

**DEFINICIÓN DE LA ESTRATEGIA DE REHABILITACIÓN PARA LA VÍA SANTA
MARTA – PARAGUACHÓN ENTRE EL PR64+000 AL 72+000
DE LA RUTA 90-09**

TRABAJO DE GRADO

ING. YURANIS CAROLINA SUAREZ REDONDO

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C.
MARZO 2014**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3. ANTECEDENTES	8
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	12
5.1 Objetivo General	12
5.2 Objetivos Específicos	12
6. MARCO TEÓRICO	14
6.1 MARCO CONCEPTUAL	14
7. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	16
7.1 METODOLOGÍA	16
8. ANALISIS DE RESULTADOS	18
8.1 Análisis de Tránsito.....	18
8.2 Factor Daño Seleccionado.....	19
8.3 Pronóstico y Proyecciones del Tránsito	20
8.4 Descripción de los espesores	23
8.5 Evaluación de deterioros.....	24
8.6 Determinación del Índice Superficial del Pavimento	30
8.7 Descripción de la Deflexión:.....	33
8.8 Índice de rugosidad superficial.....	42
9. DIAGNÓSTICO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
10. ALTERNATIVAS DE DISEÑO	45

10.1 ESTRUCTURA TÍPICA DEFINIDA.....	47
10.2 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES	47
11. CONCLUSIONES.....	49

LISTA DE FIGURAS

Gráfica No 1: Localización general del Sector 90-09, Palomino Riohacha.....	08
Gráfica No 2: Composición Vehicular.....	19
Gráfica No 3: Proyección Vehicular.....	21
Gráfica No 4: Daños Consolidados.....	25
Gráfica No 5: Ahuellamiento.....	26
Gráfica No 6: Fisuras Longitudinales.....	27
Gráfica No 7: Piel de Cocodrilo.....	28
Gráfica No 8: Ojo de Pescado.....	29
Gráfica No 9: Exudación.....	30
Gráfica No 10: Determinación Índice Superficial.....	31
Gráfica No 11: Índice de Fisuración.....	31
Gráfica No 12: Índice de Deformación.....	32
Gráfica No 13: Índice Superficial.....	32
Gráfica No 14: Deflexión Central y Subrasante.....	34
Gráfica No 15: Comportamiento del cuenco de Deflexiones.....	36
Gráfica No 16: Comportamiento del área.....	37
Gráfica No 17: Modulo Resiliente de la Subrasante.....	38
Gráfica No 18: Numero Estructural.....	40
Gráfica No 19: Secciones Homogéneas.....	41
Gráfica No 20: Índice de Rugosidad Superficial.....	43

LISTA DE TABLAS

Tabla No 1: Composición Vehicular.....	18
Tabla No 2: Factor daño para el corredor Santa Marta Paraguachón	20
Tabla No 3: TPD Vehículos, Buses y Camiones periodo de diseño	21
Tabla No 4: Ejes equivalentes por tipo de vehículos.....	22
Tabla No 5: Descripción Espesores.....	23
Tabla No 6: Parámetros del cuenco de deflexiones.....	35
Tabla No 7: Secciones homogéneas por deflectometría	42
Tabla No 8: Rango de calificación.....	43
Tabla No 9: Parámetros.....	45
Tabla No 10: Calculo del SN requerido.....	46
Tabla No 11: Parámetros asumidos.....	46

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como fin desarrollar la estrategia de rehabilitación de la estructura de pavimentos para la vía Santa Marta – Paraguachón, en el sector 90-09, entre los PR64+000 al PR72+000 siguiendo los lineamientos descritos en la GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS DE CARRETERAS DEL INVIAS del año 2008, Parte 2.

La evaluación del estado real de la infraestructura vial y la determinación de estrategias de mantenimiento técnicamente viables, son fundamentales para el buen desarrollo de cualquier programa de mantenimiento vial nacional; en consecuencia, tanto las autoridades responsables del mantenimiento como la Concesión encargada de esta tarea, deben conocer los lineamientos que deben seguirse para determinar la estrategia de intervención más adecuada para la vía.

En el desarrollo de este proceso se definen las siguientes etapas, según la Guía Metodológica, enunciada en el primer párrafo: Recolección de información, Análisis del tránsito, Descripción de los espesores, Análisis de los deterioros, Descripción de la deflexión y el Índice de rugosidad superficial (IRI) y definición de la alternativa de intervención.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo al contrato 445-94 la Concesión Santa Marta – Paraguachón debe cumplir con un índice de estado con valor mínimo de 4.5; el cual es definido por las medidas realizadas cada seis (06) meses por la Interventoría de los siguientes parámetros: Rugosidad, Fisuras y grietas, estado de las bermas, zonas laterales, señalización, ahuellamientos y deformaciones; sin embargo en el tramo comprendido del PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09 se está incumpliendo este parámetro dado que se presenta piel de cocodrilo en severidad alta, agrietamientos en carpeta y bermas y datos de rugosidad altos, factores que disminuyen la capacidad estructural y funcional del pavimento y que pueden generar accidentes de tránsito, aumento de los tiempos de viaje y disminución del confort de la vía.

Teniendo en cuenta estos indicadores se plantea realizar este estudio con el fin de determinar las alternativas de intervención más adecuadas para dar cumplimiento a los requerimientos contractuales y mejorar el servicio al usuario.

3. ANTECEDENTES

3.1 Datos de la concesión

Nombre de la concesión:	Santa Marta – Paraguachón
Tipo de concesión:	Primera generación
Contrato No:	445 de 1994
Objeto:	Realizar por el Sistema de Concesión los Estudios, Diseños definitivos, las obras de Rehabilitación de Construcción, la operación y el Mantenimiento de los sectores Rio Palomino - Riohacha y Riohacha – Paraguachón y el Mantenimiento y la operación del Sector Santa Marta – Rio Palomino, ruta 90 en los Departamentos del Magdalena y Guajira.
Entidades del Concesionario:	Grupo Odinsa, Valorcon
Interventor:	Consortio BIC 2014
Plazo de la concesión en meses:	195
Origen – Destino:	Santa Marta – Paraguachón

Figura 1. Localización general del Sector 90-09 Palomino - Riohacha



Fuente: http://www.invias.gov.co/images/mapas/imagenes_red_vial/10052012/15_magdalena.html

3.2 Ubicación Del Tramo a Evaluar.

El sector 90-09 está comprendido entre Rio Palomino, en donde se localiza el PR00+000 con coordenadas 11°14'39" N y 73°33'45" W, y la ciudad de Riohacha en donde se localiza el PR90+000 con coordenadas 11°32'39" N y 72°54'25" W, Este tramo tiene una longitud de noventa (90) KM y ancho promedio de 3.7 m correspondiente de una calzada sencilla de un carril por sentido de circulación.

El tramo del PR64+000 al PR72+000 con coordenadas 11°25'0" N y 73°3'0" W, está ubicado dentro del Sector 90-09 que inicia en Palomino en el K0+000, cruza los pueblos de Rio Ancho, Mingueo, el Municipio de Dibulla, Campana, Las Flores, Puente Bomba y llega al municipio de Riohacha en el K85+000, que corresponde a la Ruta 90 de la Territorial Guajira No 13 y se desarrollo sobre una topografía plana.

3.2.2 Intervenciones en la Vía

Teniendo en cuenta la información entregada por la Concesión Santa Marta – Paraguachón, las intervenciones realizadas pueden discriminarse como intervención de rehabilitación (realizada únicamente, en la etapa de construcción, al recibir la vía del estado) y mantenimiento mayores, que incluyen sobre carpeta y parcheos, mantenimiento rutinario y periódico.

Para el caso particular del tramo en estudio ubicado en la vía Palomino – Riohacha, comprendido entre el PR64+000 y el PR72+000, la Concesión ha realizado las siguientes intervenciones:

- **Rehabilitación:** Se realizó el reciclado del material granular existente, que en su momento variaba entre diez (10) y treinta y cinco (35) cm, con inclusión de cal para mejorar la condición de plasticidad de los suelos.

Sobre este material se construyó quince (15) cm de base estabilizada con asfalto y se construyó una sobrecarpeta que variaba entre diez (10) y doce (12) cm.

- **Mantenimiento Mayores:** En el sector de estudio se han realizado intervenciones de fresado de la carpeta de rodadura, entre cinco (05) y doce (12) cm y la restitución de la misma en espesores entre ocho (08) y dieciocho (18) cm como máximo.

4. JUSTIFICACIÓN

En el sector 90-09, exactamente en el tramo comprendido del PR64+000 al PR72+000, se evidencian deterioros en forma representativa como piel de cocodrilo, fisuras transversales y longitudinales en extensión y severidad alta, exudación, desgaste, ojos de pescado, grietas, daños en las bermas, etc., por lo anterior, se hace necesario definir alternativas de intervención para mejorar la condición superficial del pavimento lo que incrementará la calificación en el índice de estado medido por la Interventoría, con lo que se cumplirán los acuerdos contractuales.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Definir alternativas de intervención para la rehabilitación de la estructura de pavimentos para la vía Santa Marta – Paraguachón entre el tramo comprendido desde el PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09, siguiendo los lineamientos de la GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE CARRETERAS DEL INVIAS DEL año 2008.

5.2 Objetivos Específicos

- Recolección de información y antecedentes para el desarrollo del diagnóstico y rehabilitación de la vía Concesión Santa Marta – Paraguachón entre los PR64+000 al PR72+000 en el sector 90-09.
- Análisis del variable tránsito para determinar las cargas que soportará la estructura de pavimento en el periodo de diseño.
- Registro de deterioros superficiales de la carpeta asfáltica y evaluación de los mismos bajo la metodología descrita en la GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE CARRETERAS.
- Evaluación de la rugosidad de la carpeta existente como medida de la serviciabilidad del pavimento al usuario.
- Evaluación de la deflexión de la estructura bajo repeticiones de una carga estándar equivalente a 8.2 Toneladas.

- Evaluación funcional y estructural del pavimento existente.
- Formación de alternativas de intervención para la rehabilitación del pavimento.

6. MARCO TEÓRICO

La GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE CARRETERAS, es un documento técnico que describe las etapas que deben seguirse para el adecuado proceso del diseño de rehabilitación de un pavimento asfáltico.

La evolución de la Guía se ha producido gracias a la necesidad de definir técnicas de evaluación, diagnóstico y diseño, pautas de trabajo precisas y uniformes para atender los requerimientos de intervención de las vías, mantener un adecuado comportamiento desde el punto de vista funcional y estructural de la misma, manteniendo estándares técnicos exigidos por la normatividad vigente y sean económicamente viables. Es así como la rehabilitación de pavimentos ha adquirido gran importancia, ya que al implementar actividades de rehabilitación adecuadas se logran ahorros en los costos de mantenimiento, se reducen los costos de operación y además se prolonga la vida útil del pavimento.

6.1 MARCO CONCEPTUAL

Siguiendo los lineamientos de la Guía Metodológica, se determinarán las intervenciones técnicamente más adecuadas para la solución del problema, para tal efecto se seguirán tres ítems básicos:

6.1.2 Recolección de información: Corresponde a la recopilación de información con el propósito de determinar las causas de los deterioros del pavimento, estimar los requerimientos estructurales y funcionales del mismo, y estimar las cantidades de obra por ejecutar.

6.1.2.1 Evaluación de la Condición Global del pavimento: Corresponde a la información que permite desarrollar las estrategias más apropiadas de intervención así como la definición de las causas de los deterioros. De igual manera esta información permite evaluar la progresión de los deterioros y las consecuencias de postergar las rehabilitaciones.

