



**PRESENTADO POR :
INGENIERO
REINEL LEONARDO MONROY IBÁÑEZ**

**ANÁLISIS DE CAUSAS EN OBRA Y EVALUACIÓN DE COSTOS
POR MALAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS EN LA
INSTALACIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS
SEMINARIO TRABAJO DE GRADO III
BOGOTÁ D.C. 2014**

ANÁLISIS DE CAUSAS EN OBRA Y EVALUACIÓN DE COSTOS POR MALAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS EN LA INSTALACIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS

Reinel Leonardo Monroy Ibáñez
Ing. Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería 1999
Estudiante de Especialización en Ingeniería de Pavimentos Universidad Militar Nueva Granada,
Bogotá D.C., Colombia
rmi77@yahoo.com

Fecha de Entrega: Bogotá D.C. 30 de noviembre de 2014

RESUMEN

En este documento se analizan algunas causas que generan problemas en la construcción de una carpeta asfáltica durante la ejecución de una obra de pavimentación, por medio de una encuesta de selección múltiple al personal profesional y técnico dedicado a la instalación de mezclas asfálticas se evaluaron condiciones propias a las que se ve expuesta una mezcla asfáltica durante la ejecución del proceso de constructivo de una carpeta asfáltica. Mediante una evaluación sencilla de las respuestas obtenidas, se identificó en que porcentaje se pueden llegar a presentar fallas prematuras en una carpeta asfáltica recientemente construida por deficiencias en los procesos constructivos, se evidencia que una de las principales causas es la falta de capacitación del personal que está a cargo de la ejecución de los trabajos, también la influencia de la falta de control de los procesos en el frente de trabajo y la toma de decisiones inadecuadas durante la ejecución de las labores.

Finalmente, se realizó una evaluación de costos por metro cuadrado (m^2) para una capa de 10 cm de una mezcla densa en caliente tipo MD-12 [2] y el sobre costo que se puede generar, de acuerdo a los resultados obtenidos de las encuestas realizadas y también se evaluó cuanto se puede economizar en un proyecto de pavimentación si se controlan oportunamente los procesos constructivos de una carpeta asfáltica y se capacita adecuadamente el personal para que se realicen adecuadas practicas constructivas.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze some causes of problems in the construction of an asphalt during the execution of a work of paving, through a multiple choice survey to professionals and technical personnel engaged in the installation of asphalt mixtures. Conditions which an asphalt mixture has to withstand during the execution of a constructive process of asphalt were analyzed. Based on a simple evaluation of the answers of the survey, it will be possible to identify the percentage of times which

a premature failure in fresh asphalt is caused by deficiencies in the construction processes. It is evident that main causes are the lack of training of the staff who is in charge of the execution of the work, the influence of the lack of control of the processes in the working front and the inadequate decisions making during the execution of the activity.

Finally, an evaluation of costs per square meter (m^2) was made for a 10 cm layer of dense hot mix MD-12 [2] and the extracost which can be caused for these issues, according to the results of the surveys. It was also evaluated the possible savings on a paving project if the construction processes of asphalt is properly control and if the staff is adequately trained to carry out the best practices during the construction.

INTRODUCCIÓN

Las diferentes patologías de falla que se presentan en la construcción de las capas asfálticas de los pavimentos flexibles obedecen a problemáticas en la construcción, las cuales pueden ser originadas desde la concepción misma del diseño, la falta de control de calidad en la producción de mezclas asfálticas, deficiencias en los procesos constructivos y falta de capacitación del personal que está a cargo de la ejecución de los trabajos. Se pretende identificar y evaluar algunas de las problemáticas por las cuales estas patologías se presentan en menor tiempo de lo esperado, bien sean por falta de control de procesos en obra, determinar algunos de los errores más frecuentes en los procedimientos constructivos. Conforme a resultados de análisis de encuestas a personal profesional y técnico de una obra de pavimentación, se evalúan los sobre costos que se generan por prácticas inadecuadas en la construcción de las capas asfálticas de una estructura de pavimento.

La documentación técnica hará énfasis con respecto a los principales tipos de fallas que afectan las capas asfálticas de una estructura de pavimento flexible [1], ya que en la mayoría de los casos los problemas que se presentan en la etapa constructiva generan sobre costos en los proyectos y disminución en la vida útil para la que fueron diseñados los pavimentos.

Los procesos constructivos están debidamente descritos y normalizados en las especificaciones técnicas colombianas [2,3] e internacionales para la construcción de capas asfálticas en pavimentos flexibles. El criterio de aceptación de la especificación establece metodologías propias, que en la mayoría de las ocasiones no llega a todos los niveles de participación y responsabilidad en un proyecto de pavimentación.

1. CONTEXTUALIZACIÓN TEÓRICA

Los daños que se presentan en una estructura de pavimento flexible se establecen en cinco categorías, los cuales se generan por diversos factores y se clasifican de acuerdo a su nivel de severidad, causas y evolución:

1.1. FISURAS

Las fisuras en los pavimentos asfálticos [1] pueden ocurrir por diversos motivos. Los tipos de fisuras que comúnmente se encuentran son los siguientes:

- Fisuras en forma de piel de cocodrilo
- Fisuras en bloque
- Fisuras de borde
- Fisuras longitudinales y transversales
- Fisuras en juntas de construcción
- Fisuras de Reflexión
- Fisuras de Contracción e Insipientes
- Fisuras de Desplazamiento

1.2 DEFORMACIONES

La deformación de un pavimento es cualquier cambio en la forma original de su superficie [1]. Usualmente es ocasionada por causas tales como poca compactación o exceso de la misma en las capas del pavimento, exceso de contenido de asfalto, hinchamiento de las capas inferiores o asentamientos. Las deformaciones se presentan bajo diferentes formas:

- Ahuellamientos.
- Ondulaciones.
- Abultamiento.
- Hundimiento.

