EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL DETERIORO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BITUMINOSOS CON CAPAS DE BASE GRANULAR TRATADA CON CEMENTO PROPUESTAS EN EL MANUAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS A TRAVÉS DE MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO

BERENICE GARCES GELVEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2011

EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL DETERIORO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BITUMINOSOS CON CAPAS DE BASE GRANULAR TRATADA CON CEMENTO PROPUESTAS EN EL MANUAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS A TRAVÉS DE MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO

BERENICE GARCES GELVEZ

Trabajo de Grado para optar por el titulo de
Magister en Geotecnia

Director:
Dr. PhD EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON
Profesor Asociado de la Universidad Industrial de Santander

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2011

Al Todopoderoso por el valor de asumir el reto…

A mis hijas motores de mi lucha diaria…

A mis padres por el acompañamiento….

A mis amigos que llenaron de valor los instantes difíciles…

A mis compañeros que hicieron amables tantos momentos…

A quien generó tantos momentos difíciles, porque estos me hicieron fuerte…

Al Dr. Suarez alma y creador de la Maestría..

Gracias Señor Dios Todopoderoso…

Gracias mi Virgen de Chiquinquirá

Gracias a los que con su aliento y valor permitieron lograr este sueño

"El mundo está en manos de aquellos que tienen el coraje de soñar y de correr el riesgo de vivir sus sueños...

P Coelho

CONTENIDO

	pág.
1. GUIA DE DISEÑO INVIAS	23
2. EVOLUCION DE LOS METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN EL TIEMPO	24
2.1 MÉTODO EMPÍRICO	24
2.2 MÉTODO DE RESTRICCIÓN DE FALLA POR CORTANTE	26
2.3 MÉTODO DE RESTRICCIÓN DE LA DEFLEXIÓN	26
2.4 MÉTODO EMPÍRICO MECANICISTA	27
2.5 METODO EMPIRICO MECANISTICO	27
2.5.1 Bases del Método Empírico	27
2.5.2 Bases del Método Mecanístico	28
2.6 FILOSOFÍA DEL DISEÑO MECANÍSTICO - EMPÍRICO	28
2.7 COMPONENTES CLAVES DE LAS METODOLOGÍAS MECANICISTAS	32
3. APLICATIVO SOFTWARE DG 2002 –ASHTO 2002	34
3.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DEL MEPDG	37
3.2 NECESIDAD DE LA GUÍA DE DISEÑO	38
3.3 IMPACTO EN FALLAS TEMPRANAS	40
3.4 IMPACTO PARA INCREMENTAR LA LONGEVIDAD DE LOS PAVIMENTOS	40
3.5 BENEFICIOS PRÁCTICOS ADICIONALES	41
3.6 JERARQUÍA DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO	41
3.8 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS BASE DEL APLICATIVO DEL SOFTWARE DG 2002	43
4. DATOS DE ENTRADA	46
4.1 CARACTERIZACION DEL TRÁFICO	46
4.2 FACTOR CLIMA	49
4.2.1 Formatos de archivos del ICM	54
4.2.1.1 Archivos hourly Climatic data (hcd).	54
4.2.1.2 Archivos icm (*icm)	54
5. MODELOS DE DETERIORO	57
5.1 LOS MODELOS DE DETERIORO Y EL MÉTODO MEPDG	58

