

**ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LOSAS
DE PAVIMENTOS DE JPCP Y JRCP MEDIANTE CONCRETO
HIDRÁULICO EXTRUIDO**

**DIANA CAROLINA HERRERA OLIVERA
KEVIN NICOLÁS BARRETO HERRERA**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN APLICADA EN DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT- COLOMBIA
2019**

**ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE LOSAS
DE PAVIMENTOS DE JPCP Y JRCP MEDIANTE CONCRETO
HIDRÁULICO EXTRUIDO**

**DIANA CAROLINA HERRERA OLIVERA
KEVIN NICOLAS BARRETO HERRERA**

**TRABAJO REALIZADO A MANERA DE MONOGRAFÍA, PARA OPTAR
POR EL TÍTULO DE INGENIEROS CIVILES**

**Tutor
JULIAN ANDRÉS PULECIO DÍAZ
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN APLICADA EN DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO
FACULTAD INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERA CIVIL
GIRARDOT- COLOMBIA
2019**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Girardot, 15 de julio de 2019

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado primeramente a Dios que nos dio la vida y fortaleza para terminar este proyecto de grado, luego a nuestros padres que fueron nuestros maestros de vida y nos apoyaron incondicionalmente; después a las personas que más nos influenciaron en nuestras vidas, dándonos los mejores consejos, guiándonos y haciéndonos personas de bien.

AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos al ingeniero Julián Andrés Pulecio Díaz, nuestro director de proyecto, quien con su tiempo nos aportó el conocimiento necesario para el desarrollo de este trabajo de grado.

También agradecemos a nuestros profesores de carrera, personas de gran sabiduría quienes nos ayudaron durante el camino con sus conocimientos y dedicación.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
GLOSARIO	11
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
1. PROBLEMA	17
1.1 PLANTEAMIENTO	17
1.2 DESCRIPCIÓN	18
1.3 FORMULACIÓN	18
1.4 PREGUNTAS GENERADORAS	19
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. JUSTIFICACIÓN	21
4. MARCO REFERENCIAL	23
4.1 MARCO HISTÓRICO	23
4.1.1 Tradición y trayectoria de los pavimentos de concreto.	23
4.2 MARCO TEÓRICO	24

4.2.1 Referentes conceptuales objeto de análisis.	24
4.2.2 Características De Los Pavimentos De Concreto	26
4.2.3 Aspectos Técnicos.	27
4.2.4 Calidad De Los Agregados	28
4.2.5 Aspectos Ambientales	29
4.2.6 Costos De Construcción Y Conservación	29
4.2.7 Definición De Variables	29
4.3 MARCO LEGAL	33
4.4 MARCO CONTEXTUAL	34
5. DISEÑO METODOLÓGICO	36
5.1 POBLACIÓN	36
5.2 TIPO DE ESTUDIO	36
5.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	36
6. PRODUCTOS E IMPACTOS	42
7. RECURSOS	43
7.1 HUMANOS	43
7.2 ECONÓMICOS Y TÉCNICOS	43
8. CONCLUSIONES	44
9. RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Categorías de tránsito para la selección de espesores-	30
Cuadro 2. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia-	31
Cuadro 3. Materiales de soporte para el pavimento de concreto y de valores de resistencia a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura) –	32
Cuadro 4. Variables y su representación.	32

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Especificidades JPCP – JRCP.	28
Figura 2. Ensayo CBR -	33

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Cartilla	49

GLOSARIO

PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO: “el pavimento de concreto hidráulico está compuesto por una losa de concreto en la parte superior de una base sobre una subrasante”. (DÍAZ GUTIEEREZ EDNA ROCIO; ROJAS QUIROGA MIGUEL ANDRES, 2018)

SUBRASANTE: “se trata del suelo natural que soporta las cargas transmitidas a través de las capas superiores de una estructura. Concepto aplicado al contexto de los pavimentos”. (DÍAZ GUTIEEREZ EDNA ROCIO; ROJAS QUIROGA MIGUEL ANDRES, 2018)

SUB-BASE: “capa principal de la estructura de pavimento ubicada entre la subrasante y la capa de rodadura. Tiene como propósito distribuir las fuerzas generadas por las cargas a través de la subrasante”. (DÍAZ GUTIEEREZ EDNA ROCIO; ROJAS QUIROGA MIGUEL ANDRES, 2018)

JUNTAS: “son parte importante de los pavimentos rígidos y se realizan con el fin de controlar los esfuerzos que se presentan en el concreto como consecuencia de los movimientos de contracción y de dilatación de material y a los cambios de temperatura y humedad”. (DÍAZ GUTIEEREZ EDNA ROCIO; ROJAS QUIROGA MIGUEL ANDRES, 2018)

JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT (JPCP) En Ingles:

El pavimento de concreto de concreto liso articulado usa juntas de contracción para controlar el agrietamiento y no usa acero de refuerzo. El espaciado de las juntas transversales se selecciona de manera que las tensiones de temperatura y humedad no produzcan grietas intermedias entre las juntas. Las losas generalmente tienen un ancho de carril es decir, 3.7 m (12 pies) y 6.1 m (20 pies), las barras de pasador se utilizan normalmente en las juntas transversales para ayudar en la transferencia de carga. Las barras de unión se utilizan típicamente en juntas longitudinales. (Interactive, 2018)

JOINTED REINFORCED CONCRETE PAVEMENT (JRCP) En Ingles:

usa juntas de contracción y acero de refuerzo para controlar el agrietamiento. El espaciado de la articulación transversal es más largo que el de JPCP y por lo

general varía entre aproximadamente 7,6 m (25 pies) y 15,2 m (50 pies). Se espera que las tensiones de temperatura y humedad causen grietas entre las juntas, por lo tanto, se utiliza acero de refuerzo o una malla de acero para mantener estas grietas muy juntas. Las barras de clavija se usan típicamente en las juntas transversales para ayudar en la transferencia de carga, mientras que la malla de acero / alambre de refuerzo ayuda a la transferencia de carga a través de las grietas. (Interactive, Jointed Reinforced Concrete Pavement, 2018)

PAVIMENTO RÍGIDO: “se define como pavimento rígido a la losa de concreto simple o armado, apoyada sobre una subbase y una base. En virtud a su rigidez y elasticidad, esta estructura absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, produciendo una distribución correcta” (BERNAOLA, 2014).

PASAJUNTAS: “Las barras pasajuntas son barras de acero lisas las cuales no se debe de adherir el concreto, permitiendo el libre movimiento de losas horizontalmente. Las barras pasajuntas tienen como objetivo transferir parte de carga aplicada en una losa a la siguiente losa en juntas transversales de contracción y construcción con base en aforos vehiculares o tránsito de vehículos pesados”. (DÍAZ, 2018)

RESUMEN

La presente investigación, realiza un análisis del procedimiento constructivo de losas de pavimentos de JPCP Y JRCP mediante concreto hidráulico extruido. Para su aplicación, se ha generado una revisión de los principales elementos técnicos y metodológicos que son utilizados para la construcción de este tipo de estructuras, el paso a paso de su desarrollo; además de la revisión de sus ventajas, desventajas y pertinencia en el marco del desarrollo vial colombiano.

Del mismo modo, el análisis traza el reconocimiento de un marco de referencia que permite entender planteamientos teóricos, conceptuales, contextuales y legales sobre la calidad de las obras civiles en este campo; la metodología de aplicación, la cual luego es ilustrada en una cartilla sobre proyectos con pavimentos de concreto hidráulico extruido, diferenciando las características de JPCP y JRCP.

Finalmente, el proceso agrega al procedimiento constructivo específico, los diversos elementos técnicos, materiales, equipos, métodos y recomendaciones para el éxito en la implementación de losas de pavimentos de JPCP Y JRCP mediante concreto hidráulico extruido; como parte del proceso de aprendizaje y reflexión en el marco institucional del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia.

ABSTRACT

The present investigation, performs an analysis of the construction process of pavement slabs of JPCP and JRCP using extruded hydraulic concrete. For its application, a review has been generated of the main technical and methodological elements that are used for the construction of this type of structures, the step by step of their development; in addition to the review of its advantages, disadvantages and relevance in the context of Colombian road development.

In the same way, the analysis traces the recognition of a frame of reference that allows to understand theoretical, conceptual, contextual and legal approaches on the quality of civil works in this field; the methodology of application, which is then illustrated in a didactic book about projects with extruded hydraulic concrete pavements, differentiating the characteristics of JPCP and JRCP.

