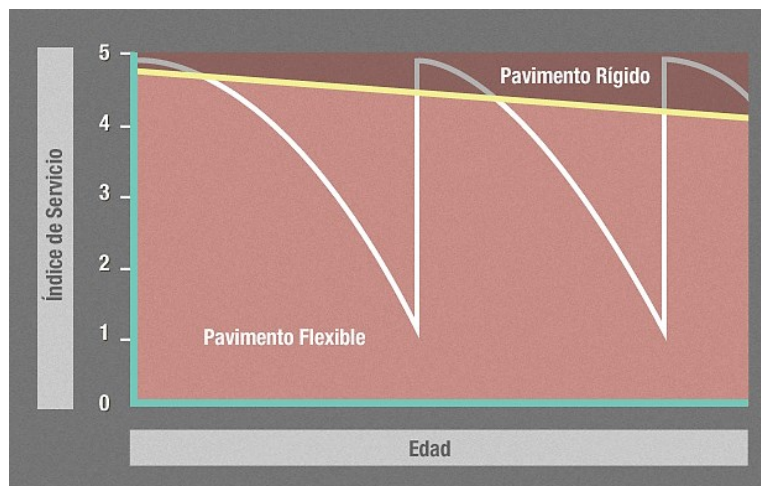
Capacidad: Estos pavimentos en comparación a otras técnicas se han convertido en la mejor elección desde estacionamientos hasta vías de alto demanda de tráfico. Con la implementación de estas técnicas en distintos proyectos viales se ha logrado observar que

son capaces de resistir las distintas sobrecargas a las que se le somete en su vida útil sin presentar grandes fallas. (CIPRIANO, 2020)

Comportamiento: Estos pavimentos al ser elaborados con materiales durables, su resistencia y capacidad aumentara con el paso de su vida útil. Tiene grandes propiedades frente a diversos agentes externos como lo son la temperatura. (CIPRIANO, 2020). La figura 7, da a conocer el índice de servicio vs edad de los pavimentos rígidos frente a los flexibles

Figura 7

Índice de servicio vs Edad de los pavimentos



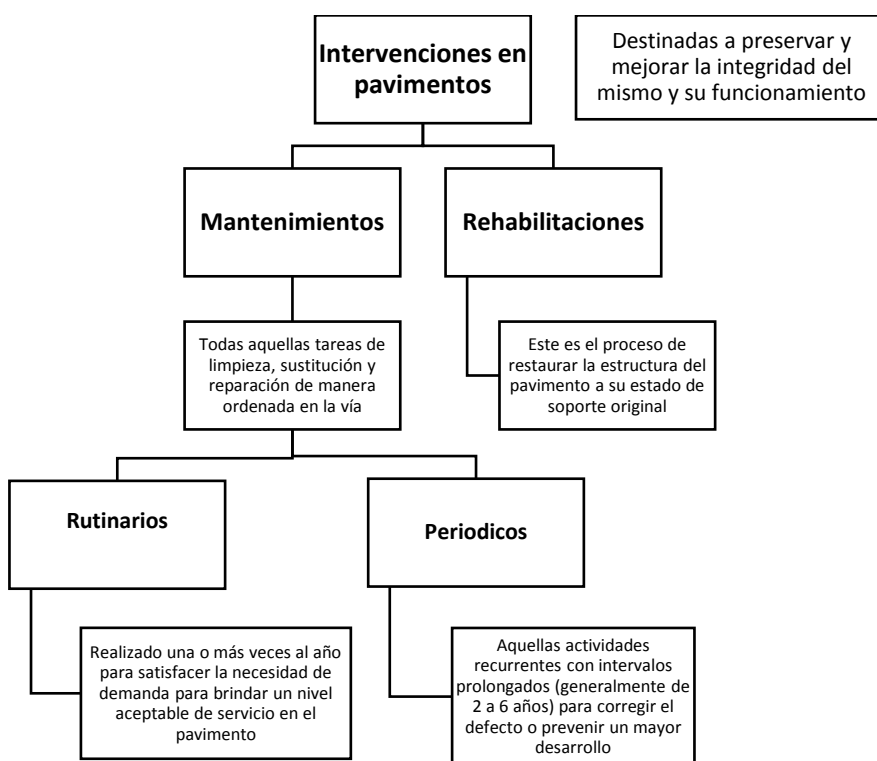
Fuente: Tomado de (Tecnología del concreto- Conoce la importancia y las ventajas de los pavimentos de concreto)

4.4. Intervenciones en pavimentos

En la figura 8, se da a conocer aspectos a tener en cuenta sobre las intervenciones realizadas a los pavimentos.

Figura 8

Intervenciones en pavimentos



Fuente: Elaboración propia, a partir de (MOPC, 2016)

4.5. Técnicas de Rehabilitación en concreto

4.5.1. Whitetopping.

Este método de rehabilitación tiene como objetivo extender la vida útil de los pavimentos asfálticos al aumentar su espesor con un pavimento de concreto, tratando de mejorar su integridad y calidad estructural, así como acelerar el proceso de construcción y reducir costos. (Espinoza, 2016).

En la figura 9, se presenta la aplicación de la técnica whitetopping en un tramo vial.

Figura 9

Aplicación de técnica Whitetopping, antes (izquierda) y después de su ejecución (derecha)



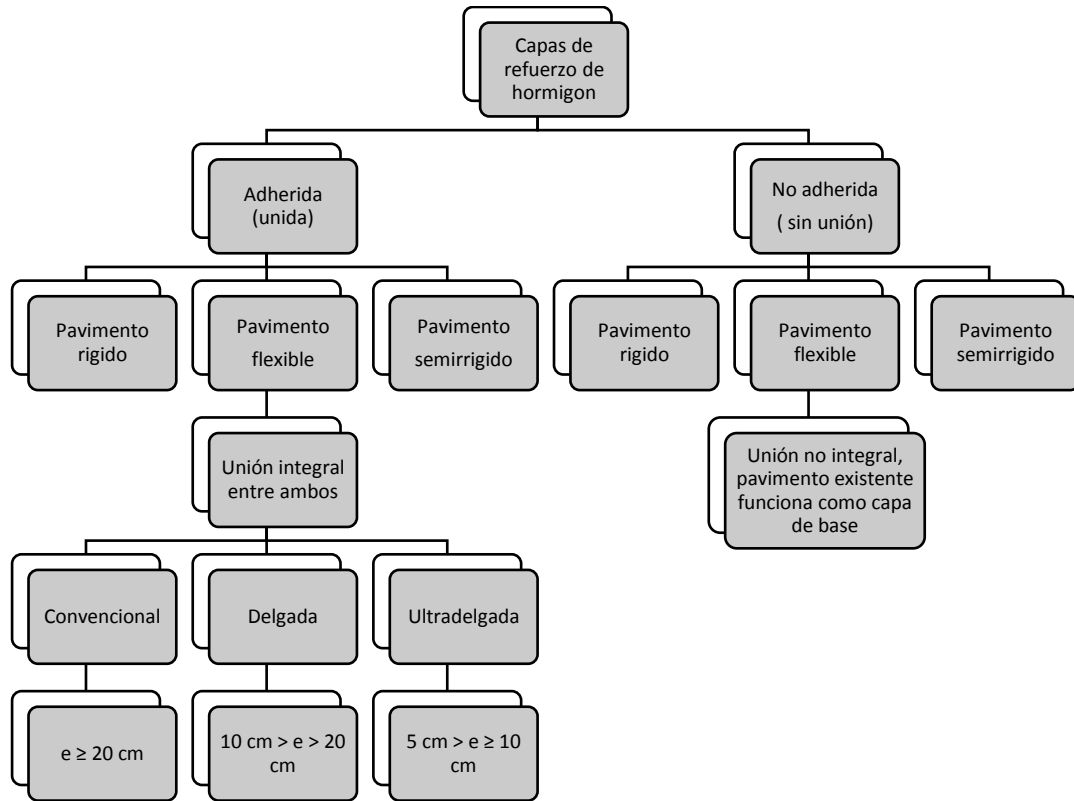
Nota: La figura muestra la aplicación de la técnica Whitetopping en una vía que se encontraba en mal estado. Fuente: Tomado de (CPTechCenter, 2015)

4.5.1.1. Capas de refuerzo de hormigón.

Las capas de refuerzo para la rehabilitación de pavimentos se clasifican en adheridas y no adheridas. En la figura 10, se presenta los tipos de capa de refuerzo de hormigón

Figura 10

Tipos de capas de refuerzo de hormigón



Nota: El diagrama muestra el tipo de capas de refuerzo de hormigón (Whitertopping) y sus usos dependiendo el tipo de pavimento. Fuente: Tomado y modificado de (Morales, 2004)

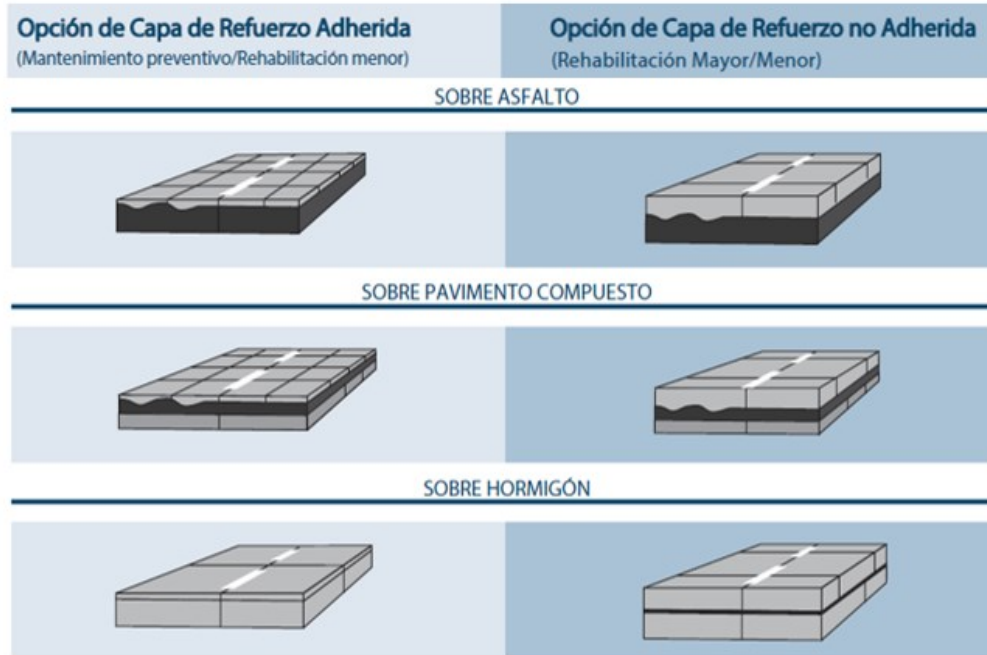
Las adheridas se implementan cuando se desean eliminar fallas superficiales y la estructura del pavimento existente se encuentra en un estado actual bueno, incluyendo la capa de refuerzo como parte del espesor del pavimento trabajando de manera monolítica.