5.1.1 Daño por fatiga 59
5.1.2 Falla por deformaciones acumulativas 63
5.1.3 Falla por Fisuración Térmica 68
5.1.4 Falla por rugosidad 69
5.2 Respuestas estructurales 69
5.2.1 Análisis mecanicista de pavimentos 70
5.2.2 Modelos de regularidad superficial 71
5.2.3 Calibración de los Modelos de Deterioro para observar las Respuestas Estructurales 71
5.2.3.1 Calibración del Modelo de falla por fatiga 71
5.2.3.2 Calibración de Modelos de Deformación permanente 72
5.2.3.3 Procedimiento para la Predicción de la Deformación permanente 72
6. DATOS DE ENTRADA – TRANSITO 74
6.1 NOMBRE DEL PROYECTO 74
6.2 PERIODO DE DISEÑO 75
6.3 MES DE CONSTRUCCIÓN PARA SUBRASANTE Y CAPAS GRANULARES 76
6.4 MES DE CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO 76
6.5 MES EN QUE SE ABRE AL TRÁFICO 76
6.6 TIPO DE DISEÑO 77
6.7 IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR DEL PROYECTO 77
6.7.1 Localización 77
6.7.2 Identificación del Proyecto 78
6.7.3 Identificación de la sección 78
6.7.4 Fecha 78
6.7.5 Formato de abscisado 78
6.7.6 Inicio de abscisado 78
6.7.7 Fin de abscisado 78
6.7.8 Dirección del tráfico 78
7. PARAMETROS DE ANALISIS 80
7.1 IRI INICIAL (in/mil) 80
7.2 IRI FINAL (in/mil) 80

7.3 AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL POR FATIGA DE ARRIBA HACIA ABAJO 81
7.4 AGRIETAMIENTO POR FATIGA DE ABAJO HACIA ARRIBA (PIEL DE COCODRILO) 82
7.5 FISURACIÓN TÉRMICA 83
7.6 FATIGA POR FRACTURA DE LAS CAPAS ESTABILIZADAS QUÍMICAMENTE 83
7.7 DEFORMACIÓN TOTAL PERMANENTE DEL PAVIMENTO (AHUELLAMIENTO) 83
7.8 DEFORMACIÓN PERMANENTE – MEZCLA ASFÁLTICA ÚNICAMENTE 84
8. EL TRANSITO 85
8.1 TRÁFICO PROMEDIO DIARIO DE TRÁFICO PESADO (AADTT) 85
8.2 NÚMERO DE CARRILES EN LA DIRECCIÓN DE DISEÑO 86
8.3 PORCENTAJE DE CAMIONES EN LA DIRECCIÓN DE DISEÑO (%) 87
8.4 PORCENTAJE DE CAMIONES EN EL CARRIL DE DISEÑO (%) 87
8.5 VELOCIDAD DE OPERACIÓN 87
8.6 VELOCIDAD DE DISEÑO PARA TRAMOS HOMOGÉNEOS 89
8.7 FACTOR DE AJUSTE MENSUAL 89
8.8 DISTRIBUCIÓN VEHICULAR POR CLASE DE VEHÍCULO 90
8.9 COMPOSICIÓN VEHICULAR DEL TRÁFICO 90
8.10 DISTRIBUCIÓN HORARIA 91
8.12 LOCALIZACIÓN PROMEDIO DE LA RUEDA 106
8.13 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA TRAYECTORIA DEL TRÁFICO 106
8.14 ANCHO DEL CARRIL DE DISEÑO 106
8.15 CONFIGURACIÓN DE LOS EJES 107
8.15.1 Ancho de eje promedio 107
8.15.2 Separación de neumáticos dobles 108
8.15.3 Presión de los neumáticos 109
8.16 DISTANCIA PROMEDIO DE NEUMÁTICOS DOBLES Y PRESIÓN DE INFLADO 109
8.16.1 Separación de ejes 109
9. DATOS DE ENTRADA DE CLIMA 110
9.1 ESTACIÓN 114
9.2 ELEVACIÓN 114
9.3 LATITUD Y LONGITUD 114