Finally, the process adds to the specific constructive procedure, the various technical elements, materials, equipment, methods and recommendations for the successful implementation of JPCP and JRCP paving slabs through extruded hydraulic concrete; as part of the learning and reflection process in the institutional framework of the Civil Engineering program of the Piloto de Colombia University.

INTRODUCCIÓN

El presente documento, tiene como propósito analizar los procedimientos constructivos de losas de pavimentos de concreto simple JPCP y reforzado JRCP, mediante concreto hidráulico extruido; sus características y ventajas. Ello con el ánimo de evidenciar los beneficios de implementar este tipo de estructuras innovadoras en los proyectos de construcción de losas de pavimentos de concreto en el país, entendiendo que son bastante desconocidas aun para el Ingeniero Civil colombiano.

Este interés nace de la comprensión de que para el Ingeniero Civil es clave el estudio de los pavimentos de concreto, uno de los contextos en los que mayor incidencia tiene el trabajo de la disciplina en regiones como la del Alto Magdalena. Es evidente que, por décadas, el uso de estos pavimentos rígidos ha generado diferentes problemas patológicos que han afectado la calidad de las vías y han dejado ver la necesidad de examinar, analizar y proponer nuevas y diferentes formas de construcción vial para dar solución a sus afectaciones, entendiendo además el aumento considerable del volumen de tránsito producto del crecimiento del parque automotor.

En la cotidianidad, es común que al recorrer las vías se encuentren lesiones que evidencian ejecuciones erróneas o el uso de materiales de baja calidad en la estructura del pavimento de concreto. Este deterioro prematuro de las vías, es un problema considerado como grave por la comunidad en general; los usuarios de las vías se ven afectados en su capacidad de movilidad y en la afectación del presupuesto público, al notar un permanente reproceso en la construcción y mantenimiento de vías. Ello hace que también la percepción sobre el trabajo de los ingenieros civiles sea afectada y juzgada de forma negativa.

Por otra parte, el estudio que se presenta, revisa las necesidades de avance significativo e innovador en el tema de pavimentos de concreto, describiendo de manera clara e ilustrativa la implementación de procesos constructivos con el concreto. Para ello, se propone la generación de una herramienta de revisión, comprensión y aplicación de este concreto, de tal modo que el ingeniero civil de la región pueda encontrar un referente de calidad, aplicable y que observe tanto la calidad, como los materiales para la construcción, el uso de herramientas idóneas y aspectos de seguridad de la actividad constructiva.

Al respecto, el Instituto Nacional de Vías INVIAS (INVIAS, 2007) ha publicado manuales para el diseño de pavimentos de concreto para vías de bajos, medianos

y altos volúmenes de tránsito como el Manual de diseño de pavimento rígido. Estos documentos presentan los parámetros sobre variables que influyen en el comportamiento, especificaciones sobre el espesor de las capas de concreto, características de competitividad, análisis sobre dimensiones de losas y propiedades a tener en cuenta para la selección del concreto para pavimento rígido; todos ellos parámetros y orientaciones que son tenidos en cuenta en el análisis del procedimiento con JPCP y JRCP; así como en la elaboración de la cartilla.

Del mismo modo, se tiene en cuenta para este análisis, referentes como documentos sobre construcción de pavimentos de concreto y de las prácticas de construcción de estos pavimentos publicados en las normas técnicas colombianas y alimentadas por documentos orientadores producidos por reconocidas empresas del sector, insumos que permiten alimentar el análisis sobre el uso de materiales, procedimientos y aprendizajes alcanzados en experiencias de aplicación exitosa en otros contextos del país. Ello a fin de poder comparar los procesos constructivos JPCP y JRCP, para así aportar precisiones sobre las características del pavimento de concreto en el país. De esta manera, se aborda el desarrollo desde la siguiente descripción del problema.

1. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO

Durante la observación de los procesos constructivos de la infraestructura vial, específicamente en las prácticas de construcción de pavimentos de concreto, se evidenció qué en diversas regiones, como la del Alto Magdalena, prolifera el uso de técnicas de construcción con equipos de mediano rendimiento; e incluso aún se realizan procedimiento de construcción manual, nivelados mediante herramientas básicas y con largos tiempos de ejecución.

El uso de equipos de alto rendimiento, como las formaletas deslizantes, utilizadas en los procesos constructivos JPCP (Jointed Plain Concrete Pavement) y JRCP (Jointed Reinforced Concrete Pavement), es muy limitado y solo se evidencia su proliferación en las ciudades capitales. Ello a pesar de que algunos de los principales problemas identificados en el desarrollo vial de las regiones, como el manejo de los tiempos de interrupción del tránsito y el impacto ambiental, pueden ser mitigados con el uso de este tipo de procedimientos.

Al respecto, se puede indicar que este proceso constructivo, poco utilizado en obras civiles de pavimentación de vías e incluso poco conocido en municipios y regiones, ahorra un importante porcentaje del agua utilizada en la construcción de pavimentos de concreto; reduce casi a la mitad los tiempos de las obras; optimiza el uso de los materiales, desde la preparación del terreno, hasta el transporte y tratamiento del concreto; reduce el número de trabajadores requeridos, lo que ayuda a mitigar el costo, considerado por los contratistas como elevado, del uso de formaletas deslizantes.

Por otra parte, se evidencian en las vías de las regiones diversos tipos de daños y lesiones que hacen difícil el tránsito y generan daños en los vehículos, ello como producto de las afectaciones ambientales, del suelo o del uso incorrecto de las técnicas o de la selección de materiales; problemas que pueden ser resueltos con mayor facilidad, desde la implementación los procesos constructivos JPCP y JRCP, pues por sus características procedimentales, se alcanza una losa de pavimento de mayor durabilidad, cuyos cortes, juntas y el sellado mismo del concreto, ayudan a que se conserve por más tiempo.

En el proceso constructivo con JRCP, además, las características de reforzamiento de las losas de pavimento, llevan a un incremento significativo de la vida útil de la losa y a un mayor soporte a las cargas pesadas de tránsito de

vehículos. De allí que su implementación haya sido un éxito en países de Latinoamérica como México, Perú y Argentina, mencionando países de similares características geográficas y ambientales de Colombia; sin dejar de lado su impacto positivo y su proliferación de las últimas décadas en los procesos constructivos de países como Estados Unidos y gran parte de Europa, en los que JPCP y JRCP son procesos constructivos incluso estandarizados para su contexto vial.

1.2 DESCRIPCIÓN

La presente investigación se requiere como alternativa para realizar una estructuración de alta calidad, generando un análisis del procedimiento constructivo de losas de pavimentos JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico extruido ya que es necesario en la actualidad para generar mejoramiento de las obras civiles para la comunicación terrestre.

Se describe la existencia de por lo menos dos fenómenos en el desarrollo del proceso constructivo de las vías, que pueden verse modificados en forma positiva con la implementación de este tipo de estructuras JPCP (Jointed Plain Concrete Pavement) y JRCP (Jointed Reinforced Concrete Pavement):

El primero, tiene que ver con la carencia de herramientas sólidas para la planeación y ejecución de las obras, desconociendo la normatividad, los estándares, lineamientos y parámetros generados desde el Instituto Colombiano de Vías (INVIAS, 2013) para este tipo de construcciones, que deriva en vías con afectaciones patológicas importantes y en un problema que ya es considerado histórico y frecuente por parte de la ciudadanía y es que en esta región no se cuenta con una malla vial eficiente.

El segundo, se relaciona con el impacto de las obras sobre sus usuarios, puesto que la interrupción del tránsito para la construcción, mantenimiento o reparación de las vías, afecta de manera directa a quienes la utilizan para cumplir con funciones cotidianas esenciales y requieren de transporte terrestre eficiente y permanente que no afecte su movilidad.

1.3 FORMULACIÓN

¿Cuál es el procedimiento constructivo de losas de pavimentos JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico extruido?

1.4 PREGUNTAS GENERADORAS

¿Se reconocen las normas que se deben tener en cuenta para los procedimientos constructivos para las losas de pavimentos JPCP y JRCP?

¿Cuáles son los procedimientos constructivos de losas de pavimentos de concreto simple JPCP y reforzado JRCP?

¿Cuál es su procedimiento mediante concreto hidráulico extruido?

¿Cuáles son las variables de comportamiento a tener en cuenta en el proceso de construcción de estas losas?

¿Para qué implementar una cartilla ilustrativa del proceso constructivo de losas de pavimentos de concreto simple JPCP y reforzado JRCP, mediante concreto hidráulico extruido?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el procedimiento constructivo de losas de pavimentos JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico extruido con base en las especificaciones correspondientes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Identificar los procesos constructivos de los métodos JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico extruido.

