

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil



**Trabajo de grado para optar el título de
Especialización Ingeniería de Pavimentos**

**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN Y
MANTENIMIENTO PARA PARA MEJORAR EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE
LA VÍA MOLINOS – MANAS EN CAJICÁ CUNDINAMARCA**

**Presentado por:
ING. FRANZ STEPHEN GÓMEZ RODRÍGUEZ**

**BOGOTÁ D.C.
12 DE DICIEMBRE DE 2016**

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil



Trabajo de grado para optar el título de
Especialización Ingeniería De Pavimentos

**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN Y
MANTENIMIENTO PARA PARA MEJORAR EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LA
VÍA MOLINOS – MANAS EN CAJICÁ CUNDINAMARCA**

Presentado por:
ING. FRANZ STEPHEN GÓMEZ RODRÍGUEZ

DIRECTOR DEL PROYECTO
ING. JOSÉ GONZALO RÍOS

ASESOR DEL PROYECTO:
ING. CÉSAR A. PALOMINO S.

BOGOTÁ D.C.
12 DE DICIEMBRE DE 2016

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a Dios en primera instancia, por haber logrado realizarlo con la ayuda de él en todo momento, contando con la salud, la energía y las fuerzas suficientes para completarlo y seguir adelante, a mi madre Luz Marina por apoyarme y por la motivación en los momentos más duros, a mi Padre Carlos Elpidio por brindarme la experiencia y las herramientas con su ayuda incondicional y mi pareja María Cristina, por el amor y la alegría que siempre estuvieron allí conmigo que me daban el valor suficiente para continuar hasta el final. Los quiero mucho.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	9
Objetivos generales	11
Objetivos específicos	11
CAPÍTULO I	12
Coordenadas geográficas	14
Coordenadas cartesianas	14
CAPÍTULO II	15
Antecedentes	15
Descripción de la construcción del proyecto	15
Diseño Geométrico del proyecto	16
Estructura del pavimento	23
Proceso constructivo del pavimento	24
Actividades Sociales	31
Actividades De Transito	31
Actividades Ambientales	32
CAPÍTULO III	34
Problemática actual	34
Planteamiento para la evaluación de las patologías existentes en la vía	35
Estado actual de pavimento	36
CAPÍTULO IV	38
Tipos de daños y/o fallas existentes	38
Pérdida de las capas de la estructura	45
Daños Superficiales	48
Metodología PCI	53
Metodología VIZIR	59
Metodología por el Manual para la Inspección Visual en Pavimentos Flexibles	65
CAPÍTULO V	75

Reporte de los daños evidenciados	76
PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN Y/O MANTENIMIENTO QUE INCLUYEN CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA VÍA MOLINOS – MANÁS	87
REFERENCIAS	89
ANEXOS	90

Lista de tablas

<i>Tabla 1:</i> Coordenadas Geográficas de la vía	14
<i>Tabla 2:</i> Coordenadas Cartesianas por el Departamento de Cundinamarca de la vía.	14
<i>Tabla 3:</i> Información general del proyecto vial Molinos - Manás.	15
<i>Tabla 4:</i> Estado actual del pavimento	25
<i>Tabla 5:</i> Matriz fotografías 1	25
<i>Tabla 6:</i> Matriz fotografías 2	28
<i>Tabla 7:</i> Matriz fotografías 3	29
<i>Tabla 8:</i> Matriz fotografías 4	30
<i>Tabla 9:</i> Estado actual del pavimento desde diferentes sectores de la vía Molinos Manás.	36
<i>Tabla 10:</i> Fisura longitudinal y su unidad de medida (m)	39
<i>Tabla 11:</i> Fisura transversal y su unidad de medida (m)	39
<i>Tabla 12:</i> Fisura en media luna y su unidad de medida (m ²)	41
<i>Tabla 13:</i> Piel de Cocodrilo y su unidad de medida (m ²).	43
<i>Tabla 14:</i> Descascaramiento y su unidad de medida (m ²).	46
<i>Tabla 15:</i> Bache y su unidad de medida (m ²).	47
<i>Tabla 16:</i> Pérdida del Agregado y su unidad de medida (m ²).	48
<i>Tabla 17:</i> Pulimiento del Agregado y su unidad de medida (m ²).	50
<i>Tabla 18:</i> Detalle del Corrimiento vertical de la Berma y su unidad de medida (m).	51
<i>Tabla 19:</i> Afloramiento de Finos y su unidad de medida (un).	52
<i>Tabla 20:</i> Rangos de clasificación por metodología PCI.	53
<i>Tabla 21:</i> Categoría de los daños de los pavimentos por tipo con la metodología VIZIR	60
<i>Tabla 22:</i> Cálculos de los índices de fallas del pavimento por la metodología VIZIR.	62
<i>Tabla 23:</i> Matriz aproximación del grado de deterioro para la metodología VIZIR mencionado por el INVÍAS.	62
<i>Tabla 24:</i> información obtenida a partir de los diferentes daños encontrados en el pavimento que comprende el proyecto vial entre los sectores de Molinos y Manás.	80
<i>Tabla 25:</i> Hoja de cálculo Daños en el pavimento.	81

Lista de figuras

<i>Figura 1:</i> Localización geográfica del proyecto Molinos	12
<i>Figura 2:</i> Localización general de la vía Molinos	13
<i>Figura 3:</i> Localización de la sección a intervenir que comprende los 3,0 kilómetros.	14
<i>Figura 4:</i> Alineamiento horizontal	17
<i>Figura 5:</i> Alineamiento vertical.	18
<i>Figura 6:</i> Velocidad de Diseño según categoría de la carretera y tipo de terreno.	19
<i>Figura 7:</i> Ancho de calzada según la categoría de la carretera y tipo de terreno	19
<i>Figura 8:</i> valores estimados para el ancho de la berma.	20
<i>Figura 9:</i> Sección Típica del Pavimento Vía Molinos – Manás.	20
<i>Figura 10:</i> Pendiente relativa rampa de peraltes y valores de longitud de curva.	21
<i>Figura 11:</i> Parámetros de Diseño geométrico del pavimento.	22
<i>Figura 12:</i> Información presupuestal del proyecto vial Molinos - Manás.	22
<i>Figura 13:</i> composición de materiales para cada una de las capas de la estructura del pavimento	24
<i>Figura 14:</i> Índices de severidad dependiendo del tipo del daño identificado por la metodología PCI.	54
<i>Figura 15:</i> Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica	55
<i>Figura 16:</i> Formato para la obtención del Máximo valor deducido corregido.	58
<i>Figura 17:</i> Ejemplo. Cálculo del PCI de una unidad de muestra.	59
<i>Figura 18:</i> Nivel de Gravedad deterioros Tipo A y B por la metodología VIZIR.	60
<i>Figura 19:</i> Calificación del daño para el pavimento utilizándola Metodología VIZIR.	63
<i>Figura 20:</i> identificación del tipo de daño y sus posibles soluciones por la metodología VIZIR.	63
<i>Figura 21:</i> vida residual y métodos de recuperación del pavimento con el tipo de tránsito por la metodología VIZIR.	64
<i>Figura 22:</i> Formato para la evaluación del pavimento flexible - V2, parte 1.	66
<i>Figura 23:</i> Formato para la evaluación del pavimento flexible - V2, parte 2.	67
<i>Figura 24:</i> Ejemplo de numeración de carriles para vías de una sola calzada.	68

<i>Figura 25:</i> Ejemplo de formato de para el procesamiento de los datos.	71
<i>Figura 27:</i> Hoja de cálculo para el procesamiento y análisis de los datos	72
<i>Figura 28:</i> Detalle de la gráfica de área afectada por tramos	72
<i>Figura 29:</i> Descripción de las gráficas por severidad de los daños encontrados	73
<i>Figura 30:</i> Pulimiento, descascaramiento	76
<i>Figura 31:</i> Fisura, afloramiento	77
<i>Figura 32:</i> Piel de cocodrilo, descascaramiento	77
<i>Figura 33:</i> Fisuras de borde, fisura de media luna.	78
<i>Figura 34:</i> Descascaramiento, fisura longitudinal	79
<i>Figura 35:</i> Afloramiento de finos y agua.	79
<i>Figura 36:</i> Bache	80

Lista de gráficos

<i>Gráfica 1:</i> Área afectada por cada uno de los tramos de la vía Molinos – Manás	82
<i>Gráfica 2:</i> Distribución de los daños de severidad baja por tipo.	83
<i>Gráfica 3:</i> Distribución de los daños de severidad media por tipo.	84
<i>Gráfica 4:</i> Distribución de los daños de severidad alta por tipo.	85

Introducción

En el presente trabajo de grado tiene como propósito entregar un informe de las recomendaciones que se deben realizar para la buena rehabilitación y mantenimiento del pavimento flexible utilizando la Metodología por el Manual para la Inspección Visual en Pavimentos Flexibles por la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Nacional de Vías – INVIAS que hace parte de la vía que conecta los sectores de Molinos y Manás dentro del municipio de Cajicá, Cundinamarca a partir de la existencia de daños estructurales originados después de su funcionamiento y operación.

La construcción de la presente infraestructura vial tuvo como origen en el año 2013 debido a que el Alcalde de Cajicá, Óscar Mauricio Bejarano decidió que el casco urbano del municipio debe mejorar las vías que presentan las principales conexiones urbanas y comerciales puesto que se encuentran en mal estado y señaló que es la primera vez que se adelanta en el municipio este tipo de proyectos integrales y estratégicos para la recuperación de la malla vial y que presentará una obra de impacto regional, construida para tráfico pesado con control y manejo de las aguas que van hacia los ríos Bogotá y Frío.

Para ello, la alcaldía municipal con la administración del Departamento de Cundinamarca realizó la inversión de \$990 millones a través del Instituto de Infraestructura y Concesiones (ICCU), para la rehabilitación y mejoramiento de cinco kilómetros del tramo vial disminuyendo los índices de accidentalidad y mejora la movilidad en el casco urbano.

Así mismo, la Alcaldía del municipio de Cajicá - Cundinamarca, se encuentra evaluando cada una de las vías que son importantes para el acceso y conexión de su casco urbano y sus alrededores que son fundamentales para permitir un mejor servicio de movilidad, servicio

comercial, reducción de costos y el aumento de su calidad de vida entre el municipio y sus homólogos en el departamento, así como su cercanía al Distrito Capital.

Abstract

This test shows a report of recommendations that must be realized for a better rehabilitation and maintenance of the flexible pavements using the Methodology by the “Manual para la Inspección Visual en Pavimentos Flexibles” from the Universidad Nacional de Colombia and the Instituto Nacional de Vías - INVIAS, for the road that connects the places of Molinos and Manás in Cajicá town, Cundinamarca, Department of Colombia from the existence of structural damage originated after its operation and performance.

Objetivos generales

- Realizar un diagnóstico visual en la vía Molinos – Manás de una longitud de tramo de 3 kilómetros, a partir al diseño del pavimento existente, su proceso constructivo y la calidad de los materiales que componen su estructura para verificar el cumplimiento de las normatividades vigentes según INVIAS.
- Formular una propuesta de rehabilitación y mantenimiento que permita mitigar las fallas encontradas en el diseño y en la construcción de la estructura del pavimento flexible en la vía.

Objetivos específicos

- Realizar visitas a la vía comprendida entre los sectores de Molinos y Manás con el propósito de realizar una análisis conceptual del estado del pavimento.
- Analizar los tipos de falla con base en metodologías teóricas que se presentan en la estructura del pavimento, así como los materiales que lo componen.
- Determinar los factores internos y externos que originaron las fallas del pavimento correspondientes.
- Elaborar una propuesta que permita la opción más viable y adecuada para la rehabilitación y mantenimiento del pavimento.
- Presentar las metodologías de evaluaciones de tipos de fallas en pavimentos flexibles escogiendo la que más aplica al caso estudiado.

CAPÍTULO I

LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto Molinos – Manás es un vía de orden secundario que comprende una longitud total de 4,925 km que tiene como objetivo comunicar el municipio de Tabío y Zipaquirá en el Departamento de Cundinamarca sin necesidad de cruzar por el municipio de Cajicá funcionando como una variante que comprende una movilidad de tráfico ligero y con presencia del paso continuo de vehículos pesado por su proximidad con la Cantera de Manás al norte del municipio (Informe mensual No.2 INVÍAS, 2014).

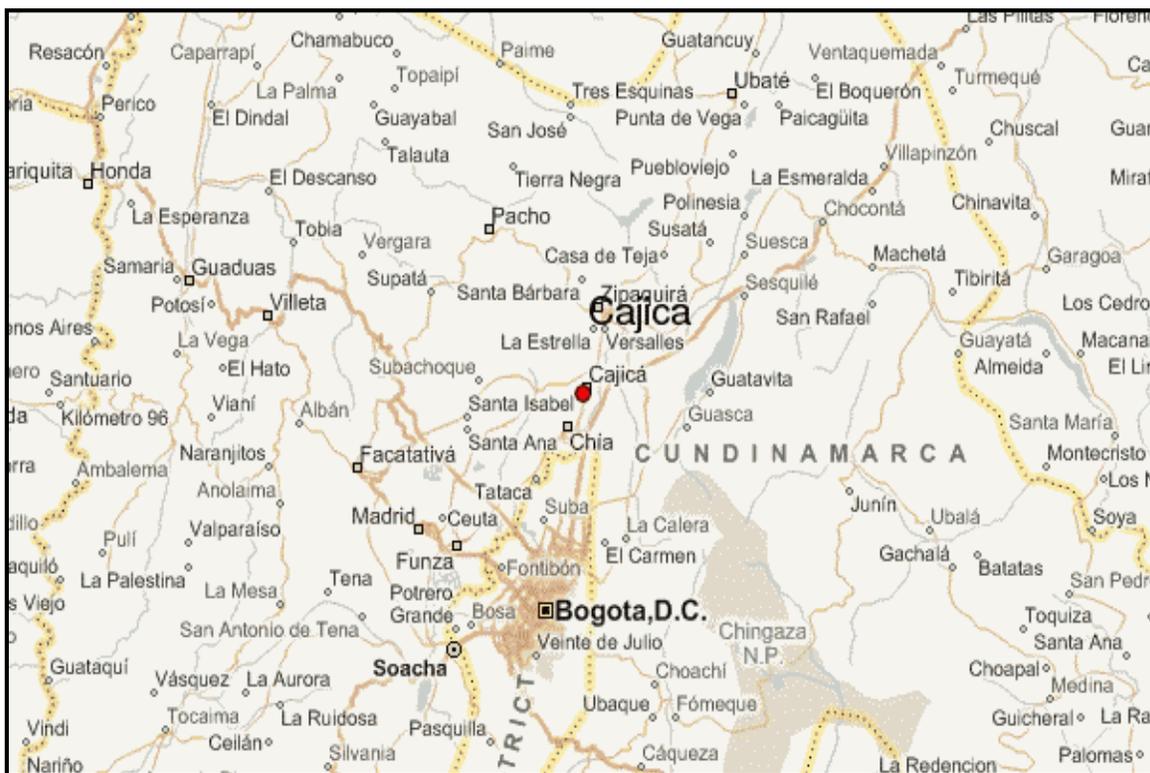


Figura 1: Localización geográfica del proyecto Molinos – Manás, ubicado en el municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Recuperado de Google Earth.

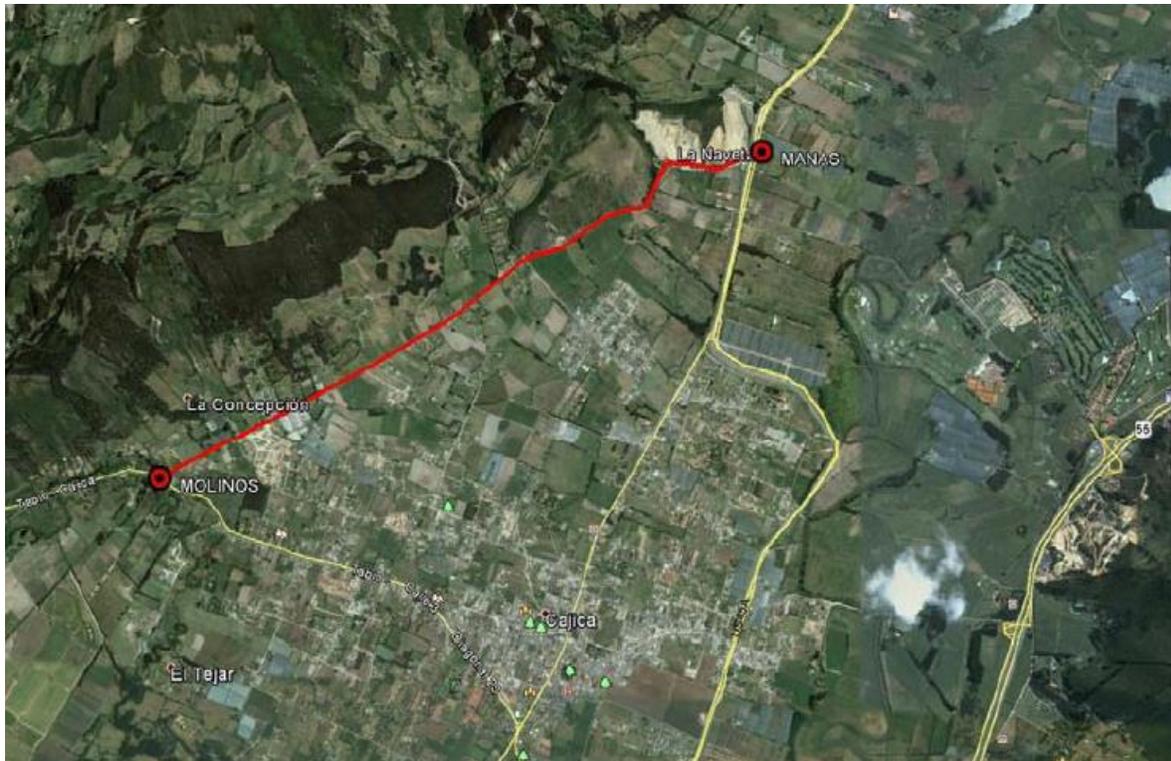


Figura 2: Localización general de la vía Molinos – Manás.

Fuente: Recuperado de Google Earth.