9.4 MESES DE DATOS 114
9.5 INICIO Y FIN DE DATOS 114
9.6 UBICACIÓN GEOGRÁFICA 114
9.7 INFORMACIÓN CONCERNIENTE A NIVEL FREÁTICO 115
9.8 DÍAS CON LLUVIA, DÍAS CON NIEVE Y DÍAS CON SOL 115
9.9 HUMEDAD MEDIA MENSUAL 115
9.10 FECHA 117
9.11 AMANECER APARENTE Y ANOCHECER APARENTE: 117
9.12 RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA DIARIA 118
9.13 TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN, VELOCIDAD DEL VIENTO, NUBOSIDAD 122
10. CARACTERIZACION DE MATERIALES 130
10.1 CARPETA ASFÁLTICA 130
10.1.1 Absorción de onda corta para las capas superficiales 130
10.1.2 Gradación del agregado 130
10.1.3 Ligante asfáltico 132
10.1.4 Propiedades generales de la mezcla asfáltica 132
10.1.5 Temperatura de referencia 133
10.1.6 Contenido efectivo de ligante (%) 133
10.1.6 Vacíos con aire (%) 133
10.1.7 Peso unitario total (pcf) 135
10.1.8 Relación de Poisson 135
10.1.9 Conductividad térmica del asfalto (K) 136
10.1.10 Capacidad calórica (Q) 136
10.2 CAPAS GRANULARES 136
10.2.1 Módulo resiliente (Mr) 136
10.2.2 Módulo de Poisson 137
10.2.3 Coeficiente de presión lateral (Ko) 137
10.2.4 Datos del EICM para materiales no ligados 137
10.3 CAPAS ESTABILIZADA CON CEMENTO 139
10.3.1 Módulo resiliente (Mr) 139

10.3.2 Modulo de Poisson 141
10.3.3 Conductividad Térmica y Capacidad de Transmitir el Calor para Diseño 142
10.3.4 Prevención de la Erosión Debajo de una Capa de Base Estabilizada 144
10.3.5 Condiciones de Erodabilidad de la Base Estabilizada 146
10.4 SUBRASANTE 146
10.4.1 Agrietamiento térmico 147
10.4.2 Resistencia a la tensión 147
10.4.3 Deformación bajo flujo plástico 147
10.4.4 Coeficiente de contracción térmica 148
11. MODELAMIENTO Y REVISION DE DISEÑOS CONTENIDOS EN EL MANUAL INVIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE 150
11.1 MODELOS DE DETERIORO DE LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS 152
11.2 ANALISIS DE SENSIBILIDAD POR CLIMA 203
11.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD POR TRÁNSITO 207
12. CONCLUSIONES 210
12.1 CONCLUSIONES GENERALES 210
12.2 CONCLUSIONES PARTICULARES 213
BIBLIOGRAFIA 216

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Características sobresalientes del Programa de elementos finitosDSC2D (tomado guía de diseño) 45
Tabla 2. Categoría de la Vía y Clasificación del TPDA 75
Tabla 3. Periodos de diseño estructural recomendados 76
Tabla 4. Valores máximos de IRI admisibles iniciales 80
Tabla 5 – Valores máximos de IRI final admisibles 81
Tabla 6. Parámetros de Evaluación por agrietamiento Longitudinal 82
Tabla 7. Parámetros de Evaluación por agrietamiento tipo piel de cocodrilo 82
Tabla 8 Parámetros de Evaluación por fisuración térmica 83
Tabla 9. Parámetros de Evaluación por ahuellamiento 84
Tabla 10. Clasificación de las estructuras a Evaluar 85
Tabla 11 AADTT para los niveles de tráfico evaluados 86
Tabla 12. Factor de distribución por carril (Fca) 86
Tabla 13. Factor direccional (Fd) 87
Tabla 14. Velocidades de operación de diseño 88
Tabla 15. Factor de ajuste mensual constante 89
Tabla 16 Composición Vehicular 90
Tabla 17 Distribución vehicular horaria para diferentes niveles de tránsito 92
Tabla 18. Tasas de crecimiento obtenidas por muestreo de la red vial nacional 93
Tabla 19. Factores de daño – INV 2007 93
Tabla 20. Número de ejes sencillos, tándem y trídem por cada mil camiones para vías con diferentes volúmenes de tránsito 94
Tabla 21. Número de ejes simples, tándem o trídem por cada clase de vehículo 95
Tabla 22 Cálculo del número de ejes simples, tándem y trídem por cada mil camiones para el nivel de tráfico T1 95
Tabla 23 Cálculo del número de ejes simples, tándem y trídem por cada mil camiones para el nivel de tráfico T4 96