Las no adheridas son básicamente pavimentos nuevos construidos utilizando como base el existente, es decir, proporcionando mayor capacidad estructural. El estado actual de la vía se debe encontrar en un deterioro entre moderado y severo.

En la figura 11, se presentan opciones de capa de refuerzo de hormigón según el tipo de pavimento.

Figura 11

Opción de capa de refuerzo de hormigón según pavimento existente



Fuente: Tomado de (CPTechCenter, 2015)

4.5.1.2. Criterios de selección.

Para seleccionar el espesor de diseño, se debe conocer el estado de la actual de la vía. En la tabla 1, se presenta los criterios de selección de espesor para capas de refuerzo de hormigón (Whitetopping) de acuerdo la condición inicial de la vía.

Tabla 1*Criterios de selección de espesor para capas de refuerzo de hormigón (Whitetopping)*

Tipo de Refuerzo	Parámetros de diseño		
	Espesor tipo de la Losa de Hormigón	Rango de la condición del pavimento existente	Deterioros en el pavimento existente
Capa de Refuerzo con Hormigón Adherido al pavimento asfáltico	50 – 150 mm	Regular a bueno	Ahuellamiento, ondulaciones, condición resbaladiza y agrietamiento
Capa de Refuerzo con Hormigón Adherido a pavimentos compuestos	50 – 150 mm	Regular a bueno	Ahuellamiento, ondulaciones, condición resbaladiza y agrietamiento
Capa de Refuerzo con Hormigón Adherido a Pavimentos de Hormigón	50 – 125 mm	Regular a bueno	Grietas dispersas, escalonamiento, desprendimientos superficiales
Capa de Refuerzo con Hormigón No Adherido de Pavimentos Asfálticos	100 – 280 mm	Deteriorado a regular	Ahuellamiento severo, baches, grietas tipo cocodrilo, subrasante/subbases con problemas, ondulaciones y surgencia de Finos
Capas Refuerzo con Hormigón No Adherido de Pavimentos Compuestos	100 – 280 mm	Deteriorada o regular	Ahuellamiento severo, baches, grietas tipo cocodrilo, subrasante/subbases con problemas, ondulaciones y surgencia de finos
Capa de Refuerzo con Hormigón No Adherido de Pavimentos de Hormigón	100 – 280 mm	Deteriorado a regular	Escalonamientos, deformación de losas significativo, losas fuertemente fragmentadas, etc.

Nota: La tabla muestra el espesor de la capa de refuerzo de hormigón (Whitetopping)

recomendado dependiendo del tipo y estado del pavimento a rehabilitar. Fuente: Tomado y

modificado de (CPTechCenter, 2015)

4.5.2. Concreto compactado con rodillo

Esta tecnología es adecuada para pavimento mezclado en seco con baja relación agua /cemento (el porcentaje óptimo de agua oscila entre el 4 y el 6 % del peso seco de los materiales, con lo cual la relación agua – cemento queda comprendida entre 0,33 y 0,38), utilizando maquinaria para asfalto y compactación con rodillo vibratorio (CEMEX, 2020).

Según (Aguirre, 2014) , en el proceso de fabricación, se utiliza los mismos materiales que el hormigón convencional, equipos comunes, y de amplia existencia utilizados en las empresas de construcción para el transporte, colocación, distribución y compactación. Todo lo anterior lo convierte en un material atractivo en la construcción de aceras, y su desarrollo es similar al del pavimento asfáltico.

Según (Aguirre, 2014), en cuanto a los materiales de esta técnica se encuentran los agregados, los cuales pueden ser procedentes o no de trituración y comprenden agregados gruesos (Grava) y finos (Arena), los cuales constituyen aproximadamente del 75 al 85% del volumen de la mezcla. El cemento a utilizar puede ser cemento Portland tipo I o tipo II, cuyo contenido en la mezcla oscila entre un 10 a un 17% por peso seco de los agregados.

- **Características principales**

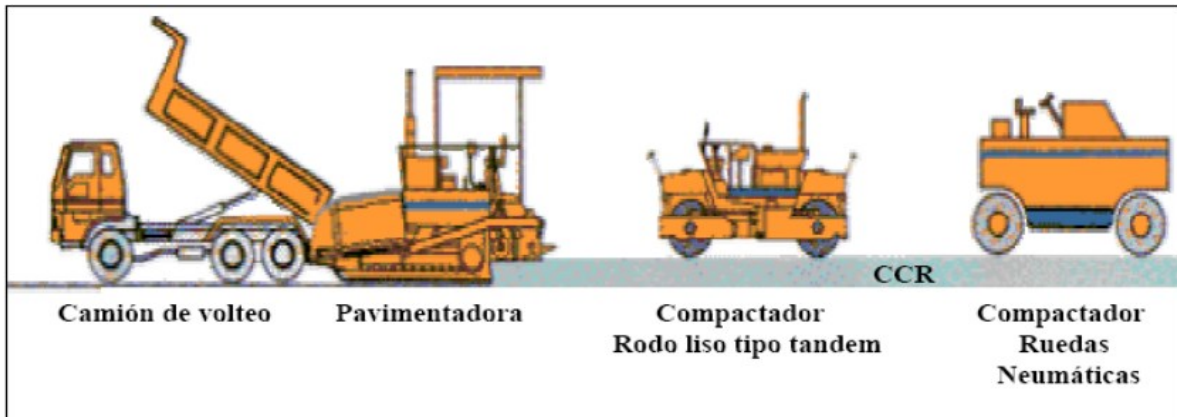
Según (Bonilla & Garcia, 2009), las principales características que se tienen para esta técnica son:

- Cero asentamientos
- No requiere encofrados
- No requiere aceros de refuerzo
- Rápida consolidación
- Se consolida con rodillos vibratorios

- **Secuencia básica de construcción**

Figura 12

Tren de colocación y compactación CCR



Fuente: Tomado de (Bonilla & Garcia, 2009)

Según (Bonilla & Garcia, 2009), para la construcción de esta técnica se tiene la siguiente secuencia, como se da a conocer en la figura 12:

- El hormigón se produce en equipos de mezcla fijos o portátiles, ya sea húmedo o seco
- Humidificación de la superficie de apoyo
- Colocado con pavimentadoras de asfalto
- Compactado con compactadoras de rodillos vibratorios y/o compactadoras de neumáticos
- Curado con agua, o curadores de concreto
- Construcción de Juntas

Tabla 2*Criterios de diseño Concreto Compactado con Rodillo*

Uso CCR	Tipo de tráfico	Características superficiales	Tipo de juntas
Puertos y parqueos industriales	Contenedores y camiones pesados	Velocidades menores de 48.3 km/h La superficie posee una homogeneidad de 9.5mm	Deben existir sizas tanto transversales como longitudinales de 4.6 m a 5 m, cuando el espesor es menor a 20.3 cm
Aeropuerto	Áreas de mantenimiento y estacionamiento del aeropuerto	Bajas velocidades La superficie no requiere de una homogeneidad específica Utiliza sistema de multicapas	Las sizas son necesarias para evitar fisuras y razones estéticas en los estacionamientos
Calles principales	Autobuses, automóviles livianos y vehículos pesados	Por las altas velocidades se debe proporcionar tratamiento superficial con una capa de rodadura de asfalto de espesor de 5.1 a 7.6 cm, si el espesor del pavimento es mayor a 25.4 cm puede ser construido por medio de sistemas multicapa	Deben existir sizas tanto transversales como longitudinales de 4.6 m a 5 m cuando el espesor es menor a 20.3 cm, si se utiliza el sistema multicapa las juntas constructivas se trabajan de la misma forma que el pavimento de concreto convencional
Berma de carreteras	Autobuses, automóviles livianos y vehículos pesados	La superficie posee una homogeneidad de 9.5 mm	Las bermas no necesitan juntas transversales ni longitudinales Para ampliaciones en carreteras las juntas transversales se realizan en la misma línea principal
Sistema de multicapas para uso de alta velocidad	Autobuses, automóviles livianos y vehículos pesados	La superficie posee una homogeneidad de 9.5 mm Superficie de concreto o asfalto convencional de rodadura	Deben existir sizas tanto transversales como longitudinales de 4.6 m a 5m cuando el espesor es menor a 20.3 cm Las juntas constructivas se trabajan de la misma forma que el pavimento de concreto convencional

Nota: La tabla muestra algunos criterios de diseño para la colocación de CCR dependiendo