- ❖ Analizar los procesos constructivos JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico extruido.

- ❖ Realizar una descripción sobre cada etapa del proceso constructivo para la elaboración de losas de pavimentos JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico extruidos.

- ❖ Comparar los métodos JPCP y JRCP en la construcción de losas de pavimentos y realizar una cartilla ilustrativa de su proceso constructivo.

3. JUSTIFICACIÓN

Para entrar a justificar la importancia de la presente investigación, es necesario tener en cuenta que el desarrollo vial es uno de los principales referentes de la calidad de vida en las ciudades y regiones. Se le reconoce como de vital importancia en el impacto de la movilidad y en el aseguramiento del cumplimiento de las labores cotidianas de los ciudadanos, de sus dinámicas socioeconómicas, de sus formas de interacción e integración; lo que hace de las vías, elementos fundamentales y vitales.

Del mismo modo, se hace relevante comprender que, frente a un tema tan vital, la Ingeniería Civil ha estudiado por décadas el desarrollo de técnicas, el manejo de materiales, la implementación de equipos y el mejoramiento sistemático de sus procesos constructivos, produciendo de manera permanente innovaciones que permiten optimizar y mejorar este contexto. Dentro de este proceso, JPCP y JRCP surgen como una alternativa de mejoramiento significativo en procesos constructivos de losas de pavimento de concreto, que debe ser revisada de manera asertiva por el ingeniero civil.

En este mismo sentido, resulta de vital importancia abordar procesos constructivos que permitan la utilización de tecnología que, como JPCP y JRCP, mejore las condiciones de calidad, durabilidad y mantenimiento de estas vías. Así mismo, procesos que analicen factores ambientales como el uso del agua, el clima, las características del suelo; además de fenómenos como el crecimiento desmedido del número de vehículos, con la consecuencia del uso mayor de las vías.

Se agrega el hecho de que al incorporar losas de pavimentos con concreto hidráulico extruido JPCP y JRCP, se presenta una disminución en los tiempos de construcción, lo que redundará en eficiencia, economía y el disfrute de vías en buen estado de manera frecuente. Del mismo modo, se destaca el hecho de que se obtiene con esta tecnología, una estructura de mejores características en los acabados, obteniendo como resultado un concreto de poco agrietamiento por el fraguado.

Por esta razón, además del análisis propio de los procesos constructivos JPCP y JRCP, se hace necesaria la elaboración de una cartilla de los procesos constructivos para el diseño, elaboración y planeamiento de losas de pavimentos JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico extruido; esto se propone debido a que es de vital importancia la incorporación de recientes métodos para la construcción de losas de concreto e indicar cuáles son las etapas que se deberían

seguir para que dicha estructura cumpla a cabalidad con las normas de resistencia y diseño, en el contexto de los beneficios antes indicados.

Finalmente, se hace importante entender que este tipo de aportes conceptuales y teóricos, es de gran importancia para los nuevos ingenieros civiles, quienes deben alimentar una línea de análisis riguroso de las técnicas y procedimientos tradicionales, pero también explorar contextos innovadores que beneficien su accionar y amplíen su impacto social, tal como se busca con el desarrollo de este proceso investigativo.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO HISTÓRICO

4.1.1 Tradición y trayectoria de los pavimentos de concreto.

Para ubicar la historia reciente del uso de pavimentos, hasta la llegada del concreto a este tipo de estructuras, teniendo en cuenta los planteamientos de Montero (1999) se puede ubicar un inicio en el siglo XIX, en el que Inglaterra implementó una serie de leyes de pavimentación y creó un Comisionado de Pavimentación, dependiente del Parlamento del Reino Unido. Desde estos inicios, se identificó la necesidad de un mejoramiento sustancial de la red vial de los países y ciudades, como una herramienta de progreso en temas vitales como el transporte. (MONTERO, 1999)

Para ello, se evidenciaron esfuerzos en la construcción de caminos pavimentados por toda Europa, donde los primeros caminos fueron realizados a base de piedras de gran tamaño. La llegada misma de la Era Industrial del siglo XIX, conlleva a un proceso evolutivo, en el que surgió el uso primero de piedras más pequeñas, adoquines, luego la incorporación del alquitrán en muchos países de Occidente hasta la fabricación de capas asfálticas en Estados Unidos, con las que se llegó a contar con una mayor flexibilidad en el desplazamiento de los vehículos y el mejoramiento significativo del transporte liviano y de carga.

En este mismo contexto norteamericano, se identifica el uso de los pavimentos rígidos, pensado para el mejoramiento de caminos y rutas transitables para el transporte masivo. El incremento de la clasificación (livianos, pesados, entre otros) de los vehículos, sumado a la mayor demanda de transportación, aceleró el proceso de mejoramiento vial. Se identifica en este momento histórico, el aporte del escocés John Loundon Mc Adam, inventor del “*macadam*” (pequeñas gramillas de piedra y capas de rocas que permitían el drenaje del agua lluvia), un nuevo tipo de superficie, apto para soportar el peso de los renovados vehículos y transportes de carga (MONTERO, 1999).

Por su parte, el uso del concreto comienza a darse en 1905, como material para la construcción de las carreteras. Ya para 1956, países como Estados Unidos y gran parte de Europa, pudieron contar con sistemas de transporte pavimentados, en los que el uso del concreto rígido surge como un pilar y se integra al desarrollo

urbanístico, incluso hasta estos tiempos. Otros aportes a esta tecnología estructural, lo hace la utilización de betunes asfálticos para la fabricación de carreteras viales y pistas de aterrizaje. Es precisamente este contexto, entendiendo la necesidad de soportar aeronaves muy pesadas, el que acelera los estudios sobre el aprovechamiento del concreto.

“Desde finales del siglo XX y estos tiempos, han proliferado nuevas técnicas en el desarrollo de carreteras, con el uso de materiales que mejoran la adherencia y la capacidad de drenaje ante situaciones climáticas adversas; con una mayor durabilidad y con un reconocimiento de los valores económicos”. (MONTERO, 1999).

En lo que respecta a los procedimientos constructivos de losas de pavimentos JPCP (Jointed Plain Concrete Pavements) (losas con juntas) o Pavimento de Concreto Simple con Juntas. Y JRCP (Jointed Reinforced Concrete Pavements) (losas con refuerzo) o Pavimentos de Concreto Armado con Juntas se tratan de dos de los procedimientos que han empezado a revolucionar el concepto del concreto, debido a la tecnología con que se vienen aplicando.

Se destaca en estos dos tipos de pavimentos rígidos, características propias de esta evolución en el desarrollo de vías; pues se trata de estructuras construidas con concreto simple y con juntas de contracción espaciadas de manera continua; que adiciona barras de refuerzo o mecanismos de agarre para la transferencia entre capas (caso JPCP); o con características como el uso de losas reforzadas con barras de acero para aumentar el espaciamiento como en el caso del pavimento JRCP.

Hoy en día, JPCP y JRCP, representan dos de las alternativas más eficientes, económicas, durables y con menor tiempo de producción. Por ello se consideran elementos propios de la evolución y la nueva era del uso del concreto, pues junto con el CRCP (pavimento continuamente reforzado) han cambiado la forma tradicional de pavimento, para generar funcionalidad en el trabajo estructural de las vías del país.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Referentes conceptuales objeto de análisis.

El recorrido del análisis teórico de esta investigación, parte de la identificación del proceso constructivo de pavimento de concreto hidráulico. Se señala que este tipo de pavimento está compuesto por

una losa de concreto en la parte superior de una base sobre una subrasante. Para el caso del pavimento rígido a la losa de concreto simple o armado, se usa un apoyo sobre una sub-base y una base. En virtud a su rigidez y elasticidad, esta estructura absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, produciendo una distribución correcta y dinámica. (BERNAOLA, 2014).

En cuanto a la subrasante, se menciona que es en efecto el mismo suelo natural, que tiene la función de soportar las cargas transmitidas a través de las capas superiores de la estructura. El proceso constructivo requiere de una sub-Base, que es la capa principal de la estructura de pavimento ubicada entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa tiene como propósito distribuir las fuerzas generadas por las cargas a través de la subrasante.