El pavimento que comprende los sectores de Molinos y Manás está comprendido por un terreno plano que presenta una elevación máxima de 6 metros sobre los 5 kilómetros existentes en la vía en el noroccidente del municipio con una altitud promedio de 2570 metros sobre el nivel del mar con un ancho de vía de 7,0 metros aproximadamente. La construcción de esta vía se conforma por una estructura donde en su parte superior se compone de la capa de rodadura con carpeta asfáltica MDC-2 de 7,0 cm, base asfáltica MDC-2 de 8,0 cm, la capa base granular BG1 de 20 cm de espesor, la capa subbase granular SBG1 de 32 cm y la capa subrasante de acuerdo a la normatividad del Invías del año 2012, la cual tuvo como inicio en el mes de marzo del año 2014 y tuvo terminación en el mes de diciembre del año 2015.

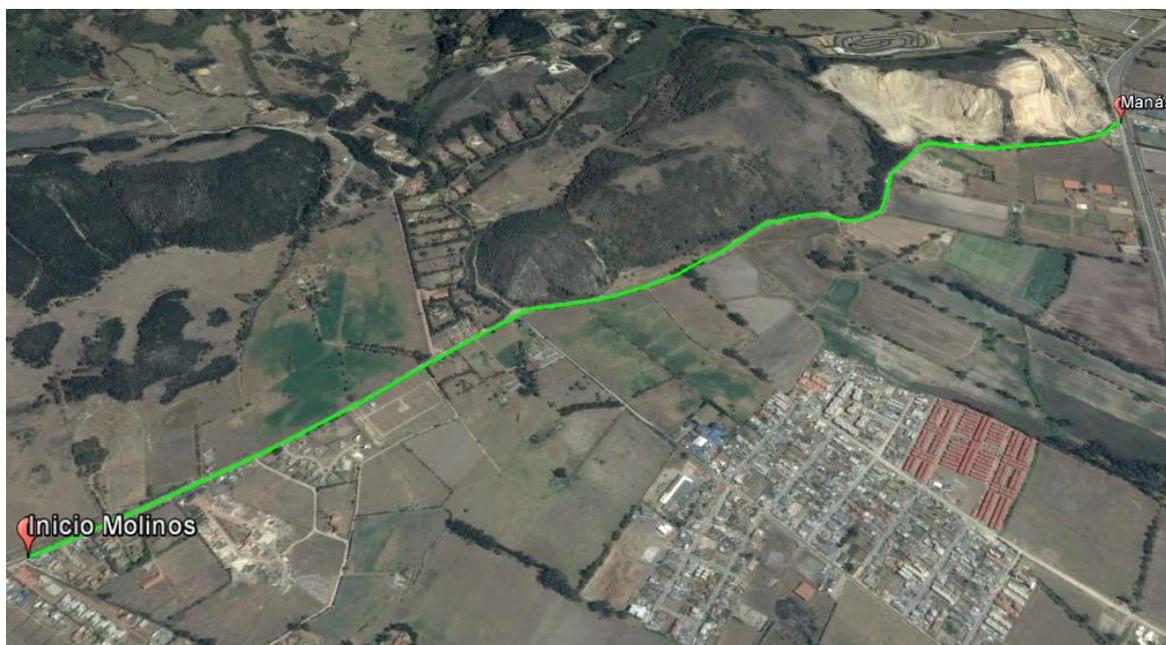


Figura 3: Localización de la sección a intervenir que comprende los 3,0 kilómetros.

Fuente: Recuperado de Google Earth.

Coordenadas geográficas

PROYECTO VIAL	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		ALTITUD PROMEDIO
	NORTE	OESTE	
Inicio del proyecto (Molinos)	4°56'14.81"	74°02'11.45"	2564,46 msnm
Fin del proyecto (Manás)	4°57'03.35"	74°00'52.53"	2570,34 msnm
LONGITUD TOTAL	3.001 metros		

Tabla 1: Coordenadas Geográficas de la vía.

Fuente: elaboración propia.

Coordenadas cartesianas

PROYECTO VIAL	COORDENADAS CARTESIANAS DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA		ALTITUD PROMEDIO
	NORTE	OESTE	
Inicio del proyecto (Molinos)	1.036.751,92	1.002.907,86	2564,46 msnm
Fin del proyecto (Manás)	1.039.242,04	1.006.977,83	2570,34 msnm
LONGITUD TOTAL	3.001 metros		

Tabla 2: Coordenadas Cartesianas por el Departamento de Cundinamarca de la vía.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA EN ESTUDIO

Antecedentes

A partir de lo anterior, la administración central del municipio ha celebrado con el Consorcio Molinos el Contrato 2013-02-689 cuyo objeto es la ejecución de los Estudios y Diseños para la Rehabilitación y Pavimentación de la Vía Secundaria Molinos - Manás.

Como se mencionó anteriormente, la estructura del pavimento entre los sectores de Molinos y Manás está comprendido por una capa de rodadura de tipo flexible con una duración de su carpeta asfáltica de 10 años como lo exige el INVÍAS en el cual ya se encuentra en funcionamiento desde comienzos de este año y por la cual comprende una calzada de dos carriles con sentido mixto con una serie de pocas curvas y elevaciones.

El corredor vial de la vía Molinos – Manás está conformado por 5,0 kilómetros en el cual para el análisis de las fallas existentes en el cual se realizará el estudio para su inspección y visitas técnicas comprende desde el kilómetro 2,0 hasta el kilómetro 5,0 (final), donde se presentan los mayores deterioros originados desde el funcionamiento de la vía que evidencia las falencias presentadas en su diseño y/o construcción por lo que se detallará más adelante (Informe mensual No.2 INVÍAS, 2014).

Descripción de la construcción del proyecto

A continuación, se presenta la información total del proyecto:

INFORMACIÓN DEL PROYECTO	
CONTRATO DE OBRA	N° 003 DE 2014
CONTRATISTA	CONSORCIO VÍA MOLINO
INTERVENTORÍA	VELNEC S.A
OBJETO DEL CONTRATO	REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LA VÍA MOLINO MANAS DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ
MUNICIPIO	CAJICÁ
DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA

VALOR DEL CONTRATO	\$ 990.000.000.00
PLAZO DE EJECUCIÓN	SIETE (7) MESES
FECHA DE INICIACIÓN	JUNIO 16 DE 2014
FECHA DE TERMINACIÓN	ENERO 15 DE 2015

Tabla 3: Información general del proyecto vial Molinos - Manás.

Fuente: 2014-10 Informe mensual No.2 INVIAS

Diseño Geométrico del proyecto

El diseño geométrico que comprende el proyecto vial Molinos- Manás se realizó con la geometría que comprende el estado actual existente a la topografía y el tipo del terreno, así como la circulación de vehículos planteado en vista tridimensional para que la carretera cumpla con los requisitos que de funcionalidad, seguridad, comodidad, estética, económica y compatible con el medio ambiente, armonizando con los elementos existentes en el lugar.

Para ello, el consorcio encargado del proyecto realizó un recorrido de campo que comprendía la vía inicialmente y realizó el levantamiento topográfico con el fin de establecer el corredor vial desde su perspectiva tridimensional que comprende el trazado existente con lo cual se definió que el proyecto contemplará un eje central de calzada con una cantidad y disposición de dos carriles durante todo el proyecto. Para ello, se hicieron las siguientes actividades:

- Ubicación y descripción de las restricciones constructivas y geométricas.
- Diseño del alineamiento horizontal con base en los requerimientos normativos y criterios establecidos.
- Cálculo y proceso de elementos de las concatenaciones de curvas establecidas.
- Generación y proceso en programas de diseño especializado para la geometrización del eje y su cuadro de elementos de curvatura.
- Edición del dibujo de diseño en planta incorporado con la topografía base en las escalas especificadas.

A partir del resultado de las actividades anteriores, se presentan los planos de diseño correspondientes pasmando la geometría general del proyecto y se proceden a realizar los diseños de rasantes y los diseños transversales. También se determinó que a partir de la geometría que comprende la vía en mención y con el levantamiento en campo, se estableció que la topografía es de carácter montañoso por su cercanía a la cantera de Manás aunque la mayoría del terreno sea de orden plano. Igualmente, dentro de los estudios para la determinación del tráfico, se estableció que circulan un número aproximado de 3'650.000 ejes equivalentes para la vía actual existente.

Para el diseño de las rasantes, el Consorcio junto con el Interventor procedieron a realizar los alineamientos horizontal y vertical del proyecto con el cual se obtiene la rasante de la vía proyectada y las dimensiones de las curvas verticales que comprende la vía. Por otra parte, para el diseño transversal, se procedió al elaborar las secciones transversales del terreno y del diseño por cada 10 metros tomando en cuenta el diseño geométrico establecido y la topografía existente. A continuación, se presentan los alineamientos definidos para este proyecto (Alcaldía de Cajicá, 2014).

Alineamiento horizontal del proyecto.

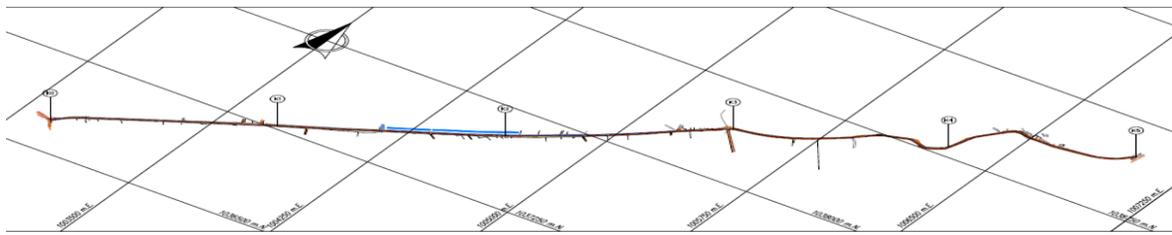


Figura 4: Alineamiento horizontal

Fuente: Estudio de trazado y diseño geométrico, Consorcio Vía Molino.

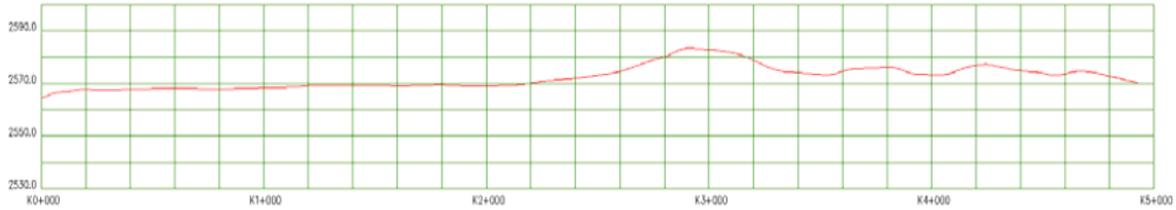
Alineamiento vertical del proyecto.

Figura 5: Alineamiento vertical.

Fuente: Estudio de trazado y diseño geométrico, Consorcio Vía Molino.

Parámetros de diseño.

Una vez definidos los diseños preliminares con el cual comprende la geometría general de la vía, se procede a definir los diseños de velocidad, calzada, berma, pendiente y peralte.

Para la definición de la velocidad de diseño del proyecto se tuvo en cuenta la normatividad vigente en el Manual de Diseño Geométrico del INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS), las características geométricas de la vía en la actualidad, la categoría de la carretera y el tipo de terreno por el cual discurre el proyecto.

Como el proyecto de la carretera actual corresponde a una red vial secundaria, se determinó que la velocidad de diseño debe ser de 40Km/h en el cual se tuvo en cuenta el trazado actual y los límites de velocidad actuales comprendidos en su mayoría por vehículos pesados.

CATEGORIA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Primaria de una calzada	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

Figura 6: Velocidad de Diseño según categoría de la carretera y tipo de terreno.

Fuente: Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

Una vez establecida la velocidad de diseño para el proyecto, se obtiene el valor que comprende la magnitud del ancho de la calzada de acuerdo a la normatividad del INVIAS de acuerdo a la siguiente tabla:

CATEGORIA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 7: Ancho de calzada según la categoría de la carretera y tipo de terreno.

Fuente: Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

A partir de lo anterior, como la vía en construcción se determinó que el ancho debe ser de 6,60 metros y comprende la existencia de dos carriles, cada carril tendrá un ancho de 3,30 metros.

Con ello y teniendo en cuenta la categoría de la carretera, el tipo del terreno y la velocidad de diseño se establece el ancho de berma en la siguiente tabla:

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V _{TR}), km/h									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas ¹	Plano	-	-	-	-	-	-	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	2.0/1.0	2.0/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	2.0/1.0	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00	2.50	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1.80	2.00	2.00	2.50	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	1.80	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.50	0.50	1.00	1.00	-	-	-	-
Terciana ²	Plano	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-

Figura 8: valores estimados para el ancho de la berma.

Fuente: Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

Como se puede describir en la tabla anterior, se obtiene un ancho de berma de 0,50 metros, con lo cual se define que se define que el ancho de la berma cuneta debe ser de 0.70 metros.

Sección transversal.

Una vez definidos en ancho de la calzada y de la berma de acuerdo a la velocidad de diseño, a continuación se presenta un esquema que comprende la sección transversal del proyecto vial.

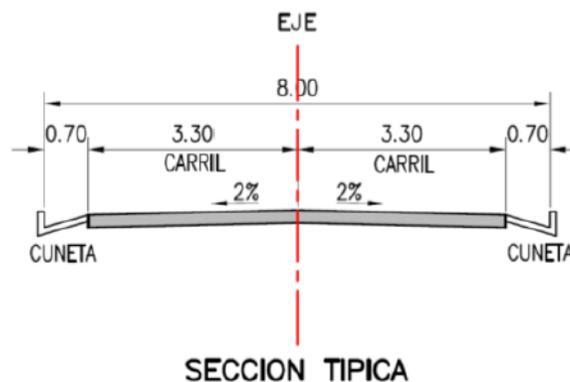


Figura 9: Sección Típica del Pavimento Vía Molinos – Manás.

Fuente: Estudio de trazado y diseño geométrico - Consorcio Vía Molino.

Para el diseño de las pendientes y teniendo en cuenta las condiciones de las curvas verticales diseñadas, el valor de la pendiente mínima debe ser del 0,50% con el fin de obtener un buen drenaje cuando se presenten condiciones de lluvia y del 0,20% para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable de acuerdo con la normatividad del INVIAS. Adicionalmente y tomando en cuenta el Capítulo 4.12 del Manual de Diseño Geométrico de la entidad y dadas las condiciones de la topografía y el terreno, el valor de la pendiente máxima debe ser del 10%, pero como en el estado actual de la altimetría del lugar, se estableció que la pendiente no superará el 4%, (2014).

Adicionalmente, los valores del peralte y la longitud de las curvas verticales para el proyecto vial, los valores establecidos también se tomaron a partir del Capítulo 4.4 del Manual de Diseño Geométrico del INVIAS dando como resultado las siguientes tablas:

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES Δs		VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{cv} (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	VALORES DE K_{min}				LONGITUD MÍNIMA SEGÚN CRITERIO DE OPERACIÓN (m)
	MÁXIMA (%)	MÍNIMA (%)			CURVA CONVEXA		CURVA CÓNCAVA		
					CALCULADO	REDONDEADO	CALCULADO	REDONDEADO	
20	1.35	0.1 x a	20	20	0.6	1.0	2.1	3.0	20 ⁽¹⁾
30	1.28		30	35	1.9	2.0	5.1	6.0	20 ⁽¹⁾
40	0.96		40	50	3.8	4.0	8.5	9.0	24
50	0.77		50	65	6.4	7.0	12.2	13.0	30
60	0.60		60	85	11.0	11.0	17.3	18.0	36
70	0.55		70	105	16.8	17.0	22.6	23.0	42
80	0.50		80	130	25.7	26.0	29.4	30.0	48
90	0.47		90	160	38.9	39.0	37.6	38.0	54
100	0.44		100	185	52.0	52.0	44.6	45.0	60
110	0.41		110	220	73.6	74.0	54.4	55.0	66
120	0.38		120	250	95.0	95.0	62.8	63.0	72
130	0.38		130	285	123.4	124.0	72.7	73.0	78

⁽¹⁾ La adopción de este valor tiene como finalidad garantizar unas mínimas condiciones de estética a las carreteras, y por consiguiente de comodidad para los usuarios.

Figura 10: Pendiente relativa rampa de peraltes y valores de longitud de curva.

Fuente: Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

Por último, se establece un resumen de los parámetros básicos para el diseño del proyecto que comprende la vía secundaria de Molinos y Manás para el municipio de Cajicá.

PARAMETRO	V _{CH}
	40 km/h
Tipo de Terreno	Ondulado - Montañoso
Calzada	6.60 m
Ancho de Carril	3.30 m
Bermas	0.70m
Pendiente Longitudinal Máxima	10.00%
Pendiente Longitudinal Mínima	0.20%
Radio Mínimo Calculado	41.00 m
Peralte Máximo	8.00%
Peralte Mínimo – Bombeo Normal	2.00%
K (Curva vertical cóncava)	4
K (Curva vertical convexa)	9
Pendiente Máxima Relativa del peralte	0.77

Figura 11: Parámetros de Diseño geométrico del pavimento.

Fuente: Estudio de trazado y diseño geométrico - Consorcio Vía Molino.

Información presupuestal del Proyecto Mediante Actas Parciales

Durante el periodo de ejecución del proyecto, se informa discriminado en los siguientes términos:

SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS		\$748.855.313,077	\$ 74.210.875,20		\$186.315.864,00
ADMINISTRACIÓN	24%	\$179.725.275,138	\$17.810.610,00	24%	\$44.715.807,36
IMPREVISTOS	1%	\$7.488.553,131	\$742.109,00	1%	\$1.863.158,64
UTILIDAD	5%	\$37.442.765,654	\$3.710.544,00	5%	\$9.315.793,20
TOTAL COSTO COMPENSACION AMBIENTAL		\$16.488.093,000			
AJUSTE AL PESO			\$0,00		-\$0,20
VALOR TOTAL DEL CONTRATO		\$990.000.000,00	\$96.474.138,20		\$242.210.623,00

Figura 12: Información presupuestal del proyecto vial Molinos - Manás.

Fuente: (Informe mensual No.2 INVÍAS, 2014)

Es de aclarar que los valores (meta financiera) de ejecución facturada, difieren de los reportados en los Informes semanales, puesto que los primeros se generan con las Actas de Recibo Parcial de Obra ya conciliada y causadas.