6.1.2.2 Selección de Técnicas de Rehabilitación: El propósito de estas técnicas es determinar los tratamientos que mejor se ajustan a la corrección de los defectos existentes y permitan lograr los mejoramientos deseados, tanto en capacidad funcional como estructural del pavimento.

7. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para dar cumplimiento al índice de estado y cumplir con los requerimientos de la Agencia Nacional de Infraestructura ANI, del corredor vial Santa Marta – Paraguachón en el tramo en estudio, ubicado entre el PR64+000 al PR72+000 del Sector 90-09, se realizará un estudio de acuerdo a la metodología definida por el INVIAS y así reducir los tiempos de viajes, mejorar el confort de la vía y disminuir la accidentalidad, dando así solución a la problemática planteada inicialmente.

7.1 METODOLOGÍA

7.1.1 Recolección de información: La información con la que se cuenta para realizar el diagnóstico del tramo comprendido entre el sector PR64+000 al PR72+00 del sector 90-09, fue suministrada por la Concesión Santa Marta – Paraguachón desde el año 1994 y corresponde a:

- **Análisis de tránsito:** Registro de tránsito a partir del año 2003 hasta el 2013 tomada de la Estación del Peaje Ebanal ubicado en el PR54+000 del sector 90-09.
- **Descripción de los espesores:** El sector 90-09, específicamente el tramo comprendido del PR64+000 al PR72+000 cuenta con datos históricos de espesores de la estructura de pavimento durante los diecinueve (19) años de la vía concesionada, lo que genera una variable de análisis para el comportamiento de la estructura del pavimento en este lapso.
- **Deterioros:** El inventario de los daños funcionales y estructurales del pavimento, tomados por la interventoría en el mes de noviembre del 2013.
- **Descripción de la deflexión:** Se evaluará la deflexión del pavimento medición realizada en el mes de Agosto del año 2013, lo que permitirá

conocer la capacidad estructural existente de la estructura, por lo tanto, su vida residual.

- **Medida del perfil y rugosidad:** La rugosidad de un pavimento permite determinar el comportamiento superficial del mismo y el grado de confort que este brinda al usuario, se evaluará la información entregada por la interventoría en el mes de noviembre del año 2013.

8. ANALISIS DE RESULTADOS

8.1 Análisis de Tránsito

A partir de la información registrada por parte de la estación de peaje de Ebanal, se determinará el tráfico promedio diario (TPD), composición vehicular, los factores daños por tipo de vehículos y el número de ejes equivalentes de 8.2 ton en un periodo comprendido entre el año 2014 y el 2024, para un total de diez (10) años.

8.1.1 Tránsito promedio diario (TPD) y composición vehicular: A continuación se describe el tránsito promedio diario (TPD) y composición vehicular para el tramo comprendido del PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09, así mismo esta información se utilizará como tránsito para determinar las alternativas de rehabilitación.

En la tabla No 1 se puede observar la composición vehicular discriminada por tipo de vehículo.

Tabla No 1. Composición Vehicular

Estación	Sector	TPD	Composición Vehicular						
			Autos	Buses	C2P	C2G	C3	C3S2	C3S3
Ebanal	90-09	225.783	55%	16%	7%	5%	2%	3%	12%

A continuación en la Figura No 2 se puede evidenciar la composición vehicular del sector 90-09, así mismo se concluye que del cien (100%) de los vehículos que transitan por este tramo el cincuenta y cinco (55%) corresponden a autos, los buses con un porcentaje del dieciséis (16%) y en la categoría de los camiones el que más circula es el tipo C3S3 con un porcentaje del doce (12%).

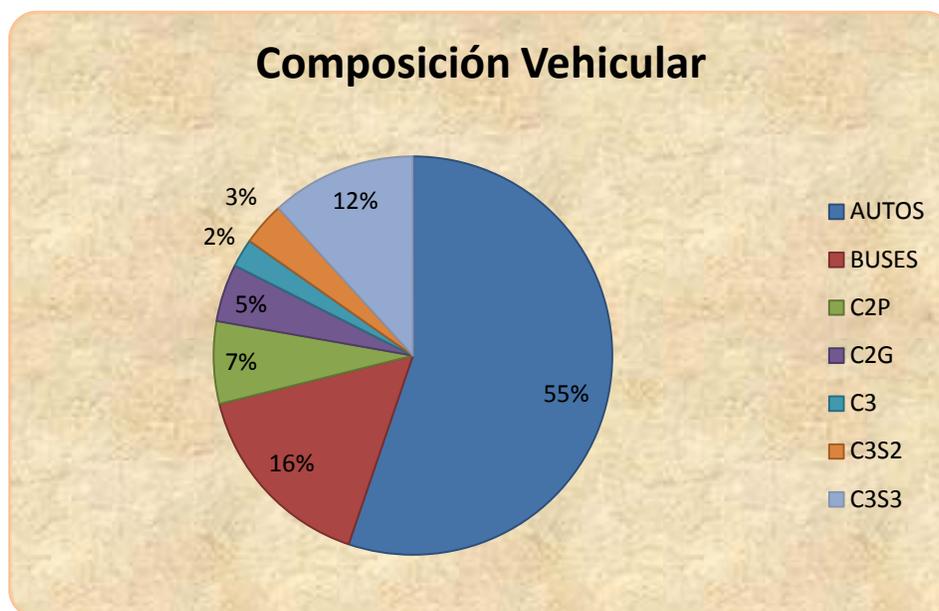


Figura No 2. Composición Vehicular

Representativamente los autos no generan una carga importante para la estructura del pavimento, condición favorable para la vía concesionada, de igual manera puede decirse que los vehículos de mayor carga y daño al pavimento (Categorías C3, C4, C5, C6) representan un diecisiete (17%) de la composición vehicular.

8.2 Factor Daño Seleccionado: Desafortunadamente no fue posible contar con la información de carga del peaje del Ebanal, por lo que se decidió tomar valores de factores daño tipo definidos por la metodología AASTHO y Universidad del Cauca.

Para determinar los factores daño se hace necesario determinar la relación entre el peso de cada uno de los ejes de circulación, referido al peso máximo del eje patrón.

Debido a que las cargas que circulan por este corredor vial son diferentes debido a la diversidad de camiones, se es necesario referenciarla a una carga de 8.2 Ton. A continuación en la tabla No 2 se muestra los factores de daño tomados por la Concesión Santa Marta – Paraguachón:

Tabla No 2. Factores Daño para el corredor Santa Marta –Paraguachón

Tipo de Vehículo			Factor Daño		
	Método Simplificado AASTHO	Método AASTHO	Universidad Del Cauca	Factor Seleccionado	
				Peaje Ebanal	PR64+000 al PR72+000
Buses			1	1	1
C2P			1.14	1.14	1.14
C2G	1.18	1.13	3.44	3.44	3.44
C2-S1	1.13	1.01	3.37	3.37	3.37
C2-S2	0.92	0.86	3.42	3.42	3.42
C3	2.20	2.18	3.76	3.76	3.76
C3-S1	0.41	0.31	3.37	3.37	3.37
C3-S2	2.31	2.14	4.40	4.40	4.40
C3-S3	3.40	3.38	4.72	4.72	4.72
C4	2.17	2.28	6.73	6.73	6.73

8.3 Pronóstico y Proyecciones del Tránsito

De acuerdo con la información del tránsito suministrada por la concesión Santa Marta – Paraguachón de la estación de peaje el Ebanal de los últimos diez (10) años, se concluyó que la tasa de crecimiento para el tramo comprendido del PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09 es del cuatro (4%).

A continuación se puede evidenciar en la figura No 3, la proyección vehicular de la estación de peaje el Ebanal:

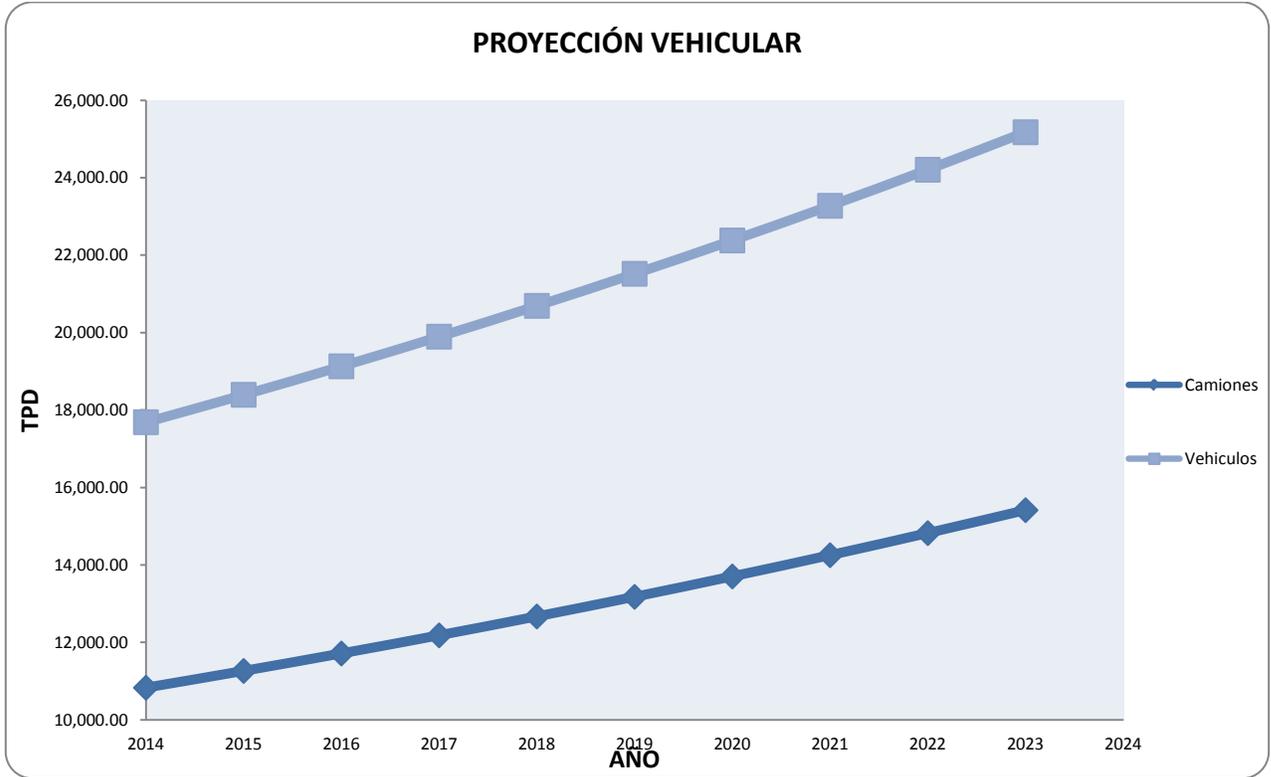


Figura No 3. Proyección Vehicular

En la tabla No 3 se puede evidenciar el tráfico promedio diario para los vehículos, buses y camiones de acuerdo a la tasa de crecimiento anteriormente mencionada, para cada año del periodo de diseño comprendido desde el año 2013 al 2023.

Tabla No 3. TPD Vehículos, Buses y Camiones periodo de diseño.

Año	TPD Vehículos	TPD Camiones
2013	17,688.32	10,831.26
2014	18,395.85	11,264.51
2015	19,131.69	11,715.09
2016	19,896.95	12,183.69

Año	TPD Vehículos	TPD Camiones
2017	20,692.83	12,671.04
2018	21,520.55	13,177.88
2019	22,381.37	13,705.00
2020	23,276.62	14,253.20
2021	24,207.69	14,823.32
2022	25,175.99	15,416.26
2023	17,688.32	10,831.26

8.2.4 Calculo de ejes equivalentes

El factor vehicular de deterioro se puede definir como el número de ejes simples, de rueda doble, de 80KN (8.2) toneladas, que producirán en el pavimento un deterioro equivalente al ocasionado por la circulación de un vehículo comercial¹. A continuación en la tabla No 4 se puede evidenciar el número de ejes equivalentes para el primer y décimo año por tipo de vehículo.