“Por su parte, se revisa el concepto de Juntas, las cuales son parte importante de los pavimentos rígidos y se realizan con el fin de controlar los esfuerzos que se presentan en el concreto como consecuencia de los movimientos de contracción y de dilatación de material y a los cambios de temperatura y humedad”. (DÍAZ GUTIEERREZ EDNA ROCIO; ROJAS QUIROGA MIGUEL ANDRES, 2018)

“Se describe también el uso de barras pasajuntas, que están hechas de acero liso, las cuales no se debe de adherir el concreto, permitiendo el libre movimiento de losas horizontalmente. Las barras pasajuntas tienen como objetivo transferir parte de carga aplicada en una losa a la siguiente losa en juntas transversales de contracción y construcción con base en aforos vehiculares o tránsito de vehículos pesados”. (DÍAZ, 2018)

Del mismo modo, se analiza el JPCP, Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP). De éste se indica que se trata de pavimento de concreto liso articulado que usa juntas de contracción para controlar el agrietamiento y no usa acero de refuerzo. El espaciado de las juntas transversales se selecciona de manera que las tensiones de temperatura y humedad no produzcan grietas intermedias entre las juntas.

“En este proceso constructivo, las losas generalmente tienen un ancho de carril, es decir, 3.7 m (12 pies) y 6.1 m (20 pies), las barras de pasador se utilizan normalmente en las juntas transversales para ayudar en la transferencia de carga. Del mismo modo, las barras de unión se utilizan típicamente en juntas longitudinales”. (Interactive, 2018)

Por su parte con JRCP, si se usan juntas de contracción y acero de refuerzo para controlar el agrietamiento. El espaciado de la articulación

transversal es más largo que el de JPCP y por lo general varía entre aproximadamente 7,6 m (25 pies) y 15,2 m (50 pies). Se espera que las tensiones de temperatura y humedad causen grietas entre las juntas, por lo tanto, se utiliza acero de refuerzo o una malla de acero para mantener estas grietas muy juntas. Las barras de clavija se usan típicamente en las juntas transversales para ayudar en la transferencia de carga, mientras que la malla de acero / alambre de refuerzo ayuda a la transferencia de carga a través de las grietas. (Interactive, Jointed Reinforced Concrete Pavement, 2018).

Se considera que estos dos tipos de pavimento rígido son técnicamente más completos que los construidos manualmente o con equipos de mediano rendimiento como reglas y rodillos vibratorios. JPCP, JRCP, sumados al CRCP, proceso mecanizado donde se eliminan las juntas de contracción, se pueden definir como los procesos constructivos disponibles en Colombia, más eficientes para pavimentos de concreto.

Sin embargo, su conocimiento no es aún muy difundido en el país. Por una parte, esto se debe a lo novedoso del proceso, puesto que se trata entre otras interesantes características técnicas, de la disposición de mecanismos de agarre para transferir la carga de una capa exterior a otra interior (JPCP); y de la ampliación del espaciamiento entre las juntas (JRCP); particularidades que no han sido observadas, planeadas y experimentadas por muchos de los contratistas de las obras viales en las regiones.

En el mismo sentido, se ha apreciado dentro de los proyectos viales en las regiones, que técnicamente, en el refuerzo de las losas con barras de acero (JRCP) no se aumenta la capacidad portante de la losa de concreto y por ello parece un proceso innecesario o inútil; pero ello es compensado con la posibilidad de tener juntas espaciadas incluso a 30 metros.

Otro elemento a revisar, es la carga económica mayor que implica el uso de la formaleta deslizante y que es vista por los ingenieros de vías como una limitante. Sin embargo, ello es compensado con características de construcción que permiten un acabado duradero, un fácil proceso de sellado y un ahorro de tiempo considerable, frente a las otras tipologías que pueden lucir más económicas, pero que generalmente son obras que se ven expuestas a diferentes tipos de riesgo.

4.2.2 Características De Los Pavimentos De Concreto. “De acuerdo con Argos (2016), se describe un pavimento de concreto como una estructura orientada a disipar eficientemente las solicitaciones del tránsito. Como una de sus principales características está su rigidez, gracias a la cual se distribuye en áreas mayores la

presión ejercida por el peso de los vehículos, con lo que se disminuyen los esfuerzos inducidos sobre las capas de soporte”. (Cementos ARGOS, 2016).

“Por estas condiciones, se tiene la ventaja con ellos de que se logran superficies durables, cómodas para los usuarios y económicas en su desempeño; más si se tiene en cuenta que hoy para su construcción se utilizan equipos de alto rendimiento, como pavimentadoras con formaleta deslizante (Caso JPCP y JRPC); o reglas y rodillos vibratorios. De acuerdo con Portland Cement Association, este tipo de pavimentos ofrecen además una alta resistencia al desgaste.” (PCA, 1992)

Para el correcto aprovechamiento de sus características particulares, el ingeniero civil debe trabajar en la selección del tipo de pavimento, el cual se determina desde variables como criterios técnicos, fuentes materiales, idoneidad, ahorros en energía, entre otros. Es importante el estudio previo de la disponibilidad de los materiales, maquinaria y mano de obra, a fin de que se saque el mayor provecho y se logre la competitividad. Algunos factores ambientales a tener en cuenta, se presentan en siguientes apartados.

4.2.3 Aspectos Técnicos.

Como principales aspectos técnicos a tener en cuenta, Argos (2016) indica que los pavimentos en concreto se soportan sobre bases en materiales del conjunto de granulares, así como de bases tratadas o estabilizadas, asfálticas, en concreto poroso, en grava, por nombrar los más destacados. Este tipo de materiales en un país como Colombia son de fácil consecución, por lo que se puede hablar de unas condiciones positivas en cuanto a acceso a materiales en todo el país (Cementos ARGOS, 2016).

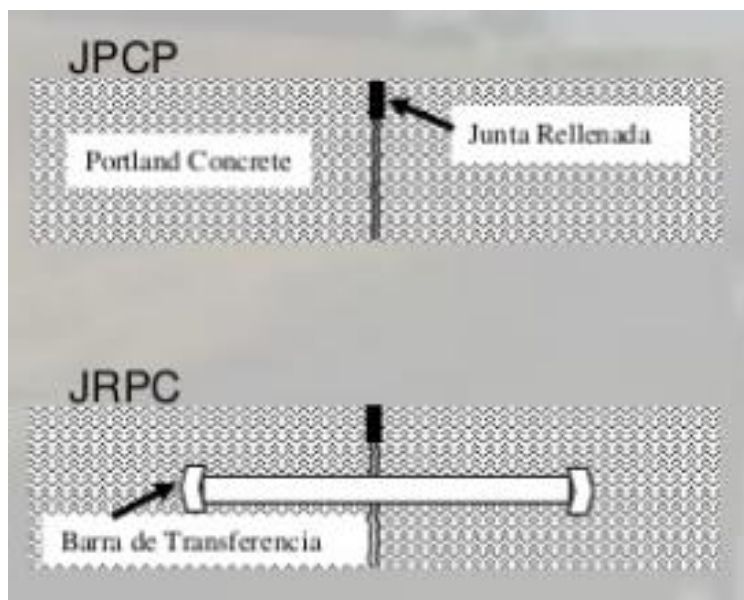
Para la construcción del pavimento es necesario iniciar con la preparación de una fundación de soporte, conocida como subrasante. El mismo documento referenciado (2016) señala que la estabilidad de este soporte (subrasante) provee el soporte de la sección del pavimento, así como la plataforma constructiva desde donde se adelanta el proyecto. Errores en este sentido, son evidenciables cuando se observan temas de durabilidad, pues es un alto generador de lesiones en las losas de pavimento.

Para su compactación, el terreno natural requiere de una serie de equipos de tipo mecánico. Señala que el suelo es humedecido hasta límites ideales, ceñido al estudio de suelos realizado previamente y se debe compactar hasta alcanzar la densidad permitida por el estándar. Es necesario recordar que para las capas granulares no se ha tenido

en cuenta la función de soporte de cargas, éstas son ubicadas con el fin de brindar apoyo homogéneo y continuo a las losas de concreto. Problemas de compactación permiten la aparición de desniveles entre losas, su deterioro e incluso el quiebre de estas losas.

Del mismo modo, agrega el documento que una de las funciones principales de este proceso es lograr la separación de la subrasante; de tal manera que se pueda prevenir el bombeo de material fino. Para ello, el uso de bases estabilizadas proporciona una plataforma de pavimentación rígida y un soporte uniforme para el pavimento (VILLANUEVA, 2019).

Figura 1 Especificidades JPCP – JRCP.