1.3 PÉRDIDAS DE LA CAPA DE LA ESTRUCTURA

La pérdida de la capa de la estructura es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos, o también disgregación de las partículas del agregado [1]. Los tipos más comunes de desintegración son los baches y el desprendimiento, producidos por el derrame de sustancias nocivas para una carpeta asfáltica como lo son los combustibles (ACPM, Gasolina), lubricantes (aceites, hidráulicos), solventes (tiner, epóxicos), lixiviados y detergentes con sustancias químicas no biodegradables, también son ocasionados por exceso de lodos sobre la superficie y problemas en las estructuras de drenaje que impidan una esorrentía de la carpeta de una forma adecuada.

1.4 DAÑOS SUPERFICIALES

Varias son las causas que hacen que un pavimento presente daños superficiales, influenciados por la acción del tránsito, agentes abrasivos y erosivos que aceleran el deterioro de la superficie del pavimento [1]. Los principales daños superficiales se pueden identificar como:

- Desgaste Superficial.
- Pérdida de Agregado.
- Pulimiento del Agregado.
- Cabezas Duras.
- Exudación.
- Surcos.

1.5 OTROS

Este tipo de daños aparecen como consecuencia de algunos de los anteriormente descritos y especialmente se generan por la presencia de agua [1], dentro de los cuales se tienen:

- Corrimiento Vertical de la Berma.
- Separación de la Berma.
- Afloramiento de Finos.
- Afloramiento de Agua.

2. TOMA Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS EN LA INSTALACIÓN DE CARPETAS ASFÁLTICAS

Para analizar la información de los daños más frecuentes, se realizó una encuesta de quince (15) preguntas de selección múltiple a una población de catorce (14) profesionales y técnicos de obras de pavimentación [Apéndice A]. De acuerdo a los resultados obtenidos se analizó estadísticamente cuales pueden ser las problemáticas más frecuentes para la ocurrencia de deterioros prematuros en la instalación de capas asfálticas durante el proceso constructivo.

Son diversas las ocurrencias que se pueden presentar en la instalación de una carpeta asfáltica, ya que los problemas pueden ser por omisión de procedimientos previos al inicio de las actividades tales como liberaciones y verificaciones que son necesarias para ejecutar los trabajos de extendido y compactación de una carpeta asfáltica, también influyen los factores climáticos y las decisiones inadecuadas por parte del personal técnico o profesional a cargo del proceso, los cuales se sintetizaron por medio de preguntas sencillas de algunos problemas que se viven día a día en la construcción de las capas asfálticas. La evaluación de las respuestas se enfatizó en las condiciones que representan menor riesgo de daño prematuro en la estructura de una carpeta asfáltica y que potencialmente no van a necesitar ningún

tipo de reparación temprana. Los resultados obtenidos de las encuestas realizadas fueron los siguientes:

Tabla 1. Resumen de Resultados de la Encuesta

| ENCUESTADO | CARGO | PROFESION | RESPUESTAS A PREGUNTAS DE LA ENCUESTA | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------------|---------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | Coordinador | Ing Civil | a | c | d | d | d | d | d | d | b | d | d | d | d | d | |
| 2 | Residente de Obra | Ing Civil | a | c | d | d | d | d | d | d | b | d | d | d | d | d | |
| 3 | Residente de Obra | Ing Civil | a | c | d | b | a | d | a | d | b | d | a | c | a | d | c |
| 4 | Residente de Obra | Ing Civil | a | c | d | d | d | d | d | d | a | c | a | c | a | d | c |
| 5 | Residente de Obra | Ing Civil | a | c | d | b | d | d | d | b | a | d | a | d | a | d | c |
| 6 | Residente de Obra | Arquitecto | a | c | a | b | d | b | a | d | a | d | a | c | a | d | d |
| 7 | Inspector | Tecnologo en Obras | a | c | b | b | d | b | a | a | b | c | c | d | a | d | b |
| 8 | Topografo | Topografo | a | b | a | b | d | b | d | b | c | c | c | d | a | d | b |
| 9 | Inspector | Tecnologo en Obras | a | c | d | d | d | d | d | b | a | d | c | d | a | d | b |
| 10 | Inspector | Tecnologo en Obras | a | c | d | d | a | b | d | b | a | c | c | d | a | c | b |
| 11 | Laboratorista | Laboratorista | a | c | b | d | a | b | d | b | b | c | d | c | b | d | b |
| 12 | Topografo | Topografo | a | c | d | d | a | b | a | b | a | c | a | c | a | d | c |
| 13 | Maestro de Obra | Maestro de Obra | c | b | c | a | a | b | d | b | a | d | c | d | c | c | a |
| 14 | Inspector | Tecnologo en Obras | c | c | c | a | d | b | d | a | a | a | c | c | c | d | a |
| RESPUESTAS CORRECTAS | | | a | c | d | d | d | d | d | d | b | d | d | d | d | d | d |
| % DE RESPUESTAS CORRECTAS | | | 85,71% | 85,71% | 57,14% | 50,00% | 64,29% | 42,86% | 71,43% | 35,71% | 35,71% | 50,00% | 21,43% | 57,14% | 14,29% | 85,71% | 21,43% |
| % DE RESPUESTAS INCORRECTAS | | | 14,29% | 14,29% | 42,86% | 50,00% | 35,71% | 57,14% | 28,57% | 64,29% | 64,29% | 50,00% | 78,57% | 42,86% | 85,71% | 14,29% | 78,57% |
| PROBABILIDAD DE QUE NO SE PRESENTE INCONVENIENTES SI ESTA EL PROFESIONAL EN EL FRENTE DE OBRA | | | 100,00% | 100,00% | 83,33% | 50,00% | 83,33% | 83,33% | 66,67% | 83,33% | 50,00% | 83,33% | 33,33% | 50,00% | 33,33% | 100,00% | 50,00% |
| PROBABILIDAD DE QUE SE PRESENTE INCONVENIENTES SI ESTA EL PROFESIONAL EN EL FRENTE DE OBRA | | | 0,00% | 0,00% | 16,67% | 50,00% | 16,67% | 16,67% | 33,33% | 16,67% | 50,00% | 16,67% | 66,67% | 50,00% | 66,67% | 0,00% | 50,00% |
| PROBABILIDAD DE QUE NO SE PRESENTE INCONVENIENTES SI ESTA SOLAMENTE EL PERSONAL OPERATIVO EN EL FRENTE DE OBRA | | | 75,00% | 75,00% | 37,50% | 50,00% | 50,00% | 12,50% | 75,00% | 0,00% | 25,00% | 25,00% | 12,50% | 62,50% | 0,00% | 75,00% | 0,00% |
| PROBABILIDAD DE QUE SE PRESENTE INCONVENIENTES SI ESTA SOLAMENTE EL PERSONAL OPERATIVO EN EL FRENTE DE OBRA | | | 25,00% | 25,00% | 62,50% | 50,00% | 50,00% | 87,50% | 25,00% | 100,00% | 75,00% | 75,00% | 87,50% | 37,50% | 100,00% | 25,00% | 100,00% |