Descripción de las actividades ejecutadas.

Las actividades ejecutadas durante este periodo fueron principalmente, la excavación, extendido y compactación de cada uno de los materiales de cada una de las capas granulares (subrasante, subbase, base y capa de rodadura) autorizados para la obra.

En la ejecución del proyecto vial comprendido entre Molinos y Manás, se realizaron las siguientes actividades constructivas:

- Excavación mecánica de material común proveniente de la cantera de Manás.
- Mejoramiento de suelo natural con material pétreo (rajón).
- Instalación de material de sello para material pétreo.
- Instalación de material de subbase.
- Instalación de material de base.
- Compactación de materiales granulares.

Descripción De Maquinaria Utilizada.

- 2 Retroexcavadoras de oruga Komatsu 220-130
- 3 Retroexcavadoras de llanta
- 3 vibro compactador
- 1 Bobcat

Estructura del pavimento

Para definir la composición de los materiales que se llevan a cabo para el diseño de la estructura de la vía, se realizó el diseño por el método AASHTO y se verificó por las leyes de fatiga SHELL, con el fin de realizar el diseño de acuerdo a la normatividad del INVIAS para medianos y altos volúmenes de tráfico. Dentro de los estudios de laboratorio realizados, se obtuvo que el valor del CBR del valor de la resistencia de la subrasante alto es del 11,5% puesto que se aprovechó los materiales que conformaron la capa de afirmado existente en esta vía.

Con el diseño utilizado anteriormente, se determinó que la capa asfáltica posee un espesor de 15 cm que se encuentra dentro de los valores máximos para una vía secundaria, el Consorcio

Vía Molino optó por dividir esta capa en rodadura y base asfáltica, con lo que se definió de la siguiente manera:

Capa	Espesor (cm)
Rodadura asfáltica tipo MDC-2	7,0
Base asfáltica tipo MDC-2	8,0
Base granular tipo BG-1	20,0
Subbase granular tipo SBG-1	32,0
Total estructura	67,0

Figura 13: composición de materiales para cada una de las capas de la estructura del pavimento Vía Molinos - Manás.

Fuente: Imagen recuperada de la web, (Martínez W. A., 2013, pág. 4)

Proceso constructivo del pavimento

A continuación, se detallará una serie de registro fotográfico que permitió la construcción de este proyecto entre los años 2014 y 2015 desde su ámbito ingenieril que comprende la geología, hidrología, geotecnia, hidráulica, el tránsito y la parte ambiental en el cual se realizó la construcción de la estructura del pavimento para el corredor en el cual se presenta a futuro la intervención de las fallas existentes que comprende desde el kilómetro No. 2,0 planteado inicialmente.

Estado inicial – sin actividades.

FOTOGRAFÍA DEL AVANCE	DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES
	<p>Estado actual del pavimento sobre el inicio del proyecto k0+000.</p>

Fuente: Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, (2015).

Actividades realizadas k0+000 a k1+500.

Tabla 5: Matriz fotografías 1x

FOTOGRAFÍA DEL AVANCE	DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES
	<p>Suministro e instalación y compactación de base granular k0+150 a k0+650.</p>



Suministro e instalación y construcción de la berma k0+150 a k0+650.



Reciclado con base estabilizada con emulsión asfáltica y cemento tipo BEE-1 k0+150 a k0+650.

	<p>Imprimación k0+150 a k0+650.</p>
	<p>Colocación y compactación de asfalto k0+150 a k0+650.</p>
	

Fuente: Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, (2015).

Actividades realizadas k0+000 a k1+500.

Tabla 6: Matriz fotografías 2.

FOTOGRAFÍA DEL AVANCE	DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES
	<p>Excavación manual para instalación de tubería k1+900 a k2+000.</p>
	<p>Suministro e instalación y compactación de subbase granular k1+900 a k2+000.</p>

Fuente: Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, (2015).

Actividades realizadas k2+000 a k2+350.

Tabla 7. Matriz fotografías 3

FOTOGRAFÍA DEL AVANCE	DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES
	<p>Suministro e instalación y compactación de subbase granular k2+150 a k2+350.</p>
	<p>Suministro e instalación y compactación de subbase granular k2+150 a k2+350.</p>

Fuente: Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, (2015).

Actividades realizadas k2+350 a k3+000.

Tabla 8: Matriz fotografías 4.

FOTOGRAFÍA DEL AVANCE	DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES
	<p>Suministro instalación y compactación de subbase granular k2+450 a k2+600.</p>
	<p>Suministro instalación y compactación de subbase granular k2+450 a k2+600.</p>
	<p>Colocación de cunetas en concreto con formaleta k2+450 a k2+600.</p>

Fuente: Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, (2015)

Actividades Sociales.

Durante el desarrollo del proyecto, la Alcaldía Municipal por parte del Departamento de Planeación y los propietarios de los predios afectados realizaron semanalmente reuniones enfocadas en informar a estos últimos las ventajas generadas por el funcionamiento de este proyecto en el ámbito comercial y de movilidad con el fin de lograr efectuar compras y/o cesiones de los predios correspondientes por parte de la cabecera municipal.

Lo anterior fue muy importante para que el Contratista encargado del proyecto vial desarrollara la ejecución de las obras, debido a que hay tramos en los cuales no se puede trabajar hasta tanto no se llegue a un acuerdo con el propietario del predio.

De igual manera, para poder avanzar con la ejecución de la obra vial, el Contratista necesitó apoyo del trabajo colaborativo de la población que vive en el sector, puesto que existen diversas conexiones viales locales hacia diferentes veredas que se encontraban afectadas por el tránsito y la ocupación de equipos y maquinarias de construcción. Esto se solucionó creando Veedurías conformadas por la misma comunidad la cual realizaban un acompañamiento en los comités de obra realizados los días miércoles a las 8 de la mañana, para así también informarles del estado actual del contrato para estar de acuerdo.

Actividades De Transito.

En el tiempo de ejecución del proyecto vial, se llevó a cabo un Plan de Manejo de Trafico entregado en su inicio y aprobado ante la Interventoría y la Alcaldía Municipal para garantizar el flujo organizado de vehículos en el sector.

Para el recorrido que comprende el kilómetro final del proyecto vial, el consorcio entregó un documento al Secretario de Gobierno sobre la necesidad de cerrar el tramo del Sector Manas

con el sector de Capellanía de acuerdo a los lineamientos de Seguridad establecidos por la Ley, lo cual fue aprobado en el periodo de ejecución.

Adicionalmente, el consorcio entregó volantes a la comunidad sobre los desvíos existentes durante el cierre de este sector los cuales se mencionan a continuación

Desvío 1.

Para ir al municipio de Zipaquirá desde Tabio, tomar ruta alterna la variante norte de Cajicá (diagonal 2 sur) vía la bajada hasta el puente peatonal del colegio Pompilio, girando a la derecha a tomar la variante Cajicá - Chía hasta el primer retorno para dirigirse hacia Nemocón por la variante Cajicá - Zipaquirá.

Desvío 2.

Para ir a los municipios de Tabio y Tenjo tomar ruta alterna la variante Cajicá a Chía hasta el puente vehicular en la entrada norte a Cajicá; desviando a la derecha hasta el puente peatonal del colegio Pompilio y finalmente desviando a la izquierda para tomar la variante norte de Cajicá (diagonal 2 sur) vía la bajada, sin que se vea afectado el tránsito de la zona urbana del municipio.

Actividades Ambientales

Con el fin de evitar alguna afectación de orden ambiental, todo trámite que se necesitó para el permiso respectivo, se basó en el PAGA (Programa de Adaptación De La Guía Ambiental) del INVÍAS lo cual contó con la presencia de la Alcaldía Municipal y la OATAA (Oficina de Asistencia Técnica Agropecuaria y Ambiental) quienes son los gestores principales en las actividades realizadas.

Dentro del área de estudio para la construcción del pavimento, se evidenció que no existen riesgos geológicos por evidenciarse que la topografía es plana y por la ausencia de taludes de

alturas mayores a los cuatro metros por lo que no se producirán grandes cortes. También, el proyecto vial no interviene áreas ecológicamente sensibles ni zonas de reserva cultural.

En el proceso de la construcción, el área de influencia directa e indirecta de la carretera fue parcialmente intervenida en el cual se encontró gran parte del terreno un territorio urbanizado ocupado predios de producción agrícola, industrial y pecuaria que generaron un nivel de impacto precedente, disminuyendo la sensibilidad y vulnerabilidad actual del área del Proyecto.

Sin embargo, los principales riesgos ambientales durante la ejecución del proyecto vial se presentan por impactos generados por el ruido, polvo, movimiento de vehículos, maquinaria pesada y la presencia de trabajadores en el día. Para mitigar la generación permanente de ruido, se realizaban riegos permanentes de agua con carro tanque en periodos de sequía.

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO VIAL. PROBLEMA ACTUAL DE LA VÍA

Problemática actual

En el periodo comprendido de los primeros 6 meses que lleva el funcionamiento de la vía entre los sectores de Molinos y Manás en el municipio de Cajicá, Cundinamarca y como fundamento para el desarrollo del presente Trabajo de Grado, se ha evidenciado diversas fallas en el pavimento flexible, que comprende desde fisuras, como descascaramientos de agregados y baches en la capa de rodadura.

Esto se debe principalmente, porque en el corredor vial circulan moderadamente vehículos pesados de tipo C2G, C3S2 y C3S3 (camiones, volquetas y tractomulas) en una misma frecuencia que los vehículos livianos como autos y camionetas debido a que esta vía de orden secundaria, es una variante que comunica los municipios de Zipaquirá con los municipios de Tabio y Tenjo sin necesidad de pasar por el centro urbano de Cajicá. Igualmente, la existencia del paso de vehículos pesados se presenta porque en esta área de la sabana existen productoras alimenticias provenientes de la agricultura y ganadería.

Sin embargo, lo que es más importante que genera el problema actual de la vía se debe a que el periodo de vida útil comprendido para este pavimento flexible son de 10 años estimado por el INVÍAS en el cual su estructura se ha visto deteriorada en pequeños sectores, sobre todo en los últimos kilómetros hacia la Cantera de Manás que conecta con la variante principal de Chía – Zipaquirá, siendo de una topografía mayoritariamente plana.

Para ello y con el propósito de describir cada una de las fallas presentes que puede sufrir un pavimento flexible, se mostrará a continuación un contenido de este tema, basado en el Manual

Para La Inspección Visual De Pavimentos Flexibles por parte de la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Nacional de Vías en el año 2006.

Planteamiento para la evaluación de las patologías existentes en la vía

Para obtener información sobre la existencia de cada una de las fallas existentes en la vía se realizó a partir de las siguientes actividades en la cual el estudiante logró acceder a la información previa de la construcción y a la documentación para cumplir los objetivos principales anteriormente planteados:

Como primer paso, se realizó una cita con los representantes de la Alcaldía Municipal de Cajicá y el Consorcio Vía Molino con el fin de acceder y obtener información de la sobre el desarrollo del proyecto vial con fines académicos e investigativos a través de un permiso respectivo por medio de una carta de autorización.

Una vez obtenido el permiso para acceder a la información, se realizaron diferentes visitas de campo a la vía para obtener información sobre la localización de proyecto, estado actual del pavimento, topografía, áreas urbanas influenciadas y el tráfico existente.

Durante este proceso, se recopila información secundaria sobre la evaluación de las patologías que presenta el pavimento entre los sectores de Molinos y Manás, así como las posibles metodologías de evaluación.

Siguiente a este paso, se realizó una visita en la cual comprende como tal la identificación de las fallas que comprende el pavimento mediante una inspección visual por medio de registros fotográficos como base fundamental para el desarrollo del trabajo de grado.

Con la información recolectada en campo, se procede a recopilar la información existente mediante un análisis de resultados encontrados en la estructura del pavimento. Adicionalmente, se introduce a realizar el documento técnico.

Una vez analizado la información de los resultados en campo, se define cual metodología es la más adecuada para la evaluación de la estructura que comprende el corredor vial y posteriormente se realizarán las recomendaciones que aportan al desarrollo de una plan de mantenimiento para mejorar el buen funcionamiento del pavimento existente.

Por último, se realizarán las conclusiones en el documento técnico con el fin de completar la propuesta de rehabilitación y mantenimiento para el pavimento comprendido entre los sectores de Molinos y Manás en el municipio de Cajicá, (Informe mensual No.2 INVÍAS, 2014).

Estado actual de pavimento

Durante el recorrido en una de las visitas técnicas, se evidenciaron diferentes aspectos que influyen la vida útil del pavimento.

Tabla 9: Estado actual del pavimento desde diferentes sectores de la vía Molinos - Manás.





Paso de vehículos pesados
en el punto k3+450.



Punto final del pavimento
que comunica con la variante
Chía – Zipaquirá k5+000.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

En el área de la infraestructura vial, la evaluación es una técnica muy importante que sirve para determinar el comportamiento de la vida útil de los pavimentos desde su componente funcional y estructural. Esto se realiza mediante el proceso de auscultación que tiene como objetivo evaluar la capacidad del que soporta el pavimento ante los efectos del tráfico, las condiciones ambientales, los materiales utilizados y el proceso constructivo para catalogar los diferentes tipos de daños presentados dentro de las cuales existen diferentes que se aplican actualmente.

Con el fin de realizar una buena evaluación del pavimento a partir de la auscultación, primero se deben conocer los tipos de daños y/o fallas provenientes de diferentes patologías que se presentan en el pavimento comprendido entre los sectores de Molinos y Manás para el municipio de Cajicá, durante su periodo de vida útil y residual, los cuales son calificados por su tipo de severidad (baja, media y alta) y por su tamaño mediante una unidad de medida de daño así como su futura evolución, originadas por diferentes agentes como el tránsito, materiales utilizados, proceso constructivo y factores ambientales descritos anteriormente entre los cuales son mencionados a continuación.

Es de referenciar que la información recopilada para describir cada uno de los tipos de daños en pavimentos se toma desde el Manual Para La Inspección Visual De Pavimentos Flexibles- UNAL – INVIAS.

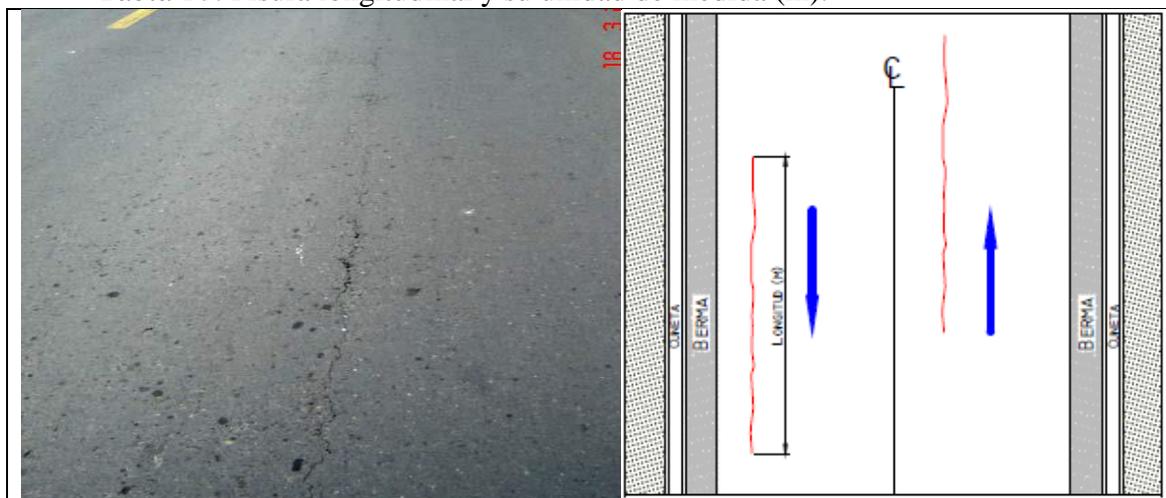
Tipos de daños y/o fallas existentes

Fisuras

Fisuras longitudinales y transversales (FL, FT). Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia

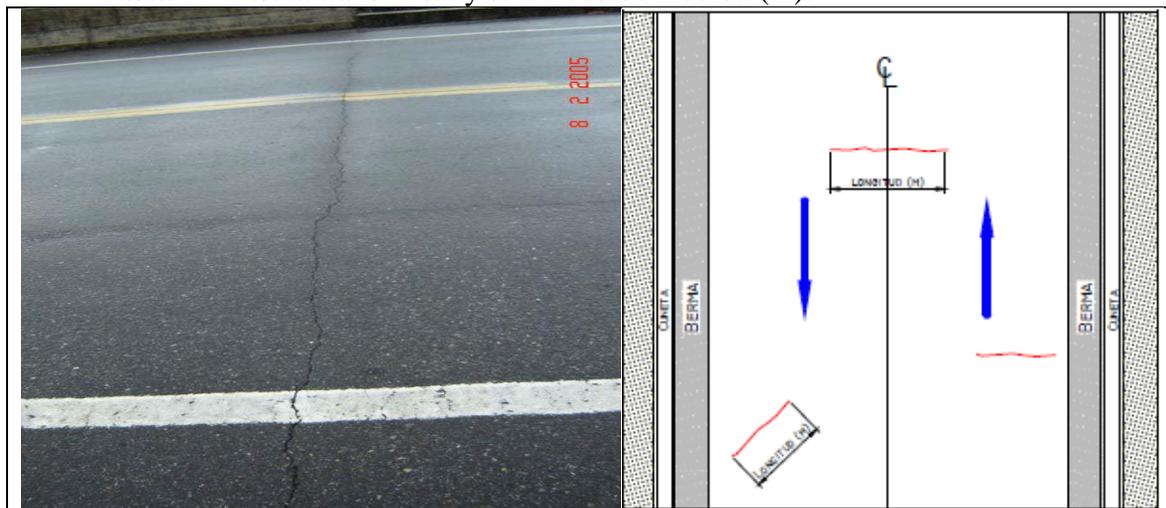
de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.

Tabla 10: Fisura longitudinal y su unidad de medida (m).



Fuente: Imagen recuperada de la web, (Universidad Nacional, 2006, pág. 7).

Tabla 11: Fisura transversal y su unidad de medida (m).