Fuente: Villanueva, M Ronald. Pavimento Rígido. (2015)

Finalmente, como elemento técnico clave está la distribución de las juntas, en la cual se debe considerar que la estructura es de alta rigidez, por lo que se produce mayor restricción por fricción de las losas de concreto generando un mayor alabeo, aumentando esto la posibilidad de agrietamiento aleatorio bien sea en lo longitudinal o en lo transversal.

4.2.4 Calidad De Los Agregados. “Una de las ventajas mayores de los pavimentos de concreto, es la alta gama de agregados y arenas que presentan. De acuerdo con INVIAS (2017), para ello se definen condiciones como la granulometría (E-123-07) y el contenido de arcilla (E-124-07). Además de ello,

este tipo de pavimentos también pueden construirse con agregados calizos blandos, producidos con arenas de origen silíceo”. (INVIAS, 2017)

Una de las ventajas de este tipo de concreto en la región, es la cercanía al río; puesto que se dispone de una gran variedad de agregados extraídos de sus zonas aledañas. Es de considerar que, de acuerdo con la experiencia de diversos países, los materiales extraídos de las zonas rivereñas ofrecen buena resistencia, además de una gran calidad.

4.2.5 Aspectos Ambientales. “Para tener en cuenta dentro de este ítem, INVIAS (2017) define como una variable clave en los pavimentos de concreto, la verificación de condiciones ambientales como el clima, entendiendo que este tipo de pavimentos son menos sensibles al soporte del suelo y que en climas muy cálidos hay seria variables de compresión y heterogeneidad” (INVIAS, 2017).

A pesar de ello, es de considerar que el uso de JPCP y JRPC en zonas de temperatura alta es positiva, pues estos pavimentos de concreto tienen la ventaja de que no se deforman bajo la circulación de cargas de vehículos pesados. Del mismo modo, en estas condiciones ambientales de calor y sequedad, los movimientos de las juntas son de poca monta, factor que favorece el uso de este tipo de losas.

4.2.6 Costos De Construcción Y Conservación. Los costos de construcción y conservación son un aspecto determinante para el uso de pavimentos de concreto rígido JPCP y JRPC. Es necesario entender que en las variables de costos está la construcción, el mantenimiento, la producción de insumos a nivel local, la disponibilidad de equipos y por supuesto el recurso humano para el desarrollo de los proyectos.

De acuerdo con Villanueva (2016), un aspecto a tener en cuenta en este análisis de costos de construcción y conservación, es que los gastos de mantenimiento dependen directamente de la solidez de la estructura al momento de su construcción (VILLANUEVA L. , 2016). En ello, es válido destacar que los pavimentos de concreto tienen una mayor longevidad y bajos costos de mantenimiento, siempre y cuando, se construyan con los materiales y con las técnicas correctas (INVIAS, 2007). Para el caso de los usuarios de las vías, una ventaja adicional está en el que los cierres de las vías para reparaciones son bastante cortos, por lo que las vías que cuentan con pavimentos de concreto rígidos tienen una alta disponibilidad.

4.2.7 Definición De Variables. La definición de variables se determina en los pavimentos rígidos para proyectar y construir el propósito de brindar el servicio

para el cual fue concebido y en cada etapa determinar unas condiciones de seguridad óptimas.

4.2.7.1 Tránsito y periodo de diseño. “De acuerdo con Londoño y Naranjo (citadas por Díaz 2018), las categorías de tránsito son el referente principal para la selección del espesor de las losas de pavimento de concreto. Esta variable apunta a que se dé un aprovechamiento óptimo de los materiales utilizados, se generen cambios y ajustes en los mismos; y que el periodo de diseño contemple estadísticas sobre uso de las vías”. (DÍAZ, 2018).

La siguiente tabla presenta las categorías de tránsito para la selección de espesores:

Cuadro 1. Categorías de tránsito para la selección de espesores-

Categoría	Tipo de via	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T ₀	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1'000.000
T ₁	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T ₂	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T ₃	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T ₄	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T ₅	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T ₆	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

Fuente: (INVIAS, 2007)

4.2.7.2 Subrasante. Argos (2016) indica que la variable subrasante para este tipo de losas se debe conformar una superficie lo más homogénea posible en cuanto a composición, densidad y contenido de humedad (Cementos ARGOS, 2016). Para pavimentos de concreto JPCP y JRPC, se indica que la compactación debe llegar hasta por lo menos el 95% de la densidad máxima. Igual se contempla que en zonas con deficiencia en el sistema de drenaje, se debe proveer la calzada de un sistema de drenaje (superficial y subsuperficial). De hecho, el apoyo de las losas en este tipo de estructuras debe estar siempre libre del exceso de humedad.

La siguiente tabla presenta la clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia:

Cuadro 2. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia-

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm ²)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 - 500
S3	5 - 10	500 - 1.000
S4	20 - 10	1.000 - 2.000
S5	> 20	> 2.000

Fuente: (INVIAS, 2007)

4.2.7.3 Material De Soporte.

Invias (2017), plantea una serie de condiciones técnicas como las bases granulares 8INV-330.07), las bases estabilizadas con cemento (INV-341-07). Argos (2016) define que la colocación de la base granular ofrece un apoyo continuo y uniforme a las losas. Una base con una adecuada gradación y compactada según las exigencias de diseño, mantiene su resistencia y estabilidad volumétrica bajo todas las condiciones de clima. Técnicamente, se señala que se debe manipular en forma mínima para evitar la segregación de las partículas gruesas y compactar al 100% con los equipos indicados y con la humedad óptima (INVIAS, 2017).

Se presentan a continuación las tablas de clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto y de valores de resistencia a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura)

Cuadro 3. Materiales de soporte para el pavimento de concreto y de valores de resistencia a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura) –

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base Estabilizada con Cemento

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Fuente: (INVIAS, 2007)

4.2.7.4 Equipos De Construcción. “Argos (2016), precisa que los pavimentos de concreto permiten todo tipo de tecnologías en su construcción, desde el uso Artesanal de herramienta menor, hasta el uso de grandes equipos con formaleta deslizante que pueden alcanzar rendimientos superiores a 1000 m / día” (Cementos ARGOS, 2016).

4.2.7.5 Consideradas Del Diseño. De acuerdo con el Manual referenciado, (INVIAS, 2007), las variables a considerar para los diseños son los suelos, el tránsito, la transferencia y confinamiento, el soporte y el concreto. A continuación, se muestra su representación:

Cuadro 4. Variables y su representación.

Variables y su representación				
Suelos	Tránsito	Transferencia y confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR<2)	T0 (EALS <1x10 ⁶)	D y B (Dovelas y Bermas)	SN (Subrasante)	MR1=38 MPa
S2 (2<CBR<5)	T1 (1x10 ⁶ EALS <1,5x10 ⁶)	D y No B (Dovelas y No Bermas)	BG (15 cm BG)	MR2=40 MPa
S3 (5<CBR<10)	T2 (1,5x10 ⁶ EALS <5x10 ⁶)	No D y B (No Dovelas y Bermas)	BEC (15 cm BEC)	MR3=42 MPa
S4 (10<CBR<20)	T3 (5x10 ⁶ EALS <9x10 ⁶)	No D y No B (No Dovelas y No Bermas)		MR4=45 Mpa
S5 (CBR>20)	T4 (9x10 ⁶ EALS <17x10 ⁶)			
	T5 (17x10 ⁶ EALS <25x10 ⁶)			
	T6 (25x10 ⁶ EALS <100x10 ⁶)			

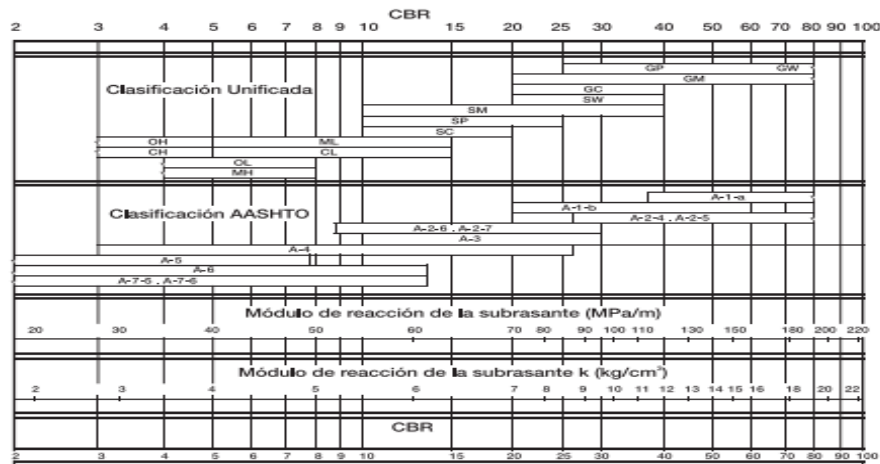
Fuente: (INVIAS, 2007)

4.2.7.6 Ensayo CBR. De acuerdo con (INVIAS, 2007), la prueba del CBR es un ensayo normalizado (Norma INV-E 148-07, AASHTO T193), en el que el

ingeniero: “con un vástago penetra, en el suelo compactado en un molde, con una presión y a una velocidad controlada; se establecen un conjunto de penetraciones prefijadas y se determina la presión ejercida correspondiente a cada una de ellas”. Para este ensayo, el documento explica que el vástago tiene un área de 19,4 cm² y penetra la muestra a una velocidad de 0,127 cm/min.