Tabla No 4. Ejes equivalentes por tipo de vehículos.

Tipo de Vehículo	TPD	Tránsito en el primer año	Tránsito en el décimo año	Tránsito en el periodo de diseño ejes Equivalentes
Buses	272	99.280	138.992	1.191.360
C2P	155	64.495	90.294	773.946
C2G	66	82.869	116.017	994.435
C3	50	68.620	96.068	823.440
C3S2	68	109.208	152.891	1.310.946
C3S3	191	329.054	460.676	3.948.657
TOTAL:				9.042.334
TRÁNSITO PARA EL DISEÑO:				4.521.167 = 4.52 X 10 ⁶

¹ Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras – INVIAS – Numeral 2.3.8 – Pagina 54.

De acuerdo con la tabla anterior el tránsito en ejes equivalentes para el periodo de diseño de diez (10) años es de 9.04×10^6 , sin embargo debido a que se considera que la mitad de los vehículos circula en una dirección se tiene que el tránsito para el diseño es de 4.52×10^6 y como la vía solo tiene un carril por dirección este acoge el 100% del tránsito circulante en dicha dirección.

8.4 Descripción de los espesores

Teniendo en cuenta las intervenciones ejecutadas en el tramo comprendido del PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09 desde el inicio del contrato de concesión 445-94:

- **Rehabilitación:** Se realizó el reciclado del material granular existente, que en su momento variaba entre diez (10) y treinta y cinco (35) cm, con inclusión de cal para mejorar la condición de plasticidad de los suelos. Sobre este material se construyó quince (15) cm de base estabilizada con asfalto y se construyó una sobrecarpeta que variaba entre diez (10) y doce (12) cm.
- **Mantenimiento Mayores:** En el sector de estudio se han realizado intervenciones de fresado de la carpeta de rodadura, entre cinco (05) y doce (12) cm y la restitución de la misma en espesores entre ocho (08) y dieciocho (18) cm como máximo.

En la tabla No 5, se pueden observar los espesores existentes del tramo en estudio comprendido del PR64+000 al PR72+00 del sector 90-09:

Tabla No 5. Descripción de Espesores.

Desde	Hasta	Rodadura (cm)	Base Granular (cm)	Subbase granular (cm)
K64+000	K65+000	25	14	

Desde	Hasta	Rodadura (cm)	Base Granular (cm)	Subbase granular (cm)
K65+000	K66+000	20	6	10
K66+000	K67+000	25	10	
K70+000	K70+300	15	12	13
K70+300	K71+000	15	11	10
K71+000	K72+000	20	10	

8.5 Evaluación de deterioros

La clasificación y la cuantificación de los deterioros se realizan con base en el método VIZIR de acuerdo a los lineamientos de la Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos – Segunda Edición de 2008 en el cual clasifica los deterioros de los pavimentos asfálticos en dos grandes categorías, A y B.

Los deterioros del tipo A caracterizan una condición **estructural** del pavimento, que consiste en degradaciones debidas a insuficiencia en la capacidad estructural de la calzada, cuyo remedio suele requerir el conocimiento de otros criterios de valoración (ensayos de resistencia o de respuesta, deflexiones, etc.). Estos deterioros comprenden las deformaciones y los fisuramientos motivados por asuntos distintos a la fatiga, los desprendimientos y los afloramientos.

Los deterioros del tipo B es en gran parte tipo **funcional** y su origen se encuentran más bien, en deficiencias constructivas y en condiciones locales particulares que el tránsito ayuda a poner en evidencia. Entre estos deterioros se pueden citar los fisuramientos motivados por asuntos distintos a la fatiga, los desprendimientos y los afloramientos.

8.5.1 Evaluación de deterioros de pavimento.

A continuación se relacionan los daños presentados en el tramo comprendido entre el PR64+000 al PR72+000 de acuerdo a su porcentaje:

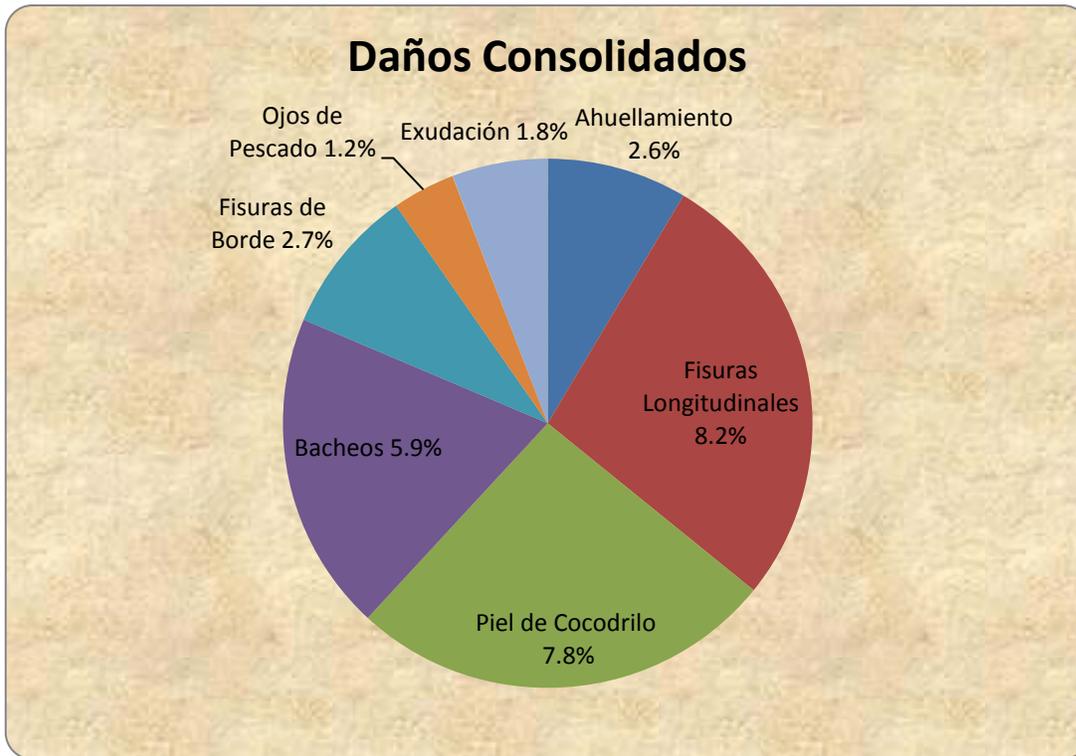


Figura No 4. Daños Consolidados

De acuerdo con la Figura anterior, se evidencia que el daño predominante en toda el área evaluada en el tramo en estudio son las fisuras longitudinales con un porcentaje del 8.2%, seguida de piel de cocodrilo con un porcentaje del 7.8%, el bacheo con un 5.9%; los daños identificados como fisuras de borde, ojos de pescado, exudación y ahuellamiento tienen un porcentaje muy bajo con respecto a los anteriores con un valor máximo del 2.7%.

8.5.1.1 Ahuellamiento

El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas, este se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la Subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debido a la carga del tránsito.

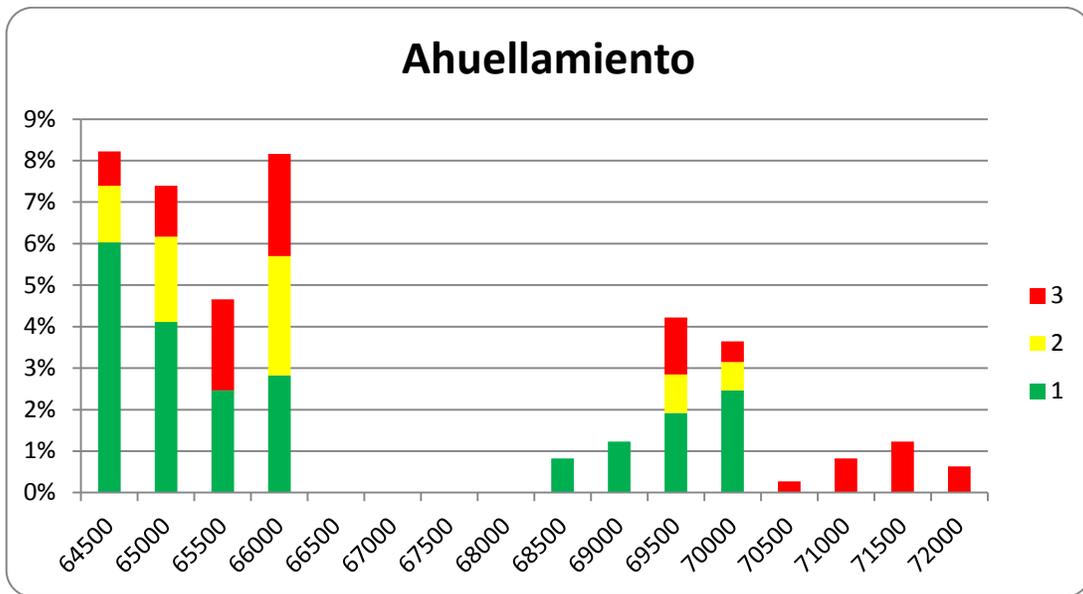


Figura No 5. Ahuellamiento

De acuerdo a la Figura anterior, se puede observar que la severidad más predominante en este tipo de daño es la severidad baja con un valor máximo del 6%, y se encuentra distribuida entre el PR64+000 al PR66+000 y del 68+500 al PR70+000; así mismo la severidad alta se encuentra desde el PR64+000 al PR66+000 y del PR69+500 al PR72+000 con un valor máximo del 3% y la severidad media representa la menor área afectada en este tramo como un valor máximo del 3%. Cabe aclarar que desde el PR66+000 al PR68+000 no se presenta ningún daño tipo ahuellamiento.

8.5.1.2 Fisuras Longitudinales

Las fisuras longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de la construcción.

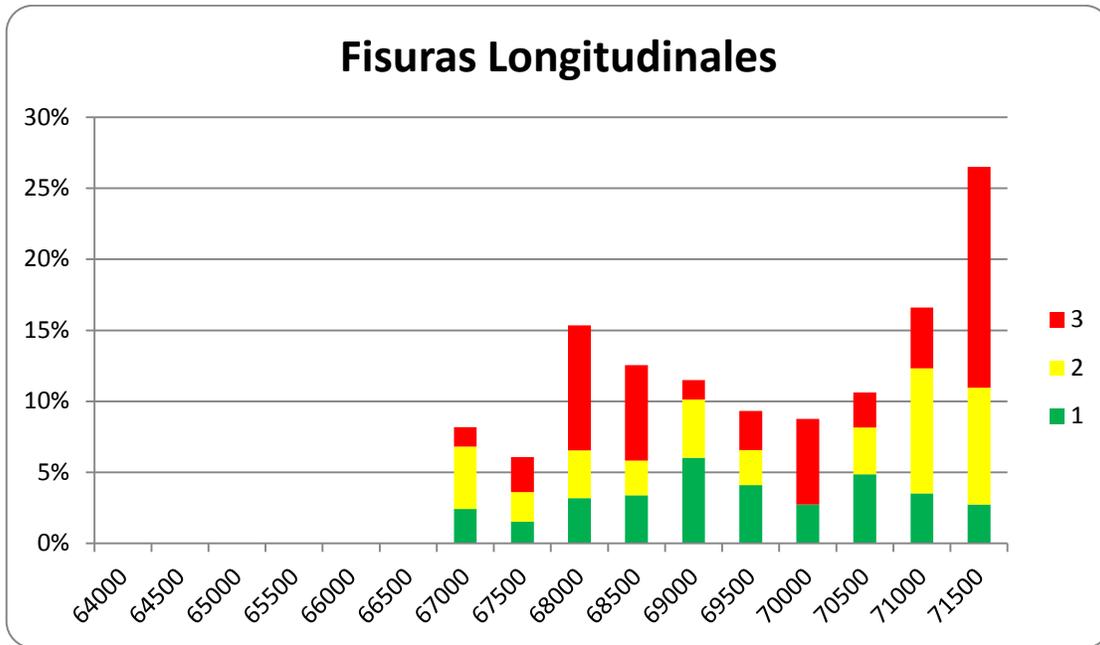


Figura No 6. Fisuras Longitudinales

De acuerdo a la Figura anterior, las fisuras longitudinales se presentan en diferentes grado de severidad en todo el tramo en estudio, comprendido entre el PR64+000 al PR72+000, siendo la severidad baja la más predominante en este sector, con un valor máximo del 5%; cabe aclarar que la severidad alta se presenta desde el PR64+000 al PR69+500 en un porcentaje más alto comparado con la severidad baja y media, siendo su valor máximo del 15%.