Fuente: Imagen recuperada de la web, (Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, 2006, pág. 8).

Causas.

Las causas más comunes a ambos tipos de fisuras, son:

- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler¹, o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).
- Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

Otra causa para la conformación de Fisuras Longitudinales es:

- Fatiga de la estructura, usualmente se presenta en las huellas del tránsito.

Otras causas para la conformación de Fisuras Transversales son:

- Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
- Riego de liga insuficiente o ausencia total.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

Severidades.

- Baja: Abertura de la fisura menor que 1 mm, cerrada o con sello en buen estado.
- Media: Abertura de la fisura entre 1 mm y 3 mm, pueden existir algunas fisuras con patrones irregulares de severidad baja en los bordes o cerca de ellos y pueden presentar desportillamientos leves; existe una alta probabilidad de infiltración de agua a través de ellas.
- Alta: Abertura de la fisura mayor que 3 mm, pueden presentar desportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos.

Unidad de medición: Se miden en metros (m). Es posible determinar el área de afectación por este deterioro en metros cuadrados (m²) multiplicando la longitud total de fisuras por un ancho de referencia establecido en 0,6 m, esto para los fines del análisis del área total afectada.

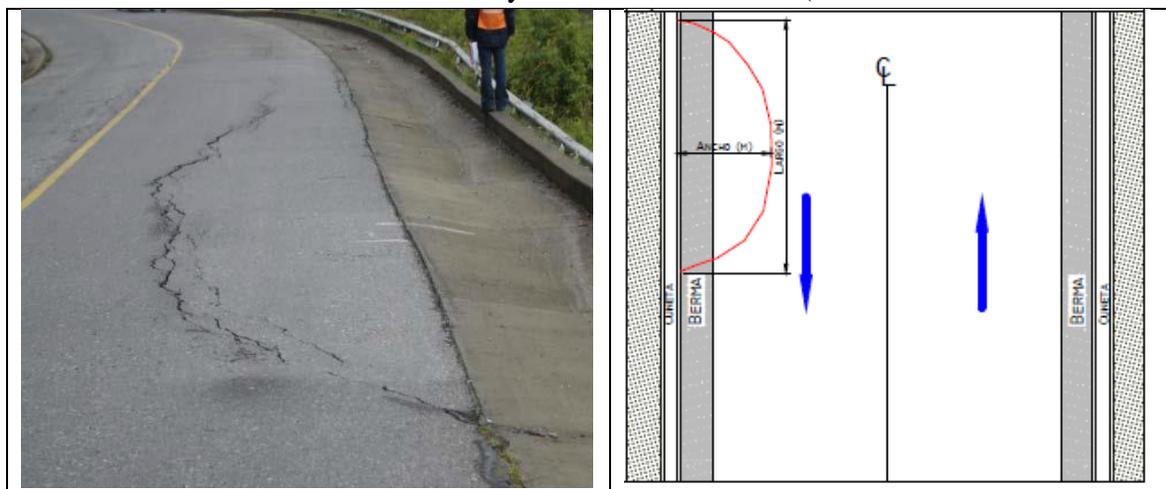
Cuando en una misma fisura existan diferentes severidades, de ser posible se reportará la longitud correspondiente a cada severidad, de lo contrario se reportará la longitud total de la fisura con el mayor nivel de severidad presente.

Cuando existan varias fisuras muy cercanas, se reportará el área total afectada en metros cuadrados (m²), de ser posible por severidad, de lo contrario, asignando a toda el área la mayor severidad encontrada.

Las fisuras diagonales se clasifican dentro de la categoría de fisuras transversales. Evolución probable: Piel de cocodrilo, desintegración, descascamientos, asentamientos longitudinales o transversales (por el ingreso del agua), fisuras en bloque,

Fisuras en medialuna (FML). Son fisuras de forma parabólica asociadas al movimiento de la banca por lo que usualmente se presentan acompañadas de hundimientos.

Tabla 12: Fisura en media luna y su unidad de medida (m²)



Fuente: Imagen recuperada de la web, (Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, 2006, pág. 11).

Causas.

En general, este tipo de fisuras se producen por inestabilidad de la banca o por efectos locales de desecación, aunque entre otras causas se pueden mencionar las siguientes:

- Falla lateral del talud en zonas de terraplén.
- Falla del talud en zonas de corte a media ladera.
- Ausencia o falla de obras de contención de la banca.
- Desecación producida por la presencia de árboles muy cerca al borde de la vía.
- Consolidación de los rellenos que acompañan las obras de contención.

Severidades.

Aplica el criterio establecido para fisuras longitudinales y transversales.

Unidad de medición.

Se debe registrar el área que abarca la media luna en metros cuadrados (m²), correspondiente a la longitud de vía afectada multiplicada por el ancho de afectación de la fisura, asignando el grado de severidad correspondiente. Si en la zona también se presenta un hundimiento es necesario reportar su flecha máxima y anotar en las aclaraciones (ver formato para el registro de daños, Capítulo 2) que está relacionado con la fisura en medialuna.

También se debe registrar si la fisura afecta la berma o la cuneta. Para el análisis del área afectada solo se incluyen en el cálculo los daños en el pavimento.

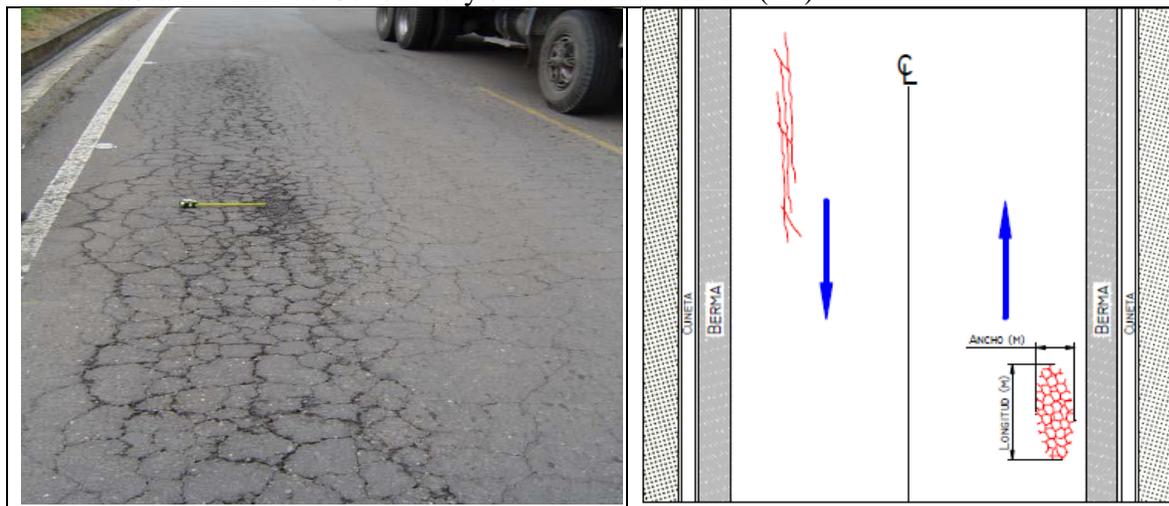
Evolución probable.

Ampliación proceso (aumento del área afectada), aumento del hundimiento, pérdida de la banca, (Universidad Nacional, 2006, págs. 10-12).

Piel de cocodrilo (PC).

Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas. Las fisuras se propagan a la superficie inicialmente como una o más fisuras longitudinales paralelas. Ante la repetición de cargas de tránsito, las fisuras se propagan formando piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a la piel de un cocodrilo. Tales piezas tienen por lo general un diámetro promedio menor que 30 cm.

Tabla 13: Piel de Cocodrilo y su unidad de medida (m²).



Fuente: Imagen recuperada de la web, (Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, 2006, pág. 14).

La piel de cocodrilo ocurre generalmente en áreas que están sometidas a cargas de tránsito, sin embargo, es usual encontrar este daño en otras zonas donde se han generado deformaciones en el pavimento que no están relacionadas con la falla estructural (por tránsito o por deficiencia de espesor de las capas) sino con otros mecanismos como por ejemplo problemas de drenaje que afectan los materiales granulares, falta de compactación de las capas, reparaciones mal ejecutadas

y subrasantes expansivas, entre otras. Este tipo de daño no es común en capas de material asfáltico colocadas sobre placas de concreto rígido.

Causas.

La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- Espesor de estructura insuficiente.
- Deformaciones de la subrasante.
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).
- Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas.
- Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).
- Reparaciones mal ejecutadas, deficiencias de compactación, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

Todos estos factores pueden reducir la capacidad estructural o inducir esfuerzos adicionales en cada una de las capas del pavimento, haciendo que ante el paso del tránsito se generen deformaciones que no son admisibles para el pavimento que se pueden manifestar mediante fisuración.

Severidades.

- Baja: Serie de fisuras longitudinales paralelas (pueden llegar a tener aberturas de 3 mm), * principalmente en la huella, que no presentan desportillamiento, con pocas o ninguna conexión entre ellas y no existe evidencia de bombeo.
- Media: Las fisuras han formado un patrón de polígonos pequeños y angulosos, que pueden tener un ligero desgaste en los bordes y aberturas entre 1 mm y 3 mm, sin evidencia de bombeo.
- Alta: Las fisuras han evolucionado (abertura mayor que 3 mm), se presenta desgaste o desportillamiento en los bordes y los bloques se encuentran sueltos o se mueven ante el tránsito, incluso llegando a presentar descascamientos y bombeo.

Unidad de medición.

Se reporta el área afectada en metros cuadrados (m²). Cuando en un área se combinen varias severidades y no sea fácil diferenciar las áreas correspondientes a cada una, se reporta el área completa asignándole la mayor severidad que se presente.

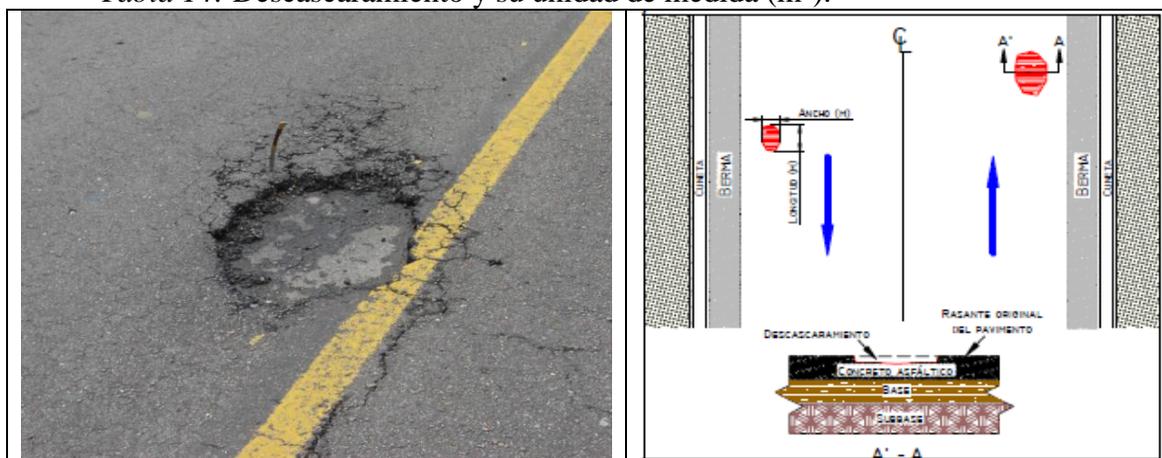
Evolución probable.

Deformaciones, descascamientos, baches (págs. 14-15).

Pérdida de las capas de la estructura

Descascamiento (DC). Este deterioro corresponde al desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial, sin llegar a afectar las capas asfálticas subyacentes.

Tabla 14: Descascaramiento y su unidad de medida (m²).



Fuente: Imagen recuperada de la web, (Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, 2006, pág. 21).

Causas.

- Limpieza insuficiente previa a tratamientos superficiales.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura asfáltica.
- Riego de liga deficiente.
- Mezcla asfáltica muy permeable.

Severidades.

- Baja: Profundidad menor que 10 mm.
- Media: Profundidad entre 10 mm y 25 mm.
- Alta: Profundidad mayor que 25 mm.

Unidad de medición.

Se registra el área afectada para cada severidad en metros cuadrados (m²).

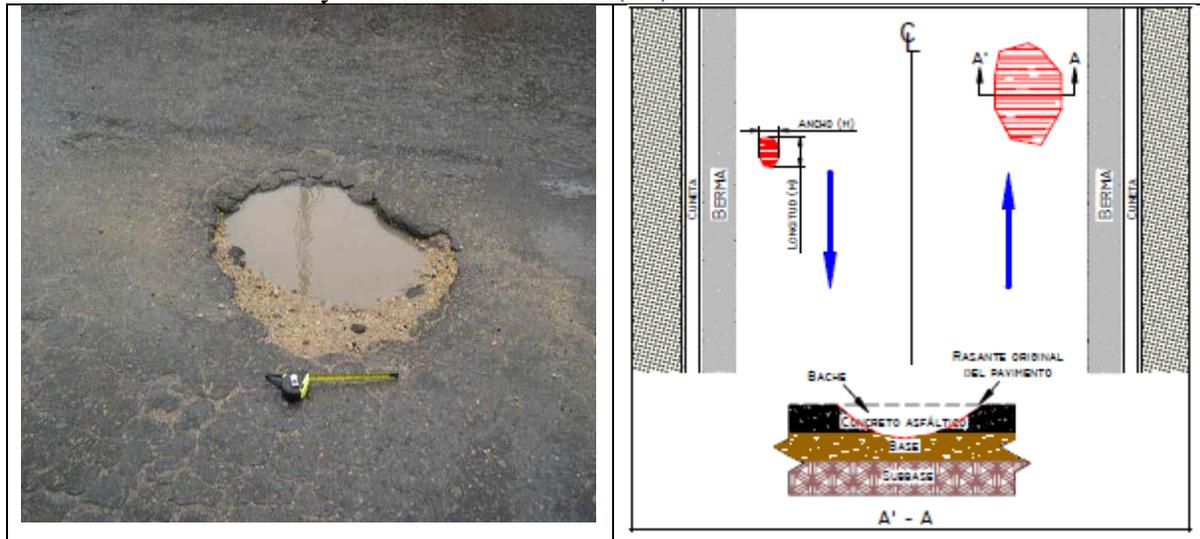
Evolución probable: piel de cocodrilo, bache.

Baches (BCH).

Desintegración total de la carpeta asfáltica que deja expuestos los materiales granulares lo cual lleva al aumento del área afectada y al aumento de la profundidad debido a la acción del

tránsito. Dentro de este tipo de deterioro se encuentran los ojos de pescado que corresponden a baches de forma redondeada y profundidad variable, con bordes bien definidos que resultan de una deficiencia localizada en las capas estructurales.

Tabla 15: Bache y su unidad de medida (m^2).



Fuente: (Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, 2006, pág. 22).

Causas.

Este tipo de deterioro puede presentarse por la retención de agua en zonas fisuradas que ante la acción del tránsito produce reducción de esfuerzos efectivos generando deformaciones y la falla del pavimento. Este deterioro ocurre siempre como evolución de otros daños, especialmente de piel de cocodrilo.

También es consecuencia de algunos defectos constructivos (por ejemplo, carencia de penetración de la imprimación en bases granulares) o de una deficiencia de espesores de capas estructurales.

Puede producirse también en zonas donde el pavimento o la subrasante son débiles.

Severidades.

Se pueden clasificar por profundidad, así:

- Baja: profundidad de afectación menor o igual que 25 mm, corresponde al desprendimiento de tratamientos superficiales o capas delgadas.
- Media: profundidad de afectación entre 25 mm y 50 mm, deja expuesta la base.
- Alta: profundidad de afectación mayor que 50 mm, que llega a afectar la base granular.

Unidad de medición.

Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada, registrando la mayor severidad existente.

Evolución probable.

Dstrucción de la estructura.

Daños Superficiales

Pérdida de agregado (PA). Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos.

Tabla 16: Pérdida del Agregado y su unidad de medida (m²).



Fuente: Imagen recuperada de la web, (Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, 2006, pág. 25).

Causas.

- Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales.
- Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.
- Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- Endurecimiento significativo del asfalto.
- Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica.
- Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros.

Severidades.

- Baja: Los agregados gruesos han comenzado a desprenderse y se observan pequeños huecos cuya separación es mayor a 0.15 m.
- Media: Existe un mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.
- Alta: Existe desprendimiento extensivo de agregados finos y gruesos con separaciones menores a 0.05 m, haciendo la superficie muy rugosa y se observan agregados sueltos.

Unidad de medición.

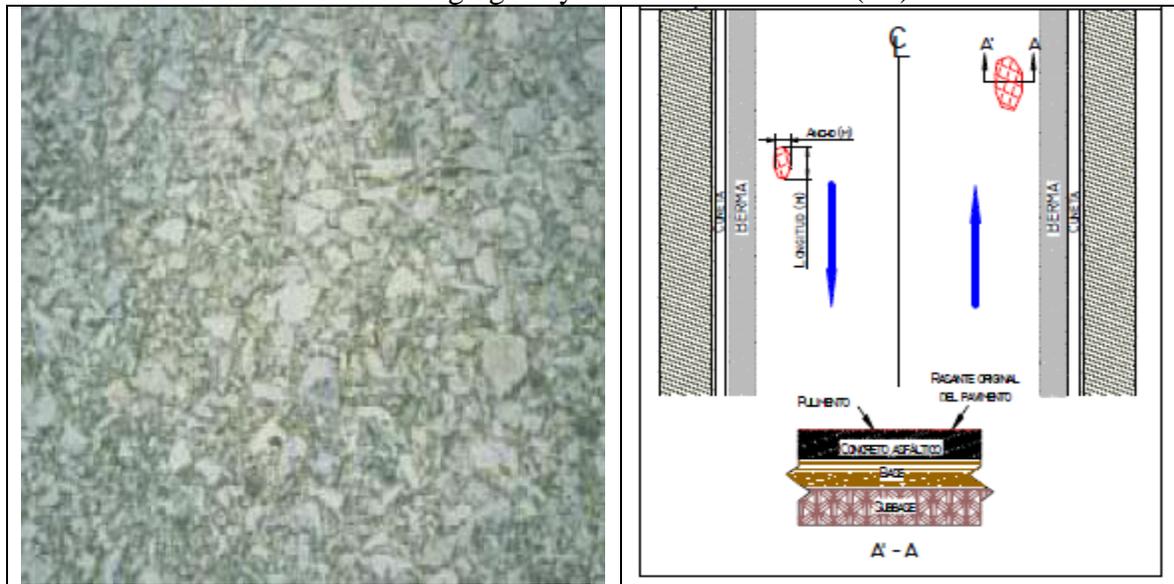
Se registra el área afectada de acuerdo con la severidad predominante, en metros cuadrados (m²).