Tabla 24 Cálculo del número de ejes simples, tándem y trídem por cada mil camiones para el nivel de tráfico T6 97
Tabla 25 Cálculo del número de ejes simples, tándem y trídem por cada mil camiones para el nivel de tráfico T9 98
Tabla 26. Espectros de cargas para ejes simples y diferentes niveles de tránsito, obtenido mediante interpolación de los espectros aplicables a Colombia 100
Tabla 27. Espectros de cargas para ejes tándem y diferentes niveles de tránsito, obtenido mediante interpolación de los espectros aplicables a Colombia 101
Tabla 28 Espectros de cargas para ejes trídem y diferentes niveles de tránsito, obtenido mediante interpolación de los espectros aplicables a Colombia 102
Tabla 29 Factores de distribución de carga para ejes simple y diferentes niveles de tránsito 103
Tabla 30 Factores de distribución de carga para ejes tándem y diferentes niveles de tránsito 104
Tabla 31. Factores de distribución de carga para ejes trídem y diferentes niveles de tránsito 105
Tabla 32 Localización promedio de la rueda en tangente - INV 106
Tabla 33. Ancho de calzada (metros) de acuerdo con la velocidad de diseño y el tipo de terreno 107
Tabla 34. Dimensionamiento de vehículo de carga para Colombia y países de la región 108
Tabla 35. Llantas para cualquier posición y tamaño de rueda 108
Tabla 36 dimensionamiento promedio de ejes de vehículos 109
Tabla 37. Regiones Climáticas en estudio 110
Tabla 38. Detalle de la formación de las regiones en este caso la región R3 112
Tabla 39. Detalle de la humedad media multianual para algunas de las estaciones correspondientes a la estación R3 (para mayor detalle se adjunta información en los anexos) 116
Tabla 40. Radiación máxima mensual multianual para la región R3 120
Tabla 41. Radiación máxima solar mensual multianual para la Región R5 (en los anexos se encuentra la información para cada región) 121
Tabla 42. Datos mensuales de precipitación en mm para la región 3 123
Tablas 42. Temperatura y Brillo solar mensual multianual para la Región 3 con base en estos se ajustan los modelos horarios (se realizaron de igual manera para todas las regiones ver anexos) 124
Tablas 43 Temperatura y Brillo solar mensual multianual para la Región 3 con base en estos se ajustan los modelos horarios (se realizaron de igual manera para todas las regiones ver anexos) 125

Tabla 44. Velocidad del viento mensual para la región 3 126
Tabla 45. Modelamiento horaria para enero en la región 3 con diferentes parámetros de clima 127
Tabla 46. Gradaciones para mezclas densas en frío. 131
Tabla 47 Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente 131
Tabla 48. Tipo de cemento asfáltico a utilizar en mezclas en caliente 132
Tabla 49 Vacíos con aire en la mezcla asfáltica 133
Tabla 50 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto para el diseño de mezcla asfáltica en caliente 134
Tabla 52. Porcentaje de volumen efectivo de asfalto para el diseño de mezclas asfálticas en caliente 134
Tabla 53. Pesos unitarios promedio para MDC tipo 1 y 2 135
Tabla 54. Relaciones de Poisson típicas para MDC 135
Tabla 55. Relación entre CBR y Módulo Resiliente para capas de base y subbase 137
Tabla 56 Índices para capas granulares no ligadas 138
Tabla 57 Franja granulométrica para subbases granulares 138
Tabla 58. Franja granulométrica para bases granulares 139
Tabla 59. Modelos o Relaciones usadas para determinar E o Mr 140
Tabla 60 tomada de la guía de diseño DG 2002 Modulo Elástico para materiales químicamente estabilizados 141
Tabla 61 Relación de Poisson para diferentes materiales estabilizados 141
Tabla 62 Propiedades recomendadas del Cemento Portland para Bases estabilizadas (Tomadas guía DG 2002) 142
Tabla 63 Conductividad térmica y Capacidad Calórica de acuerdo con la Guía de diseño 143
Tabla 64 Potencial de erosión del material de Base 145
Tabla 65 Clasificación de los suelos para el aplicativo de acuerdo con los manuales INVIAS y con la clasificación AASHTO 147
Tabla 66. Deformación de flujo plástico y resistencia a la tensión según el tipo de ligante 148
Tabla 67 Coeficiente de contracción térmica en agregados minerales 149
Tabla 68 Estructuras a Evaluar por deterioro 151
Tabla 69. Resumen del Comportamiento para estructuras de la Región 1 153
Tabla 70 Resumen del Comportamiento para estructuras de la Región 2 165