El ensayo define que el valor relativo de soporte (CBR) se expresa en términos de porcentajes y éste se define como se explica en el documento: “como la relación entre la carga unitaria aplicada que produce cierta deformación en la muestra de suelo requerida, para producir igual deformación en una muestra patrón”. (INVIAS, 2007) A continuación, se representa:

Figura 2. Ensayo CBR -



Fuente: (INVIAS, 2007)

4.3 MARCO LEGAL

Como principal referente legal del presente documento está el “Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito”, del Instituto Nacional de Vías INVIAS (2007), donde se exponen los procesos de selección de pavimentos; la definición de variables; la metodología de diseño; aspectos presupuestales de construcción; y las consideraciones sobre pavimentos especiales, aplicables al contexto de Colombia (INVIAS, 2007).

Del mismo modo, el Artículo 500 – 13 del Instituto Nacional de Vías INVIAS (2013), sobre pavimento de concreto hidráulico con juntas. El documento describe los elementos conceptuales y metodológicos para “la elaboración, el transporte, la colocación y el vibrado de una mezcla

de concreto hidráulico en forma de losas, con o sin refuerzo”; así mismo, se ocupa del estudio de *“la ejecución y el sellado de juntas; el acabado, el curado y las demás actividades necesarias para la correcta construcción del pavimento de concreto hidráulico, de acuerdo con los alineamientos, cotas, secciones y espesores”* tal como son indicados en los planos del proyecto correspondiente. (INVIAS, 2013, págs. 500-1)

El Artículo precisa los elementos de la selección y requisitos de los materiales; el equipo de construcción de pavimento requerido para manejar los materiales y mezclas, así como ejecutar todas las partes del pavimento; el proceso de ejecución de los trabajos contemplado en el numeral 630.4.1 del Artículo 630; las condiciones para el recibo de los trabajos en el proceso de control; la unidad de medida del pavimento de concreto hidráulico y los ítems de pago. Todos estos, elementos tenidos en cuenta en el desarrollo de la cartilla ilustrativa. ---

4.4 MARCO CONTEXTUAL

El contexto en el que se desarrolla el presente ejercicio de análisis es el del desarrollo vial colombiano, el cual en la actualidad se viene desarrollando de una forma acelerada. En los últimos años en Colombia, se ha evidenciado la proliferación del trabajo en carreteras y vías urbanas, desde la comprensión de que se trata de un foco de desarrollo social, económico, urbanístico y cultural de ciudades y regiones.

Esta proliferación, ha permitido que el ingeniero llegue a más contextos del país donde se necesita el mejoramiento de las vías, a que se reflexione de mejor manera la importancia de la calidad en materiales y procesos constructivos; a que se tome más en serio el tema del mantenimiento y las reparaciones; además de que se piense en mecanismos para optimizar los tiempos de las obras y se ahorre de manera importante en los costos, sin sacrificar la durabilidad y la calidad.

Sin duda, el contexto colombiano también ha venido creciendo en su comprensión de la necesidad de mitigar el impacto ambiental de sus obras. Se hacen esfuerzos para proteger el agua, que en proyectos viales es utilizada en grandes cantidades y resulta muy difícil controlar o generar procesos de reutilización o proteger los vertimientos de la maquinaria. Ellos sin profundizar en el impacto que se tiene en la calidad del suelo; e incluso en los cambios que implica en la topografía urbana.

En este sentido, el uso de nuevas tecnologías en maquinaria dentro del contexto colombiano, viene siendo la respuesta a la necesidad de generar un mayor aprovechamiento del agua y de paso, pensar con mayor responsabilidad en temas como el efecto invernadero, la protección de las emisiones que contaminan el aire

y otros impactos negativos propios de la explotación de los elementos naturales utilizados como materiales de construcción.

Por ello, en el contexto de las regiones colombianas, vale la pena el incremento de oportunidades de uso de este tipo de procedimientos JPCP y JRCP, ya que con ellos se apunta a la realización de proyectos viales desde los que se puede garantizar calidad, pensando en recortar los tiempos de las obras, ajustarse a los lineamientos de protección ambiental y generar vías de una mejor calidad y durabilidad.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 POBLACIÓN

El desarrollo del presente análisis busca impactar positivamente el contexto de profesionales Ingenieros Civiles colombianos, especialmente a quienes adelantan trabajos de obras civiles en vías. En su desarrollo se analizan pavimentos de concreto hidráulico de diferentes áreas de la región del Alto Magdalena.

5.2 TIPO DE ESTUDIO

Por sus características, se trata de un estudio de tipo descriptivo, el cual parte de una observación de la realidad, una caracterización del contexto de los pavimentos de concreto hidráulico en el país, un análisis técnico, un estudio sobre el cumplimiento de la normatividad nacional vigente; terminando con la elaboración de la cartilla ilustrativa de procedimientos constructivos de losas de pavimentos de concreto JPCP y JRCP.

Del mismo modo, se describen en el estudio diferentes hallazgos en las losas de concreto y en general del proceso de construcción vial en Colombia; como ejercicio desde donde se generan reflexiones, discusiones, análisis, conjeturas, conclusiones y se toman decisiones frente a la pertinencia de los procesos constructivos con JPCP y JRCP..

5.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

El contenido de este apartado es presentar la metodología para el análisis de los procedimientos constructivos de losas de pavimentos de JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico extruido. Al respecto se señala que la construcción de este tipo de estructuras, tiene un proceso muy similar para JPCP y JRCP; se hayan dos diferencias centradas en los trabajos de refuerzo.

“Estos procesos constructivos inician entonces con la localización, trazado y replanteo. Este es el primer proceso del proyecto y parte de la realización de actividades topográficas encaminadas a localizar un proyecto vial, en el terreno para su posterior construcción. Se apoyan en los planos de diseños y en las bases de topografía empleadas previamente en el levantamiento del corredor vial”. (INVIAS, 2013).

Luego de ello, se procede al cerramiento provisional, el cual se hace con placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que “mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza; así como reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías y brindar la información necesaria para guiar a sus usuarios”. (INVIAS, 2013).

Ya con el terreno encerrado y la señalización ubicada, se realiza el proceso de demolición del pavimento existente, la cual se hace de manera total o parcial y tiene la intención de remover las estructuras de pavimento anteriores, existentes en las zonas que se indiquen en el proyecto; (Incluye cargue y retiro de sobrantes a una distancia de 5 Km); así como la remoción, cargue, transporte, descargue y disposición final de los materiales provenientes de la demolición, en las áreas aprobadas por el Interventor. Ello de acuerdo con el Artículo 201-13 sobre las especificaciones generales de construcción de carreteras-INVÍAS (2013).

Ya con el área libre, se procede al movimiento de tierras, para ello se analiza que el suelo es un material en el que se encuentran mezclas que pueden ser bien definidas, con unos pocos minerales, hasta heterogéneas; con granos de diferentes tamaños desde bloques o fragmentos de roca, pasando por gravas, arenas, hasta llegar a las arcillas y limos derivados de las rocas altamente meteorizadas, de planicies aluviales o de depósitos glaciares.

“De allí que la subrasante puede estar constituida por suelos en su estado natural (cortes), o por éstos con algún proceso de mejoramiento tal como sucede cuando se someten a una estabilización mecánica (terraplén) o mixtas; su estabilización en aspectos físicos y químicos, utiliza aditivos como cemento Portland, cal o el mismo asfalto, entre otros y básicamente es la fundación sobre la cual el pavimento se construirá”. INVIAS (2007)

Le sigue un proceso de excavación en material común de la explanación, que consiste en realizar las excavaciones que van por debajo del nivel marcado para el descapote y nivelación y hasta la profundidad establecida en los planos o indicado por el Interventor, sea necesario efectuar para la realización de los trabajos de cimentación. Posterior a las actividades de trazado y replanteo se ejecuta una excavación general de la zona necesarios para la consecución de la obra. Las excavaciones deben efectuarse de la forma y en las medidas necesarias para construir satisfactoriamente lo propuesto en el diseño. INVÍAS (2013).