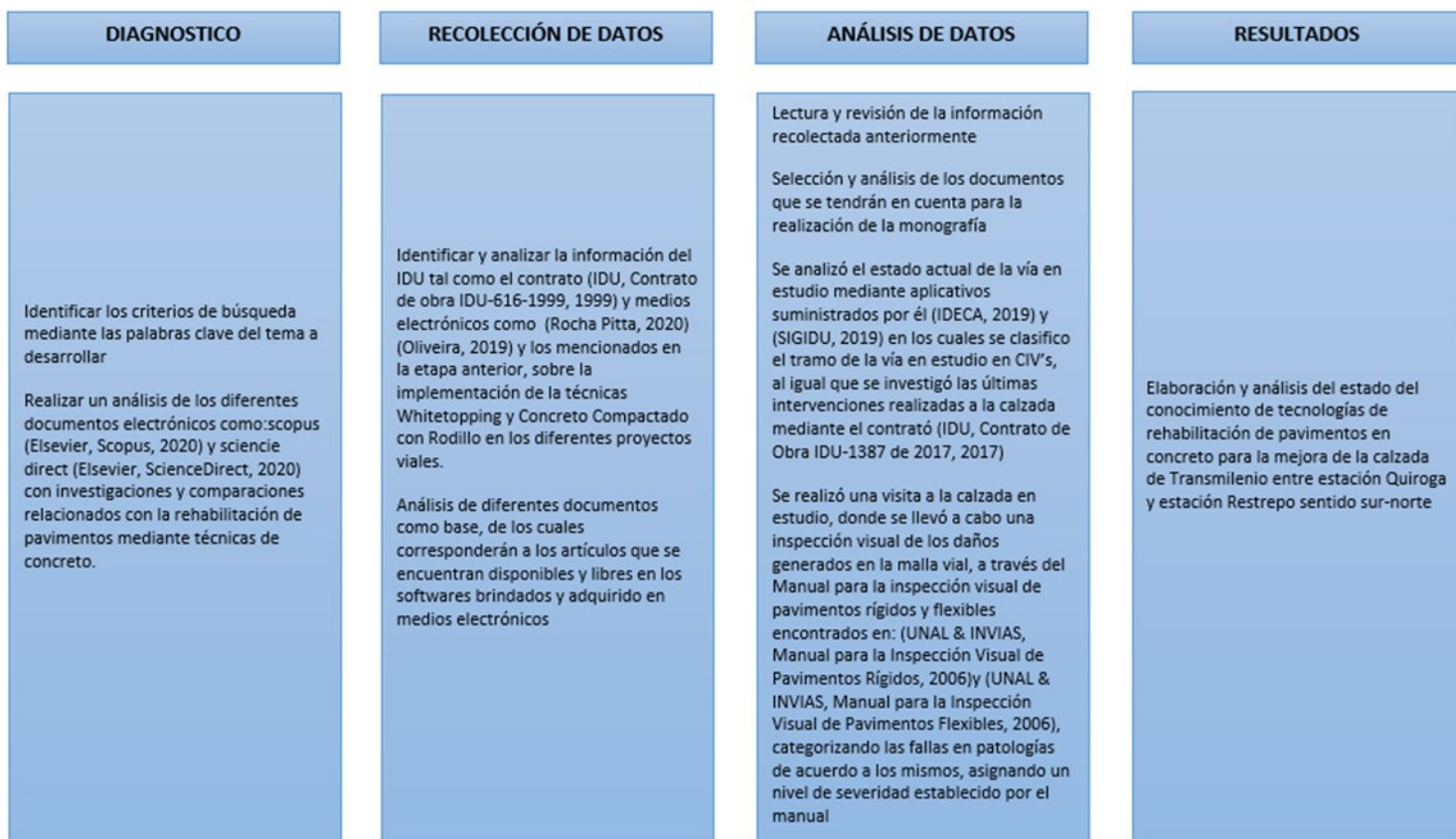
al uso que se le pretenda dar. Fuente: (Motta Letona, 2018)

5. METODOLOGÍA

Con base a la problemática que se plantea en la ejecución de este documento, se pretende elaborar un informe de tipo descriptivo y comparativo, siguiendo 4 etapas:

Figura 13

Etapas de la metodología



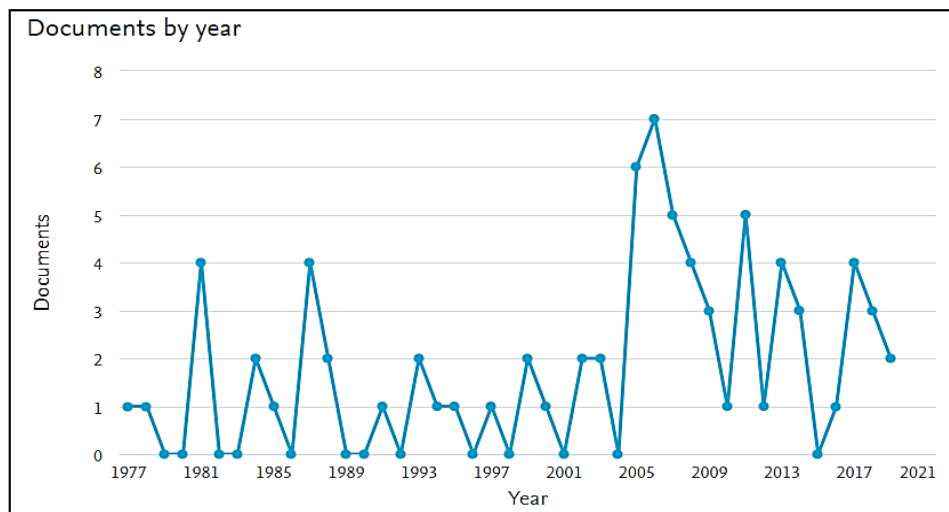
Nota: Para la comprobación de plagio en cada etapa de la metodología de la monografía se hizo uso del software plag.es. Fuente: Elaboración propia.

6. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

A través de la base de datos “**Scopus**” (Elsevier, Scopus, 2020), se obtuvo un total de 77 artículos con las palabras claves: pavement, rehabilitation y concrete. En el análisis de resultados de búsqueda de la herramienta, se obtiene la Figura 13, la cual permite evidenciar que del año 2005 al 2009 hubo un incremento en la publicación de estos documentos a diferencia de los otros años.

Figura 14

Documentos por año

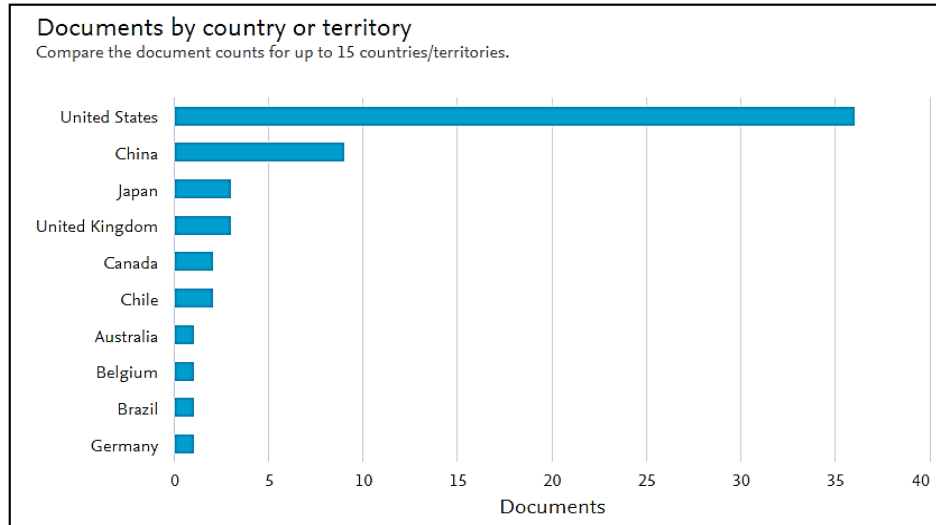


Fuente: Tomado de (Elsevier, Scopus, 2020)

Además, con base a la Figura 14 se tiene que el país que más publicaciones tiene de estos documentos ha sido Estados Unidos, con un gran porcentaje de diferencia frente a los demás países.

Figura 15

Documentos por país o territorio

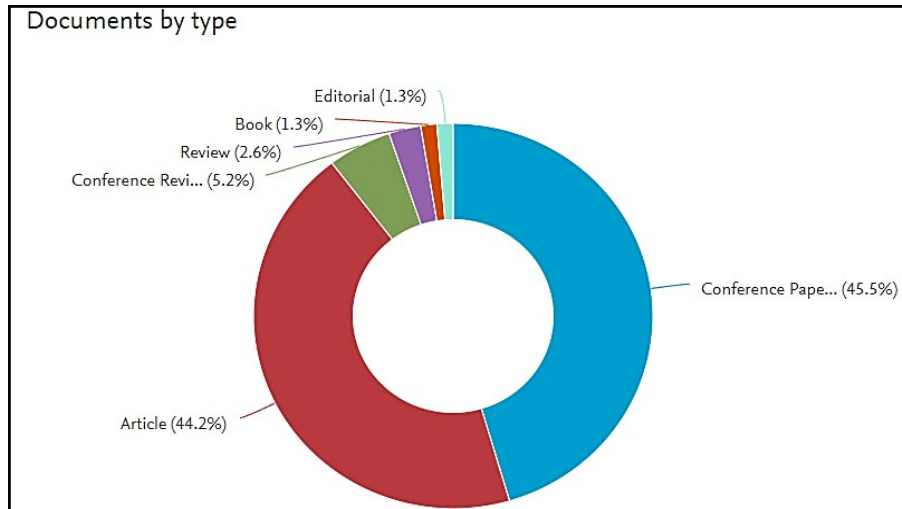


Fuente: Tomado de (*Elsevier, Scopus, 2020*)

Por otro lado, el gráfico de la Figura 14 demuestra que el 44,2% (34 documentos) son artículos, por lo cual se realiza una clasificación de acuerdo al tema de interés para esta monografía de grado y se analizan 5 de ellos, los cuales presentan distintas técnicas para reconocer diversas fallas que le ocurren al pavimento y sus posibles causas. Asimismo, ayudaran a identificar otras alternativas para la adecuada rehabilitación de los pavimentos presentando consigo una serie de beneficios para los mismos.