Tabla 71. Resumen del Comportamiento para estructuras de la Región 3 177
Tabla 72. Resumen del Comportamiento para estructuras de la Region R6 190
Tabla 73 – Variación del IRI con el parámetro clima en cuatro estructuras analizadas 205

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Prueba AASHO 25

Figura 2. Sistema Elástico Multicapa 29

Figura 3. Vista general del software y entrada de datos del aplicativo DG2002 34

Figura 4. Flujograma del programa DG 2002 (tomado guía de diseño apéndice RR) 44

Figura 5. Diversidad de vehículos en una vía urbana colombiana (Bucaramanga) 46

Figura 6. Cambios climáticos de hielo – deshielo y de humectación desecación causan daño en las estructuras de pavimento 49

Figura 7. Tipos de daños por fatiga 60

Figura 8. Daños típicos causados por fatiga, 61

Figura 9. Daño por fatiga, piel de cocodrilo 63

Figura 10. Daño por ahuellamiento, roderas 64

Figura 11. Detalle de la profundidad de un ahuellamiento. 65

Figura 12. Detalle de falla por fisuración térmica y del momento en que se inicia por incremento en el esfuerzo a tensión 68

Figura 13. Distribución de esfuerzos en pavimentos con base estabilizada. 69

Figura 14. Propagación del IRI en el tiempo 71

Figura 15. Ejemplo de entrada de datos para el Software DG 2002 77

Figura 16. Entrada de datos de tráfico típica de una estructura a analizar. 79

Figura 17. propuesta del Banco mundial para la evaluación del IRI 81

Figura 18. Entrada de datos con todos los parámetros de análisis parra un modelo en evaluación. 84

Figura 19. Composición vehicular para el nivel de tráfico T1 91

Figura 20. Ejemplo de archivo ICM 111

Figura 21. Información horaria para el día 30 de agosto de 2010 en Medellín (aeropuerto Josu María Córdoba) 113

Figura 22. Información tomada de NOAA sobre amanecer aparente y anochecer aparente para Bogotá 118

Figura 23. Mapa de radiación solar multianual para el mes de enero en Colombia 119

Figura 24. Gráficas de temperatura y velocidad del viento utilizadas para ajustar los parámetros horarios en este caso para la región R3 y los parámetros de temperatura y velocidad del viento 128
Figura 25. Fragmento del archivo icm para la región r3 129
Figura 26. Entrada de datos del aplicativo para la base estabilizada 144
Figura 27 Variación del IRI con el parámetro climático 203
Figura 28 Variación del Agrietamiento longitudinal para condiciones similares de subrasante, tránsito y estructura 204
Figura 29. Variación del IRI para cuatro estructuras con condiciones similares de subrasante y tránsito 205
Figura 30. Agrietamiento en la carpeta asfáltica para cuatro estructuras con condiciones similares de subrasante y tránsito 206
Figura 31. Variación del IRI con respecto al tránsito para condiciones similares de suelo y de clima 207
Figura 32. Variación del agrietamiento con respecto al trànsito para condiciones similares de suelo y de clima 208
Figura 33 Cantidad de Estructuras Falladas por Tipo de Tránsito y Carta de Diseño 209

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL DETERIORO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS BITUMINOSOS CON CAPAS DE BASE GRANULAR TRATADA CON CEMENTO PROPUESTAS EN EL MANUAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS A TRAVÉS DE MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO*

AUTOR: GARCES GELVEZ, Berenice**

PALABRAS CLAVE: MEPD6, método empírico, mecanicista, AASHTO 2002, pavimentos.