Terminado este proceso, está listo el terreno para la construcción de la subrasante. Es importante analizar que el proceso de la construcción total de un pavimento de concreto es fundamental la preparación de la subrasante y que se proporcione uniformemente, para que dure a lo largo de su vida útil y que se encuentre libre de otros efectos nocivos asociados con suelos de subrasante no satisfactoria. Ya que uno de los problemas más comunes que se presenta en la capa de la subrasante, es cuando se encuentran suelos que tienen una inadecuada resistencia al corte, suelos con frecuentes cambios en el volumen, suelos orgánicos, suelos alcalinos, suelos que tienen dificultades para su drenaje y otros. Se deben eliminar estos defectos en la subrasante tomando medidas adecuadas, antes de que se coloque el pavimento. (Reyes, 1996)

Luego de ello, en la construcción y el acabado de la sub – base el ingeniero debe analizar las condiciones de diseño y decidir con un criterio racional si es necesario la colocación de una capa en función de sub-base; o de ser posible se pueden manejar alternativas más económicas, verificando el cumplimiento de los requisitos de comportamiento. Como la función principal de la sub-base es la de evitar o prevenir el bombeo, en la actualidad encontramos diversas alternativas de solución, por ejemplo sub – base no tratadas, sub – base tratadas con cemento, sub – base de concreto y sub – bases de concreto pobre y sub – bases permeables, cualquiera que sea la solución utilizada en un caso específico, debe hacerse que la capa que se encuentre inmediatamente por debajo de la losa, llegue a un alto grado de densidad y estabilidad y con un drenaje adecuado.

En el mismo proceso, cuando la capa de base del pavimento rígido se encuentra lista para recibir el concreto se debe humedecer para evitar que la muestra pierda su contenido de humedad al entrar en contacto con la capa granular, el agua también ayuda que se disminuya el coeficiente de rozamiento entre el concreto y la base y así la retracción del concreto este menos restringida. (ICPC Instituto Colombiano de Productores de Cemento, 1999)

Para estos procesos JPCP y JRCP, se plantea la instalación de canastillas con barras pasajuntas o dovelas; si el diseño especifica colocar barras pasajuntas, éstas se insertan automáticamente o deben colocarse manualmente con el uso de canastillas en las que se ensamblan las barras. Todas las barras pasajuntas individuales o en canastilla deben estar aceitadas o engrasadas antes de ser transportadas o posicionadas.

A estas barras de acero lisas, no se debe de adherir el concreto, permitiendo el libre movimiento de losas horizontalmente. Las barras pasajuntas tienen como objetivo transferir parte de la carga aplicada en una losa a la siguiente losa en

juntas transversales de contracción y construcción con base en aforos vehiculares o tránsito de vehículos pesados equivalente a 4 millones de ejes sencillos equivalentes (ESALS) y/o tránsito promedio diario anual (TPDA) DE 80 a 120 vehículos de transporte pesado o el equivalente a 25% de aforos de vehículos pesados. El acero debe tener resistencia a la cedencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

Luego de ello, para este tipo de trabajos con equipos de formaleta deslizante, se ubican los soportes para los hilos guía a una distancia tal que su flecha nunca sea mayor a 2 mm. Las pavimentadoras se desplazan sobre varias orugas, que son guiadas por sensores láser orientados de acuerdo con unos hilos guía. Los hilos deben ser minuciosamente ubicados por la comisión de topografía, ya que son los que controlan el alineamiento vertical y horizontal del pavimento.

Se parte de que se trata de equipos de colocación de concreto. Esta cuenta con un sistema combinado de compactación y vibrado. Específicamente, consiste en un compendio de chasis con vibradores, el tornillo sinfín y la plancha extrusora, montados sobre orugas. Los rendimientos de colocación varían dependiendo de la logística de construcción, sin embargo, se pueden obtener rendimientos hasta de 1.000 metros lineales por día.

El concreto debe tener un asentamiento entre 2 y 5cm. No se requiere equipo adicional de vibrado y se pueden fundir losas de 10 cm de espesor en adelante. Es importante que la preparación de la base para el vaciado del concreto, sea humedecida superficialmente, para evitar quitarle humedad a la mezcla de concreto. Normalmente las extendedoras se operan mediante sensores verticales y horizontales ubicados a los lados de la máquina, que se guían mediante un hilo, colocado y nivelado mediante una comisión de topografía. Durante la descarga del concreto, se debe garantizar una distribución adecuada a todo lo largo y ancho de la vía evitando acumulaciones de concreto.

Se inicia el proceso final de JPCP y JRCP con el tratamiento y acabado del concreto, este se inicia con un flotado que se utiliza con el fin de abrir los poros en la mezcla de concreto, cuando este se encuentra en su estado más fresco, con el fin de que salga el agua de sangrado hacia la superficie; esto permite que se evidencie un mejor acabado de la losa. El proceso se realiza con un equipo de colocación, desde donde se pasa el flotador para generar el acabado superficial, el cual debe quedar totalmente liso. (ACI - 302, 2011).

En cuanto al texturizado, se pueden realizar técnicas de microtexturizado, la cual se realiza, como indica el referente *“en sentido longitudinal mediante el paso de una tela de yute o tela de malla cerrada posterior al proceso de flotado”*. Se

plantea la necesidad de revisar que la tela esté húmeda para garantizar que en virtud a su peso, se alcance el Microtexturizado que se requiere. (ACI - 302, 2011)

Por otra parte, el macrotexturizado o estriado del concreto es “*la técnica empleada con más frecuencia para dotar al pavimento de una superficie altamente resistente al deslizamiento*”. Es importante tener en cuenta que aunque este proceso puede realizarse en sentido longitudinal, debe ser ejecutado en sentido transversal en los casos en que el concreto se encuentre fresco. (ACI - 302, 2011)

Ya con la textura lista, se realiza el curado del concreto. Este proceso se puede ejecutar a partir del regado continuo de agua sobre la losa, procurando hacer inundaciones; también es posible rociar, usar mecanismos para uso de vapor o simplemente el uso de alguna cubierta bien sea de tejidos de fique o algodón, paja, aserrín u otro material saturado. En la actualidad, existen otras técnicas, tales como la colocación de membranas curadoras, que consisten en el uso de resinas o ceras naturales o sintéticas, adicionadas con solventes volátiles de acuerdo con la temperatura ambiente.

La composición química de las membranas curadoras deberá ser tal que se forme una película que retenga la humedad al poco tiempo de ser aplicado el compuesto y que no afecte la pasta de cemento. Algunas veces es posible incorporar pigmentos blancos para proveer algún tipo de reflexión al calor del sol y hacer el compuesto visible en el momento de la inspección visual en la losa (Norma ASTM C 309).

El compuesto se aplica de una manera uniforme, requiriéndose generalmente 200g/m² de compuesto curador, y su aplicación puede hacerse con atomizador manual o presurizado si el tamaño del trabajo lo justifica. Para lograr el mayor efecto benéfico, el compuesto curador debería aplicarse después del acabado, en el momento que haya desaparecido el agua libre sobre la superficie y ésta haya perdido su brillo superficial (punto de llana).

Esta condición puede variar de acuerdo con las condiciones de clima, humedad, velocidad del viento y temperatura. Por lo tanto, en algunos proyectos es necesario realizar el curado tan pronto termine la colocación del concreto y en otros puede esperar a que finalice la práctica de texturizado, pero no es raro que en algunos proyectos se requiera realizar doble curado, esto es cuando se realiza el flotado y cuando se finaliza el texturizado. (ASOCRETO, 2000)

Con el curado terminado, se procede al corte de juntas. Este proceso se realiza buscando que el agrietamiento natural del concreto se de en los lugares planificados dentro del diseño. Para ello, se utilizan cortadoras autopropulsadas o

de entrada temprana. Se identifican juntas de dos tipos, que corresponden al uso de uno o dos cortes. (ACI - 302, 2011).

El corte de las juntas se realiza según el documento, “*cuando el concreto presente las condiciones de endurecimiento propicias para su ejecución, y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados*”. El encargado debe prepararse previamente para aserrar inmediatamente la losa cuando el concreto esté listo para ello.