Fuente: Elaboración Propia a partir de Apéndice A

Pregunta 1: Si durante la construcción de una carpeta asfáltica, aparecen fisuraciones de piel de cocodrilo cual considera usted que fue la principal causa por la cual se presentó esta patología?, en este caso la respuesta correcta corresponde a lo establecido en las especificaciones técnicas colombianas [2,3] es decir “*Falta de comprobación, prueba de carga y verificación de la capa granular*”, los resultados obtenidos arrojaron como se puede verificar en la tabla 1 que el 85,71% de los encuestados hubieran realizado esta comprobación previa a la pavimentación y que como se puede verificar en la tabla 1 existe un 14,29% de probabilidades de que en la instalación de la carpeta asfáltica se presentaran fallos tipo piel de cocodrilo

inmediatos en la capa de mezcla asfáltica. En este caso la única alternativa es el reemplazo de toda la capa asfáltica interviniendo la totalidad de la estructura, ya que hay una falla por fatiga en la estructura granular la cual puede venir desde la sub rasante.

Pregunta 2: Considera que instalar una carpeta asfáltica de mezcla densa en caliente a una temperatura de 90° C puede generar?, en este caso la respuesta correcta corresponde conforme a los parámetros de diseño Marshall de las especificaciones del INVIAS [3] se puede ocasionar “*Falta de densificación y no obtener la densidad adecuada*”, los respuestas obtenidas en la tabla 1 arrojaron que el 85,71% de los encuestados tienen conocimiento adecuado con respecto a la importancia de la temperatura de compactación y que de acuerdo a los resultados de la tabla 1 existe un 14,29% de probabilidades de que en la instalación de la carpeta asfáltica se presenten fallos por falta de densificación y cumplimiento de los parámetros de compactación. En este caso la especificación es completamente drástica y obliga al retiro de la carpeta asfáltica instalada [2,3], aunque el desarrollo en las tecnologías de análisis del comportamiento de las mezclas asfálticas admite realizar verificaciones de módulos resilientes, que permiten buscar estructuras equivalentes para realizar un refuerzo al lote o tramo que presente este tipo de patología, por medio de una sobre carpeta o si es una carpeta intermedia utilizar como rodadura una mezcla de alto modulo.

Pregunta 3: Para iniciar una actividad de instalación de una capa asfáltica usted considera pertinente?, en este caso la respuesta correcta corresponde a lo establecido en las especificaciones técnicas colombianas [2,3] es decir “*Realizar un tramo de prueba para estandarizar todos los procedimientos y verificar el diseño*”, los resultados obtenidos en la tabla 1 muestran que en este caso un altísimo nivel de desinformación por parte del personal tecnológico y operativo de la obra, tanto así que la probabilidad de que no se realice este procedimiento en campo de validación del diseño de la mezcla asfáltica y se determine un adecuado tren de compactación es del 42.86% y que la tasa de que el probable error sea cometido por el personal operativo es del 62.50% conforme a los resultados de la tabla 1, es decir que este tramo de prueba debe ser responsabilidad de ejecutarse en los frentes de trabajo por parte del personal profesional y se deben dar las instrucciones oportunas y adecuadas para que se ejecute antes de continuar con la pavimentación de todo el tramo vial. La no realización de estos tramos de prueba pueden ocasionar desenlaces catastróficos en un proceso de colocación de carpeta asfáltica, ya que la elaboración de los ensayos laboratorio de verificación toman tiempo y pueden detener el desarrollo de los trabajos generando altos costos de Stand by y de reprocesos como el reemplazo de la totalidad de la carpeta asfáltica.

Pregunta 4: En su concepto donde se debe realizar el control de calidad de una mezcla asfáltica?, con respecto al control de calidad de las mezclas asfálticas y de acuerdo a lo establecido en la normatividad vigente [2,3], la respuesta es “*todas las anteriores*” lo que significa que todas las partes actuantes en el proceso de instalación de la mezcla asfáltica son responsables, el suministro es de planta y se debe controlar [2,3], hay una serie de ensayos de campo que verifican el desempeño

de la mezcla asfáltica [2,3] y la interventoría debe verificar y avalar el resultado de los controles [2,3]. En este caso se presenta en la tabla 1 que el 50% del personal encuestado no tiene claridad donde se debe realizar el control de calidad de una mezcla asfáltica y que finalmente de acuerdo a los procesos y los procedimientos establecidos en una obra de pavimentación la capacitación de todo el personal encargado debe tener claridad con respecto al control de calidad del proceso constructivo y de verificación de cumplimiento de los parámetros de aceptación de la mezcla asfáltica [4].