Figura 16

Documento por tipo



Fuente: Tomado de (Elsevier, Scopus, 2020)

A continuación, se presenta un análisis de los artículos seleccionados más acordes para esta monografía en (Elsevier, Scopus, 2020):

Productividad de la construcción y limitaciones para la rehabilitación de pavimentos de concreto en corredores urbanos (Ibbs, Harvey, & Roesler, 2000), relaciona el desarrollo de una herramienta la cual permite realizar un análisis de capacidad, esto en el Departamento de Transporte de California (Caltrans), con el fin de poder determinar las estrategias de rehabilitación y construcción más factibles en un entorno urbano para maximizar la producción y minimizar el retraso del tráfico. Para este análisis se tomó en cuenta los siguientes parámetros: espesor del pavimento, material de concreto, tiempo de curado, cantidad y capacidad de recursos, cantidad de carriles a ser pavimentado, tipo de programación de construcción y estrategias alternativas de cierre de carril. Uno de los factores que afecta la capacidad de producción es el número de carriles a pavimentar, aun

así, se debe tener en cuenta como se llevaran a cabo los cierres, de modo que no afecte la construcción y tampoco la circulación del público. Se tiene que el tiempo de curado del concreto no es la actividad más crítica para la producción general, las principales limitaciones para poder llevar a cabo la productividad son los recursos de entrega de materiales, como por ejemplo los camiones volquete para demolición y los camiones de entrega de concreto. Se comprueba que aumentar el espesor de la losa de concreto reduce el nivel de producción en aproximadamente un 50%. Además, se evidencia que un método de trabajo de construcción concurrente es más productivo que un método de trabajo de construcción secuencial.

Mirar en profundidad la rehabilitación del pavimento de hormigón (Gisi, 1987), se focaliza en la evaluación, el diseño y la construcción de un proyecto de rehabilitación en la I-35 en el condado de Lyon, al este de Emporia. El principal objetivo, es poder identificar uno de dos métodos para rehabilitar el concreto. Estos métodos se diferencian cuando se tiene un pavimento de concreto o un pavimento de asfalto. La rehabilitación del pavimento de concreto (RCP) se caracteriza por suministrar soporte base, fortalecer, reparar imperfecciones y mejorar el andar.

Estimación del módulo de concreto asfáltico de pavimentos flexibles existentes para análisis de rehabilitación mecanicista-empírica (Gong, Sun, & Huang, 2019), hace referencia al módulo de la capa existente de hormigón asfáltico (AC), al momento de este ser nuevamente calculado a partir de pruebas de pavimento no destructivas, es una entrada importante para un diseño de superposición preciso en el sistema de diseño mecánico-empírico (ME) del pavimento. Se afirma que los datos de pruebas no destructivas (END) no siempre están disponibles para los análisis de rehabilitación a nivel de red. Este documento

propone un método de regresión regularizado para evaluar con precisión los módulos con datos fácilmente disponibles de los sistemas de gestión del pavimento, incluidos los problemas, la información estructural y las condiciones climáticas. Los datos de la base de datos de rendimiento del pavimento a largo plazo (LTPP) se utilizan para la capacitación modelo. Además, en este documento se realizaron comparaciones de rendimiento de predicción entre tres métodos de regresión de regularización (cresta, red elástica y lazo) y la regresión de mínimos cuadrados ordinarios. Los resultados mostraron que la regresión neta elástica superó a los otros tres métodos en términos de previsibilidad e interpretabilidad. Se encontró que los errores cuadrados medios de los métodos de regresión de regularización eran considerablemente más bajos que los de la regresión de mínimos cuadrados ordinarios. Los módulos considerados por los métodos de regularización fueron muy semejantes a los calculados a posteriori de la base de datos LTPP, lo que argumentó la viabilidad de considerar los módulos del pavimento existente cuando los datos de END son escasos.

Investigación sobre el mecanismo de fractura de la tecnología de trituración de microgrietas homogeneizada para la rehabilitación del pavimento de concreto de cemento portland (Li, y otros, 2019), hace mención a una tecnología de trituración de microgrietas homogeneizada para el mantenimiento de pavimentos de hormigón, la cual ha recibido una mayor atención en China. Para estudiar este mecanismo, se desarrolló un sistema de prueba de impacto de baja velocidad y se realizó experimentos con losas de concreto de diferentes espesores con diferentes alturas de caída y pesos de martillo. A causa de que los bloques fracturados divididos por microgrietas pueden fijarse entre sí y las distribuciones de grietas tienden a ser uniformes, es útil que la mezcla de asfalto de mezcla en caliente cubra la rehabilitación del pavimento de concreto de cemento Portland.

Desarrollo de un índice de socorro y criterios de rehabilitación para pavimentos de hormigón continuamente reforzados utilizando análisis discriminante (McCullough, 1987). El artículo en mención, hace énfasis en un análisis discriminante que se aplica para el desarrollo del índice de socorro y los criterios de rehabilitación del sistema de gestión de pavimento a nivel de red para pavimentos de concreto reforzado continuamente en Texas. Los resultados proporcionan al Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas pautas que permiten evaluar las condiciones actuales del pavimento y así mismo programar la rehabilitación. Para este análisis discriminante se tiene en cuenta los datos de la encuesta de condición histórica, los cuales facilitan la evaluación y se separación en dos grupos, pavimentos superpuestos y no superpuestos, para los cuales se tienen descripciones detalladas.

6.1. Enfoque estado del conocimiento

En relación a las tecnologías comprendidas en esta monografía Whitetopping y Concreto Compactado con Rodillo, mediante la base datos de búsqueda científica “**ScienceDirect**” (Elsevier, ScienceDirect, 2020), se encontraron los siguientes artículos relacionados:

La búsqueda con la palabra clave Whitetopping, da a conocer un total de 34 artículos de los cuales 22 de ellos corresponden a artículos de investigación, 5 capítulos de libros, 4 artículos de revisión y 3 a otros. A continuación, se seleccionaron los más acordes para esta monografía:

Uso de la resistencia posterior a la fisuración para determinar la capacidad de flexión de pavimentos ultra finos de cobertura blanca (UTW) (Suksawang, Alsabbagh,

Shaban, & Wtaife, 2020)., habla del uso de fibras de polipropileno fibrilado (FPP) en la capa blanca ultra fina (UTW), usado en la actualidad para aumentar la capacidad de flexión de las losas de hormigón. Los resultados son el análisis de la prueba de varios contenidos de fibras, espesores UTW y modos de falla los cuales revelaron que probar UTW en modos de falla no comunes no reflejaba la capacidad de flexión real de UTW. Al igual, que el espesor de UTW requerido depende de que la capacidad de flexión propuesta de la viga compuesta sea menor que el espesor requerido que se calcula depende de la viga de hormigón.

Estudio de la superposición de hormigón (whitetopping) en pavimentos mediante sistema de tomografía computarizada (Braz, Almeida, Motta, Barroso, & Lopes, 2007), tiene como principal objetivo demostrar la viabilidad de utilizar un sistema de tomografía computarizada (formación de imágenes en sección transversal de un objeto a partir de los datos de transmisión recopilados al iluminar el objeto desde muchas direcciones diferentes) para estudiar el pavimento de hormigón. Los datos de proyección son el resultado de la interacción entre la radiación utilizada para obtener imágenes y la sustancia en la que está compuesto el objeto.

La búsqueda con la palabra clave rolled concrete compacted , da a conocer un total de 1188 artículos de los cuales 633 de ellos corresponden a artículos de investigación, 451 capítulos de libros, 74 artículos de revisión y 30 a Enciclopedia. A continuación, se seleccionaron los más acordes para esta monografía:

Estudio de tiempos de fraguado de hormigón compactado con rodillo mediante análisis espectral de señales ultrasónicas transmitidas (Garnier, Corneloup, Sprauel, &

Perfumo, 1995), habla del tiempo de fraguado del hormigón compactado con rodillo (RCC) el cual se determina mediante el estudio del aumento en la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas transmitidas a través de una muestra. El fraguado del hormigón se modela disociando la cinética química relacionada con las transformaciones de volumen de las relacionadas con las transformaciones de la superficie dando como resultado que el hormigón actúa como un filtro espectral variable en el tiempo.

Resistencia a la formación de incrustaciones por sal de los pavimentos de hormigón compactado con rodillo sin aire incorporado (Nili & Zaheri, 2011), investiga los efectos de varias puzolanas sobre el rendimiento fresco y endurecido de pavimentos de hormigón compactado con rodillo y sin aire incorporado, evaluando la resistencia de las muestras a las incrustaciones por sales de descongelación para las condiciones congelación-descongelación.

6.1.1. Antecedentes

A continuación, se da a conocer las primeras aplicaciones de las técnicas Whitetopping y Concreto Compactado con Rodillo.

6.1.1.1. *Whitetopping*.