8.5.1.3 Piel de Cocodrilo

La piel de cocodrilo es una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito.

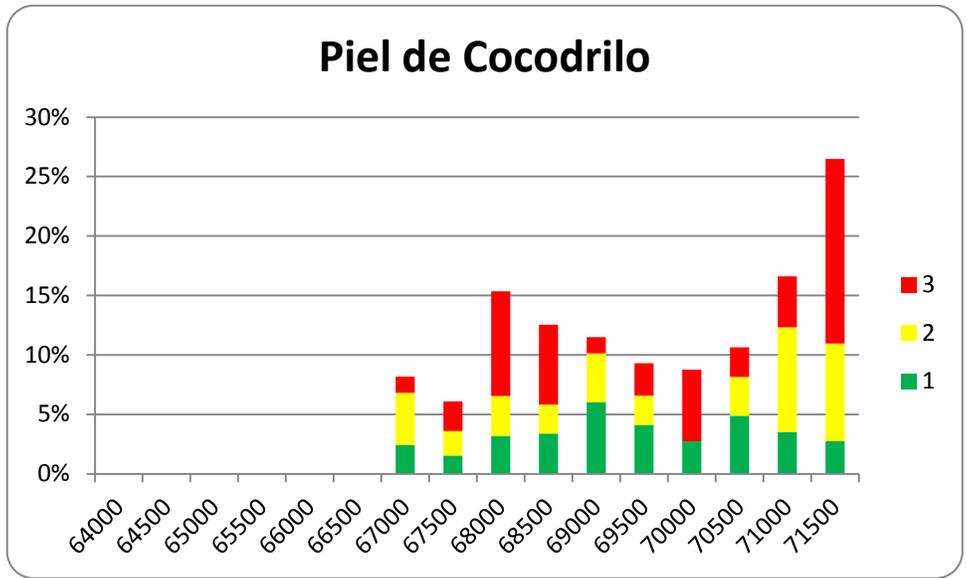


Figura No 7. Piel de Cocodrilo

Según la figura anterior, la piel de cocodrilo se presenta desde el PR67+000 al PR71+500, siendo la severidad alta con mayor porcentaje con un valor máximo del 20%; así mismo, la severidad media y baja se presenta en valores similares siendo el 10% su valor máximo.

8.5.1.4 Ojos de pescado

Los ojos de pescado son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90m y con forma de tazón.

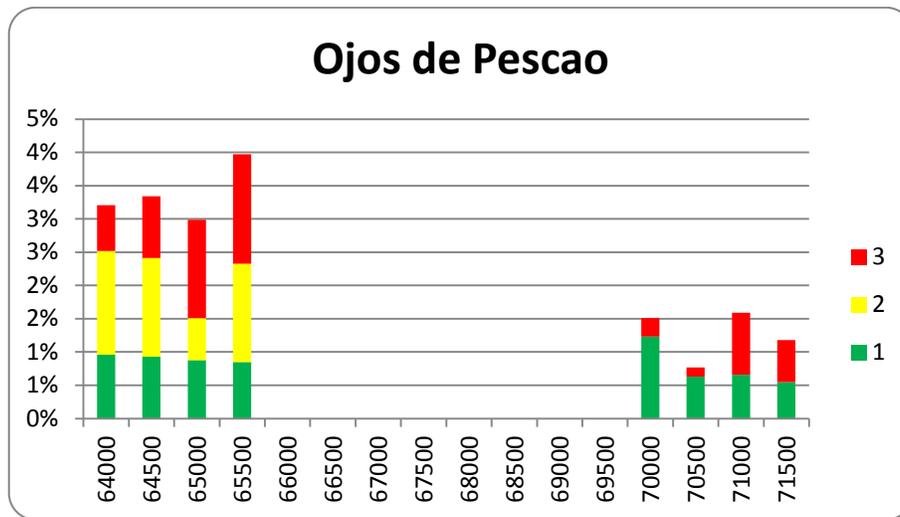


Figura No 8. Ojo de Pescao

De acuerdo con la figura anterior, este daño no es tan representativo en el tramo en estudio, debido a que se presenta entre los tramos comprendidos desde el PR64+000 al PR65+500 y del PR70+000 al PR71+500, siendo la severidad alta la más predominante con un valor del 4%, mientras que la severidad media y baja se presentan en valores máximo hasta el 3%.

8.5.1.5 Exudación

La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente es pegajosa.

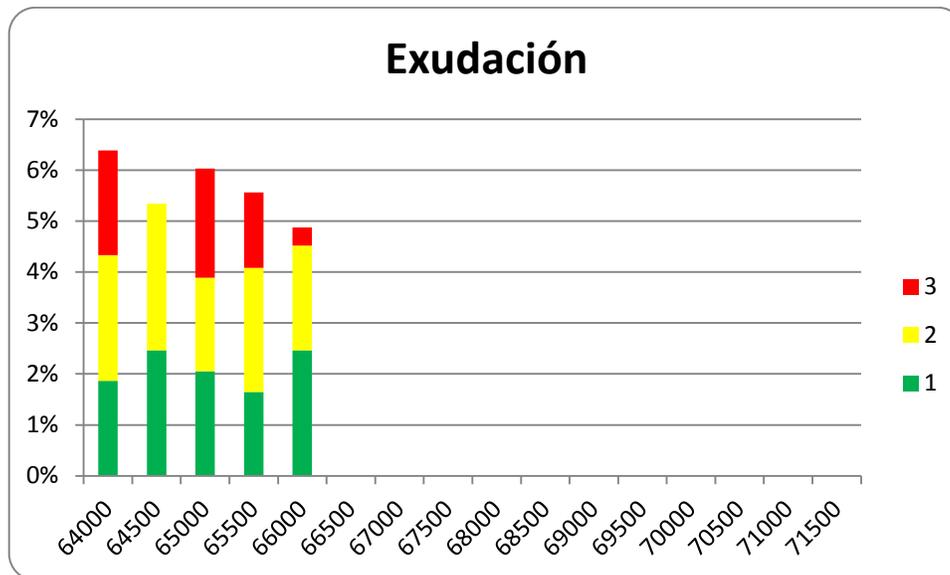


Figura No 9. Exudación

De acuerdo con la figura anterior, este daño solo se presenta entre el PR64+000 al PR66+000, siendo la severidad baja y media la más predominante con un valor máximo del 4%; la severidad alta se presenta en un valor máximo del 6% a excepción del punto comprendido entre el PR64+000 al PR65+000.

8.6 Determinación del Índice Superficial del Pavimento

Luego de realizar la evaluación de los deterioros se determina el Índice Superficial de Pavimento (Is) con base en el Índice de Fisuración (If), el cual depende de la gravedad y la extensión de los fisuramientos de tipo estructural en cada zona evaluada y el del Índice de deformación (Id), el cual depende, de la gravedad y extensión de las deformaciones de origen estructural. La combinación de estos índices da lugar a un primer índice de calificación de deterioro de la calzada, el cual debe ser corregido en función de la extensión y de la calidad de los trabajos de parcheo y bacheo. Efectuada esta corrección, se obtiene el Índice Superficial del Pavimento (Is), el cual califica la calzada en la longitud escogida para el cálculo. El valor del Is varía entre 1 y 7 y su cálculo se realiza de la manera que se muestra a continuación:

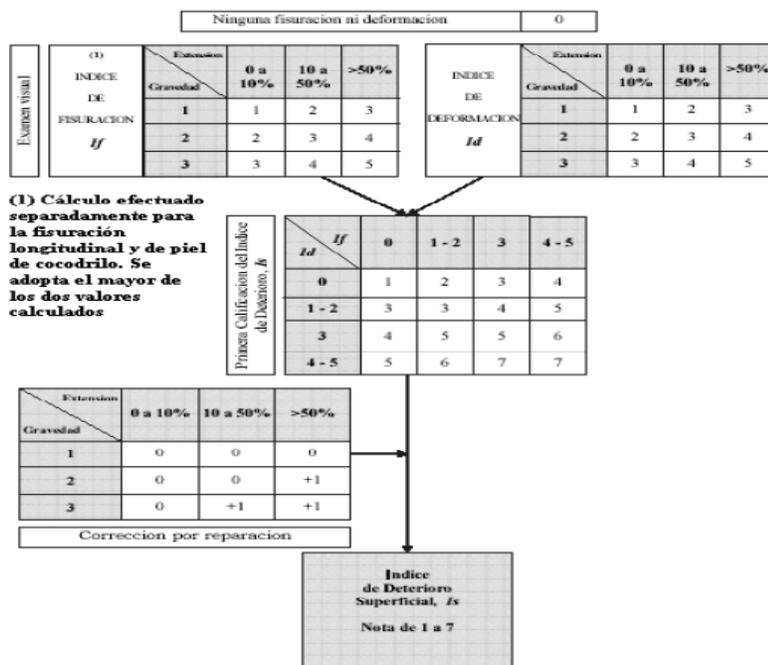


Figura No 10 Determinación del Índice de Deterioro Superficial – Fuente: Guía Metodológica de Rehabilitación.

En las siguientes figuras se puede observar, el índice de fisuración y deformación; así mismo el Índice Superficial del tramo en estudio.