Evolución probable.

Descascaramientos, aumento de la permeabilidad de la estructura, exudación.

Pulimento del agregado (PU). Este daño se evidencia por la presencia agregados con caras planas en la superficie o por la ausencia de agregados angulares, en ambos casos se puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

Tabla 17: Pulimiento del Agregado y su unidad de medida (m^2).



Fuente: Imagen recuperada de la web, (Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, 2006, pág. 26).

Causas.

La causa de este tipo de daño radica en una baja resistencia o susceptibilidad de algunos agregados al pulimento (un ejemplo de esto son las calizas).

Unidad de medición.

Se mide en metros cuadrados (m^2) y no tiene ningún grado de severidad asociado.

Otros Daños.

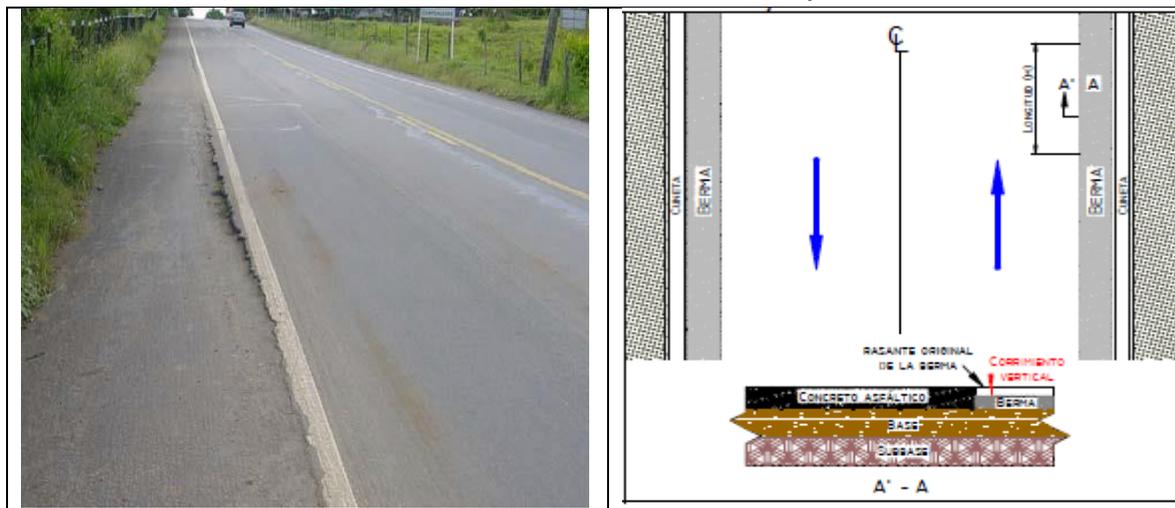
Además de los daños definidos hasta el momento existen otros que pueden aparecer como consecuencia de los primeros, conocidos como afloramientos, los cuales ocurren principalmente debido a la presencia o infiltración de agua en la estructura.

De otra parte, se debe tener en cuenta que la berma puede presentar cualquiera de los daños mencionados hasta aquí, en cuyo caso se reporta el daño encontrado adicionando una B a la sigla del daño correspondiente; además, también pueden existir daños asociados con problemas en la junta entre el pavimento y la berma.

Tanto los afloramientos como los daños en la junta pavimento – berma se definen a continuación.

Corrimiento vertical de la berma (CVB). Corresponde a una diferencia de elevación entre la calzada y la berma, debido a un desplazamiento de la berma. Permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento, provocando su deterioro.

Tabla 18: Detalle del Corrimiento vertical de la Berma y su unidad de medida (m).



Fuente: Imagen recuperada de la web, (Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, 2006, pág. 29).

Causas.

Generalmente sucede cuando existen diferencias entre los materiales de la berma y el pavimento o por el bombeo del material de base en la berma. También puede estar asociado con problemas de inestabilidad de los taludes aledaños.

Severidades.

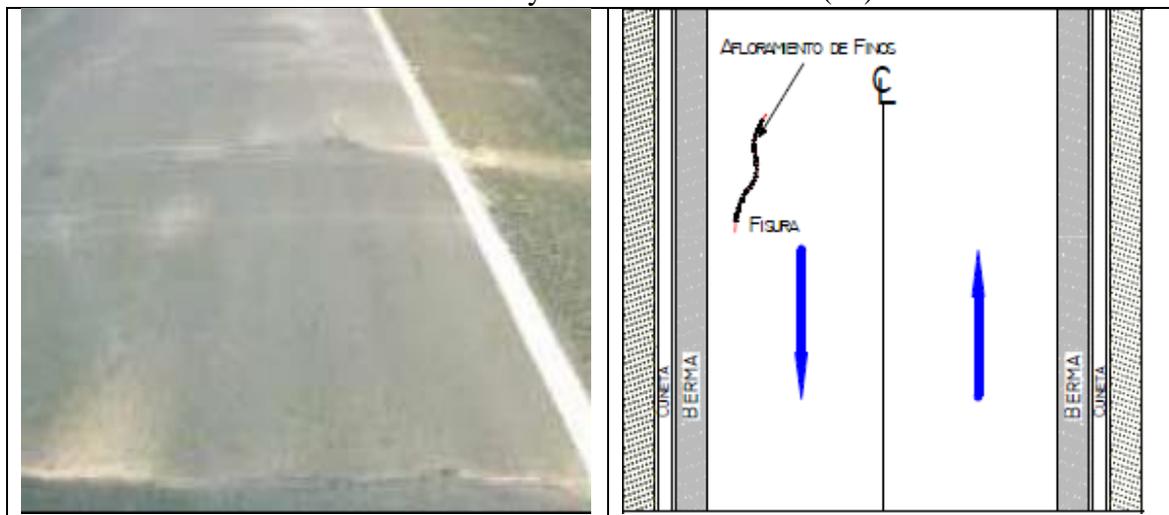
- Bajo: Desplazamiento menor que 6 mm.
- Medio: Desplazamiento entre 6 mm y 25 mm.
- Alto: Desplazamiento mayor que 25 mm.

La unidad de medición para este tipo de daños se cuantifica en la longitud afectada (m).

A continuación, se describen las siguientes metodologías para la evaluación que se puede aplicar al proyecto vial Molinos – Manás en el municipio de Cajicá, Cundinamarca dentro de las cuales se enunciarán las más influyentes en el país.

Afloramiento de finos (AFI). Este afloramiento corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas de tránsito. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas indica la existencia del fenómeno. Se encuentra principalmente en pavimentos semirígidos (con base estabilizada).

Tabla 19: Afloramiento de Finos y su unidad de medida (un).



Fuente: Imagen recuperada de la web, (Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, 2006, pág. 30).

Causas.

Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, exceso de finos en la estructura.

Severidades.

No tiene grado de severidad definido.

Unidad de medición.

Dado que el afloramiento de finos siempre se presenta donde existe un daño (por ejemplo una fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de finos.

Evolución probable.

Piel de cocodrilo, descascaramientos, baches.

Tipos de Metodologías de evaluación de pavimentos**Metodología PCI.**

Una de las metodologías más conocidas, se encuentra la metodología de evaluación por PCI (Pavement Condition Index), desarrollada en Norteamérica por los Ingenieros de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos a partir de las normas ASTM (American Society for Testing Materials), la cual es muy utilizada ampliamente en todo el mundo por ser de fácil implementación que no requiere de equipos especializados.

El método PCI tiene como propósito determinar un índice de seguridad estructural del pavimento basado en la implementación de diferentes daños existentes en el pavimento que fueron identificados en su inspección técnica en los que cada uno posee una medida y un grado de severidad que deben clasificarse y cuantificarse.

A continuación se muestra en la siguiente tabla los diferentes rangos de clasificación del pavimento dado su condición:

Tabla 20: Rangos de clasificación por metodología PCI.

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular

40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Fuente: elaboración propia.

A partir de los datos anteriores, se determinará las diferentes severidades:

No.	DAÑO	MEDIDA	SEVERIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Piel de cocodrilo	m ²	BAJA	Grietas finas longitudinales de forma paralela con pocas o ninguna interconexión, sin descascaramientos a lo largo de las mismas.
			MEDIA	Grietas con interconexión generando un patrón con un ligero descascaramiento.
			ALTA	Grietas bien definidas con desprendimientos de material en los bordes y en algún caso con movimientos independientes a la acción del tráfico.
2	Exudación	m ²	BAJA	Se hace visible durante unos pocos días del año y el asfalto no se pega a los zapatos o vehículos.
			MEDIA	Se hace visible durante pocas semanas del año y el asfalto se pega a los zapatos o vehículos.
			ALTA	Se hace visible durante varias semanas del año, ha ocurrido de forma extensa y el asfalto se pega a los zapatos o vehículos.
3	Agrietamiento en bloque	m ²	BAJA	Bloques definidos con grietas longitudinales y transversales de severidad baja.
			MEDIA	Bloques definidos con grietas longitudinales y transversales de severidad media.
			ALTA	Bloques definidos con grietas longitudinales y transversales de severidad alta.
4	Abultamientos y Hundimientos	m	BAJA	Originan una calidad de tránsito de baja severidad.
			MEDIA	Originan una calidad de tránsito de media severidad.
			ALTA	Originan una calidad de tránsito de alta severidad.
5	Corrugación	m ²	BAJA	Originan una calidad de tránsito de baja severidad.
			MEDIA	Originan una calidad de tránsito de media severidad.
			ALTA	Originan una calidad de tránsito de alta severidad.
6	Depresión	m ²	BAJA	13.0 a 25.0 mm.

Figura 14: Índices de severidad dependiendo del tipo del daño identificado por la metodología PCI.

Fuente: Recuperado de la web, (Cárdenas, 2014, pág. 16).

Para proceder con la recopilación de la información, el método de evaluación PCI posee un formato único en el cual se digita en el momento de la inspección técnica del pavimento a

evaluar. Para ello, se toma como referencia el procedimiento implementado por el ingeniero Juan Manuel Díaz Cárdenas de la Universidad Militar Nueva Granada.

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO					
PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA.					
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO					ESQUEMA
ZONA	ABSCISA INICIAL		UNIDAD DE MUESTREO		
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL		ÁREA MUESTREO (m ²)		
INSPECCIONADA POR			FECHA		
No.	Daño		No.	Daño	
1	Piel de cocodrilo.		11	Parcheo.	
2	Exudación.		12	Pulimento de agregados.	
3	Agregamiento en bloque.		13	Huecos.	
4	Abultamientos y hundimientos.		14	Cruce de vía férrea.	
5	Corrugación.		15	Ahuecamiento.	
6	Depresión.		16	Desplazamiento.	
7	Grieta de borde.		17	Grieta parabólica (slippage)	
8	Grieta de reflexión de junta.		18	Hinchariento.	
9	Desnivel camil / berma.		19	Desprendimiento de agregados.	
10	Grietas long y transversal.				
Daño	Severidad	Cantidades parciales		Total	Valor deducido

Figura 15: Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica.

Fuente: Recuperado de la web, (2014, pág. 20)

Procedimiento de desarrollo:

Lo primero que se debe realizar, es identificar y consolidar las unidades de muestreo que se van a trabajar para calcular el valor del PCI puesto que los datos obtenidos en campo no son suficientes por la falta de recursos. También es importante definir la confiabilidad que se va a manejar de acuerdo a las unidades de muestreo identificadas que por ejemplo, si se considera una confiabilidad del 95%, obtendremos una variabilidad del más o menos 5%.

Para determinar el número mínimo de unidades de muestreo, se realizará mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$$

Dónde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e=5%)

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades (tendrá un valor de 10 cuando se realiza la primera inspección).

Si el número de unidades de muestreo es inferior a 5, se deben tomar la totalidad de las unidades para ser evaluadas.

A partir de los intervalos definidos en la auscultación del pavimento, de una forma aleatoria se deben escoger las unidades de muestreo que van a ser representativas con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N}{n}$$

Dónde:

i: Intervalo de muestreo que debe ser redondeado al número inferior para cualquier caso. (Describe el rango a manejar para la primera unidad).

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número total de unidades para evaluar.

Durante el proceso de la selección de las unidades de muestreo, puede haber casos que en el proceso de identificación se omitan unidades en mal estado o con patologías especiales como el cruce con una línea férrea que ocurren de manera puntual para que no influyan de manera inapropiada.

Dentro del trabajo realizado en campo, las unidades de muestreo identificadas deben detectarse el tipo, severidad y cantidad del daño diligenciado en el formato que se deben registrar de forma ordenada. Una vez totalizado los tipos, severidades y cantidades de daños, se debe calcular el porcentaje de afectación para cada uno de los casos del tipo de severidad (alta, media o baja) para obtener el valor deducido del daño. Para ello, es necesario calcular el número admisible de valores deducidos (m) que para ello, existen 2 casos:

- Si los valores deducidos son mayores a 2.0, se usa el valor deducido total y no el valor deducido corregido a partir del formato de registro.
- Los valores deducidos calculados se deben ordenar de mayor a menor para determinar el Número máximo de valores deducidos (m) y será el nuevo número de valores deducidos a partir de la siguiente ecuación:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$$

Dónde:

m_i : Número máximo admisible de Valores deducidos, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo.

HDV_i : El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo.

Una vez determinado los valores deducidos, el valor deducido corregido se realiza mediante un proceso iterativo que consiste en obtener el número de valores deducidos mayores que 2.0 que se denomina como la cantidad de datos (q), hasta obtener una valor final de 2.0 establecido. Luego, se obtiene el máximo valor deducido corregido a partir de la siguiente tabla:

PAVEMENT CONDITION INDEX
FORMATO PARA LA OBTENCIÓN DEL MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO

No.	Valores Deducidos								Total	q	CDV
1											
2											
3											
4											

Figura 16: Formato para la obtención del Máximo valor deducido corregido.

Fuente: Imagen recuperada de la web, (2014, pág. 24).

Como siguiente, el valor de PCI para la unidad de muestreo i se calcula restando de 100 el Máximo valor obtenido. Para calcular el PCI de una sección de pavimento se deben tener en cuenta los siguientes tres casos:

- Si se identificaron y se tomaron todas las unidades de muestreo para calcular el valor del PCI, este valor será el promedio.
- Si dentro de la identificación de las unidades de muestreo se realizó de manera aleatoria sin muestras adicionales, el valor del PCI será el promedio por cada unidad de muestreo.
- Si se tomaron unidades de muestreo adicionales, el valor del PCI se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$PCI_S = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$$

Donde:

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección.

PCI_S: PCI de la sección del pavimento.

PCI_R: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCI_A: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

He aquí un ejemplo mediante la determinación de los resultados por el método PCI:

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	39	15.5	10.5	11	9	4		89	6	44
2	39	15.5	10.5	11	9	2		87	5	45
3	39	15.5	10.5	11	2	2		80	4	45
4	39	15.5	10.5	2	2	2		71	3	45
5	39	15.5	2	2	2	2		62.5	2	46
6	39	2	2	2	2	2		49	1	49
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 49 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 51 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Figura 17: Ejemplo. Cálculo del PCI de una unidad de muestra.

Fuente: Imagen recuperada de la web, (Velásquez, 2009, pág. 62)

Metodología VIZIR.

Otra metodología que se utiliza en la evaluación de pavimentos es VIZIR de origen francés el cual en su proceso es calcular el porcentaje vial del área afectada con respecto a partir de la longitud vial del tramo estudiado para determinar el índice de deterioro superficial (Is) que es un sistema de por medio del cual se puede calificar la condición superficial de los pavimentos flexibles. Para ello, se toma como referencia el procedimiento implementado por el ingeniero Camilo Enrique Marrugo Martínez de la Universidad Militar Nueva Granada.

Esta metodología utiliza para la identificación de los daños dos tipos:

El tipo A es un daño de tipo estructural, el cual presentan daños referenciados a la insuficiencia de la capacidad estructural del pavimento.

El tipo B es un daño de tipo funcional que se encuentran asociados a aspectos constructivos. Para ello, existen dos tablas que determinan el nivel de gravedad para cada uno los tipos A y B que se muestran a continuación:

DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD		
	1	2	3
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante.	Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o ahuellamientos.	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios.
	Flecha < 20 mm	20 mm ≤ Flecha ≤ 40 mm	Flecha > 40 mm
Grietas longitudinales por fatiga	Fisuras finas en la banda de rodamiento	Fisuras abiertas y a menudo ramificadas	Fisuras muy ramificadas y/o muy abiertas (grietas). Borde de fisuras ocasionalmente degradados
Piel de Cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas grandes (>500 mm) con fisuración fina, sin pérdida de materiales	Mallas más densas (<500 mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales
Bacheos y parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros del tipo B	Intervenciones ligadas a deterioros tipo A	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación	Ocurrencia de fallas en la zonas reparadas

DETERIORO	NIVELES DE GRAVEDAD		
	1	2	3
Grieta longitudinal de junta de construcción	Fina y única	Ancha (10 mm o más) sin desprendimiento Fina ramificada	Ancha con desprendimientos o ramificada
Grietas de contracción térmica	Fisuras finas	Anchas sin desprendimientos, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas	Ancha con desprendimientos
Grietas parabólicas	Fisuras finas	Anchas sin desprendimientos	Ancha con desprendimientos
Grietas de borde	Fisuras finas	Anchas sin	Ancha con

Figura 18: Nivel de Gravedad deterioros Tipo A y B por la metodología VIZIR.