La primera aplicación de esta técnica fue en los Estados Unidos en el año 1918, su aplicación no ha sido muy desarrollada a lo largo del siglo XX. Sin embargo, es de resaltar que desde la mitad de los 90 este tipo de técnica está ganando terreno en la rehabilitación y reparación de distintas vías a nivel mundial. (López Carreño, Pialarissi Cavalaro, Pujadas Álvarez, & Aguado, 2017)

6.1.1.2. Concreto compactado con rodillo.

El primer pavimento construido bajo esta técnica se realizó en 1893 en Bellefontaine, en el estado de Ohio. Se utilizó esta técnica como capa inferior de un pavimento compuesto. La aplicación de esta técnica ha tenido gran acogida a lo largo del mundo como lo es en: Japón, Suecia, Noruega, Canadá, entre otros países. (Rocha Pitta, 2020)

6.1.2. Experiencias

A continuación, se presentan proyectos viales donde se ha llevado a cabo la implementación de las técnicas Whitetopping y Concreto Compactado con Rodillo.

6.1.2.1. Whitetopping

- Brasil

La implementación de esta técnica ya tiene historia en diferentes países de Latino América. Es el caso de la ciudad más grande Sao Paula, Brasil rehabilitó mediante la aplicación de esta técnica el corredor exclusivo para autobuses en la avenida Reboucas, la cual es una transitada vía de la ciudad encargada de unir diferentes lugares de la misma. (Oliveira, 2019). En la figura 16 se presenta dicha intervención.

Figura 17

Rehabilitación corredor de buses mediante técnica Whitetopping



Fuente: Tomado de (Oliveira, 2019)

Brasil también ha tenido diferentes experiencias fuera del área urbana en la rehabilitación y recuperación vial. (Oliveira, 2019)

- México

Son muchos casos concluidos con éxito mediante esta tecnología. De acuerdo a (Oliveira, 2019):

En carreteras mexicanas también se ha llevado a cabo esta técnica como lo son:

- Vía Cuernavaca-Acapulco se colocaron losas de hormigón de espesor de 27 cm en cerca de 55 km de esta
- La carretera México-Puebla, se rehabilitó un tramo crítico de aproximadamente 7 km con losas de hormigón de 33 cm de espesor.

- Carretera México- Querétaro, en un tramo que supera los 30 kilómetros colocando losas de hormigón de 35 cm de espesor.

Figura 18

Aplicación de Whitetopping en la ciudad de Tijuana, Baja



Fuente: Tomado de (Oliveira, 2019)

- Colombia

Según el IDU, en sus informes de los respectivos proyectos viales llevados a cabo registra la implementación de la técnica Whitetopping bajo el contrato No.616 de 1999, basado en la rehabilitación mediante esta técnica de la vía a la Calera desde la Av. Circunvalar hasta Patios (K0+000 AL K6+000).

Antes de la intervención con la técnica de Whitetopping, la vía estaba construida en pavimento flexible con aproximadamente 30 años de servicio y se encontraba en índice de servicio actual (ISA) bajo. Su capa de rodamiento presentaba distintas fallas como se observa en la figura 18, 19 y 20; tales como piel de cocodrilo, baches (algunos reparados y

nuevamente fallados), corrimiento de la carpeta asfáltica, deformaciones longitudinales, asentamientos por problemas de drenaje, entre otros.

Figura 19

Estado original de la Vía 1 de 3



Fuente: Tomado de (IDU, Contrato de obra IDU-616-1999, 1999)

Figura 20

Estado original de la Vía 2 de 3



Fuente: Tomado de (IDU, Contrato de obra IDU-616-1999, 1999)

Figura 21

Estado original de la Vía 3 de 3



Fuente: Tomado de (IDU, Contrato de obra IDU-616-1999, 1999)

El diseño de la sobre capa de refuerzo se llevó para una vida útil de diseño de 20 años y con un espesor de losa de 18.5 cm. La figura 21 y 22, presentan el proceso y terminación de dicha intervención

Figura 22

Superficie de concreto de la vía



Fuente: Tomado de (IDU, Contrato de obra IDU-616-1999, 1999)

Figura 23

Estado final de la vía



Fuente: Tomado de (IDU, Contrato de obra IDU-616-1999, 1999)

Según (IDU, Contrato de Obra IDU-94-2005, 2005) & (IDU, Contrato de Obra IDU-1705-2013, 2013) & (IDU, Contrato de Obra IDU-1474-2017, 2017), dentro de dichos contratos se han realizados intervenciones al corredor vial rehabilitado mediante la técnica Whitetopping, las cuales han consistido en diagnóstico, mantenimiento rutinario: limpieza de cunetas y alcantarillas, rocería mantenimiento periódico: sello de fisuras, reparación y reconstrucción de losas, generación y reparación de juntas. Las figuras 23, 24, 25 y 26, presentan el estado actual de la vía intervenida.

Figura 24

Estado actual de la vía 1 de 4



Fuente: Tomado de Google Maps

Figura 25

Estado actual de la vía 1 de 4



Fuente: Tomado de Google Maps

Figura 26

Estado actual de la vía 3 de 4



Fuente: Tomado de Google Maps

Figura 27

Estado actual de la vía 4 de 4



Fuente: Tomado de Google Maps

6.1.2.2. Concreto compactado con rodillo.

En los países de América del Sur se ha utilizado esta técnica en diferentes tramos como método de experimento y en obras de pavimentación en países como:

- **Brasil**

Los orígenes de esta técnica datan en 1972, en Porto Alegre, sur del país, este material fue utilizado como base de pavimentos asfálticos en vías urbanas. (Rocha Pitta, 2020)

Actualmente han sido utilizada como base de pavimentos con carpeta asfáltica y de concreto. En ambos casos las carreteras presentan un alto y pesado tráfico. (Rocha Pitta, 2020)

Esta técnica también ha sido utilizada como revestimiento de pavimentos en vías urbanas, paradas, patios industriales; los cuales han presentado un excelente desempeño.

- **Argentina**

Esta técnica ha sido utilizada desde 1986 en diferentes tramos del país, experimentándose en diferentes condiciones climáticas, materiales y procesos constructivos. Implementado como capa de rodadura, como base y como material para diferentes mantenimientos como lo son de bacheo. (Rocha Pitta, 2020)

- **Uruguay**

Se ejecutó esta técnica en aproximadamente 2000 m² por primera vez en 1988 en accesos a Montevideo en un tramo experimental. (Rocha Pitta, 2020)

6.2. Ventajas y desventajas técnicas Whitetopping y CCR

A continuación, se dan a conocer las ventajas y desventajas que traen la implementación de las técnicas comprendidas en esta monografía en la rehabilitación de tramos viales.

Tabla 3

Ventajas y desventajas técnicas Whitetopping y CCR

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Whitetopping	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorros significativos a lo largo de su ciclo de vida, extendiéndolo al menos 15 años - Tiempo de construcción es más de 20% más corto - Aplicación en todo tipo de camino. - Uso de pavimento existente como base estructural - Reducción en mantenimientos - Alta reflexión de la luz - Mejoramiento de drenaje - La rigidez de estos pavimentos y su insensibilidad ante combustibles y lubricantes, los hace especialmente confiables para mantener una superficie de rodadura en correctas condiciones, durante todo el tiempo de explotación de la carretera 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere de un espesor y preparación de pavimento existente - Costo inicial de construcción alto
CCR	<ul style="list-style-type: none"> - Rápida instalación - Mayor vida útil del pavimento debido a bajo contenido de agua - Se construyen sin moldes o refuerzos de acero - Baja relación agua/cemento - Soportar el tránsito circulando directamente sobre ellos sin protección superficial - Rápida apertura al tránsito ligero, 24 horas después de la colocación - No requiere formaletas ni pasa-juntas de acero de refuerzo - Reducción en costos de mantenimiento - Alta reflexión solar, que reduce la temperatura ambiental y consumos energéticos de la vía 	<ul style="list-style-type: none"> - No se debe adicionar agua, cemento, aditivos o cualquier otro material al concreto en la obra ya que esto alterará su diseño - Requiere un buen control de fabricación y en obra, en cuanto a la humedad, terminación superficial y resistencias - Al requerirse un alto grado de compactación para alcanzar las resistencias del proyecto, si no se dispone de equipos adecuados, se deberán efectuar una gran cantidad de pasadas con rodillo vibrado

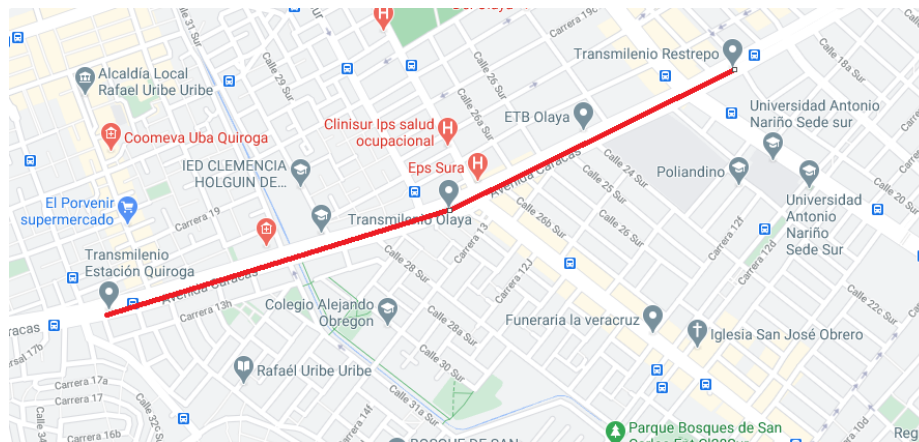
Fuente: Elaboración propia, a partir de (Motta Letona, 2018) & (GCC, 2020)

7. ESTADO MALLA VIAL DE TRANSMILENIO ENTRE ESTACIÓN QUIROGA Y ESTACION RESTREPO SENTIDO SUR – NORTE

La calzada de Transmilenio entre la estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte se encuentra ubicada entre la Localidad Rafael Uribe y la Localidad Antonio Nariño entre Calle 33 sur y Calle 20 sur. La figura 27, presenta la ubicación de la calzada en estudio