En 1998, El Instituto Nacional de Vías de Colombia INVIAS, creó una guía de diseño de pavimentos flexibles para altos y medianos volúmenes de tránsito, con secciones estructurales para diferentes combinaciones de variables basado en el método AASHTO 1993

La recolección de información y la experiencia demostró que al analizar el comportamiento de las estructuras construidas, el deterioro inicia antes del periodo de diseño y las causas se debían al tráfico proyectado de forma inadecuada, mala valoración de la subrasante, condiciones ambientales no consideradas, entre otras que se deben en parte a la metodología de diseño.

Los nuevos desarrollos de la ingeniería de Pavimentos posteriores al manual, contienen un cambio conceptual en el diseño de pavimentos evolucionando de una base empírica a una base mecanicista empírica, que permiten predecir directamente indicadores de desempeño que afectan el comportamiento y evalúan la progresión del deterioro en una estructura. En el manual, no se conoce la progresión del daño, la Fisuración y la pérdida de serviciabilidad.

El método AASTHO 2002, posee una entrada de datos especializada, la variable transito requiere una progresión específica del crecimiento vehicular, ya no en término de ejes equivalentes, como en ediciones anteriores sino en términos de espectros de carga, y de distribuciones horarias de tránsito, otro cambio importante es la incorporación de un software especifico integrado para el análisis del clima, el EICM que modela cinco variables climáticas con frecuencia horaria durante un periodo mínimo de 24 meses así: precipitación, temperatura, velocidad del viento, nubosidad y humedad relativa, permitiendo predecir: perfiles de humedad, temperatura, presión de poro, empuje por ciclos de humectación desecación

Se modelaron cuatro tipos de clima, cinco condiciones diferentes de subrasante, y tres tipos de transito, analizando el comportamiento en condiciones menores, intermedias y criticas; en total se revisaron 48 modelos. Del estudio se obtuvo como producto especifico datos de transito para nueve clasificaciones en términos de espectros de carga, adaptadas a Colombia, otro aporte son los archivos icm con información climática horaria durante 24 meses para seis regiones, con un modelamiento exacto de la variable clima.

Se determinaron los modelos de deterioro para todas las estructuras analizadas, encontrándose que la falla típica es debida al agrietamiento longitudinal, se observo que para tránsitos mayores a 15 millones de ejes equivalentes, temperatura mayor a 20°, y precipitaciones superiores a 2000 mm/año, las fallas son muy tempranas incluso al inicio de la vida útil del pavimento; para los tránsitos tipo T4 que poseen 15 años de periodo de diseño las fallas se dan entre los 1.4 y 2.1 años, estructuras y los tránsitos tipo T9 con 20 años de vida útil, fallan incluso 3 meses después de la puesta en servicio.

---

* Tesis de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, UIS. Director: Dr. PhD Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION AND CHARACTERIZATION OF DAMAGED STRUCTURES WITH BITUMINOUS PAVEMENT LAYERS OF GRANULAR BASE CEMENT TREATED IN THE MANUAL OF PROPOSED NATIONAL INSTITUTE OF WAY THROUGH METHOD MECHANISTIC-EMPIRICAL*

AUTHOR: GARCES GELVEZ, Berenice**

KEYWORDS: MEPD6, empirical method, mechanistic, AASHTO 2002 pavement.

In 1998, The National Institute Vias of Colombia INVIAS, created a design guide for flexible pavements and middle high traffic volumes, structural sections for different combinations of variables based on the 1993 AASHTO method.