Fuente: Imagen recuperada de la web, (Martínez, 2014, pág. 18)

Procedimiento de desarrollo:

Como primero, se debe realizar la visita técnica de campo y realizar la auscultación del pavimento a intervenir para identificar los tipos de daños existentes en su estructura, así como la gravedad y extensión en la misma. Esta información se registra en el siguiente formato:

Tabla 21: Categoría de los daños de los pavimentos por tipo con la metodología VIZIR

CATEGORÍA DEL DETERIORO	CLASIFICACIÓN DEL DETERIORO	ESPECIFICACIÓN DEL DETERIORO	CUANTIFICACIÓN		
			Longitud	Deterioro	Gravedad
TIPO A	AHUELLAMIENTOS Y OTRAS DEFORMACIONES	Ahuellamiento			
		Depresiones o hundimientos longitudinales			
		Depresiones o hundimientos transversales			
	FISURAS	Fisura longitud de la junta de construcción			
		Fisura transversal de junta de construcción			
	BACHEOS Y PARCHEOS	Bacheos y parcheos			
TIPO B	FISURAS	Fisura de contracción térmica			
		Fisura Parabólica			
		Fisura de borde			
	DEFORMACIÓN	Deformación			
	DESPRENDIMIENTOS	Ojos de pescado			

		Perdida de película ligante			
		Pérdida de agregado			
		Descascaramiento			
	AFLORAMIENTOS	Pulimiento de agregado			
		Exudación			
		Afloramiento de mortero			
		Afloramiento de agua			
	OTROS DETERIOROS	Desintegración de los bordes de pavimento			
		Escalonamiento entre calzada y berma			
		Erosión de las bermas			
		Segregación			

Fuente: Recuperado de la web, (Martínez, 2014, pág. 24)

Dentro de la información recolectada, debe ponderarse los valores de las fallas identificadas y establecer las prioridades de reparación utilizando los siguientes índices:

- If: índices de fisuración (If)
- Id: índice de deformación (Id)
- Is: ponderado del índice de deterioro superficial (Is)

Los cuales se diligencian en el siguiente formato:

Tabla 22: Cálculos de los índices de fallas del pavimento por la metodología VIZIR.

CÁLCULO DE ÍNDICES			
ÍNDICE DE FISURACIÓN (If)	ÍNDICE DE DEFORMACIÓN (Id)	ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL (ISo)	ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL (ISf)
			Si el índice es mayor o igual a 5 se recomienda realizar actividades descritas en los capítulos de reconstrucción.

Fuente: Recuperado de la web, (2014, pág. 25)

Luego, debe obtenerse el valor ponderado de la condición global del pavimento por medio de la siguiente fórmula:

$$G = \frac{I1 + 2I2 + 3I3}{I1 + I2 + I3}$$

Después de recolectar y analizar la información anterior, debe calcularse promedio ponderado de la condición del pavimento asfáltico utilizando la siguiente tabla:

Tabla 23: Matriz aproximación del grado de deterioro para la metodología VIZIR mencionado por el INVÍAS.

Aproximación Grado de Deterioro		
Si G < 1.5	se toma	1
Si G <= 1.5 < 2.5	se toma	2
Si G >= 2.5	se toma	3

Fuente: Recuperado de la web, (2014, pág. 20)

Por último, se determina la extensión del daño presentado en el pavimento teniendo en cuenta cada uno de los índices anteriormente mencionados para obtener los valores de deterioro:

Como último, se determinan los procedimientos más importantes para realizar la intervención del pavimento afectado, tomando en cuenta el tipo de daño y la causa al igual que el criterio de decisión al tipo de tráfico y periodo de diseño de la rehabilitación, refuerzo y reciclado mediante la siguiente tabla de ejemplo:

TRÁNSITO	VIDA RESIDUAL	RESTAURACIÓN											REFUERZO						RECICLADO											
		10 1	10 2	10 3	10 4	10 5	10 6	10 7	10 8	10 9	11 0	11 1	11 2	11 3	11 4	11 5	20 1	20 2	20 3	20 4	20 5	20 6	30 1	30 2	30 3	30 4	30 5	40 1	40 2	40 3
NT1	0-2															x	x						x	x			x	x	x	x
	3-5	x	x	x	x	x			x	x	x					x														
	6-10	x	x	x																										
	<10																													
NT2	0-2															x	x	x					x	x			x	x	x	x
	3-5			x	x	x			x			x	x	x		x	x	x												
	6-10		x	x	x	x	x				x	x	x	x																
	<10		x																											
NT3	0-2															x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	3-5						x	x	x				x	x	x	x	x	x					x							
	6-10						x	x	x	x			x	x	x	x														
	<10			x																										

Figura 21: vida residual y métodos de recuperación del pavimento con el tipo de tránsito por la metodología VIZIR.

Fuente: Imagen recuperada de la web, (pág. 27).

Los niveles de tránsito se obtienen de acuerdo a la información recolectada de los ejes equivalentes provenientes de vehículos que circulan por el pavimento en intervención. Para ello hay tres tipos de niveles de acuerdo al manual del INVIAS del año 2012.

- “NT1 (Nivel de tránsito uno): Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es inferior a 0.5×10^6 ejes equivalentes de 80 KN en carril de diseño.
 - NT2 (Nivel de tránsito dos): Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir oscila entre 0.5×10^6 y 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80 KN en carril de diseño.
 - NT3 (Nivel de tránsito tres): Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es superior a 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80 KN en carril de diseño.”
- (INVIAS 2013.)

Metodología por el Manual para la Inspección Visual en Pavimentos Flexibles por la Universidad Nacional y el Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

Esta metodología que funciona como guía para determinar la auscultación de los pavimentos flexibles consiste en diligenciar mediante un formato propuesto para el registro de los daños y un informe durante la inspección visual del pavimento, cuyo diligenciamiento se realiza de manera didáctica y ordenada para facilitar el trabajo.

Para ello, el manual tiene como propósito obtener con un reporte los tipos de daño que se presentan que se encuentran como el porcentaje de área de pavimento afectado, estableciendo, su extensión, severidad y recurrencia; el área total ocupada por cada daño, los sectores de vía más afectados entre otros con el cual orienten al ingeniero en el momento de definir las posibles causas de los daños o de programar actividades de campo y de laboratorio para su estudio.

Para ello, esta metodología consiste en las siguientes partes para la determinación de los daños y digitación de la información.

Formato de inspección de los daños.

Este procedimiento consiste en la conformación de los diferentes formatos:

Formato - Primera Página:

Parte 1. Información general. Durante este procedimiento, el ingeniero debe capturar la información general de la vía con su nombre y código respectivo. Igualmente, señalar si la vía corresponde a una concesión o si está a cargo de administradores viales (A.M.V.), al igual que la fecha de levantamiento, contrato que se está revisando (Contrato No. y año), el nombre de quien realiza el levantamiento y el número de la hoja correspondiente.

TIPO DE DAÑO	CONVENC.	SEVERIDADES		
		BAJA	MEDIA	ALTO
FIURAS				
Fiuras longitudinales (m)	FL	Abertura < 1mm o sellada.	Abertura 1-3mm, sin sellar, algunas fiuras leves la cruzan.	Abertura > 3mm, pocas snto desgada, algunas fiuras median las cruza, causa vibraci3n al vehiculo.
Fiuras transversales (m)	FT			
Fiuras en juntas de construcci3n (m)	FCL, FCT			
Reflexi3n de juntas de pavimentos r3gidos (m)	FJL, FJT			
Fiuras en media lura (m2)	FML			
Fiuras de borde (m)	FBD			
Fiuras en bloque (m2)	FB	Los bloques se han comenzado a formar, pero no est3n completamente definidos y existe conformaci3n por fiuras < 1mm o selladas, sin desgaste en ellas.	Bloque definido por fiuras 1-3mm, o sin sellado, con desgaste leve.	Bloque bien definido por fiuras > 3mm que presentan snto desgado.
Piel de cocodrilo (m2)	PC	Rede de fiuras longitudinales, paralelas con aberturas de hasta 3 mm, principalmente en la huella.	Las fiuras han formado bloques que tienen un ligero desgado en los bordes.	Are3 con bloques sueltos de bordes desgadados, puede existir borbido.
Fiuras por deslaminamiento de capas (m2)	FDC	Fiuras < 1mm o selladas.	Fiuras 1-3mm, pueden existir agrietamientos alrededor con aberturas menores a 1 mm	Fiuras > 3mm, pueden existir agrietamientos entre las fiuras con aberturas mayores a 1 mm.
Fiuraci3n incipiente (m2)	FIN	Sin grados de severidad asociados.		
DEFORMACIONES				
Ondulaciones (m2)	OND	Altura < 10mm	Altura 10-20mm	Altura > 20mm
Abultamiento (m2)	AB			
Hundimiento (m2)	HUN	Altura < 20mm	Altura 20-40mm	Altura > 40mm
Atuallamiento (m2)	AHU	Altura < 10mm	Altura 10-20mm	Altura > 20mm
DAÑOS SUPERFICIALES				
Desgaste superficial (m2)	DSU	P3rdida de la textura uniforme de la superficie, con irregularidades hasta de 3 mm.	Profundidad de las irregularidades entre 3 mm y 15 mm, se observa el agregado grueso, el vehiculo experimenta vibraci3n y t3rido.	Ha comenzado desintegrarse la superficie, presenta desprendimientos evidentes y partculas sueltas sobre la carreta.
P3rdida del agregado (m2)	PA	Se observan pequeños huecos cuya separaci3n es mayor a 0.15 m.	Existe un mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.	Desprendimiento extenso de agregados con separaciones mayores a 0.05 m, superficie muy rugosa, se observan agregados sueltos.
Pulverido del agregado (m2)	PU	Sin grados de severidad asociados.		
Cabezas duras (m2)	CD	Sin grados de severidad asociados.		
Erodaci3n (m2)	EX	Se hace visible en la superficie en frentes, acallos y de espesor delgado que no cubre los agregados gruesos.	Riesgo de adelto libre que conforma una pelcula cubriendo parcialmente los agregados.	Cantidad significativa de adelto en la superficie cubriendo casi la totalidad de los agregados, aspecto hom3ido de intensa coloraci3n negra.
Surcos (m2)	SU	Sin grados de severidad asociados.		
DETERORO DE CAPAS ESTRUCTURALES				
Desacostamiento (m2)	DC	Altura < 10mm	Altura 10-20mm	Altura > 20mm
Beche o hueco (m2)	BCH	Profundidad < 25 mm, corresponde al desprendimiento de tratamientos superficiales o capas delgadas.	Profundidad entre 25-50 mm, afecta inicial la base asf3ltica.	Profundidad > 50mm, llega a afectar la base granular.
Parcheo (m2)	PCH	Est3 en muy buena condici3n y se desmenuza satisfactoriamente.	Presenta algunos daños de severidad baja a media y deficiencias en los bordes.	Presenta daños de severidad alta y requiere ser reparado pronto.
OTROS DAÑOS				
Corrimiento vertical de la bierma ⁽¹⁾ (m, h)	CV	Altura < 6mm	Altura 6-25mm	Altura > 25mm
Separaci3n de la bierma (m, s)	SB	Ancho < 3mm	Altura 3-10mm	Altura > 10mm
Afforamiento de agua (m) ⁽²⁾	A/A	Sin grados de severidad asociados.		
Afforamiento de finos ⁽³⁾	A/F	Sin grados de severidad asociados.		

COMENTARIOS:	
1.	En el caso de las biermas, los daños que presenten deben registrarse con las mismas convenciones indicadas adicionando una "B" al final para diferenciarlos de los daños en el pavimento. Los daños reportados como separaci3n y corrimiento vertical de la bierma no requieren la adici3n de la "B" al final.
2.	En el caso de los afforamientos de agua se mide en metros (m) la zona afectada cuando no tiene otro daño asociado, sin embargo, cuando el afforamiento se presenta donde existe un daño (por ejemplo una fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afforamiento de agua.
3.	Dado que el afforamiento de finos siempre se presenta donde existe un daño (por ejemplo una fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afforamiento de finos.

Figura 23: Formato para la evaluaci3n del pavimento flexible - V2, parte 2.

Fuente: Imagen recuperada de la web, (2006, p3g. 34).

El diligenciamiento de la informaci3n en el formato, debe registrarse la posici3n del daño con respecto a la calzada y las convenciones son las siguientes:

- I: carril izquierdo
- D: carril derecho

- C: toda la calzada
- E: eje

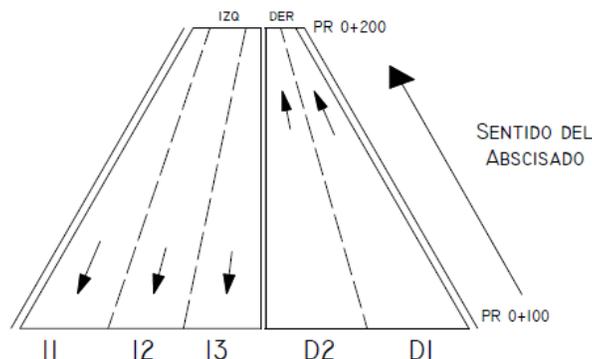


Figura 24: Ejemplo de numeración de carriles para vías de una sola calzada.

Fuente: (2006, pág. 35).

Para el caso de daños encontrados en la berma, se reporta la sigla correspondiente al daño seguida de la letra “B”, excepto para el caso de la separación y el corrimiento vertical de la berma, casos en los que se registrará solamente la sigla correspondiente.

Para el diligenciamiento de la severidad, se asignará dependiendo del nivel, y se señala así:

- A: Alta
- M: Media
- B: Baja

Para el daño, el registro de los datos debe especificar las dimensiones (largo y ancho), y para la reparación se toma en cuenta de la misma manera, teniendo en cuenta que se puede diligenciar en una sola reparación para varios tipos de daños. Es importante adjuntar un registro fotográfico.

Parte 3. Aclaraciones. Para esta parte es importante señalar todos los detalles adicionales en la inspección y registrar los daños encontrados.

Parte 4. Geometría de la vía. Para este caso, se debe indicar el número de carriles y bermas y sus dimensiones de ancho correspondientes.

Parte 5. Comentarios. En esta parte, el ingeniero a cargo puede diligenciar comentarios que le sean importantes en el momento de la inspección visual de los daños del pavimento.

Formato – Segunda Página.

En esta página del formato, se diligencia las siguientes partes:

Parte 1. Tipos de daño: En esta sección, se diligencian los deterioros encontrados y se agrupan por tipo con la sigla correspondiente y un breve resumen de las severidades.

Parte 2. Comentarios: Dentro de esta página, se pueden insertar comentarios acerca del procedimiento para el levantamiento de daños en bermas y se mencionan algunas consideraciones a tener en cuenta cuando aparecen afloramientos.

Para la captura de información en el formato, se deben registrar en las tablas en el orden de abajo hacia arriba en el formato, en el sentido del abscisado, colocando la abscisa inicial, tipo de daño, severidad, dimensiones, fotografías e indicando la siguiente abscisa cerrada cada 100 m y se debe reportar dentro de la misma el área afectada por daños superficiales porque es frecuente que estos afecten la calzada al tiempo que se presenten otros daños, lo cual implica la superposición de áreas.

Cuando en un área se reporten varios daños, se debe anotar el que más afecte al nivel de servicio de la vía registrando el área total afectada donde el daño menor queda anotado en las aclaraciones.

Para el análisis y procesamiento de los datos, se procede a agrupar los daños por tramos, deterioro y severidad en cada 100m como se mencionó anteriormente y diligenciarse en una hoja

de cálculo donde describa del porcentaje de afectación general para toda la vía, esto con el fin de establecer los daños más frecuentes, los tramos más afectados y las áreas totales de daño.

En el caso de los daños existentes en la berma, los daños deben ser separados del resto del análisis, ya que se encuentran localizados en una zona que no afecta directamente la transitabilidad de la vía. De igual manera, se deben analizar por aparte los daños superficiales para evitar la superposición de áreas afectadas con otros daños.

Procesamiento de los datos.

Para el procesamiento de los datos recolectados en los formatos, debe diligenciarse en una hoja de cálculo que debe contener la siguiente información:

Tramo

- Abscisa inicial y final de cada tramo
- Área total de cada tramo
- Daños encontrados por severidad en cada tramo
- Áreas totales de daños para cada tramo
- Porcentajes de afectación de cada tramo
- Área total de cada daño y por severidad
- Peso de cada tipo de daño y severidad dentro del área total afectada
- Área total afectada en la vía
- Porcentaje de afectación de la vía

Para el cálculo del área del tramo, se multiplica el ancho total de la calzada (o calzadas en ambos carriles) sin incluir las bermas por la longitud del tramo y con ésta área se calcula el porcentaje de afectación de cada tramo.

Para el porcentaje de afectación de la vía se calcula dividiendo el área total afectada (que resulta de la suma de los daños encontrados en cada tramo, sin incluir los daños superficiales) entre el área total inspeccionada (que resulta de la suma de las áreas de cada tramo).

Para el análisis de las fisuras longitudinales, fisuras transversales, fisuras en juntas de construcción, fisuras por reflexión de juntas de pavimentos rígidos y fisuras de borde; la longitud registrada debe multiplicarse por un ancho de referencia de 0,06 m, con el fin de manejar unidades consistentes en cuanto al área de daño.

He aquí una muestra del procesamiento de los datos en el formato:



INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0587 DE 2003

FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - V2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ

TERRITORIAL: XXXXXX

CÓDIGO DE LA VÍA: XXXXXX

NOMBRE DE LA VÍA: XXXXXX

FECHA: dd-mm-aa

CONTRATO No.: XXX de XXXX

LEVANTADO POR: XXXXXX

CONCESIÓN:

MTTO INTEGRAL:

A.M.V.:

PR INICIAL: PR66+100

PR FINAL: PR67+230

HOJA: X DE X

PATOLOGÍA							Folio	Aclaraciones
Carril	Tipo	Sever	Daño		Reparación			
			Largo (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Ancho (m)		
PR67+230								
D	PC	M	2	1			10	Con fisuras longitudinales medias, se recomienda el sellado de 1.5m
E	PC	A	2.8	1.5			9	
PR67+100								
	PC	B	10	3				
	FL	A	2.5					Con hundimiento
PR67+000								
PR66+900								
D	PC	A	2.1	2.5				Con bombeo de finos
D	PC	A	2.8	2.5			42	Con bombeo de finos y deformación lateral
D	PC	B	0.7	0.5				Con actualamiento

Figura 25: Ejemplo de formato de para el procesamiento de los datos.

Fuente: Imagen recuperada de la web, (Memorias de Cálculo - Consorcio Molinos Manás, 2006, pág. 42).