Pregunta 5: Si en el proceso constructivo usted evidencia un desplazamiento y fisuración de la mezcla, cual considera que es la causa? La respuesta correcta corresponde a "*Falta de ligante entre las capas*". La idiosincrasia y una mala interpretación de las causas reales de este tipo de falla generan que por falta de conocimiento o por obviar pasos imprescindibles en la instalación de capas asfálticas, que no se realice una adecuada imprimación de las capas granulares o un adecuado riego de liga entre capas intermedias, lo que está dispuesto desde la concepción del diseño y la omisión de las especificaciones técnicas de construcción [2,3]. Las respuestas adecuadas a esta patología fueron afirmativas en un 64.29% como se aprecia en la tabla 1, ya que el 35.71% de los encuestados por interpretación de la realidad del origen de la falla asoció a problemas de compactación y/o temperatura de la mezcla ya que su comportamiento es muy similar. Este tipo de fallas por falta de ligante genera fisuraciones transversales y corrimiento de la carpeta asfáltica que afectan directamente la durabilidad y densificación de la misma [1] y más aún en presencia de un drenaje inadecuado, lo que conlleva a que se genere un envejecimiento prematuro de la mezcla asfáltica recién instalada.

Pregunta 6: Cuando verifica la temperatura de llegada a la obra de 10 volquetas y 1 se encuentra a 170°C, y el resto está a una temperatura de 150°C usted cómo actúa? Para esta pregunta se consideró que se debería "*Devolver y rechazar el viaje*". La falta de socialización de la fórmula de trabajo del diseño Marshall y las temperaturas a las cuales se debe realizar la producción de una mezcla asfáltica [2,3] dependiendo del tipo de asfalto a todos los niveles de responsabilidad pueden generar que se presenten problemas con este tipo de situación específica de acuerdo a los resultados de la tabla 1 en un 57,14% de los casos y se confirma que en la obra el personal operativo en su afán de ejecutar la totalidad de la obra programada para la jornada conforme a la tabla 1 existe hasta un 87,50% de probabilidad de que este viaje que debería ser rechazado finalmente sea instalado en la vía, ya que por falta de conocimiento de las temperaturas a las cuales se produce el asfalto generan una oxidación altísima y pérdida de propiedades del asfalto que se verán reflejadas en la estabilidad y la vida útil de la carpeta asfáltica.

Pregunta 7: En la labor de pavimentación de una calzada por varios carriles por día que tratamiento le da a las juntas longitudinales y transversales? En la mayoría de los casos la respuesta fue adecuada según la tabla 1, ya que un 71,43% de los encuestados respondieron que "*Corta, liga e instala la mezcla con emulsión de rompimiento rápido*" [2, 3, 5] y conforme a los resultados de la tabla 1 en el 28,57%

de los casos únicamente ligaría la junta y continuaría con la instalación. La importancia de realizar juntas constructivas longitudinales y transversales de una forma adecuada evita que se presenten fisuraciones y deformaciones a corto plazo que afectan la carpeta asfáltica, las cuales incrementan la probabilidad del ingreso de agua, que a su vez aumenta la potencialidad de fallas de mayor nivel de severidad, adicionalmente pone en riesgo el IRI de la vía, ya que es más susceptible a la deformación.

Pregunta 8: Usted considera que la berma es?, para esta inquietud se estableció que la respuesta correcta corresponde a *“Una zona de la vía que debe tener el mismo tratamiento que toda la estructura”*, la probabilidad de que se presenten daños prematuros en la zona de berma es muy frecuente, como se puede evidenciar en la tabla 1 con los resultados obtenidos, ya que el 64,29% de los encuestados no le da la importancia estructural que tiene la berma en la construcción de una carpeta asfáltica, tanto así que la consideran más una franja de seguridad que también es una de sus funciones y la de alojar las cunetas de la vía [5], pero por desconocimiento de la importancia de la protección estructural no se considera en la mayoría de los casos una zona de que aporte y proteja la carpeta asfáltica. Esta condición presenta altas fisuraciones de borde tanto longitudinales como transversales, también separación de la berma [1].

Pregunta 9: Cuando se realizan ensayos de laboratorio y toma de muestras en campo considera que?. El conformismo de contar con un recurso en campo como lo es el laboratorista hace que la responsabilidad de los ensayos recaiga únicamente en este trabajador, cuando el conocimiento de la elaboración de los ensayos debe estar debidamente socializado a la totalidad de los encargados de la verificación de la toma de los mismos de acuerdo a la normatividad de toma de ensayos [2,3] , tanto así que en la tabla 1 existe la probabilidad que no se realice una adecuada toma de muestras en obra es del 64.29% y si únicamente se encuentra en el frente de trabajo el personal operativo la probabilidad es hasta del 75%, ya que se considera correcto que todo el personal *“Se sienta capacitado para verificar la toma de los ensayos”* lo que en realidad no se presenta ya que únicamente el 35,71% se siente en capacidad de controlar la toma de muestras. Este es un factor de altísimo error de rechazo de lotes de mezclas asfálticas en obra, ya que la falta de capacitación del personal y la sensibilidad de en la toma de muestras altera fácilmente los resultados ya que no se realizan de forma adecuada y controlada.

Pregunta 10: Se encuentra usted en plena instalación de una capa asfáltica y tiene una ligera llovizna en ese momento, como procede? Este tipo de condición es muy frecuente en nuestro medio por la variación climática tropical, para este caso se consideró que la respuesta correcta es *“Espera seca la superficie y continúa sus actividades”*, la opinión de los encuestados según la tabla 1 está dividida en un 50%, ya que en la mayoría de las ocasiones el personal considera que una ligera llovizna no es perjudicial en la instalación de una carpeta asfáltica, pero por el contrario puede generar condiciones de falta de adherencia entre capas, desprendimiento de agregados y descascaramiento. Las especificaciones de construcción son muy claras [1,2,3] y las experiencias con mezcla instalada en condiciones climáticas

inadecuadas generan problemas a futuro y generalmente quedan los tramos en observación lo que perjudica la entrega de las obras de pavimentación.