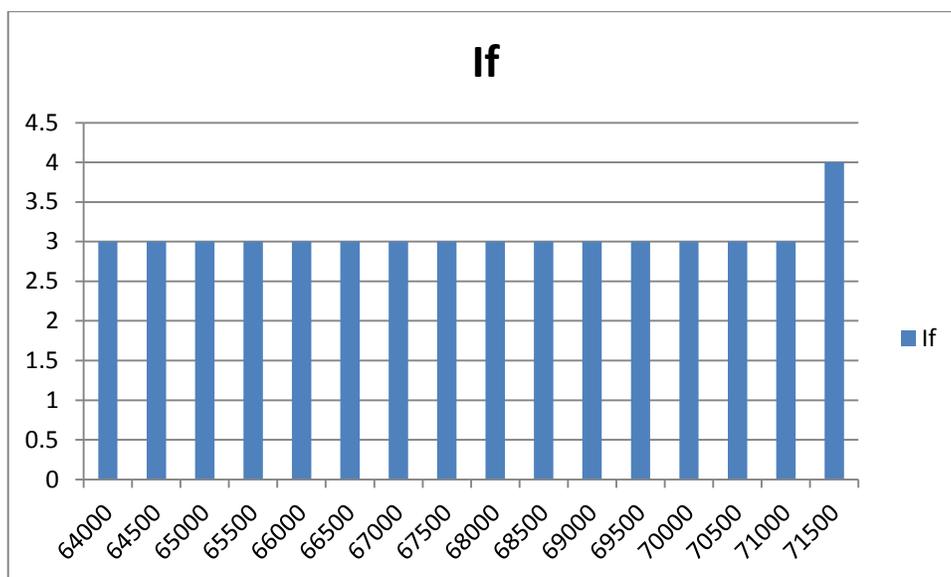


Figura No 11. Índice de Fisuración

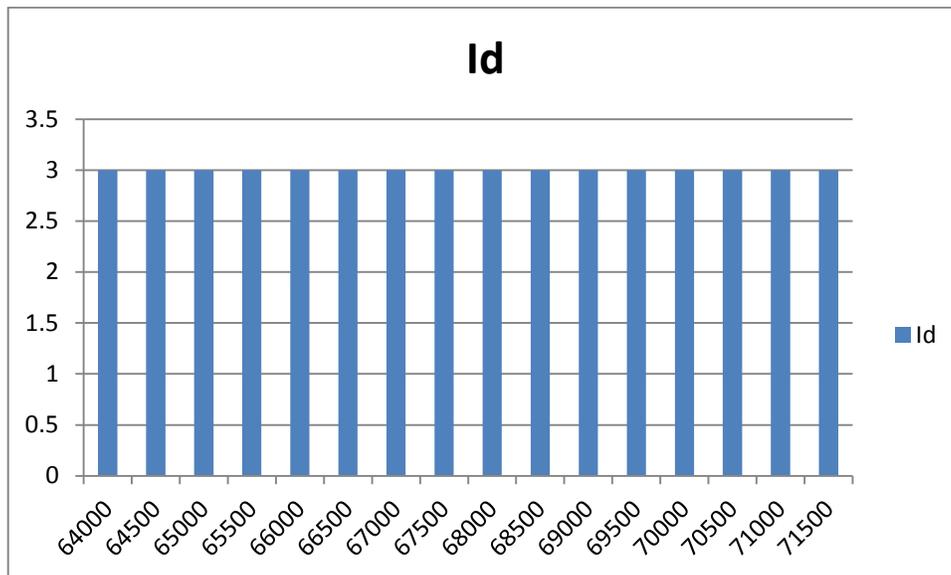


Figura No 12. Índice de Deformación

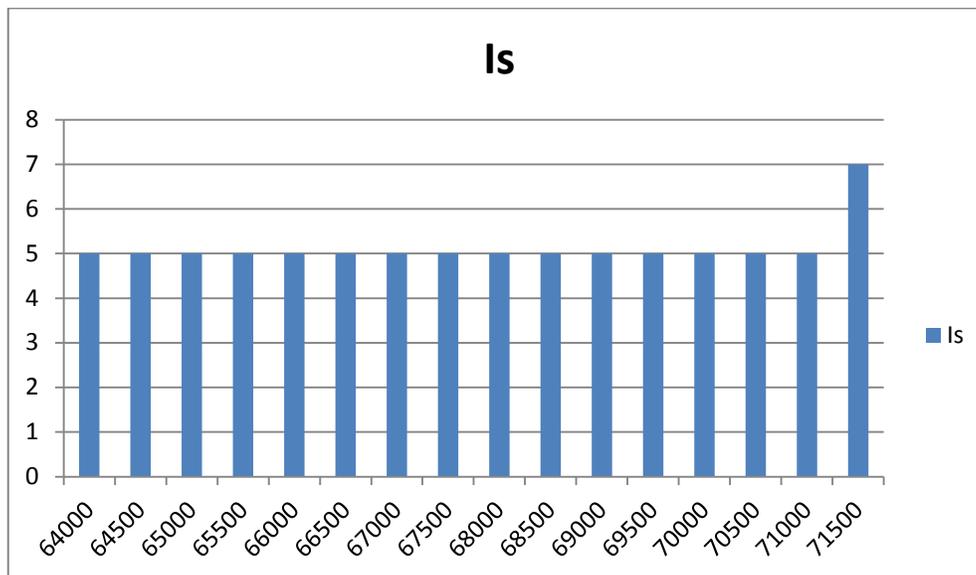


Figura No 13. Índice Superficial de Pavimento

Según la figura anterior, el Índice Superficial de Pavimento presenta un sector homogéneo, el cual inicia en el PR64000 al PR71+500, con un valor de Is de 5; cabe aclarar que se presenta un punto alto el cual hay que revisar y está ubicado entre el PR71+500 al PR72+00, con un valor máximo de Is de 7. Estos valores es un indicativo de pavimento con abundantes fisuramientos de origen estructural,

cuyo deficiente estado superficial posiblemente exija la ejecución de trabajos importantes de rehabilitación.

8.7 Descripción de la Deflexión:

En julio de 2013, la empresa GEVIAL S.A.S realizó la medición de la deflexión a lo largo de todo el proyecto mediante el empleo del equipo HWD DYNATEST 8082-101, el cual permite registrar de forma automática el cuenco de deflexiones mediante el uso de siete (7) sismómetros distribuidos a distancias de 0.30 m cada uno.

El principio del equipo consiste en aplicar una carga dinámica en el pavimento (para el presente proyecto 40 KN) causada por la caída una masa sobre un plato circular (diámetro 0.30 m), cuya superficie de contacto se asemeja al de la rueda de un camión. Las deflexiones producidas son medidas por medio de un grupo de sismómetros, ubicados directamente bajo el plato de carga (D0) y a distancias de 0.30, 0.60, 0.90, 1.20, 1.50 y 1.80 m de distancia del centro del mismo.

En cada punto de medición se realizaron dos (2) mediciones de deflexión, asegurando de esta manera la repetitividad de los resultados dentro de un intervalo de desviaciones aceptable, considerándose el valor promedio en el procesamiento de la información.

A continuación se presenta el comportamiento de la estructura según la variación de la deflexión central del pavimento (D0), corregidos por carga y temperatura con la deflexión de la Subrasante, estos corregidos por carga únicamente en el tramo comprendió del PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09.

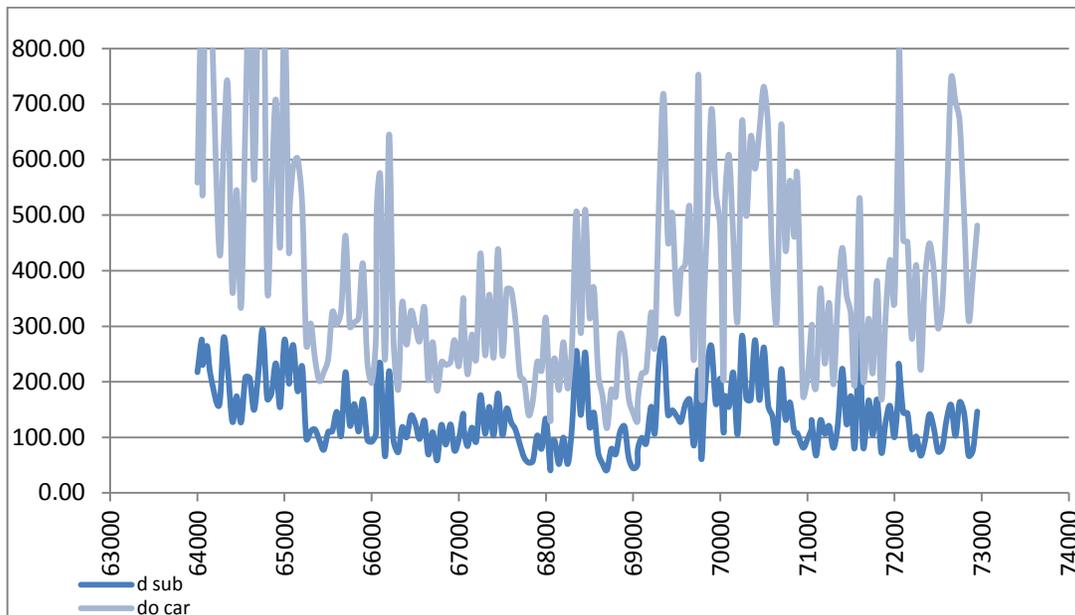


Figura No 14 Gráfica de la deflexión central y deflexión de la Subrasante Tramo PR64+000 al PR72+000 Sector 90-09.

De acuerdo con la figura anterior, se puede concluir que los resultados de la deflectometría son heterogéneos durante todo el tramo comprendido entre el PR64+000 al PR72+000 y que se encuentran entre los 50 y 1.000 micrones lo que evidencia un pavimento con poca capacidad, observándose así mismo, que dentro del tramo comprendido del PR64+000 al PR65+000 las deflexiones que presenta la Subrasante varían entre los 110 y 300 micrones siendo este el sector más crítico, lo que muestra una capacidad portante de media a pobre.

8.7.1 Comportamiento del cuenco de deflexiones

La evaluación del cuenco de deflexiones mediante la utilización de algunos parámetros del mismo permite estimar la condición relativa del pavimento asfáltico. Para esta evaluación se estiman los siguientes parámetros:

Tabla No. 6. Parámetros del cuenco de deflexiones²

Parámetro	Formula	Indicador
Índice de Curvatura superficial	$ICS = D0 - D300$	Da una idea de la rigidez de las capas asfálticas
Índice de daño de la base	$IDB = D300 - D600$	Deformación compresiva de la base granular
Índice de curvatura de la base	$ICB = D600 - D900$	Deformación compresiva de la subrasante

Para los pavimentos flexibles valores superiores a los 150 micrones en los valores del IDB indican posibles deficiencias de la capa de base, mientras que valores superiores a los 80 micrones en los valores del ICB representan una condición pobre de la subrasante.

De igual manera se evaluará el área de curvatura del cuenco de deflexiones con el fin de determinar la rigidez relativa del pavimento y su soporte

² REF. GUIA METODOLOGICA PARA EL DISEÑO DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS DE CARRETERAS

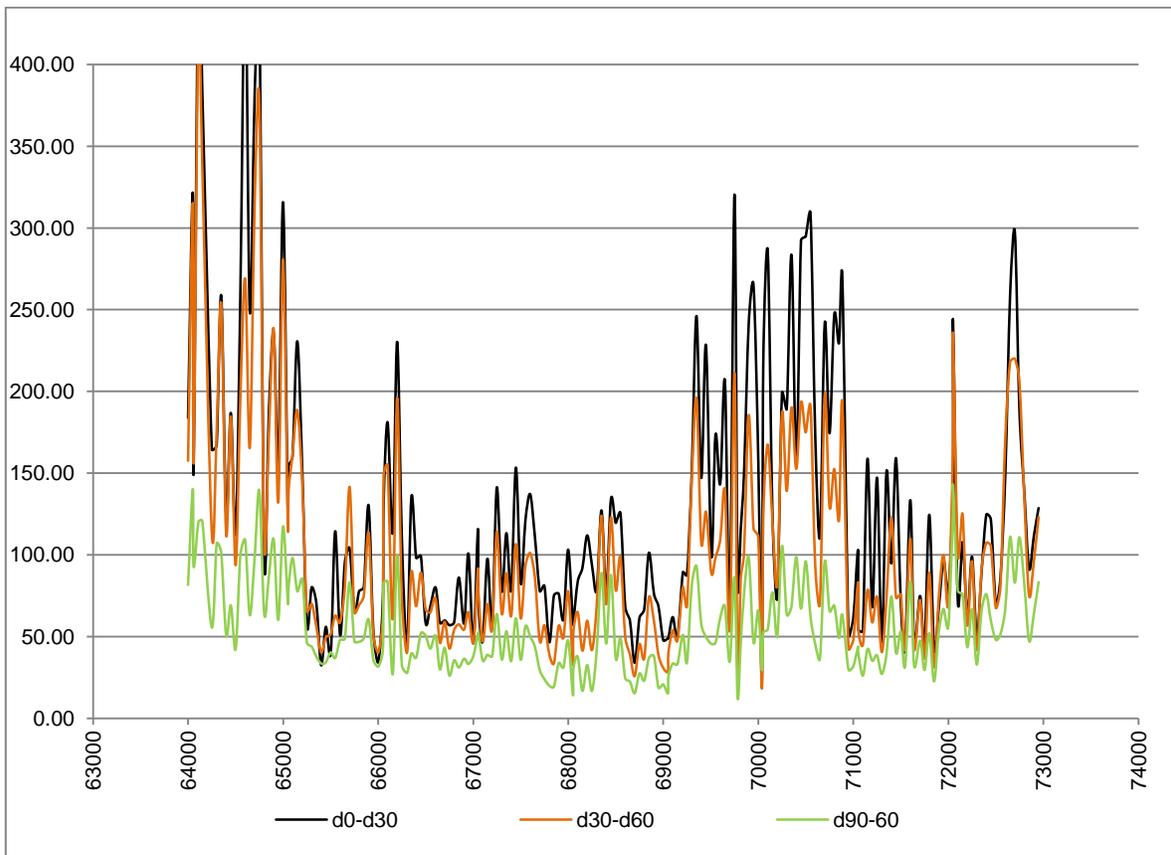


Figura No 15 Comportamiento del cuenco de deflexiones. Tramo PR64+000 al PR72+000 Sector 90-09.