Adicionalmente, debe graficarse los daños reportados agrupados por el tipo de severidad (bajos, medios y altos), donde se ilustren las áreas afectadas por tipo de daño y los porcentajes de afectación respecto al área total inspeccionada. Esto se realiza de igual forma para los daños superficiales y los daños en bermas. He aquí un ejemplo para la severidad baja:

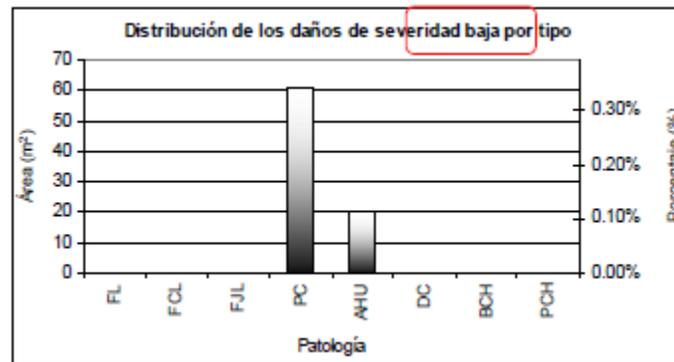


Figura 29: Descripción de las gráficas por severidad de los daños encontrados.

Fuente: Imagen recuperada de la web, (2006, pág. 49).

Por último, la información recolectada debe ir en un informe, que debe incluir por separado el reporte de los daños en los carriles y los daños en las bermas al igual que debe incluir los registros fotográficos relacionando la fecha de toma, localización y tipo de daño, y se debe mostrar la siguiente información:

- Abscisa inicial y final del levantamiento (solo al inicio del informe).
- Área total inspeccionada (para cada caso).
- Área total afectada (para cada caso).
- Porcentaje de afectación (para cada caso).
- Los deterioros (con sus severidades) más frecuentemente encontrados (en cada caso).
- El porcentaje de afectación representado por dichos deterioros (en cada caso).
- Los deterioros menos frecuentes (en cada caso).

- El porcentaje de afectación representado por dichos deterioros (en cada caso).
- Los tramos de vía más afectados (abscisas, áreas afectadas y porcentajes de afectación, en cada caso).

También debe incluirse en el informe las gráficas de las áreas afectadas por tramos y la distribución de los daños por severidades y las hojas de cálculo al igual que aclaraciones y comentarios más relevantes reportados durante el levantamiento y en general, toda la información importante que sea útil para el estudio del origen de los daños.

CAPÍTULO V

SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN

De acuerdo a la revisión de cada una de las metodologías existentes y teniendo en cuenta la localización, estado actual y funcionamiento de la vía, se escogió el método de evaluación proporcionado por la Universidad Nacional e INVIAS, por las siguientes razones:

- Es un método que dentro de su construcción y diseño se elaboró a partir de la información recolectada a las vías existentes a nuestro país por el cual obtendremos resultados más reales a diferencia de las metodologías PCI y VIZIR.
- Es un método sencillo y fácil de aplicar para consolidar resultados con el fin de determinar la magnitud y severidad de la falla.
- Este método no requiere de iteraciones ni fórmulas complejas con respecto a los otros métodos existentes.
- El manual que se basa en el estudio e investigación del estado actual de las carreteras que utiliza este método, incluye a parte de los formatos, el componente teórico de cada uno de los daños donde se evidencian las causas y las unidades de medición con sus ejemplos.
- El procedimiento para realizar la evaluación de este método está muy bien elaborado y explicado con el cual lo hace ser más didáctico y mecánico en su ejecución.
- Los resultados generados a partir de este método conllevan a la determinación de realizar posibles soluciones que permitan mejorar la vía existente, ya sea por mantenimiento, reparación, reciclaje o reconstrucción de la vía dependiendo de la severidad y magnitud del daño que permite al ingeniero civil tomar una decisión segura.
- Es un método en el cual se está aplicando actualmente por las entidades y que se encuentra aprobado por el gobierno del país.

Reporte de los daños evidenciados

A partir de los datos recolectados en campos para la determinación de la evaluación del pavimento que comprende la vía de los sectores de Molinos y Manás en Cajicá, se evidenció que dentro de la estructura y función del pavimento, se encontraron diferentes daños dentro de los cuales se mostrarán los más relevantes a continuación:

Daños producidos entre las abscisas PR0+000 y PR1+000:



Figura 30: Pulimiento, descascaramiento.

Fuente: elaboración propia.



Figura 31: Fisura, afloramamiento

Fuente: elaboración propia.

Daños producidos entre las abscisas PR1+000 y PR2+000:



Figura 32: Piel de cocodrilo, descascaramiento.

Fuente: elaboración propia.

Daños producidos entre las abscisas PR2+000 y PR3+000:



Figura 33: Fisuras de borde, fisura de media luna.

Fuente: elaboración propia.

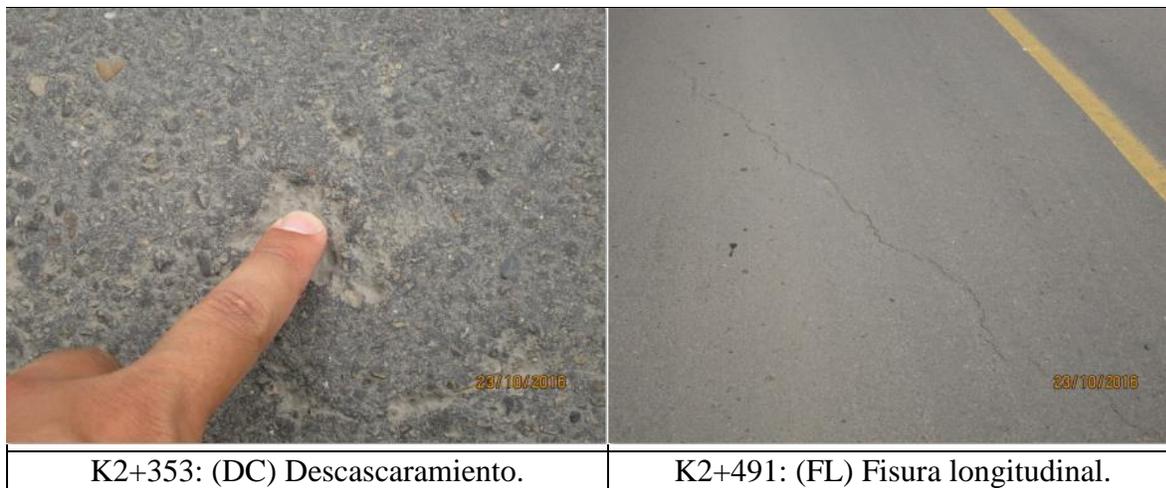


Figura 34: Descascamiento, fisura longitudinal

Fuente: elaboración propia.



Figura 35: Afloramiento de finos y agua.

Fuente: elaboración propia.

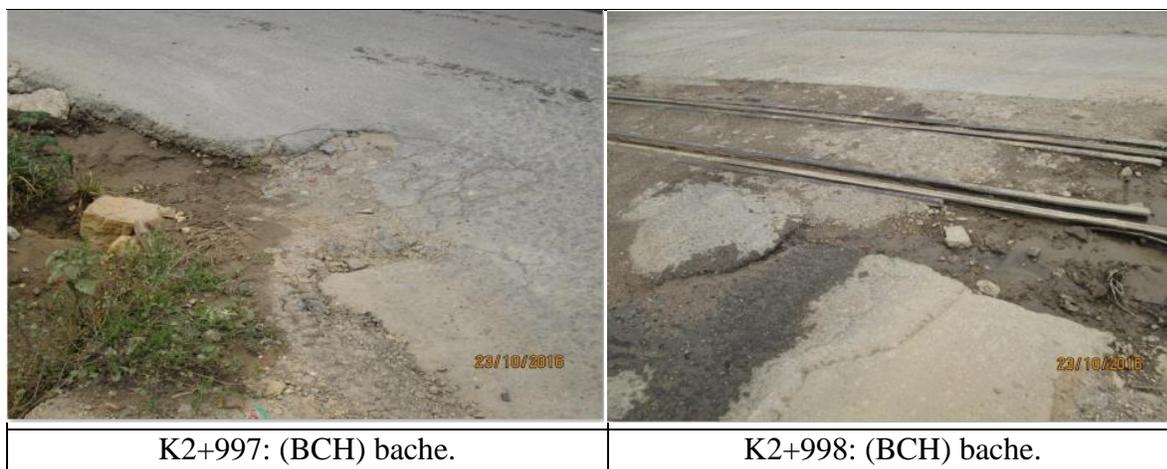


Figura 36: bache

Fuente: elaboración propia.

Con la información anterior y las visitas de campo realizadas, se encontraron un total de 26 fallas diligenciadas en los formatos dentro de las cuales se presentan diferentes severidades (baja, media, alta) y se procedió a consolidar los siguientes resultados describiendo cada una de sus características:

Tabla 24: información obtenida a partir de los diferentes daños encontrados en el pavimento que comprende el proyecto vial entre los sectores de Molinos y Manás.

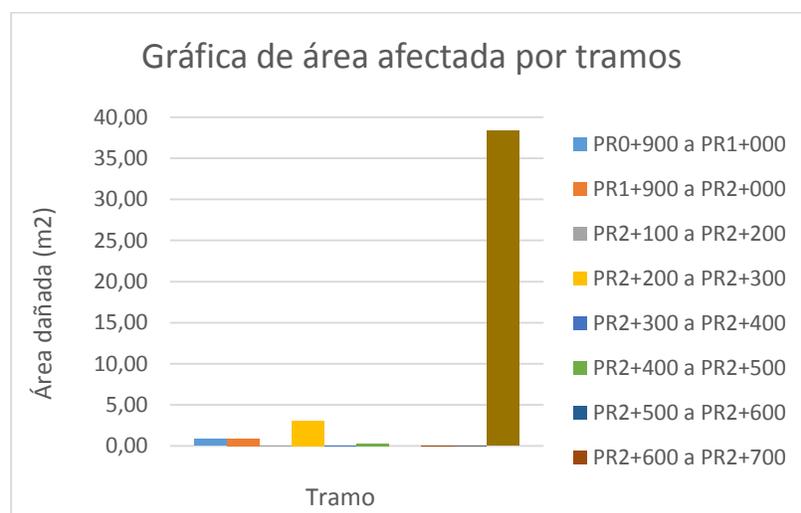
IDENTIFICACIÓN DE LAS FALLAS - VÍA MOLINOS - MANÁS													
Longitud total = 3.001 m.													
PUNTO / FOTO	ABSCISA	PI	PT	TIPO FALLA	SIGLA	LONGITUD (m)	ÁREA (m ²)	No. VECES	SEVERIDAD	ÁREA DAÑOS SUPERFICIALES (m ²)	ÁREA DAÑOS EN BERMA (m ²)	ÁREA DE TRAMO (m ²)	PORCENTAJE DE AFECTACIÓN TRAMO (%)
PRO+900													
1	K0+977	977	978	pulimiento agregados	PU	1,12	0,37		N/A	0,37		660	0,82%
2	K0+982	982	983	descascamiento berma	DCB	0,73	0,08		baja		0,08		
3	K0+987	987	987	descascamiento	DC	0,12	0,01		baja		0,67		
4	K0+998	998	999	fisura transversal berma	FTB	0,95	0,67		alta		0,67		
5	K0+999	999	1004	afloramiento de finos	AFI	5,40	0,81	1 vez	N/A				
PR1+900													
6	K1+969	1969	1971	piel de cocodrilo berma	PCB	1,92	0,92		alta		0,92	660	0,92%
7	K1+987	1987	1988	corrimento vertical berma	CVB	1,75	0,11		media		0,11	660	0,92%
PR2+100													
8	K2+109	2109	2109	descascamiento	DC	0,03	0,01		baja			660	0,01%
9	K2+158	2158	2161	fisuras de borde berma	FBD	3,45	2,42		alta		2,42	660	0,01%
PR2+200													
10	K2+226	2226	2230	fisura media luna	FML	3,38	3,11		media			660	3,11%
PR2+300													
11	K2+353	2353	2353	descascamiento	DC	0,04	0,01		baja			660	0,01%
12	K2+354	2354	2354	fisura transversal berma	FTB	0,84	0,59		alta		0,59	660	0,01%
PR2+400													
13	K2+491	2491	2495	fisura longitudinal	FL	4,85	0,29		media			660	0,29%
PR2+500													
14	K2+511	2511	2512	fisuras longitudinales berma	FLB	0,78	0,55		alta		0,55	660	0,00%
15	K2+530	2530	2535	corrimento vertical berma	CVB	4,82	0,29		media		0,29	660	0,00%
PR2+600													
16	K2+627	2627	2627	descascamiento	DC	0,04	0,01		baja			660	0,02%
17	K2+628	2628	2628	descascamiento	DC	0,10	0,01		baja			660	0,02%
PR2+800													
18	K2+815	2815	2815	afloramiento de finos	AFI	0,16	0,02	2 veces	N/A			660	0,02%
19	K2+874	2874	2877	pérdida de agregados	PA	3,12	0,94		media		0,94		
20	K2+893	2893	2894	pérdida de agregados	PA	0,70	0,07		media		0,07		
PR2+900													
21	K2+903	2903	2905	afloramiento de finos	AFI	2,30	1,75	1 vez	N/A			660	78,60%
22	K2+991	2991	2994	pérdida de agregados	PA	2,88	3,89		baja		3,89		
23	K2+991	2991	2994	pérdida de agregados eje	PA	2,76	2,73		media		2,73		
24	K2+994	2994	2999	afloramiento de finos y agua	AFI	5,20	34,32	1 vez	N/A				
25	K2+997	2997	2997	bache	BCH	0,20	0,04		alta				
26	K2+998	2998	3000	bache	BCH	2,48	2,23		alta				

Fuente: elaboración. Propia.

que comprende la abscisa PR2+200 a PR2+300 que presenta un valor del 3,11%, el segundo mayor porcentaje afectado.

Esto se presenta porque en los 100 m finales de la vía hacia la cantera de Manás, la existencia de daños producidos por la existencia de baches, afloramiento de finos y agua, pérdidas de agregados de nivel medio a severo poseen un mayor efecto en el daño a diferencia de la falla producida por la fisura en media luna con una longitud de 4,85m que tiene una severidad media presente en la abscisa PR2+200 a PR2+300.

El siguiente procedimiento consiste en graficar el área afectada que evidencia los daños con número de tramos intervenidos en las visitas de inspección en el sitio.

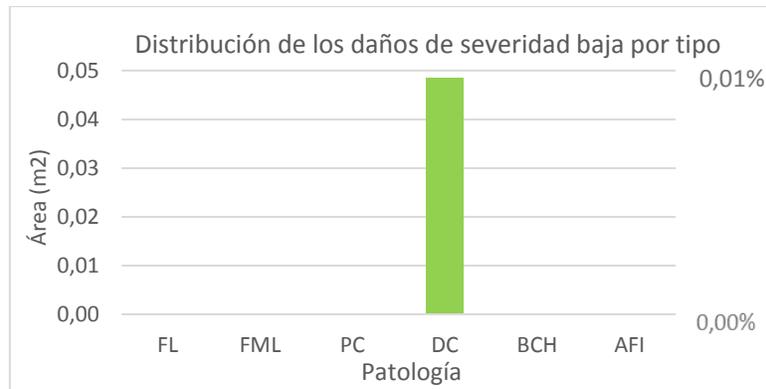


Gráfica 1: Área afectada por cada uno de los tramos de la vía Molinos - Manás.

Fuente: elaboración propia.

A partir de la información anterior y continuando con la metodología de la UNAL y el INVIAS se elaboran las siguientes gráficas que incluyen las diferentes patologías para la severidad baja (color verde), media (color amarillo) y alta (color rojo) al igual que las áreas afectadas por tipo de daño y los porcentajes de afectación con relación al área total inspeccionada.

La primera gráfica, presenta la distribución de cada uno de los tipos de las patologías para la severidad baja:

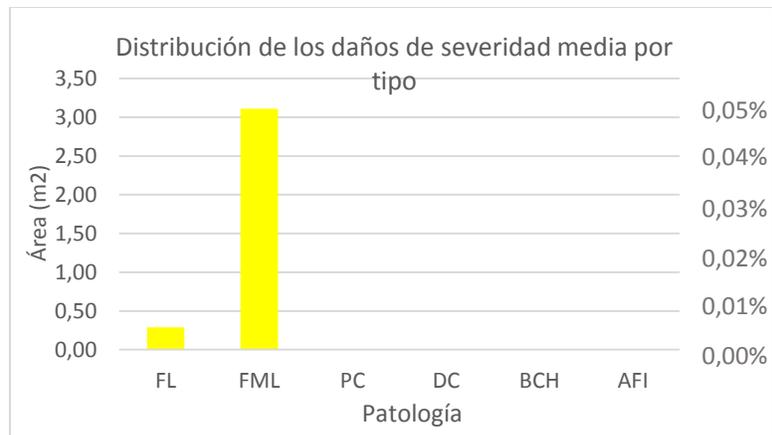


Gráfica 2: Distribución de los daños de severidad baja por tipo.

Fuente: elaboración propia.

A partir de la gráfica anterior, el daño más relevante en la vía Molinos - Manás que posee una severidad baja se presenta principalmente por descascaramientos que no llegaron a afectar las capas asfálticas subyacentes comprendidos en los tramos PR2+100 y PR2+200; PR2+300 y PR2+400; PR2+600 y PR2+700. Esto se debe a que en la construcción de la capa de rodadura asfáltica no se construyó un espesor suficiente al diseñado y por una limpieza insuficiente antes de aplicar el tratamiento superficial.

La segunda gráfica, presenta la distribución de cada uno de los tipos de las patologías para la severidad media:



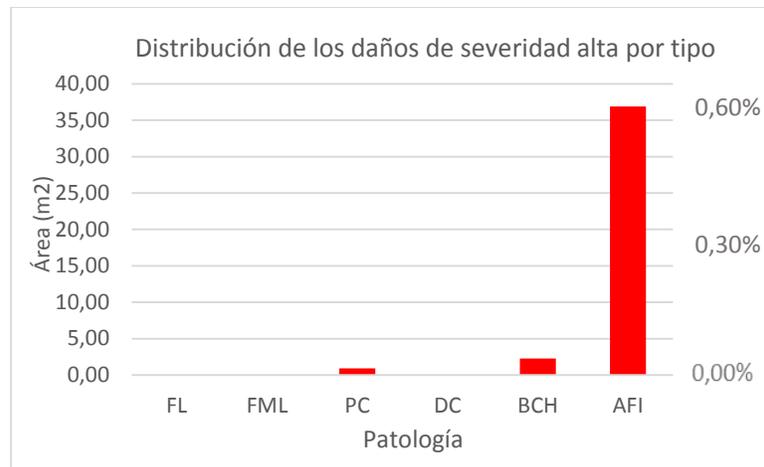
Gráfica 3: Distribución de los daños de severidad media por tipo.