Pregunta 11: Cuando usted recibe los ensayos de laboratorio y el contenido de asfalto esta alto usted considera que? En este caso la respuesta que se consideró correcta es *“Verifica el contenido óptimo de asfalto del diseño con respecto a la fórmula de trabajo”* en la mayoría de las ocasiones el personal profesional y técnico de la obra consideran que un alto contenido de asfalto es bueno por el acabado inicial que presenta la mezcla asfáltica, adicionalmente al estar más enriquecida de cemento asfáltico y por fuera de los parámetros de la tolerancia de diseño [2,3], genera problemas de ahuellamiento, exudación y deformaciones cuando se pone en servicio [1], también la mezcla asfáltica en condiciones de bajas temperaturas puede tener comportamientos de altas estabilidades que rigidiza su comportamiento. De acuerdo a los resultados de la tabla 1 únicamente el 21,43% de los encuestados puede llegar a tener claro lo perjudicial que puede ser un alto contenido de asfalto con respecto al diseño de la mezcla asfáltica y el 78,57% del personal profesional y operativo de la obra de pavimentación considera por el contrario que el alto contenido de asfalto es favorable por el comportamiento que tiene durante el proceso constructivo. Se evidencia que la falta de capacitación del personal con respecto a las patologías que puede presentar una mezcla asfáltica con este comportamiento para la mayoría del personal el concepto no ha sido socializado de una manera adecuada.

Pregunta 12: Al día siguiente de realizar una pavimentación de una capa intermedia se produce un derrame de ACPM en la capa asfáltica recién instalada, usted como procede? Una mezcla asfáltica en estado fresco que ha sido expuesta al ataque de sustancias nocivas como lo son los combustibles puede generar un deterioro prematuro y un comportamiento inadecuado ya que se alteran todas sus propiedades para las que fue diseñada. Se consideró correcto que *“Retirar la capa asfáltica de la zona afectada y la reemplaza por nueva”* ya que se considera una práctica adecuada de acuerdo a los resultados de la tabla 1 por un 57,14% de los encuestados y existe la probabilidad que en un 42,86% se presenten problemas de desprendimiento, baches, desprendimiento de agregados, deformaciones y pérdida de adherencia de la mezcla asfáltica, ya que la alternativa de solución al problema no es la mejor opción y que de pronto por ahorrar tiempo y dinero de una forma inadecuada puede llegar a ser más perjudicial con el tiempo.

Pregunta 13: Se encuentra terminando una obra que hay que entregar al día siguiente y usted está esperando en el frente de trabajo una base asfáltica, pero por error le envían rodadura asfáltica usted que hace? Aunque desde el punto de vista estructural no se considera un problema relevante hacer un cambio del tipo de mezcla, si se estaría cambiando la configuración del diseño, lo que con el tiempo puede presentar problemas de estabilidad o tramos que queden en observación por parte de la Interventoría del contrato, en esta condición y para evitar estos inconvenientes se consideró que lo más adecuado es *“Rechaza la mezcla y solicita que le envíen la que es”*, en este caso las opiniones estuvieron muy divididas ya que primó el cumplimiento contractual de entregar la obra con autorización de la

Interventoría, los resultados afirmativos en este caso solamente fueron del 14,29% de acuerdo a la tabla 1 mientras que para un 85,71% de los encuestados primó la necesidad del proyecto tomando riesgos innecesarios. Se evidencia que este tipo de decisiones momentáneas pueden llegar a ser benéficas para un proyecto de pavimentación y se considera que aunque es una mala práctica este tipo de disposiciones pueden llegar a ser benéficas desde el punto de vista contractual más no desde el punto de vista técnico.

Pregunta 14: En la construcción de una capa asfáltica que considera que es lo más importante? Aunque si bien es cierto que todas las opciones de respuesta que tenían los encuestados eran importantes la correcta era *“Verificar el tipo de mezcla, el espesor a instalar, controlar la temperatura y los niveles topográficos”*, las contestaciones de la encuesta de acuerdo a la tabla 1 tuvieron un comportamiento correcto del 85,71% lo que evidencia que la gran mayoría del personal de la obra de pavimentación considera que esta práctica es la más importante, únicamente el 14,29% de los encuestados consideró que es más importante la autorización de la Interventoría. En muchos de los casos es mejor tener claro los procedimientos del sistema de gestión de calidad [4] y dar cumplimiento a las especificaciones técnicas de una obra de pavimentación [2,3] , aunque el personal operativo tiene la tendencia a atender primero las observaciones de la Interventoría poniendo en riesgo los verdaderos parámetros que se deben cumplir antes de realizar una instalación de una mezcla asfáltica, si bien es cierto en la mayoría de los casos las Interventorías son objetivas y trabajan en conjunto con el contratista, también existe la posibilidad de cometer errores porque pueden desvirtuar la aprobación de los trabajos para no tener responsabilidad sobre los posibles errores en la liberación de un tramo de vía.

Pregunta 15: Cuando usted está instalando mezcla asfáltica y se vara la pavimentadora como actúa ante esta situación? Esta pregunta fue enfocada a una condición netamente operativa de una obra de pavimentación y que en la práctica es probable que una maquina presente fallas de funcionamiento, en este caso se consideró correcto *“Espero a que desvaren la máquina para continuar o solicito un reemplazo”* pero fue bastante sorpresivo que de acuerdo a los resultados de la tabla 1 solamente el 21,43% de los encuestados tomaría este tipo de decisión, mientras que el 78,57% opto por ser recursivos y afrontar el problema de una manera poco adecuada y que no está contemplada en los procesos propuestos en la normatividad técnica [1,2,3] , estas decisiones en caliente pueden ser una solución al problema de manera momentánea y operativa, pero técnicamente la mezcla asfáltica puede presentar problemas de segregación, perdida de temperatura, problemas de compactación y de envejecimiento prematuro de la misma. Por esa razón la toma de este tipo de decisiones en obra deben estar lideradas por el director de obra y no dejar que por terminar la actividad de una manera inadecuada se ponga en riesgo la estabilidad de la carpeta.