Figura 28

Ubicación zona de estudio



Fuente: Tomado y modificado de Google Maps

Se realizó el análisis del estado actual de la calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte, mediante los aplicativos suministrados por la (IDECA, 2019) y (SIGIDU, 2019), clasificando cada segmento de acuerdo a su Código de Identificación Vial (CIV), el cual es asignado por el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU. Los datos de la tabla 3 corresponden a reportes del 2019-II:

Tabla 3*Estado de la Malla vial de la calzada entre la estación Quiroga y la estación Restrepo*

CIV	Funcionalidad	Tipo de superficie	Ancho calzada	Longitud calzada	Estado malla vial
18001577	Vehicular	Rígido	7.40	46.40	Regular
18001576	Vehicular	Rígido	7	77.56	Regular
18007741	Vehicular	Rígido	6.98	37.02	Regular
18007740	Vehicular	Rígido	6.62	40.36	Bueno
18001503	Vehicular	Rígido	6.80	62.80	Regular
18001475	Vehicular	Rígido	6.82	49.77	Regular
18007754	Vehicular	Rígido	6.97	84.74	Bueno
18001421	Vehicular	Rígido	7.02	89.29	Regular
18001355	Vehicular	Rígido	7.06	104.64	Bueno
18001319	Vehicular	Rígido	6.90	25.41	Bueno
18001310	Vehicular	Rígido	6.99	46.04	Regular
18007735	Vehicular	Rígido	7.02	31.73	Regular
18007733	Vehicular	Rígido	7.03	36.77	Regular
18007734	Vehicular	Rígido	7.03	33.87	Bueno
18001237	Vehicular	Rígido	7.28	45.74	Regular
18007753	Vehicular	Rígido	7.39	46.74	Bueno
18007752	Vehicular	Rígido	7.27	88.89	Bueno
18001137	Vehicular	Flexible	7.42	63.51	Bueno
18001102	Vehicular	Flexible	6.88	30.39	Bueno
18001082	Vehicular	Rígido	6.80	24.99	Regular
18001067	Vehicular	Mixtos	6.86	50.43	Regular
18001028	Vehicular	Rígido	6.98	66.22	Regular
18000988	Vehicular	Rígido	7.05	65.82	Regular
18000954	Vehicular	Rígido	6.99	37.83	Regular
18000928	Vehicular	Mixtos	6.99	152.92	Bueno
18000845	Vehicular	Rígido	7.45	48.39	Regular
15001295	Vehicular	Rígido	7.41	66.36	Regular
15001277	Vehicular	Rígido	7.01	66.69	Bueno
15001269	Vehicular	Rígido	6.88	62.56	Bueno
15001252	Vehicular	Rígido	7.02	60.69	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Figura 29

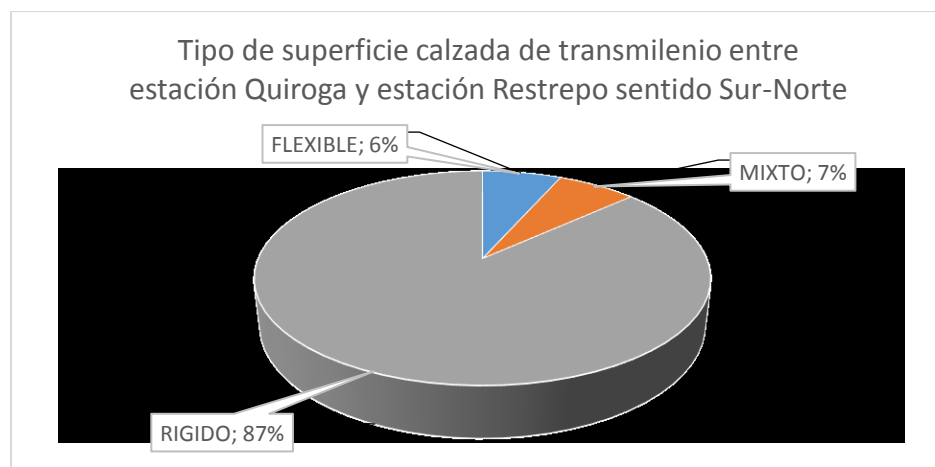
Estado malla vial calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte



Nota: El gráfico presenta el estado de la malla vial de la calzada en estudio, de acuerdo al análisis de los CIV's que la comprenden. Fuente: Elaboración propia.

Figura 30

Tipo de superficie calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte



Nota: El gráfico el tipo de pavimento de la superficie vial de la calzada en estudio, de acuerdo al análisis de los CIV's que la comprenden. Fuente: Elaboración propia

7.1.1. Mantenimientos realizados Calzada de Transmilenio entre estación Restrepo y estación Quiroga sentido sur-norte

A continuación, se dan a conocer las últimas intervenciones realizadas a las calzadas de Transmilenio, dentro de las cuales fueron priorizadas las siguientes troncales:

Tabla 4

Troncales Transmilenio intervenidas mediante contrato IDU-1387-2017

GRUPO	COBERTURA	LIMITES
3	Troncal Av. Américas	Desde intersección de la KR 50 x Av. Américas x Av. Comuneros y Av. Colon hasta portal Américas
	Troncal Av. NQS Sur	Desde Av. Comuneros hasta el límite con el municipio de Soacha (Kr 77 G-Localidad de Bosa)
	Troncal Ramal Av. Villavicencio	Desde Av. Caracas hasta portal del Tunal
	Troncal Av. Caracas Sur	Desde Av. Los Comuneros hasta portal de Usme

Fuente: Tomado de (IDU, Contrato de Obra IDU-1387 de 2017, 2017)

Dentro de las actividades realizadas mediante este contrato no se han llevado intervenciones de Rehabilitación en las Troncales de Transmilenio, las actividades en la malla vial Troncal corresponden a mantenimientos rutinarios o periódicos en pavimentos flexibles y rígidos, reparaciones puntuales y atención de emergencias en aquellos puntos que por su estado de deterioro afectan la seguridad vial y la movilidad de los usuarios.

En cuanto a las intervenciones realizadas en la Troncal Caracas entre las estaciones Quiroga y Restrepo sobre el carril exclusivo de Transmilenio sentido sur-norte y según lo reportado por Interventoría, durante el presente contrato las actividades que se llevaron a cabo en dicho tramo fueron: fresado y/o demolición de losas, riego de liga e instalación de

mezcla asfáltica, lo anterior, debido a que no se comprometieron las capas inferiores de la estructura del pavimento.

Figura 31

Mantenimiento periódico calzada en estudio



Nota: La figura da a conocer las intervenciones realizadas a la calzada en estudio mediante dicho contrato. Fuente: Tomado de (IDU, Contrato de Obra IDU-1387 de 2017, 2017)

En la tabla 5, se nombran los diferentes segmentos viales que fueron intervenidos:

Tabla 5

*Intervenciones realizadas entre la calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y
estación Restrepo sentido sur-norte*

CIV	Desde	Hasta	Fecha de Inicio	Fecha de Fin	Tipo de Intervención
18007741	CI 32 S	CI 32 BisA S	05/02/2019	07/02/2019	Mant. Periódico
18007741	CI 32 S	CI 32 BisA S	27/01/2019	01/02/2019	Mant. Periódico
18007740	CI 32 S	CI 32 S	05/02/2019	06/02/2019	Mant. Periódico
18007740	CI 32 S	CI 32 S	03/02/2019	04/02/2019	Mant. Periódico
18001503	CI 31D S	CI 32 S	05/02/2019	07/02/2019	Mant. Periódico
18001503	CI 31D S	CI 32 S	30/01/2019	02/02/2019	Mant. Periódico
18001475	CI 31C S	CI 31D S	06/02/2019	08/02/2019	Mant. Periódico
18007754	CI 31B S	CI 31C S	12/02/2019	12/02/2019	Mant. Periódico
18007754	CI 31B S	CI 31C S	07/02/2019	09/02/2019	Mant. Periódico
18007754	CI 31B S	CI 31C S	21/06/2018	22/06/2018	Mant. Periódico
18001421	CI 31 S	CI 31B S	12/02/2019	13/02/2019	Mant. Periódico
18001421	CI 31 S	CI 31B S	19/06/2018	21/06/2018	Mant. Periódico
18001355	CI 30 S	CI 31 S	13/06/2018	20/06/2018	Mant. Periódico
18001319	CI 29 S	CI 30 S	13/06/2018	14/06/2018	Mant. Periódico
18001310	CI 28C S	CI 29 S	12/04/2018	17/06/2018	Mant. Periódico
18007733	CI 28B S	CI 28C S	15/06/2018	17/06/2016	Mant. Periódico
18007734	CI 28B S	CI 28B S	14/06/2018	16/06/2018	Mant. Periódico
18001237	CI 28 S	CI 28B S	15/06/2018	16/06/2016	Mant. Periódico
18007753	CI 27 Bis A S	CI 28 S	25/07/2019	15/08/2019	Mant. Periódico
18007752	CI 27 S	CI 27 BisA S	30/07/2019	03/08/2019	Mant. Periódico
18001137	CI 26B S	CI 27 S	22/06/2018	29/06/2018	Mant. Periódico
18001082	CI 26A S	CI 26A S	22/06/2018	24/06/2018	Mant. Periódico
18001067	CI 26A S	CI 26A S	22/06/2018	29/06/2018	Mant. Periódico
18001028	CI 25 S	CI 26 S	25/06/2018	29/06/2018	Mant. Periódico
18000988	CI 24 S	CI 25 S	25/06/2018	29/06/2018	Mant. Periódico
18000954	CI 24 S	CI 24 S	26/06/2018	29/06/2018	Mant. Periódico

Fuente: Tomado de Contrato de obra (IDU, Contrato de Obra IDU-1387 de 2017, 2017)

7.1.2. Inspección visual

De acuerdo a los manuales mencionados en la metodología, se realizó una visita de campo a la calzada de Transmilenio entre la estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte, donde se tomó un registro fotográfico de las fallas encontradas por estación, es decir, estación Quiroga, estación Olaya y estación Restrepo.