The collection of information and experience has shown that in analyzing the behavior of structures built, the deterioration starts before the design period and the causes were due to improperly projected traffic, poor assessment of the subgrade, environmental conditions considered, among others are due in part to the design methodology.

New developments of the post-Pavement engineering manual, containing a conceptual change in pavement design evolving from an empirical to mechanistic empirical basis, that predict performance indicators that directly affect the behavior and evaluate the progression of the deterioration in a structure. In the manual, do not know the progression of damage, cracking and loss of serviceability.

The method AASTHO 2002, has a specialized data entry, the variable traffic requires specific vehicle growth progression, and not in terms of equivalent axes, as in previous editions but in terms of load spectra, and transit time distributions, Another important change is the addition of a specific software integrated climate analysis, modeling the EICM five climatic variables often times for a minimum period of 24 months as follows: precipitation, temperature, wind speed, relative humidity and cloud cover, allowing predict: profiles of humidity, temperature, pore pressure, thrust wetting drying cycles.

Were modeled four types of weather, five different subgrade conditions, and three types of traffic, analyzing behavior under conditions, intermediate and criticism, in total 48 models were revised. Study of specific product was obtained as traffic data for nine classifications in terms of load spectra, adapted to Colombia, another contribution are icm files with time weather information for 24 months to six regions, with an accurate modeling of variable climate.

Were determined deterioration models for all structures analyzed, finding that the failure is due to cracking typical longitudinal transitions was observed that more than 15 million equivalent axes, temperature greater than 20 °, and rainfall above 2000 mm / year , failures are very young even at the beginning of the life of the pavement for transits T4 type possessing 15 year design period faults occur between 1.4 and 2.1 years, structures and T9 type transits with 20 years of life, fail even 3 months after commissioning.

---

* Thesis

** Faculty of Engineering physical-mechanical, School of Civil Engineering, UIS. Director: Dr. PhD Alberto Castaneda Eduardo Pinzón.

INTRODUCCION

El Instituto Nacional de Vías en el año 1998 creó una guía de diseño para pavimentos flexibles con medios y altos volúmenes de tránsito, y realizó unas cartas de diseño con base en varios parámetros: condiciones climáticas, niveles de tránsito, resistencia de la subrasante y características de los materiales, el INVIAS diseño secciones estructurales para las diferentes combinaciones de variables, indicándose para las alternativas de diseño los materiales y espesores.

Los nuevos desarrollos de la ingeniería de pavimentos creados posteriormente a la aparición de este manual, permiten evaluar la progresión del deterioro de pavimentos, esta concepción no se ha tenido en cuenta en los métodos de diseño de INVIAS no se sabe cómo progresa el daño, la Fisuración y la pérdida de serviciabilidad en las estructuras, y es importante saber cuál es la evolución y el comportamiento de la misma.

Por tanto lo propuesto por INVIAS prácticamente ha caído en desuso con el auge de los nuevos métodos para el diseño de pavimentos, en el año 2002 AASHTO crea la nueva metodología que llamó método empírico mecanístico, éste representa un gran cambio en la forma de diseñar el comportamiento de un pavimento. El método mecanicista aplica los principios mecánicos ingenieriles que conducen a un proceso racional

Este estudio pretende establecer la degradación que teóricamente deberían presentar los pavimentos, al ser modelados y evaluados con una nueva tecnología, en este caso el método empírico – mecanístico; con esta herramienta se revisaran las cartas de diseño de INVIAS, la información resultante permitirá que el proyectista utilice las diseños, con un criterio diferente, al conocer de cierta manera el modelo de deterioro podrá finalmente decidir que estructura es la más conveniente a sus necesidades, y comparativamente escogerá la que mejor se comporte estructural y económicamente.