3. EVALUACIÓN DE COSTOS DE ACUERDO A LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA

De acuerdo a los resultados obtenidos de las encuestas realizadas [Apéndice A] de las condiciones anteriormente analizadas, se determinaron las alternativas de reparación de acuerdo con los porcentajes de ocurrencia en los cuales se debe realizar reparaciones y se evalúa mediante cuadros los sobre costos que se pueden llegar a generar por metro cuadrado (m²) de instalación de capas asfálticas en la construcción de una carpeta asfáltica de 10 cm de espesor de rodadura asfáltica tipo MD-12 [2]. Para la evaluación de costos se utilizaron como base los precios unitarios de referencia para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial y de espacio público del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU [6].

En la tabla 2 se puede observar el costo de reparación por m² de carpeta asfáltica, para los casos en los cuales definitivamente haya que realizar una intervención total del área recientemente construida:

Tabla 2. Costo de Reparación Total por m²

| DESCRIPCION DE ACTIVIDAD | UND | VALOR UNITARIO | VALOR (m ²) |
|--|----------------|--------------------------------|-------------------------|
| FRESADO PAVIMENTO ASFALTICO Profundidad de Fresado 0 - 18 cm. (Incluye Cargue) | m ³ | \$ 47.151 | \$ 4.715 |
| MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO DENSO MD12 ASFALTO CONVENCIONAL (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación) | m ³ | \$ 558.729 | \$ 55.873 |
| RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA CRR-1 (Suministro, Barrido Superficie y Riego) | m ² | \$ 1.405 | \$ 1.405 |
| TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS EN SITIO AUTORIZADO (distancia de transporte 21 Km) | m ³ | \$ 18.364 | \$ 1.836 |
| COSTOS INDIRECTOS GENERADOS | | 12% | \$ 7.659 |
| | | TOTAL POR m² | \$ 71.488 |

Fuente: Elaboración Propia

Para el primer escenario se planteó cuanto puede ser el sobre costo promedio por m² en caso de cometer un error procedimental en obra de acuerdo a los resultados de las preguntas 1, 2, 3, 5 y 14, las cuales están directamente relacionadas que en caso de presentarse esta situación la solución es el reemplazo total de la carpeta asfáltica, obteniendo que hay una probabilidad media del 24,29% de que sea necesario reemplazar algún m² de carpeta asfáltica en su totalidad con un sobre costo promedio de \$17.361/m², como se puede verificar en la tabla 3, siendo la de mayor incidencia la falta de la realización de un tramo de prueba tal y como lo plantean las especificaciones técnicas de construcción [2,3]

Tabla 3. Sobre Costo de Reparación Total por m² por error procedimental en obra

| Pregunta | Probabilidad de Sobrecosto | Sobre Costo m ² |
|----------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 14,29% | \$ 10.213 |
| 2 | 14,29% | \$ 10.213 |
| 3 | 42,86% | \$ 30.638 |
| 5 | 35,71% | \$ 25.531 |
| 14 | 14,29% | \$ 10.213 |
| Promedio | 24,29% | \$ 17.361 |

Fuente: Elaboración Propia

Para el segundo escenario se analizó cuanto puede ser el sobre costo promedio por m² en caso de que se realice un inadecuado control de calidad en planta o en obra [2,3,4], en este caso las preguntas consecuentes corresponden a las respuestas de las inquietudes 9,4 y 11, las cuales están directamente relacionadas que en caso de presentarse esta situación la solución es el reemplazo total de la carpeta asfáltica, obteniendo que hay una probabilidad media del 64,29% de que sea necesario reemplazar algún m² de carpeta asfáltica en su totalidad con un sobre costo promedio de \$45.957/m², como se puede verificar en la tabla 4, aunque los resultados obtenidos de la encuesta son muy altos corresponden al comportamiento del personal de la obra de pavimentación, lo que evidencia una gran desinformación y falta de interés por parte del personal con respecto a al control de calidad de las mezclas asfálticas [2,3,4], para este caso es necesario implementar acciones de mejora con énfasis en la capacitación del personal en el área de control de calidad y su importancia en el recibo de la obra recientemente construida.

Tabla 4. Sobre Costo de Reparación Total por m² por error en control de calidad

| Pregunta | Probabilidad de Sobrecosto | Sobre Costo m ² |
|----------|----------------------------|----------------------------|
| 4 | 50,00% | \$ 35.744 |
| 9 | 64,29% | \$ 45.957 |
| 11 | 78,57% | \$ 56.169 |
| Promedio | 64,29% | \$ 45.957 |

Fuente: Elaboración Propia

Para el tercer escenario se tuvieron en cuenta los posibles errores operativos y la toma de decisiones inadecuadas o inoportunas, para este análisis se tuvo en cuenta las respuestas a las preguntas 6,10,12 y 15, obteniendo que hay una probabilidad media del 57,14% de que sea necesario reemplazar algún m² de carpeta asfáltica en su totalidad con un sobre costo promedio de \$40.850/m², como se puede confrontar en los resultados de la tabla 5, los sobre costos en este caso pueden llegar a ser bastante altos, ya que las respuestas del personal van totalmente de la mano con el criterio de solución de problemas en el proceso constructivo y al no ser consensado entre las partes intervinientes, genera cualquier tipo solución lo que puede ocasionar el reemplazo total de la zona afectada.