Fuente: elaboración propia.

En la gráfica anterior, el daño más relevante en esta vía que posee una severidad media se presenta principalmente por la existencia de la fisura en media luna y por la fisura longitudinal existente en los tramos PR2+200 y PR2+300 y PR2+400 a PR2+500. Para la fisura en medialuna el daño se presentó porque no se realizó una buena cimentación del terraplén en su construcción y se puede ver por el hundimiento hacia la zona lateral derecha del pavimento como se denota en la imagen anterior. Adicionalmente, la fisura pudo haberse evolucionado por la presencia de vegetación que se presenta en el borde de la vía por encima de la berma derecha lo cual el componente orgánico por medio de sus raíces, pudo haber consumido agua que existía en las capas subyacentes a la carpeta asfáltica causando el hundimiento y su posterior fisura.

Por otra parte, la fisura longitudinal se provocó por las huellas del tránsito pesado que circula en el pavimento al igual que el envejecimiento en el asfalto a causa de las bajas temperaturas ocurrida por las bajas temperaturas ocurridas principalmente en las horas de madrugada.

La tercera y última gráfica, presenta la distribución de cada uno de los tipos de las patologías para la severidad alta:



Gráfica 4: Distribución de los daños de severidad alta por tipo.

Fuente: elaboración propia.

En esta gráfica, se evidencia que la falla más relevante tanto por área afectada como por porcentaje para el de daño se presenta por el afloramiento de finos y por afloramiento de agua como se evidenció en el anterior registro fotográfico en el tramo PR2+900 a PR3+000 donde su severidad no es medible pero es crítica. Esto se causó principalmente por la presencia de agua y existencia de grietas en la cual circulan las cargas del tránsito pesado por encontrarse entre la entrada a la cantera de manás y la vía principal que comunica los municipios de Chía y Zipaquirá, donde la patología continúa evolucionando a un daño mayor y por el cual se necesita una intervención inmediata para recuperar la estructura del pavimento en este caso.

También, la existencia de baches cercanos en el mismo tramo se provocó por las causas anteriores especialmente por el asentamiento del agua y las deformaciones causadas por las cargas del tránsito en la zona lateral derecha del pavimento donde ya se encuentra afectando la base granular evidenciado en el registro fotográfico.

En una menor medida, otra patología importante se presenta por la existencia de piel de cocodrilo en la berma, ubicada en el tramo PR1+900 y PR2+000 como se evidencia en la fotografía anterior. Sin embargo, esta es una falla ubicada en la berma el cual no pudo ser causado por el

tránsito y que no afecta el pavimento directamente. Sin embargo, para este criterio es importante resaltar este tipo de patología por su nivel de severidad y por lo tanto mostrarlo en la anterior gráfica. Este daño ubicado en la zona lateral derecha del pavimento es causado por el pobre drenaje en este sector.

**PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN Y/O MANTENIMIENTO QUE
INCLUYEN
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA VÍA MOLINOS - MANÁS**

Para garantizar la rehabilitación y mantenimiento de este pavimento se necesitan de diferentes componentes que son fundamentales: como son la verificación actual del entorno y de su estado para una posible corrección de su diseño geométrico, de tránsito, geotécnico e hidráulico, un mejor proceso constructivo y unos materiales de mayor calidad, ya que con estos mismos determinan una mejor estructura y funcionalidad de la vía lo cual más segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente, armonizando con los elementos existentes.

El proyecto vial ejecutado de un año construido y que actualmente se encuentra en funcionamiento donde comprende los sectores de Molinos y manás en Cajicá, Cundinamarca, es una vía importante por su accesibilidad y comunicación que permite mejorar la calidad de vida y la economía de los habitantes que viven a su alrededor y el cual debe estar en un perfecto estado. Por la anterior razón, se recomiendan las siguientes consideraciones mediante esta propuesta:

- Realizar mediciones y análisis de la evolución del tránsito que garanticen el buen funcionamiento de la vía existente, para que la estructura y funcionalidad de la vía realicen una mejor acción de resistencia frente a las cargas producido por los ejes equivalentes principalmente por los vehículos pesados que sirven como conexión a la red principal y a la cantera de Manás, al igual que a la red de acceso de diferentes fábricas. Es evita la prolongación de daños ocasionados como los baches, el afloramiento de finos, fisuras longitudinales y/o transversales, piel de cocodrilo y pérdida del agregado.
- Intervenir en las zonas donde se evidenció la fisura en medialuna porque puede ocurrir hundimientos en la zona central y lateral derecha de la vía. Para ello, debe realizarse la reparación mediante la estabilización del talud que conforma la parte lateral del terraplén

construido con mejores materiales implementando un reciclaje o uso de cal para evitar la expansión de materiales finos en el terreno frente a la acción del agua.

- Realizar el mantenimiento en las zonas críticas ubicadas en las bermas para garantizar un mejor funcionamiento del drenaje frente a la existencia de daños de nivel de severidad bajo y/o moderado. Para otros sectores donde la berma presenta daños provocados por piel de cocodrilo, corrimiento vertical y fisuras, debe realizarse el mantenimiento adecuado modificando los materiales y la colocación del concreto adecuado con el fin de mejorar su periodo de vida útil.
- Reconstruir parches en los tramos intervenidos donde existen baches y/o descascamientos reemplazando el material que conforma la capa y la base asfáltica y la base granular como se evidencia en el último tramo de la vía, el cual debe aplicarse un mejor espesor y una limpieza adecuada cuando se realice el tratamiento superficial y/o riego de liga para luego colocar la mezcla asfáltica para establecer una estructura adecuada en el pavimento.
- Ejecutar el buen mantenimiento para el sector que comprende el tramo PR2+400 y PR2+500 donde se evidencia la fisura longitudinal y diagonal principalmente implementando el asfalto de forma adecuada evitando el exceso de filler para que no se rigidice y un pronto envejecimiento. También debe realizarse la construcción de las capas subyacentes en el caso que la fisura se prolongue desde su interior para evitar su mayor propagación e infiltración del agua que acabe con la estructura del pavimento

Referencias

- Cárdenas, J. M. (Junio de 2014). *Evaluación de la metodología PCI como herramienta para la toma de decisiones a realizar en los pavimentos flexibles*. Obtenido de Unimilitar:
<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/12102/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20metodolog%C3%ADa%20PCI%20como%20herramienta%20para%20la%20toma%20de%20decisiones%20en%20las%20intervenciones%20a%20realizar%20en%20los%20pavimentos%20flexibles.pdf>
- Martínez, C. E. (Junio de 2014). *Evaluación de la metodología VIZIR como herramienta para la toma de decisiones a realizar en los pavimentos flexibles*. Obtenido de Unimilitar:
<http://repository.unimilitar.edu.co:8080/bitstream/10654/12067/1/TG%20CEMM%20Codigo%2006100153.pdf>
- Martínez, W. A. (2013). *Universidad Católica*. Obtenido de
http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/979/3/RAE_Estudios-dise%C3%B1os-pavimento%20flexible-El-Molino_Manasa-Cajic%C3%A1.pdf
- Molino, A. m. (2014). *Informe mensual No.2 INVÍAS. CAJICÁ*.
- Universidad Nacional de Colombia - Instituto Nacional de Vías. (Octubre de 2006). *Estudio e investigación del estado actual de las obras de la Red Nacional de Carreteras*. Obtenido de Media.cylex:
http://media.cylex.com.co/companies/1112/0482/uploadedfiles/11120482_634784057864525270_INSPECCION_DE_PAVIMENTOS.pdf
- Velásquez, E. D. (Octubre de 2009). *Cálculo del índice de condición de pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de castilla*. Obtenido de Universidad de Piura:
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1350/ICI_180.pdf?sequence=1

ANEXOS

Carta de autorización aprobada por el Señor Alberto Santos Acosta. Representante Legal Consorcio Molinos – Manás.

Bogotá D.C 16 de noviembre de 2016

Señor:
ALBERTO SANTOS ACOSTA
Representante legal
CONSORCIO MOLINOS-MANAS
Ciudad.

Ref. Solicitud de información sobre la vía Molinos- Manas en el municipio de Cajicá- Cundinamarca.

De la manera más respetuosa solicito a ustedes el suministro de información sobre la construcción de la vía Molinos-Manás, ubicada en el municipio de Cajicá Cundinamarca, con objeto de ser referenciada en mi trabajo de grado como especialista en pavimentos de la Universidad Militar Nueva Granada.

Específicamente, necesito información sobre la ejecución de su proceso de construcción, al igual que los materiales utilizados, con el propósito de realizar una auscultación visual y elaborar una propuesta que permita la opción más viable para el posible mantenimiento y/o rehabilitación.

Agradezco la colaboración que me puedan brindar, toda vez que para mí investigación es muy importante conocer el trabajo que ustedes realizaron en el sector con la construcción de la vía en mención.

Quedo atento de su respuesta, y de antemano nuevamente muchas gracias por su atención y colaboración.

Cordialmente,

Franz Stephen Gómez R.
C.C: 1.020.728.184
Ingeniero Civil
TP: 25202226707CND
Universidad Nacional de Colombia
Celular: 3102942587


+51 310 744 3635

Nota: Adjunto fotocopia del carnet estudiantil Universidad Militar Nueva Granada

Formato diligenciado para la identificación de los daños en el pavimento de la Vía Molinos –Manás por la Metodología Universidad Nacional de Colombia – Instituto Nacional de Vías – INVIAS – “Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles”.

Estudio e Investigación del Estado Actual de las Obras de la Red Nacional de Carreteras

Manual de inspección visual para pavimentos flexibles



ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS
CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0587 DE 2003
FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - V2



TERRITORIAL Cajicá FECHA 23/10/16 CONCESIÓN PR INICIAL K2+000
CÓDIGO DE LA VIA _____ CONTRATO No 003/16/2014 MITO INTEGRAL PR FINAL K5+000
NOMBRE DE LA VIA Molinos-Manás LEVANTADO POR Franz Günter A M V HOJA 1 DE 1

Carril	Tipo	Sever	Daño		Reparación		Foto	Aclaraciones
			Largo (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Ancho (m)		
-P R	3	+	0	000	-	-		
D BCH	A	348	0	90	26			Se evidencia asentamiento de finos y fisuras transversales. A su alrededor se presenta piel de cocodrilo y pedruzcos. Dentro del asentamiento, existe asentamiento de agua.
D BCH	A	020	0	22	25			
D PEI	NA	520	6	60	24			
E PA	M	276	0	99	23			
I PA	B	222	6	35	22			
I AFI	NA	230	0	76	21			
-P R	2	+	9	000	-	-		
I PA	M	070	0	10	20			También se evidencia coronamiento vertical de la berma.
I PA	M	302	0	30	19			
I AFI	NA	2	VS	CS	18			Existencia de finos en el reductor de velocidad.
-P R	2	+	8	000	-	-		
I DC	B	020	0	03	17			
I DC	B	020	0	02	16			
I CVB	M	422	0	06	15			
I FL	A	072	0	07	14			Se presentan fisuras transversales por toda el ancho de berma.
-P R	2	+	5	000	-	-		
D FL	M	422	0	06	13			Possible rotura de la estructura por tránsito. Envejecimiento.
-P R	2	+	4	000	-	-		
I FT	A	024	0	04	12			Implementación de materiales regulares en su construcción.
D DC	B	020	0	03	11			
-P R	2	+	3	000	-	-		
D FN	M	338	0	23	10			Possible falla lateral en terraplen y deserción.
-P R	2	+	2	000	-	-		
I FR	A	345	0	345	9			
I DC	B	023	0	02	8			
-P R	2	+	1	000	-	-		
D CVB	M	425	0	06	7			Diferencia entre los materiales de berma y pavimento.
D PCB	A	592	0	09	6			
-P R	1	+	9	000	-	-		
D AFI	NA	1	VS	2	5			Presencia de finos en la estructura.
D FT	A	020	0	02	4			
D DC	B	012	0	09	3			
D DCB	B	020	0	11	2			Existencia de coronamiento vertical de la berma.
D PL	NA	12	0	30	1			
-P R	0	+	9	000	-	-		

Numero de calzadas	1	COMENTARIOS:	ES una via que se encuentra en buen estado
Numero de carriles por calzada	2		en su funcionamiento por su construcción reciente. Sin
Ancho de carril	3,30m	Ancho de berma	0,70m. Cambios, posee muy pocos daños que son importantes.

Formato de referencia para la identificación de cada uno de los daños en el pavimento de la Vía Molinos –Manás por la Metodología Universidad Nacional de Colombia – Instituto Nacional de Vías – INVIAS – “Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles”.

Estudio e Investigación del Estado Actual de las Obras de la Red Nacional de Carreteras

Manual de inspección visual para pavimentos flexibles



ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS
CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0587 DE 2003
FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - V2



TIPO DE DAÑO	CONVENC.	SEVERIDADES		
		BAJA	MEDIA	ALTO
FIGURAS				
Figuras longitudinales (m)	FL	Aberura < 1mm o selladas	Aberura 1.3mm sin sellar algunas figuras cruzan	Aberura > 3mm posee alto desgaste algunas figuras medias las cruzan causa vibración al vehículo
Figuras transversales (m)	FT			
Figuras en juntas de construcción (m)	FCL, FCT			
Reflexión de juntas de pavimentos rígidos (m)	F,JL, FJT			
Figuras en media luna (m2)	FML			
Figuras de borde (m)	FBD			
Figuras en bloque (m2)	FB	Los bloques se han comenzado a formar pero no están claramente definidos y están conformados por figuras < 1mm o selladas sin desgaste en ellas	Bloques definidos por figuras > 1.3mm o sin sellar con desgaste leve	Bloques bien definidos por figuras > 3mm que presentan alto desgaste
Piel de cocodrilo (m2)	PC	Serie de figuras longitudinales paralelas con abertura de hasta 3 mm principalmente en la huella	Las figuras han formado bloques que tienen un ligero desgaste en los bordes	Área con bloques sueltos de bordes desgastados puede existir bacheo
Figuras por deslizamiento de capas (m2)	FDC	Figuras < 1mm o selladas	Figuras > 1.3mm pueden existir agrietamientos alrededor con aberturas menores a 1 mm	Figuras > 3mm pueden existir agrietamientos entre las figuras con aberturas mayores a 1 mm
Figuración incipiente (m2)	FIN	Sin grados de severidad asociados		
DEFORMACIONES				
Ondulaciones (m2)	OND			
Abultamiento (m2)	AB	Altura < 10mm	Altura 10-20mm	Altura > 20mm
Hundimiento (m2)	HUN	Altura < 20mm	Altura 20-40mm	Altura > 40mm
Ahuellamiento (m2)	AHU	Altura < 10mm	Altura 10-25mm	Altura > 25mm
DAÑOS SUPERFICIALES				
Desgaste superficial (m2)	DSU	Pérdida de la textura uniforme de la superficie con irregularidades hasta de 3 mm	Profundidad de las irregularidades entre 3 mm y 10 mm se observa el agregado grueso al vehículo experimenta vibración y ruido	No comenzado desmenuzarse la superficie presenta desprendimientos evidentes y partículas sueltas sobre la calzada
Pérdida del agregado (m2)	PA	Se observan pequeños huecos cuya separación es mayor a 0.15 m	Existe un mayor desprendimiento de agregados con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m	Desprendimiento extensivo de agregados con separaciones menores a 0.05 m superficie muy lisa se observan agregados sueltos
Pulimento del agregado (m2)	PU	Sin grados de severidad asociados		
Cabezas duras (m2)	CD	Sin grados de severidad asociados		
Exudación (m2)	EX	Se hace visible en la superficie en franjas aisladas y de espesor delgado que no cubre los agregados gruesos	Exceso de asfalto libre que conforma una película cubriendo parcialmente los agregados	Cantidad significativa de asfalto en la superficie cubriendo casi la totalidad de los agregados aspecto húmedo de intensa cohesión negra
Surcos (m2)	SU	Sin grados de severidad asociados		
DETERIORO DE CAPAS ESTRUCTURALES				
Descascaramiento (m2)	DC	Altura < 10mm	Altura 10-25mm	Altura > 25mm
Bache o hueco (m2)	BCH	Profundidad < 25 mm corresponde al desprendimiento de tratamientos superficiales o capas delgadas	Profundidad entre 25-50 mm afecta incluso la base débil	Profundidad > 50mm llega a afectar la base granular
Parcheo (m2)	PCH	Está en muy buena condición y se desempeña satisfactoriamente	Presenta algunos daños de severidad baja a media y deficiencias en los bordes	Presenta daños de severidad alta y requiere ser reparado pronto
OTROS DAÑOS				
Corrimiento vertical de la berma ¹ (m. h)	CV	Altura < 6mm	Altura 6-25mm	Altura > 25mm
Separación de la berma (m. s)	SB	Ancho < 3mm	Altura 3-10mm	Altura > 10mm
Afloramiento de agua (m) ²	AFA	Sin grados de severidad asociados		
Afloramiento de finos ³	AFI	Sin grados de severidad asociados		

COMENTARIOS:

- En el caso de las bermas los daños que presenten deben registrarse con las mismas convenciones indicadas adicionando una "B" al final para diferenciarlos de los daños en el pavimento. Los daños reportados como separación y corrimiento vertical de la berma no requieren la adición de la "B" al final.
- En el caso de los afloramientos de agua se mide en metros (m) la zona afectada cuando no tiene otro daño asociado. Sin embargo, cuando el afloramiento se presenta donde existe un daño (por ejemplo una fisura o piel de cocodrilo) se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de agua.
- Dado que el afloramiento de finos siempre se presenta donde existe un daño (por ejemplo una fisura o piel de cocodrilo) se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de finos.