Según la Figura No 15, se puede concluir que el parámetro IDB presenta dispersiones altas ubicadas entre los PR64+000 al PR66+000, del p69+500 al PR71+000 y el PR72+000, es decir, mayores a 100 micrones, lo que indica la posibilidad de un comportamiento deficiente en la base granular, presentando así mismo valores inferiores o iguales a 100 micrones, en los tramos del PR66+000 al PR69+500.

Así mismo el parámetro ICB, presenta valores mayores a los 50 micrones lo que indica que presenta una condición pobre en la Subrasante en casi todo el tramo en estudio comprendido del PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09.

Por último el ICS, presenta valores mayores a 200 micrones en los tramos comprendidos del PR64+000 al PR65+000 y del PR69+000 al PR71+000 lo que indica que presenta una capa asfáltica no muy rígida debido al poco aporte estructural de las capas granulares. Sin embargo del PR65+000 al PR69+000 y del PR71+000 al PR72+000, se evidencia valores inferiores a los 200 micrones, lo que muestra una capa asfáltica rígida.

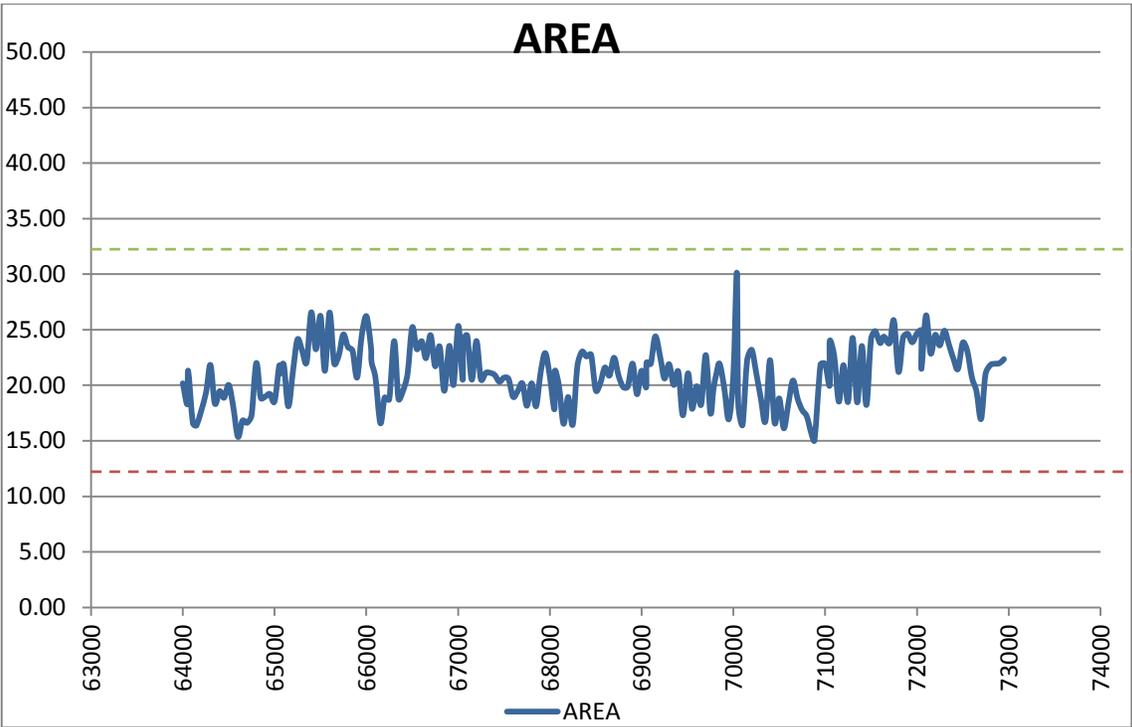


Figura No 16 Comportamiento del Área.

De acuerdo a la figura No 16, los valores del área predominante se encuentran entre el 15 y 25 y teniendo en cuenta los valores de los espesores de las capas que se describen en la Tabla No 5 de este documento, demuestra una capacidad estructural baja.

8.7.2 CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

El análisis de la capacidad estructural se realizó siguiendo los lineamientos descritos en la metodología AASHTO 1993 para el retro cálculo de deflexiones. A

partir de este retro cálculo es posible determinar el módulo resiliente de la subrasante, el módulo equivalente del pavimento y el número estructural efectivo.

8.7.2.1 Módulo Resiliente de la Subrasante (MR)

Con las deflexiones obtenidas a una distancia considerable del plato de carga, se puede obtener por retro cálculo el valor del módulo resiliente de la subrasante, mediante la siguiente ecuación:

$$M_R = 0.24 \cdot P_d \cdot r$$

Donde:

- MR : Módulo resiliente de la subrasante retro calculado, psi.
- P : Carga aplicada, libras.
- dr : Deflexión obtenida a la distancia r del plato de carga, pulgadas.
- r : Distancia al plato de carga.

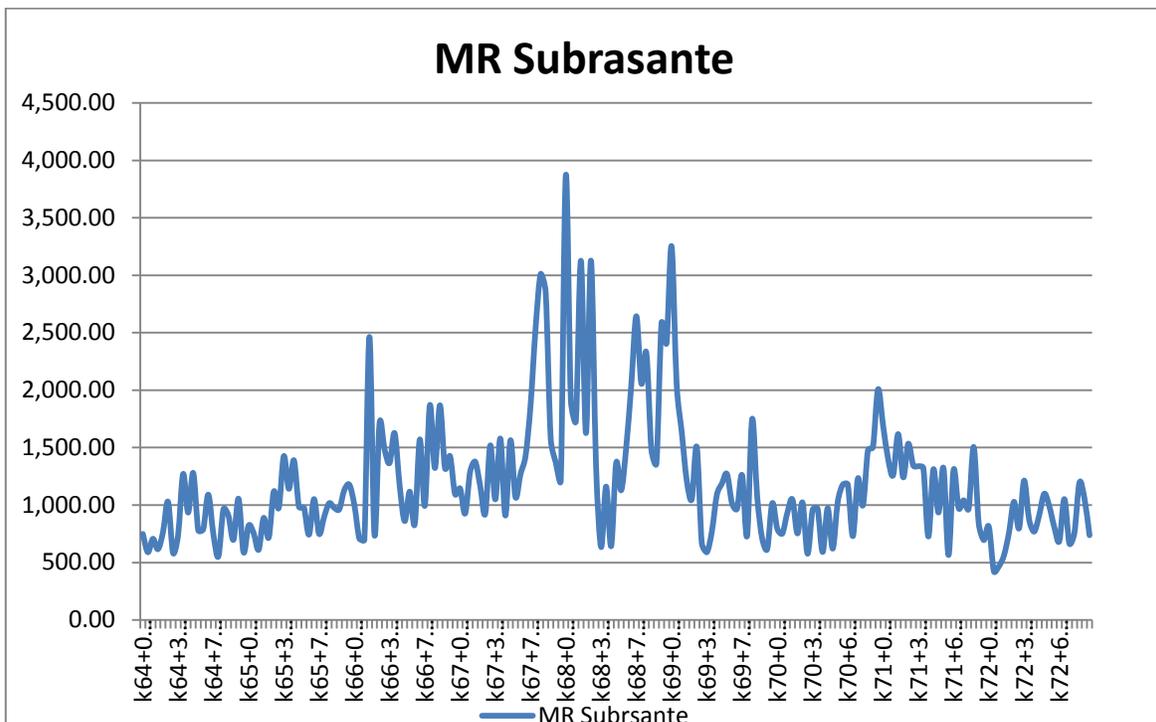


Figura No 17 Modulo Resiliente de la Subrasante

8.7.2.2 Módulo Efectivo del Pavimento (EP)

Si el valor de módulo resiliente de la subrasante y el valor del espesor del pavimento son conocidos, el valor del módulo efectivo del pavimento, incluidas todas sus capas, puede ser determinado usando la deflexión medida en el centro de carga, empleado la siguiente ecuación de la AASHTO 1993:

$$d_0 = 1.5 \cdot P \cdot A \cdot \left\{ \left[\frac{1}{M_R \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{D}{A} \sqrt{\frac{E_P}{M_R}} \right)^2}} \right] + \left[\frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{A} \right)^2}}}{E_P} \right] \right\}$$

Donde:

d_0 : Deflexión medida en el centro del plato de carga, normalizada a una temperatura de 20°C y a una carga de 40 kN, pulgadas.

P: Presión del plato de carga, psi.

A: Radio del plato de carga, pulgadas.

D: Espesor de las capas del pavimento, pulgadas.

MR: Módulo resiliente de la subrasante retro calculado, psi.

EP: Módulo efectivo de todas las capas del pavimento sobre la subrasante, psi.

El módulo efectivo del pavimento (EP), es calculado mediante iteraciones sucesivas de posibles valores, hasta que la igualdad de la ecuación anterior se cumpla.

8.7.2.3 Número Estructural Efectivo (SNE)

El número estructural efectivo es una valoración de la capacidad estructural del pavimento en función del espesor total y el módulo efectivo, el cual está dado por la siguiente relación:

$$SNE=0.0045D^3\sqrt{E_p}$$

Donde:

D: Espesor de las capas del pavimento, pulgadas.

Ep: Módulo efectivo de todas las capas del pavimento sobre la subrasante, psi.

En la Investigación: “Determinación de un factor de corrección para el número estructural efectivo en pavimentos flexibles” obtenido a partir de información del ensayo de deflectometría del Ingeniero Juan Carlos Afanador Caicedo, de la firma de consultoría Geotecnia y Cimentaciones, trabajo presentado en el VIII Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos, se determinó que el número estructural obtenido por deflectometría debe ser afectado por un valor de reducción para obtenerse el valor comparativo con el SN teórico o SN por capas.