Dependiendo de las características del material y de las condiciones del clima, el concreto puede estar listo para su aserrado entre las 5 y las 7 horas posteriores a su colocación. Con el fin de evitar agrietamientos inesperados, es recomendable que antes de las 12 horas de haber colocado el concreto, se hayan realizado todos los cortes, siempre y cuando el concreto lo permita. (ACI - 302, 2011).

Como proceso final se realiza el sellado de las juntas, con el fin de obtener una adherencia correcta del sellante. El referente señala que es necesario realizar una limpieza en profundidad de toda materia y cuerpo extraño que se encuentre dentro de las juntas. Para ello se realiza un lavado con agua y aire a presión, aplicados en una misma dirección.

Así mismo se pueden utilizar sellos preformados, los cuales son de neopreno extruido, y en sitios de recarga de combustibles o zonas sujetas a derrames, es necesario colocar selladores resistentes a los efectos de combustibles y aceites automotores.

6. PRODUCTOS E IMPACTOS

El producto del estudio se deriva en dos documentos; una monografía sobre el proceso de investigación que conlleva el alcance del objetivo general; y una cartilla ilustrativa de procedimientos constructivos de losas de pavimentos JPCP y JRCP, mediante concreto hidráulico extruido.

7. RECURSOS

7.1 HUMANOS

Como recursos humanos, además de los investigadores se ha requerido del acompañamiento de un Ingeniero Civil experto en temas de vías y con asignación de tiempo específico para hacer tutoría al proceso. Además de él, se han consultado otros expertos en temas puntuales del manejo del concreto en vías y selección de materiales, que también son considerados recursos humanos.

7.2 ECONÓMICOS Y TÉCNICOS

Por sus características, este proceso de análisis no ha requerido un presupuesto detallado de inversión en equipos o materiales específicos. Se cuenta como recursos técnicos al software, equipos de cómputo para la realización de la monografía y la cartilla ilustrativa.

8. CONCLUSIONES

Una vez culminado el proceso con el que se esperaba realizar un análisis sobre los procesos constructivos de losas de pavimentos JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico extruido con base a las especificaciones correspondientes; y generar con ello, mayor reconocimiento de su procedimiento en el contexto de la ingeniería civil, se puede concluir que este tipo de procesos constructivos, representan una importante oportunidad de mejoramiento para el contexto vial del país, gracias a sus ventajas en calidad, durabilidad, costos y tiempos de duración de las obras.

Del mismo modo, se puede concluir que la planeación y desarrollo de este tipo de pavimentos de concreto, aporta de manera significativa en la reducción del impacto ambiental de los procesos constructivos, pues aminora el consumo de agua, el deterioro del suelo y otros impactos negativos que son propios de trabajos realizados con equipos de mediana capacidad o con construcciones manuales.

Se observó que la incorporación de formaletas deslizantes, permite optimizar también los materiales al límite de su rendimiento. Favorece el hecho de que las obras duren menos y con ello se reduce el impacto de la calidad de vida de los usuarios de las vías, al tiempo de representar economía en los costos de mano de obra, en compensación del uso de este tipo de formaletas que luce costoso para los presupuestos regionales de pavimentación.

También se concluye que la implementación de procesos constructivos JPCP y JRCP, es necesaria en Colombia, partiendo de la buena experiencia de otros países de Latinoamérica. Se busca que los ingenieros en las regiones empiecen a ver a JPCP y JRCP como alternativas de mayor impacto en términos de calidad; y para ello se requiere la generación de proyectos que le ilustren, como se ha pretendido desde este espacio investigativo.

Se concluye además que ya se ha alcanzado en el contexto colombiano, una descripción clara y un reconocimiento de las etapas del proceso constructivo apegado a la normatividad vigente para el diseño y construcción de pavimentos de concreto; esto permite, además de plantear su procedimiento, técnicas y métodos, comparar y comprender ventajas de este tipo de losas de pavimentos, analizando además su aplicabilidad en diversos tipos de vías, identificadas con problemas históricos en el país; para con todo ello, llegar a un aporte significativo, desde el diseño y socialización de una cartilla ilustrativa, como lo hace este proyecto.

Del mismo modo, se puede concluir que el Ingeniero Civil es un agente de cambio competente, activo y propositivo frente a las realidades y nuevas necesidades que observa dentro de sus contextos de acción; los cuales observa de manera reflexiva desde la investigación disciplinar que realiza, a partir de ejercicios que como este, favorecen el actuar y aumentan su impacto en el contexto regional.

Por ello se plantean las siguientes recomendaciones.

9. RECOMENDACIONES

Para los profesionales ingenieros civiles que tienen a su cargo el desarrollo de proyectos de obras viales en el país, se recomienda que realicen una observación más amplia del contexto de pavimentos de concreto, que conlleve a la implementación constante de procesos constructivos de losas de pavimentos JPCP y JRCP mediante concreto hidráulico extruido, entendiendo que sus aportes son reales y evidentes en temas de calidad, durabilidad y reducción del impacto ambiental.

Para los nuevos profesionales ingenieros civiles, se recomienda que analicen de manera frecuente los aportes de nuevas tecnologías en el contexto de las vías, así como en diferentes campos de acción en los que se viene trabajando desde la investigación aplicada a los diferentes campos de la ingeniería civil, entendiendo que ello debe redundar en beneficios para los usuarios de las vías y en general para mejorar la calidad de vida de las comunidades.

Para el Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia, para que continúen generando iniciativas de investigación que acerquen a los nuevos ingenieros a contextos de aporte significativo, en los que se visibilice el impacto positivo de este profesional en el desarrollo local, regional y del país.

BIBLIOGRAFÍA

ACI - 302. (2011). *Guide for Concrete Floor and Slab Construction*. Portland: Portland Cement Concrete Pavement Construction.

ASOCRETO. (2000). *Construcción de Pavimentos de Concreto*. Bogotá: Asociación Colombiana de Concreto.

Bernaola, J. C. (2014). *"Evaluación Y Determinación Del Índice De Condición Del Pavimento Rígido En La Av. Huancavelica, Distrito Chilca, Huancayo"*. Huancayo Perú: Universidad Nacional Del Centro De Peru.

Cementos ARGOS. (2016). *Prácticas de Construcción de Pavimentos de Concreto*. Bogotá D.C: Argos.com.co.

Diaz, I. E. (2018). *Guía Práctica Para Diseño Y Construcción De Pavimentos De Concreto Hidráulico*. Concrete Construction Special Inspector.

Edna Rocio Diaz Gutierrez; Miguel Andres Rojas Quiroga. (2018). *Análisis De Los Procesos Constructivos En Infraestructura Vial Para La Generación De Cartilla De Procesos Constructivos De Pavimentos De Concreto Hidráulico Aplicados En Tránsitos Vehiculares De Bajos Volúmenes En la Región Del Alto Magdalena*. Girardot.

ICPC Instituto Colombiano de Productores de Cemento. (1999). *Construcción de pavimentos de concreto con equipos de alto rendimiento*. Bogotá D.C: ICPC.

Interactive, P. (2018). *Jointed Plain Concrete Pavement*. Obtenido de <https://www.pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-and-history/pavement-types/jointed-plain-concrete-pavement/>

Interactive, P. (2018). *Jointed Reinforced Concrete Pavement*. Obtenido de <https://www.pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-and-history/pavement-types/jointed-reinforced-concrete-pavement/>

INVIAS. (2007). *invias.gov.co*. Obtenido de PCA. Manual de diseño de pavimento rígido. 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

INVIAS. (2013). *invias.gov.co*. Obtenido de Artículo 500. Pavimentos de concreto: obtenido de: <http://giv.com.co/invias2013/500%20PAVIMENTO%20DE%20CONCRETO%20HIDRAULICO.pdf>

INVIAS. (2017). *Artículo 400. Pavimentos asfálticos*. Bogotá D.C: INVIAS 400-13.

Montero, A. (1999). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. *Facultad de Ingeniería Universidad Católica de Colombia*, 79-93. Obtenido de <http://www.umng.edu.co/documents/63968/74799/7n1art8.pdf>

PCA. (1992). *PHYSICAL PROPERTIES OF CEMENT PASTE*. Obtenido de Portland Cement Association: <https://trid.trb.org/view/102101>

Villanueva, L. (2016). *Construcción de estructuras de Concreto*. Bogotá D.C: Universidad Piloto de Colombia.

Villanueva, M. R. (Marzo de 2019). *Universidad Privada del Norte*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/PedroFigueroa8/ppt-pavimento-rigido>

ANEXO A. CARTILLA