Posterior a este registro se llevó a cabo un análisis de pavimentos, donde se concluyó que en esta calzada se cuenta con pavimento rígido y flexible distribuidos de manera inadecuado. Conforme a lo anterior se determinó que no es viable realizar la inspección visual acorde a los formatos establecidos por los manuales nombrados anteriormente, debido a que:

- En pavimentos rígidos, se debe realizar una enumeración por losas, al encontrarse reparaciones con asfalto impide llevar una secuencia de manera adecuada al momento de la inspección.
- Para pavimentos flexibles, se debe llevar el orden de la inspección visual de acuerdo a un abscisado previamente realizado.

Finalmente se realizó una inspección general de las tres estaciones nombradas anteriormente, teniendo en cuenta los criterios de evaluación presentados por los manuales, es decir, se tuvo en cuenta cada patología evaluando el nivel de severidad de la misma.

Tabla 6 Inspección visual calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte






		ESTADO ACTUAL DE LA CALZADA DE TRANSMILENIO ENTRE ESTACIÓN RESTREPO Y ESTACIÓN QUIROGA, SENTIDO SUR-NORTE
FOTO	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
1		<p>Grietas Transversales (GT): Severidad Media</p> <p>Se observa que toda la Losa se encuentra afectada</p>
2		<p>Ahuellamiento (AHU): Severidad Media</p> <p>Se observa que esta falla se debe a la circulación de los articulados, lo cual genera que haya almacenamiento de agua.</p>
3		<p>Grietas Transversales (GT): Severidad Media Piel de Cocodrilo (PC): Severidad Media</p> <p>Se evidencia que las losas derecha e Izquierda estan deterioradas con severidad Media, donde definitivamente se requiere rehabilitación. Además, estas losas se encuentran unidas a Pavimento flexible, el cual presenta la Patología piel de cocodrilo.</p>
4		<p>Separación de Juntas Longitudinales (SJ): Severidad Alta</p> <p>Se evidencia gran abertura en las losas, por lo cual se recomienda reconstruir el tramo, reconfirmando y recompactando la subrasante y colocando barras de amarre en la junta longitudinal.</p>









FOTO	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
5		<p>Grietas de Esquina (GE): Severidad Baja</p> <p>Se logra evidenciar que este deterioro es bajo, pero es importante realizar el mantenimiento preventivo para evitar daño del 100% en la losa.</p>
6		<p>Descascaramiento (DC): Severidad Media Piel de Cocodrilo (PC): Severidad Media</p> <p>En esta fotografía se muestran dos patologías, la cual al no llevar el mantenimiento adecuado conlleva a una falla diferente como lo es el descascaramiento. Es importante resaltar que esta falla es ocasiona ya que esta unida a pavimento rígido.</p>
7		<p>Baches (BCH): Severidad Alta</p> <p>Se requiere rehabilitación completa, este daño ocupa todo el carril, se evidencia que alrededor del bache presenta descascaramiento, por lo cual es más factible que la dimensión del bache aumente.</p>
8		<p>Piel de Cocodrilo (PC): Severidad Baja Descascaramiento (DC): Severidad Media Grietas Transversales (GT): Severidad Media</p> <p>En este tramo se presentan tres fallas diferentes, dos pertenecen a Pavimento Flexible, donde una falla dependió del mantenimiento inoportuno. La otra se presenta en la losa del Pavimento Rígido.</p>

FOTO	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
9		<p>Grietas de Esquina (GE): Severidad Alta Grietas Transversales (GT): Severidad Media</p> <p>En esta fotografía se logra evidenciar dos fallas, las cuales presentan severidad diferente, una de ellas requiere rehabilitación en la losa, se identifica escalonamiento en la misma.</p>
10		<p>Descascaramiento (DC): Severidad Baja Piel de Cocodrilo (PC): Severidad Media</p> <p>En esta fotografía se muestran dos patologías, una de ellas es Piel de Cocodrilo que al no realizar un mantenimiento adecuado conlleva una falla diferente, como lo es el descascaramiento.</p>
11		<p>Grietas de Esquina (GE): Severidad Alta</p> <p>Se requiere rehabilitación, ya que este deterioro cuenta con escalonamiento.</p>
12		<p>Piel de Cocodrilo (PC): Severidad Baja Grietas de Esquina (GE): Severidad Alta Grietas Transversales (GT): Severidad Alta</p> <p>En esta fotografía se logra evidenciar tres fallas, de las cuales dos presentan severidad alta, se observa escalonamiento, lo cual requiere rehabilitación. Además, esta losa se encuentra unida a Pavimento flexible que presenta piel de cocodrilo.</p>

Fuente: Elaboración propia

Mediante la inspección visual realizada anteriormente, se logra observar fallas superficiales a lo largo de la calzada tanto en pavimentos rígidos como lo son: grietas de esquina y transversales y en pavimentos flexibles: piel de cocodrilo, descascaramiento y baches.

En relación a la Tabla 1. Criterios de selección de espesor para capas de refuerzo de hormigón (Whitetopping), la Figura 28. Estado malla vial calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte y las fallas superficiales nombradas anteriormente, se concluye:

- Para el pavimento rígido existente en la calzada en estudio, la aplicación de una capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de espesor de losa de hormigón de 50 – 125 mm.
- Para el pavimento flexible existente en la calzada en estudio, la aplicación de una capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de espesor de losa de hormigón de 50 – 150 mm.

8. CONCLUSIONES

A partir de la elaboración del estado del conocimiento se concluyó que las tecnologías de rehabilitación en concreto en los diferentes proyectos viales traen grandes oportunidades de mejora y desarrollo de la red vial. Es por ello que la implementación e inversión de estas técnicas en la malla vial arterial en Bogotá, la cual es un elemento fundamental para la movilidad de los ciudadanos permitirán mejorar la calidad y rendimiento del servicio.

La técnica whitetopping resulta ser una idea innovadora y sustentable a la hora de llevar a cabo la rehabilitación de pavimentos, aunque implica un alto costo de construcción trae consigo ahorros significativos en mantenimientos, todo esto brindando grandes beneficios a lo largo de la vida útil de diferentes proyectos viales.

La técnica Concreto compactado con Rodillo resulta ser una alternativa aplicable en los diferentes proyectos viales de la malla vial arterial de la ciudad de Bogotá, debido a sus grandes beneficios como son la resistencia y la durabilidad frente a diferentes solicitudes de tránsito.

A partir de los criterios de las diferentes variables para el diseño de la implementación de dichas técnicas se requiere conocer el estado actual de la calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo, de acuerdo con el análisis y las observaciones realizadas se logra concluir:

El tramo vial que comprende esta calzada esta un 43% en buen estado y un 57% en estado regular con una superficie de 87% en pavimento rígido, un 7% en pavimento mixto y un 6% en pavimento flexible.

Se observa fallas superficiales a lo largo de esta calzada, tanto en pavimentos rígidos como lo son: grietas de esquina y transversales, en pavimentos flexibles: piel de cocodrilo, descascamiento y baches.

Los recursos destinados para el mantenimiento y rehabilitación para la malla vial arterial de la ciudad de Bogotá son de manera limitada, lo que ocasiona intervenciones intermitentes e incompletas en las calzadas del sistema.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguirre, J. L. (2014). *Estudio descriptivo de la Tecnología del Concreto Compactado con Rodillo y su aplicabilidad en Pavimentos*. Obtenido de https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/u/1/?ui=2&ik=f58230d8fa&attid=0.1&permmsgid=msg-f:1676138405555641397&th=1742d6ffd1889c35&view=att&disp=inline&realattid=f_kec3qb760&saddbat=ANGjdJ9LiZarupJyu-NfhX9OYHutruqbGGz_eoXwGTI_cmqtsjHsbDEFh
- Arroyo Hilton , N. F. (2012). *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos (Tesis de Licenciatura- Facultad de Ingeniería)*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- ASOCRETO. (s.f.). *Especificaciones para Pavimento de Concreto Hidraulico*. (IDU, Editor)
Recuperado el 26 de Agosto de 2020
- Bonilla, L., & Garcia, A. (2009). *Pavimentos en Concreto Compactado con Rodillo en minas a cielo abierto*. Obtenido de <file:///C:/Users/JUAN/Downloads/PAVIMENTOS%20EN%20CONCRETO%20COMPACTADO%20CON%20RODILLO%20EN%20MINAS%20A%20CIELO%20ABIERTO%20LEYDI%20CAROLINA%20BONILLA%20RODRIGUEZ%20ANDREINA%20SUSANA%20GARCIA%20PINTO.pdf>
- Braz, D., Almeida, P., Motta, L., Barroso, R., & Lopes, R. (21 de Agosto de 2007). Study of the concrete overlay (whitetopping) in paving using computed tomographic system. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors, and Associated Equipment*, 579(1), 510-513.
- Castaño , D. (2018). *XVII Reunión del CONCRETO- El evento del cemento, el Concreto y los Prefabricados* . Bogota D.c.
- CEMEX. (2014). *Catálogo Soluciones CEMEX*. Obtenido de <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757403/catalogo-soluciones.pdf/ae4fba75-5a33-45f8-7aa9-1bbf44884736>
- CEMEX. (2020). *Ficha Técnica Concreto compactado con rodillo*. Obtenido de <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/49991047/ficha-compactado-con-rodillo.pdf/1a26ee14-054c-c2cb-4325-dfab2cc5407e>
- CIPRIANO. (2020). *Conoce la importancia y las ventajas de los pavimentos de concreto* . Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/importancia-y-ventajas-del-pavimento-en-concreto>
- CPTechCenter. (2015). *Guía para Capas de Refuerzo con Hormigón: Soluciones sustentables para capas de refuerzo y rehabilitación de pavimentos existentes (3era Edición ed.)*. (I. R. W, Trad.)