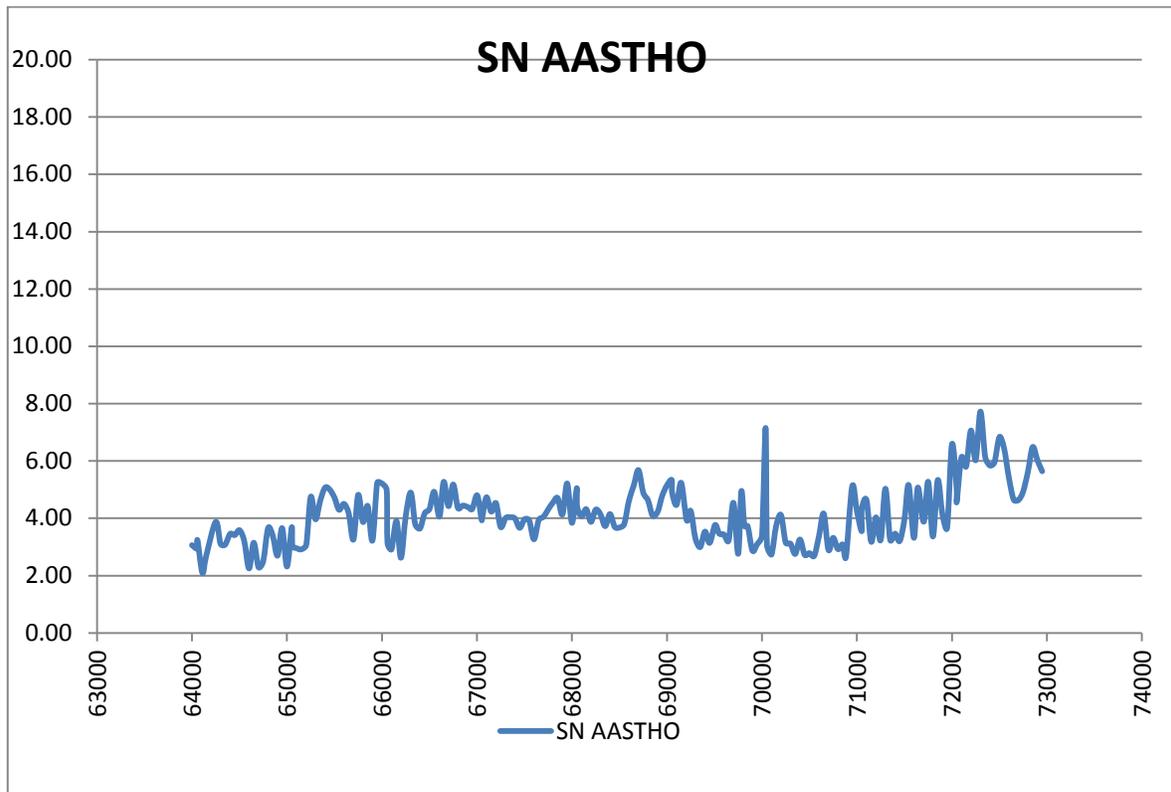


Figura No 18 Número Estructural

Según a la figura anterior los valores del SN del tramo en estudio comprendido del PR64+000 al PR72+000, varían entre 2 y 8.

8.5.1.4 SECCIONES HOMOGÉNEAS DE COMPORTAMIENTO

Las secciones homogéneas de comportamiento se determinan siguiendo los lineamientos de la metodología de diferencias acumuladas, tomando como datos de entrada el valor de la deflexión central. Para el caso en estudio el cambio de pendiente determina el cambio de sección homogénea.

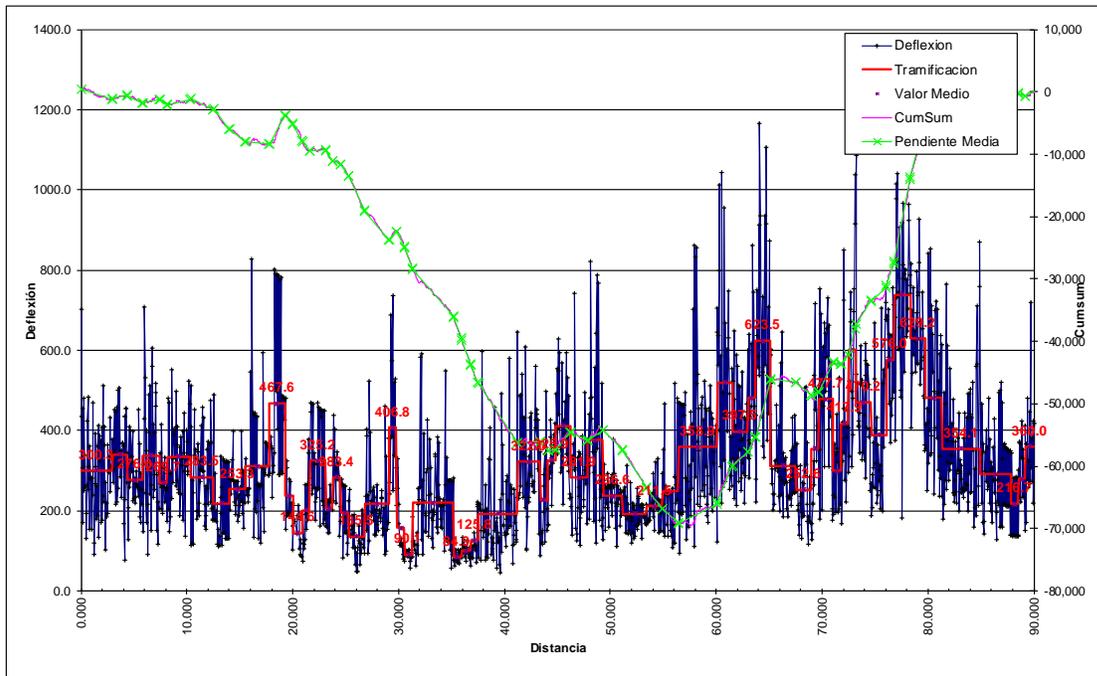


Figura No 19 Secciones Homogéneas

Teniendo en cuenta los resultados de la figura anterior y consolidando sólo la información correspondiente del tramo en estudio comprendido del PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09, tenemos que:

Tabla No 7 Secciones Homogéneas por deflectometría

Tramo	P.R. Inicial	P.R. Final	Valor Medio	Dev. típica	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variación	Varianza	Nivel Significancia	Nivel de Confianza
1	64.000	65.100	623.5	239.4	221.2	1,165.3	0.38	57,314.1	2.51%	97.49%
2	65.150	67.501	311.4	108.5	183.9	645.4	0.35	11,761.6	0.00%	100.00%
3	67.550	68.950	252.6	98.3	116.2	510.0	0.39	9,670.2	1.54%	98.46%
4	69.000	69.649	354.8	170.3	127.8	717.6	0.48	29,002.6	4.52%	95.48%
5	69.700	71.050	477.7	175.3	175.2	753.3	0.37	30,738.3	3.18%	96.82%
6	71.050	71.750	299.7	101.3	191.2	531.2	0.34	10,269.7	0.01%	99.99%
7	71.800	72.448	417.9	174.1	168.1	851.3	0.42	30,311.7	3.33%	96.67%

8.8 INDICE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Este parámetro permite evaluar la condición superficial del pavimento (IRI), es decir, la calidad en la circulación. Este se define mediante un tratamiento matemático del perfil longitudinal de la calzada en la huella por simulación, de los desplazamientos verticales de una rueda al circular a 80 km/h. El IRI, expresado en metros por kilómetro o en mm/m, representa la media de los desplazamientos o ascensos y descensos por unidad de distancia.

Las mediciones fueron realizadas, a cargo de la Interventoría de la Concesión Santa Marta -Paraguachón; con un equipo ROMDAS considerado como clase II para el Banco Mundial. Con este sistema se obtiene básicamente una lectura continua de la superficie del pavimento representada en valores IRI (International Roughness Index) a intervalos de distancia predeterminadas (25 m) en unidades de metros acumulados por kilómetro recorrido (m/Km.).

A continuación en la tabla No 8 se pueden evidenciar los rangos de calificación del Índice de Rugosidad Internacional, dentro de la metodología del índice de estado para concesiones de primera generación de acuerdo a la INCO, hoy en día ANI (Agencia Nacional de Infraestructura).

Tabla No 8 Rango de Calificación.

ELEMENTO	UNIDAD DE MEDIDA DE CALIFICACION	RANGO DE CALIFICACION			
		Muy Bueno 5 - 4	Bueno 4 - 3	Regular 3 - 2	Malo 2 - 0
Rugosidad	IRI m/Km	2 - 3.5	3.5 - 4.5	4.5 - 6.5	6.5 - 12

En la Figura No 20, se puede observar el comportamiento del IRI, tanto en el carril izquierdo como en el derecho, durante todo el tramo comprendido del PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09:

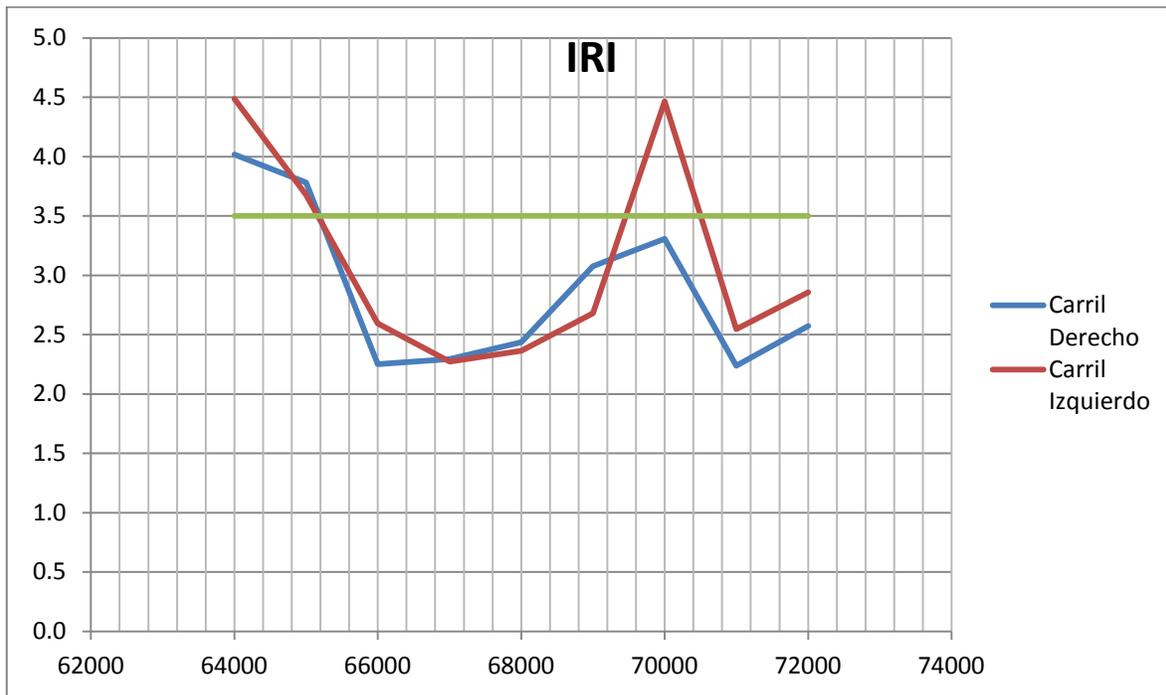
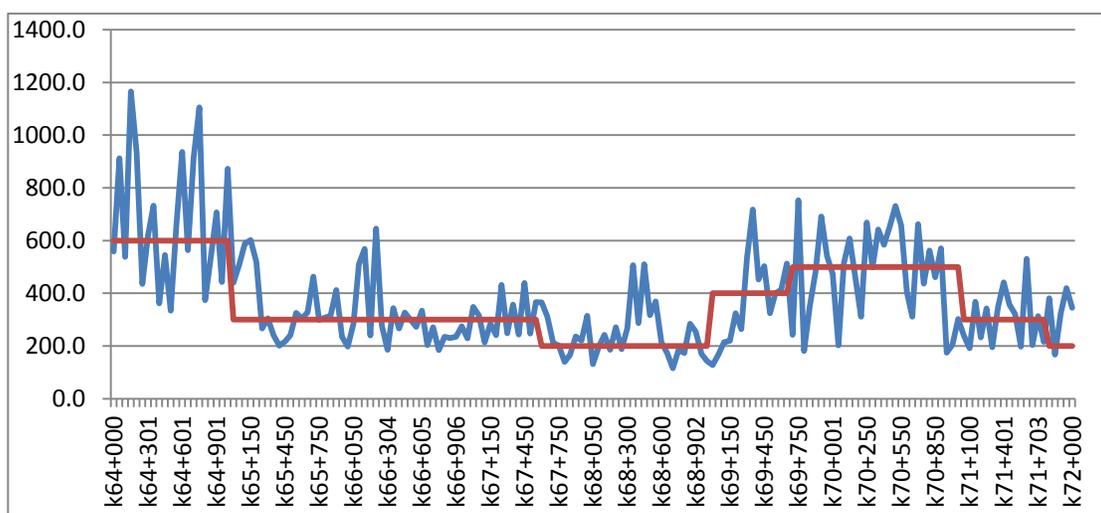
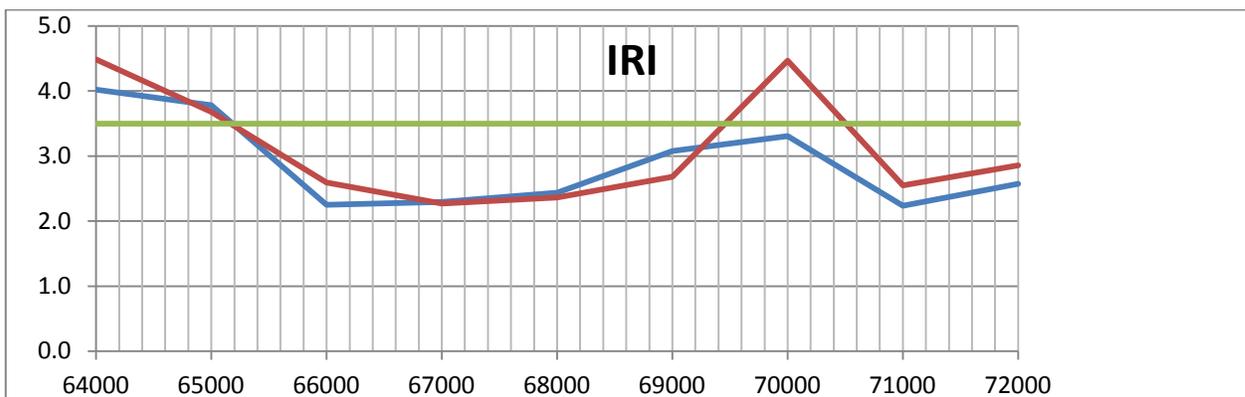
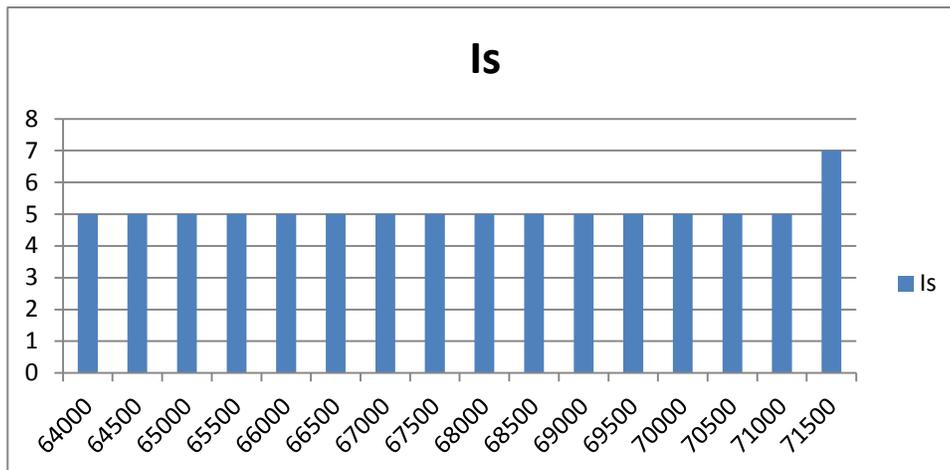


Figura No 20 Índice de Rugosidad Superficial

Según a la figura anterior, el tramo en estudio no está cumpliendo debido a que presentan valores mayores al 3.5, ubicados en el PR64+000 al PR65+000 y del PR69+000 al PR71+000 en el carril izquierdo, ya que el carril derecho presenta valores menores o igual de 3.5 desde el PR65+000 al PR72+000, el cual es el mínimo valor de aceptación por parte de la Agencia Nacional de Infraestructura.

9. DIAGNÓSTICO



De acuerdo con el análisis de los deterioros tanto superficial como estructuralmente, del tramo comprendido entre el PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09 según las figuras anteriores, indican que es un pavimento con abundantes fisuramientos de origen estructural, constatando así los resultados de la deflectometría, la cual arrojó que este tramo es estructuralmente pobre.

10. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

A continuación se presentan las técnicas de rehabilitación para dar una solución integral a los deterioros presentados en el tramo comprendido entre el PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09.

En la tabla No 8 se puede evidenciar los parámetros actuantes en el tramo en estudio de acuerdo con los resultados de la deflexión, en cada una de las secciones homogéneas definidas anteriormente:

Tabla No 9 Parámetros.

Tramo	P.R. Inicial	P.R. Final	Mr (Kg/Cm ²)	E _p (Kg/Cm ²)	SN _{efectivo}
1	64.000	65.100	817.58	6.809	3.06
2	65.150	67.501	1.180	22.825	4.21
3	67.550	68.950	1.880	19.030	4.34
4	69.000	69.649	1.306	13.325	3.93
5	69.700	71.050	1.053	11.906	3.53
6	71.050	71.750	1.189	34.831	4.07
7	71.800	72.448	964.20	30.607	4.62

Con los resultados calculados anteriormente, determinamos el SN requerido en cada uno de los tramos definidos en las secciones homogéneas utilizando para este caso la ecuación de la AASTHO 93, los cuales se resumen a continuación:

Tabla No 10 Calculo SN Requerido.

Tramo	P.R. Inicial	P.R. Final	Mr (PSI)	E _p (PSI)	SN _{efectivo}	# Ejes	SN _{requerido}	ΔSN
1	64.000	65.100	3836.56	96.824	3.06	4.520.000	5.35	2.29
2	65.150	67.501	5538.69	324.572	4.21	4.520.000	4.76	0.55
3	67.550	68.950	8822.09	270.607	4.34	4.520.000	4.08	0.26
4	69.000	69.649	6128.11	189.482	3.93	4.520.000	4.61	0.68
5	69.700	71.050	4939.03	169.303	3.53	4.520.000	4.94	1.41
6	71.050	71.750	5579.64	495.297	4.07	4.520.000	4.75	0.68
7	71.800	72.448	4524.66	435.232	4.62	4.520.000	5.08	0.46

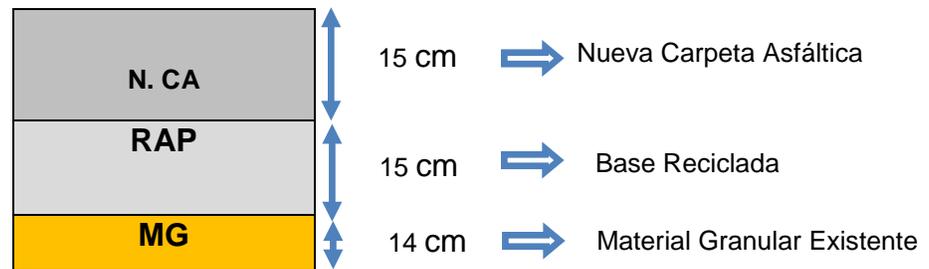
Cabe aclarar que se asumieron los siguientes parámetros de acuerdo a las recomendaciones de la Guía de Diseño:

Tabla No 11 Parámetros Asumidos.

Parámetro	Valor	Validación
Confiabilidad	90 %	Teniendo en cuenta que la vía se clasifica como principal, con tránsito alto. Ref. ASSHTO 1993
Desviación estándar	0.49	Se adoptó este valor por ser una vía para rehabilitación.
Índice de servicio inicial	4.2	Se espera que luego de la intervención de la vía su estructura funcione como una vía nueva.
Índice de servicio final	2.2	Se adopta este valor para que la vía no presente un total deterioro al final del periodo de diseño.

De acuerdo a los resultados de la tabla 10 se define realizar las siguientes estrategias de intervención en cada uno de los tramos, con lo que se pretende solventar los deterioros existentes y los requerimientos estructurales.

10.1 ESTRUCTURA TIPICA DEFINIDA



En este tramo se debe retirar la carpeta asfáltica existente de veinticinco (25) cm y reemplazar por una carpeta nueva de quince (15) cm de espesor y una capa de base reciclada (RAP) de quince (15) cm.

La estructura típica anterior se definió, con base en los cálculos realizados para determinar el SN requerido de acuerdo a la formula de la ASSHTO 1993, para así garantizar el periodo de diseño en el tramo en estudio comprendido del PR64+000 al PR72+000 del sector 90-09.

10.2 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

Los materiales a utilizar definidos en la estructura típica, deben cumplir, en general, con las exigencias consignadas en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías – INVIAS del año 2007, especialmente los siguientes artículos:

- Artículo 300: Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas.
- Artículo 400: Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos.

- Artículo 420: Riego de imprimación.
- Artículo 421: Riego de liga.
- Artículo 450: Mezclas asfálticas en caliente (concreto asfáltico y mezcla de alto módulo).

11. CONCLUSIONES

1. Se cumplieron con los Objetivos propuestos en el inicio de este informe.
2. La alternativa de rehabilitación de un pavimento, depende de varios parámetros que se relacionan directamente con el estado funcional y/o estructural de los pavimentos; estos deben ser identificados, estudiado y evaluados de forma independiente, para así presentar alternativas de intervención a una solución integral de rehabilitación.
3. Las fisuras longitudinales y piel de cocodrilo, fueron los daños con mayor severidad e incidencia en el tramo en estudio. Estos daños son causados por la capacidad actual de la estructura.
4. Debido a los resultados de las deflexiones se evidenció una estructura de media a pobre, por lo que se propuso mejorar la estructura para así cumplir con los requerimientos para una vía con un periodo de servicio de 10 años.
5. El desarrollo del trabajo DEFINICIÓN DE LA ESTRATEGIA DE REHABILITACIÓN PARA LA VÍA SANTA MARTA – PARAGUACHÓN ENTRE EL PR64+000 AL 72+000 DE LA RUTA 90-09, se logró afianzar los criterios ingenieriles para el desarrollo del diagnóstico vial, e involucrar el manejo de la GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS DE CARRETERAS DEL INVIAS, para así utilizarla en el desempeño diario como Especialista de Ingeniería de Pavimentos.

12. BIBLIOGRAFIA

1. GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS DE CARRETERAS DEL INVIAS – Segunda Edición – 2008.
2. Contrato 445 – 94 – Concesión Santa Marta – Paraguachón.
3. Información Concesión Santa Marta – Paraguachón.
4. Inventario de Daños, Medición IRI, Medición de la Resistencia al deslizamiento y determinación de las variables estructurales, elaborado en el año 2010, por la firma GEVIAL LTDA.
5. Volumen I Informe: Diagnóstico y Diseño de Intervenciones, elaborado en el Año 2011, por la firma GEVIAL LTDA.
6. Medición y Cálculo de IRI – Ahuellamiento – Profundidad media de perfil ETD, elaborado en el año 2013, por la firma GEVIAL LTDA.
7. Informe de deflectometría, elaborado en el año 2013, por la firma GEVIAL LTDA.