Adicionalmente estos no son eventos que se presenten en todas las jornadas de una instalación de una carpeta asfáltica, lo que se puede mitigar de manera oportuna con la toma de decisiones adecuadas con los directivos de la obra y de la Interventoría. La probabilidad de ocurrencia de estas situaciones en el proceso de pavimentación no supera el 5% de las ocasiones, pero es muy importante saber cómo actuar en este caso.

Tabla 5. Sobre Costo de Reparación Total por m² por errores operativos

| Pregunta | Probabilidad de Sobrecosto | Sobre Costo m² |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 6 | 57,14% | \$ 40.850 |
| 10 | 50,00% | \$ 35.744 |
| 12 | 42,86% | \$ 30.638 |
| 15 | 78,57% | \$ 56.169 |
| Promedio | 57,14% | \$ 40.850 |

Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis de los costos de las preguntas 7, 8 y 13 corresponden a hechos aislados en la construcción de una carpeta asfáltica, como lo son el no realizar la totalidad de los procedimientos y obviar pasos claves en la obtención de resultados adecuados que minimicen la aparición de fallas tempranas en una carpeta asfáltica, los resultados obtenidos se analizan de manera independiente de acuerdo a los costos previstos en la tabla 6.

Tabla 6. Sobre Costo de Reparación Parcial por m² por hechos aislados

| PREGUNTA | DESCRIPCION DE ACTIVIDAD | UND | VALOR UNITARIO INCLUYE COSTO INDIRECTO | VALOR (m ²) | Probabilidad de Sobre costo | Sobre Costo m ² |
|----------|--|----------------|--|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 7 | SELLO DE FISURAS (INCLUYE RUTEO DE JUNTAS,ARA CARRILES 3,5 m) | ML | \$ 5.854 | \$ 1.673 | 28,57% | \$ 478 |
| | TOTAL COSTO DE REPARACION PREGUNTA 7 | | | \$ 1.673 | | |
| 8 | MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO DENSO MD12 ASFALTO CONVENCIONAL (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación) | m ³ | \$ 625.776 | \$ 62.578 | 64,28% | \$ 42.312 |
| | SELLO DE FISURAS (INCLUYE RUTEO DE JUNTAS,ARA CARRILES 3,5 m) | ML | \$ 5.854 | \$ 1.673 | | |
| | RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA CRR-1 (Suministro, Barrido Superficie y Riego) | m ² | \$ 1.574 | \$ 1.574 | | |
| | TOTAL COSTO DE REPARACION PREGUNTA 8 | | | \$ 65.825 | | |
| 13 | FRESADO PAVIMENTO ASFALTICO Profundidad de Fresado 0 - 18 cm. (Incluye Cargue) | m ³ | \$ 52.809 | \$ 5.281 | 85,71% | \$ 61.274 |
| | MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO DENSO MD12 ASFALTO CONVENCIONAL (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación) | m ³ | \$ 625.776 | \$ 62.578 | | |
| | RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA CRR-1 (Suministro, Barrido Superficie y Riego) | m ² | \$ 1.574 | \$ 1.574 | | |
| | TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS EN SITIO AUTORIZADO (distancia de transporte 21 Km) | m ³ | \$ 20.568 | \$ 2.057 | | |
| | TOTAL COSTO DE REPARACION PREGUNTA 13 | | | \$ 71.490 | | |

Fuente: Elaboración Propia

Una vez analizados los diferentes escenarios planteados de acuerdo a los resultados de los análisis de los costos resumidos en la tabla 8 donde se calcula un porcentaje estimado de ocurrencia como el promedio de las respuestas con probabilidad de cometer algún tipo de error entre el personal profesional y el personal técnico ya que en la mayoría de las ocasiones en la extensión de la mezcla asfáltica está presente alguno de los Ingenieros de Obra por esta razón se prevé que la probabilidad de que ocurra este tipo de falla sea mucho menor, se puede verificar cuanto puede ser el sobre costo probable que puede tener un reproceso en obra de acuerdo a cada condición proyectada, de la cual se pueden concluir los resultados de la investigación realizada. Para este cálculo se determinó cuanto es el costo de construir la carpeta asfáltica por primera vez sin ningún inconveniente por m², como se puede verificar en la tabla 7.

Tabla 7. Costos de Construcción de Carpeta Asfáltica por m²

| DESCRIPCION DE ACTIVIDAD | UND | VALOR UNITARIO | VALOR (m ²) |
|--|----------------|--------------------------------|-------------------------|
| MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO DENSO MD12 ASFALTO CONVENCIONAL (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación) | m ³ | \$ 558.729 | \$ 55.873 |
| RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA CRR-1 (Suministro, Barrido Superficie y Riego) | m ² | \$ 1.405 | \$ 1.405 |
| COSTOS INDIRECTOS CONTRACTUALES | | 30% | \$ 17.183 |
| | | TOTAL POR m² | \$ 74.461 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. Sobre Costos Estimados para la Construcción de una Carpeta Asfáltica por m²