- https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2018/08/Overlays_3rd_edition_Spanish.pdf.
Obtenido de
https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2018/08/Overlays_3rd_edition_Spanish.pdf
- Dinero. (2016). *Malla vial de Bogotá, todo un caos*. Obtenido de
<https://www.dinero.com/pais/articulo/malla-vial-bogota-mal-estado-falta-ejecucion-recursos/188533>
- Elsevier. (2020). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com>
- Elsevier. (2020). *Scopus*. Obtenido de www.scopus.com
- Espinoza, M. (2016). Capas de refuerzo con hormigón adheridas como alternativa para la rehabilitación de pavimentos asfálticos. *Revista Infraestructura Vial*, 17(30), 40-49.
- Garnier, V., Corneloup, G., Sprauel, J., & Perfumo, J. (22 de Febrero de 1995). Setting time study of rolled compacted concrete by spectral analysis of transmitted ultrasonic signals. *NDT & E International*, 28(1), 15-22.
- Garzón, A., & Hernandez, L. (2018). *Cartilla-Guia Ilustrativa del proceso constructivo de un Pavimento flexible para bajos volúmenes de Tránsito*. Obtenido de
<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CARTILLA.pdf>
- GCC. (2020). *Ficha Técnica Whitetopping*. Obtenido de <https://www.gcc.com/wp-content/uploads/2020/08/FT-Concreto-Whitetopping-0817.pdf>
- Gisi, A. J. (1987). In-Depth look at concrete pavement rehabilitation. *Public Works*, 75-77.
- Gong, H., Sun, Y., & Huang, B. (2019). Estimating asphalt concrete modulus of existing flexible pavements for mechanistic-empirical rehabilitation analyses. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Article number 04019252.
- Ibbs, C., Harvey, J., & Roesler, J. (2000). Construction productivity and constraints for concrete pavement rehabilitation in urban corridors. *Transportation Research Record*, 13-24.
- ICPC, Ministerio Transporte, & INVIAS. (2020). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. Obtenido de
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentos-de-concreto-para-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file>
- IDECA. (2019). *Mapas Bogotá*. Obtenido de <https://mapas.bogota.gov.co>
- IDU. (1999). *Contrato de obra IDU-616-1999*. Rehabilitación en sobrecarpeta de concreto (Whitetopping) de la vía a la Calera desde la Avenida Circunvalar hasta Patios. (Km 0+000 al Km 6+000)., BOGOTÁ D.C.

- IDU. (2005). *Contrato de Obra IDU-94-2005*. DIAGNÓSTICO, MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIÓDICO DE LA MALLA VIAL ARTERIAL PRINCIPAL Y MALLA VIAL COMPLEMENTARIA DISTRITO DE MANTENIMIENTO 11 FASE 3, CORREDORES VIALES SEGMENTADOS EN BOGOTÁ D.C., BOGOTÁ D.C.
- IDU. (2013). *Contrato de Obra IDU-1705-2013*. OBRAS Y ACTIVIDADES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL RURAL EN EL GRUPO 1- ZONA NORTE FASE I-2013, A PRECIOS UNITARIOS CON AJUSTE EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C., BOGOTÁ D.C.
- IDU. (2014). *Boletín de prensa*. Obtenido de <https://www.idu.gov.co/blog/boletin-de-prensa-idu-1>
- IDU. (2017). *Contrato de Obra IDU-1387 de 2017*. EJECUTAR A PRECIOS UNITARIOS Y A MONTO AGOTABLE, LAS ACTIVIDADES NECESARIAS PARA LA EJECUCIÓN DE OBRAS DE CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL ARTERIAL TRONCAL Y LA MALLA VIAL QUE SOPORTA LAS RUTAS DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO – SITP, GRUPO 3, BOGOTÁ D.C.
- IDU. (2017). *Contrato de Obra IDU-1474-2017*. EJECUTAR A PRECIOS UNITARIOS Y A MONTO AGOTABLE, LAS ACTIVIDADES Y OBRAS REQUERIDAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL RURAL PRINCIPAL, EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C., BOGOTÁ D.C.
- IDU. (2019-II). *Estadísticas Malla Vial de Bogotá*. SUBDIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO URBANO- DIRECCIÓN TÉCNICA ESTRATÉGICA, BOGOTÁ D.C.
- IDU. (2020). *Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C.* Obtenido de https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/Transparencia/Informacion%20de%20interes/SIIPVIALES/Innovacion%3%B3n/Portafolio/2020/ET-IC-01-Especificaciones-tecnicas-generales/750-18%20WHITE-TOPPING_2.pdf
- IDU. (14 de Octubre de 2020). *Sistema de Información de Precios 2020-I*. Obtenido de Base de Precios Vigente: <https://www.idu.gov.co/page/siipviales/economico/portafolio>
- INVIAS. (2018). *Glosario de Manual de diseño geométrico de carreteras*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/glosarios/1017-glosario-manual-diseno-geometrico-carretera/file>
- León, F., Herrera, J., Gómez, J., & Reyes, F. (29 de Agosto de 2012). Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C. *Infraestructura Vial*, 11(22), 20-25. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/1730>
- Li, W., Zhang, Q., Zhi, Z., Feng, C., Cai, Y., & Yue, J. (2019). Investigation on the fracture mechanism of homogenized micro-crack crushing technology for portland cement concrete pavement rehabilitation. *AIP Advances*, Article number 075113.

- Londoño, E. (2020). *Concreto Compactado con rodillo* . Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-compactado-con-rodillo-1#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20Concreto%20Compactado,compactado%20con%20un%20rodillo%20vibratorio>.
- López Carreño, R. D., Pialarissi Cavalaro, S. H., Pujadas Álvarez, P., & Aguado, A. (SEPTIEMBRE-OCTUBRE de 2017). Innovaciones y avances en el ámbito de los pavimentos urbanos para smart cities. *Revista Técnica CEMENTO HORMIGÓN*(982), 72-79.
- López, I. S. (Febrero de 2017). Construcción y tecnología en concreto . *REVISTA CYT*, 6(11).
- McCullough, B. (1987). Development of a distress index and rehabilitation criteria for continuously reinforced concrete pavements using discriminant analysis. *Transportation Research Record*, 76-82.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos* (2da ed.). Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Ingenieria%20de%20Pavimentos.pdf>
- MOPC. (2016). *Identificación de Fallas en Pavimentos y Técnicas de Reparación*. Obtenido de <http://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identificaci%C3%B3n-fallas.pdf>
- Morales, J. (2004). Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto utilizando sobrecapas de Refuerzo . *Tesis de pregrado*. Universidad de PIURA, Perú.
- Motta Letona, S. (2018). *Manual para el Diseño, producción y colocación de Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo en Guatemala (Tesis de pregrado)*. UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR, GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN.
- Movilidad, S. (2019). *Encuesta de Movilidad 2019*. Obtenido de https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/22-04-2020/20191216_presentacion_encuesta_v2.pdf
- Nili, M., & Zaheri, M. (Abril de 2011). Deicer salt-scaling resistance of non-air-entrained roller compacted concrete pavements. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1671-1676.
- Oliveira, F. (6 de marzo de 2019). *Whitetopping* . Obtenido de <https://www.construccionlatinoamericana.com/whitetopping/137253.article>
- Rivera, J. (5 de Diciembre de 2015). "La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país". Obtenido de <http://udep.edu.pe/hoy/2015/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/>
- Rocha Pitta, M. (2020). *Estado del Arte de los Pavimentos de CCR*. Obtenido de http://web.asocem.org.pe/asocem/bib_img/61658-8-1.pdf

- SIGIDU. (2019). *Seguimiento de Proyectos* . Obtenido de <https://idu.maps.arcgis.com>
- Stacy, W. (Noviembre de 2013). *Concreto compactado con rodillos*. Obtenido de https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND13/c0945_spnd13.html
- Suksawang, N., Alsabbagh, A., Shaban, A., & Wtaife, S. (20 de Abril de 2020). Using post-cracking strength to determine flexural capacity of ultrathin whitetopping (UTW) pavements. *Construction and Building Materials*, 240 .
- TOXEMENT. (2020). *Guía básica para el Concreto Compactado con Rodillo - CCR*. Obtenido de <http://www.toxement.com.co/media/3371/concreto-compactado-con-rodillo.pdf>
- UNAL , & INVIAS. (Octubre de 2006). *Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles*. Obtenido de file:///F:/MANUAL%20INSPECCION%20VISUAL%20PAV%20FLEXIBLE%20.pdf
- UNAL, & INVIAS. (Octubre de 2006). *Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Rígidos*. Obtenido de file:///F:/manual%20inspeccion%20pav%20origidos.pdf

10. ANEXOS

10.1. Registro Fotográfico

A continuación, se anexa registro adicional de la inspección visual realizada a la calzada en estudio

Figura 32

Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 1 de 6



Fuente: Elaboración propia

Figura 33

Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 2 de 6



Fuente: Elaboración propia

Figura 34

Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 3 de 6



Fuente: Elaboración propia

Figura 35

Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 4 de 6



Fuente: Elaboración propia

Figura 36

Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 5 de 6



Fuente: Elaboración propia

Figura 37

Daños calzada de Transmilenio entre estación Quiroga y estación Restrepo sentido sur-norte 6 de 6



Fuente: Elaboración propia