| Pregunta | COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CARPETA ASFALTICA | Sobre Costo \$/m ² | PROBABILIDAD ESTIMADA DE OCURRENCIA | Sobre Costo Estimado en \$/m ² | % DE POSIBLE SOBRE COSTO |
|----------|---|-------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------|
| 1 | \$ 74.461 | \$ 10.213 | 12,50% | \$ 1.277 | 1,71% |
| 2 | \$ 74.461 | \$ 10.213 | 12,50% | \$ 1.277 | 1,71% |
| 3 | \$ 74.461 | \$ 30.638 | 39,58% | \$ 12.128 | 16,29% |
| 4 | \$ 74.461 | \$ 35.744 | 50,00% | \$ 17.872 | 24,00% |
| 5 | \$ 74.461 | \$ 25.531 | 33,33% | \$ 8.510 | 11,43% |
| 6 | \$ 74.461 | \$ 40.850 | 52,08% | \$ 21.276 | 28,57% |
| 7 | \$ 74.461 | \$ 478 | 29,17% | \$ 139 | 0,19% |
| 8 | \$ 74.461 | \$ 42.312 | 58,33% | \$ 24.682 | 33,15% |
| 9 | \$ 74.461 | \$ 45.957 | 62,50% | \$ 28.723 | 38,57% |
| 10 | \$ 74.461 | \$ 35.744 | 45,83% | \$ 16.383 | 22,00% |
| 11 | \$ 74.461 | \$ 56.169 | 77,08% | \$ 43.297 | 58,15% |
| 12 | \$ 74.461 | \$ 30.638 | 43,75% | \$ 13.404 | 18,00% |
| 13 | \$ 74.461 | \$ 61.274 | 83,33% | \$ 51.062 | 68,58% |
| 14 | \$ 74.461 | \$ 10.213 | 12,50% | \$ 1.277 | 1,71% |
| 15 | \$ 74.461 | \$ 56.169 | 75,00% | \$ 42.127 | 56,58% |

Fuente: Elaboración Propia

4. CONCLUSIONES

Los errores en los procesos constructivos se pueden catalogar de cuatro tipos: errores en los procedimientos constructivos, inadecuado control de calidad por desconocimiento de las especificaciones técnicas de construcción, fallas ocasionadas por fallas operativas en la planta de asfaltos o en la obra por problemas con la maquinaria y los hechos aislados o que puntualmente pueden generar fallas prematuras en caso de no atenderlos oportunamente.

Los sobre costos que se pueden llegar a generar en la instalación de una carpeta asfáltica oscilan entre 2% y el 60% comparativamente con respecto a un metro cuadrado (m²) recientemente construido, por inadecuadas practicas constructivas. Las variables que incurren en la toma de decisiones adecuadas dependen en su gran mayoría del error humano y que están directamente asociados a la falta de capacitación del personal en el procedimiento de una instalación de una carpeta asfáltica.

Es fundamental el acompañamiento del personal profesional en el proceso constructivo de una carpeta asfáltica, ya que la probabilidad de que se produzcan

inconvenientes se reduce hasta en un 50% y es más factible que se entregue sin novedades a funcionamiento una carpeta asfáltica recientemente construida.

La creencia de malas prácticas constructivas es un común denominador en la fallas prematuras en la construcción de carpetas asfálticas, aunque este análisis sencillo de verificación en una población profesional y técnica de una obra de pavimentación, evidencia desconocimiento de las exigencias de las especificaciones técnicas de construcción [1,2,3] y como se debe realizar un adecuado control de calidad [4], adicionalmente el personal puede tener años de experiencia en la instalación de mezclas asfálticas, pero en algunos casos carecen de experticia o habilidad para solucionar problemas inmediatos o tomar decisiones adecuadas.

Las empresas dedicadas a la producción e instalación de mezclas asfálticas deberían invertir más recursos en la capacitación del personal, por ejemplo si para el ejercicio de este artículo se ejecutara un proyecto de pavimentación con el personal que participó de las encuestas y se realizara una pavimentación de una vía de 1.000 m por un ancho de calzada de 7 m, el área de instalación de mezcla asfáltica sería de 7.000 m² y el costo de la obra de acuerdo a la tabla 7 sería de \$521.227.000, lo que en condiciones normales de ejecución podría dejar una utilidad media del 10% es decir aproximadamente \$50.000.000, pero en el caso de que se cometan errores en el proceso constructivo puede que esa utilidad se gaste en la reparación de la carpeta asfáltica para entrega o peor aún que se generen pérdidas en el proyecto. Si la empresa por el contrario capacitara a todo el personal con unas 40 horas a un costo de \$1.500.000 únicamente realizaría una inversión de \$21.000.000 es decir un 42% de la utilidad de un proyecto y que fácilmente en el año una empresa dedicada a este tipo de obras realiza hasta veinte (20) proyectos de este tipo en menos de un (1) año, lo que al final representaría mejores resultados económicos y técnicos en un proyecto de pavimentación.

Si todo el personal encuestado estuviera debidamente capacitado para verificar la toma de ensayos de laboratorio se podría mejorar el control de calidad en la obra y adicionalmente se podría prevenir las patologías de falla prematuras más frecuentes en las carpetas asfálticas.

AGRADECIMIENTOS

A las directivas y empleados de Doble A Ingeniería S.A. por su colaboración para el diligenciamiento de las encuestas, ya que fue la materia prima fundamental para la realización de este artículo y a mi familia por su apoyo incondicional durante el tiempo empleado para hacer la especialización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Universidad Nacional de Colombia - INVIAS. (2006). Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá D.C., pp. 1-24

- [2] Instituto de Desarrollo Urbano - IDU. (2011). Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá. IDU-ET-2011. Bogotá D.C., Colombia: Capítulo 5. Revestimientos asfálticos.
- [3] Instituto Nacional de Vías - INVIAS. (2007). Especificaciones generales de construcción de carreteras INV-2007. Bogotá D.C.: Capítulo 4. Pavimentos asfálticos.
- [4] Maldonado Merino, Á. A. (2006). Guía para el control y el aseguramiento de la calidad de construcción de pavimentos flexibles elaborados con mezclas asfálticas en caliente en El Salvador. El Salvador: S.N.
- [5] Colucci, B. P. (2008). Guías Prácticas para la Colocación y Compactación Pavimentos Asfálticos. Mayagüez, Puerto Rico: S.N.
- [6] Instituto de Desarrollo Urbano - IDU, Contratación. Consultada en noviembre del 2014. En:http://www.idu.gov.co/web/guest/contratacion_precios/visor_precios_unitarios_2014.xlsx
- [Apendice A] Resultados ENCUESTA PARA EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS EN LA INSTALACIÓN DE CARPETAS ASFÁLTICAS. Elaboración Propia.