Se realizará una evaluación del nivel de daño de las cartas de diseño escogidas (se revisarán una muestra representativa de los diseños contenidos en el manual), teniendo en cuenta las variables que inciden en el comportamiento de pavimentos que antes no se tenían en cuenta y que si lo hacen los nuevos métodos de análisis de pavimentos. Un ejemplo es que anteriormente no se daba tanta importancia al factor clima, y la forma como este afecta el pavimento, en este método se tendrá en cuenta esta importante variable ya que las condiciones climáticas presentes en Colombia es conocido el incremento de la ola invernal, conllevado a la saturación de los suelos y presentando desestabilización de los taludes que ocasiona afectaciones viales a lo largo y ancho de la geografía nacional.

La calibración de los modelos que se correrán en el software DG 2002, se determinaron con base en la geografía, el comportamiento del clima y las propiedades de los materiales existentes en el país, la determinación de estos parámetros se expondrá a lo largo de este estudio, estos en su mayor parte se fundamentan con base en datos históricos de tráfico y su distribución. El clima se fundamenta en el comportamiento climático de diferentes parámetros tomados en 24 meses y clasificados de acuerdo con el manual INVIAS para que el análisis comparativo sea idóneo. En todos los casos el análisis se realiza para un nivel jerárquico 3, tal como están creadas las Cartas de diseño de INVIAS, aunque se obtuvo información de nivel 1 se debe generalizar para este nivel jerárquico, la cartillas del INVIAS no están hechas para un sitio especifico sino para un intervalo de alturas, temperaturas y pluviosidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el deterioro que teóricamente deben alcanzar las estructuras dimensionadas a través del manual INVIAS de medianos y altos volúmenes de tránsito para pavimento flexible

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar una evaluación de algunas cartas de diseños propuestas en el manual (Se tomo una muestra representativa de los diseños contenidos en el manual) y con base en ello se obtendrá una primera aproximación para definir el modelo deterioro que debe alcanzar un pavimento durante su periodo de diseño
- Determinar el porcentaje de carga que teóricamente deben alcanzar las estructuras para inicio de fisuras
- Determinar el nivel de deterioro que teóricamente alcanzan las estructuras cuando se llega a la carga de diseño.

PRIMERA PARTE – ESTADO DEL ARTE, BASE TEORICA CIENTIFICA DEL DOCUMENTO

1. GUIA DE DISEÑO INVIAS

Como se ha señalado anteriormente, este estudio pretende realizar una evaluación a las cartas de diseño del manual de INVIAS, formulado en 1998, los procedimientos de diseño estructural de pavimentos y la metodología utilizada fue la de una combinación de los métodos existentes, la experiencia y la teoría del comportamiento de estructuras y materiales para producir un catálogo de estructuras para diferentes variables y combinaciones de variables.

Las estructuras de pavimento tienen como propósito proteger la subrasante por medio de la superposición de capas de diferentes materiales con el fin de alcanzar el nivel de servicio deseado, con rehabilitación durante el periodo de análisis al menor costo posible, para lo cual el instituto Nacional de vías desarrolló la guía para cubrir un rango de tipos de pavimentos y materiales usados en la práctica local y nuevas tipologías y pretende uniformizar los estudios de pavimentos en el país y lograr soluciones equivalentes mediante la utilización del catálogo, donde se analizan diferentes factores: el clima, el tránsito, los materiales, y la capacidad de soporte del suelo, los detalles constructivos. Todas las estructuras propuestas tienen iguales índices de serviciabilidad inicial y final. El objetivo de la cartilla era producir un diseño de pavimento con una estructura balanceada que pueda soportar el tránsito con un alto nivel de confianza en el periodo de diseño para unas condiciones ambientales y un nivel de serviciabilidad aceptable sin fallas estructurales de importancia.

El nuevo desarrollo alcanzado en los métodos de diseño de pavimento especialmente en Norte américa donde se desarrolló un nuevo método de diseño y un software aplicativo hace que se presente un cambio en el diseño de pavimentos al analizar el comportamiento del pavimento con un modelo real de su performance. En el desarrollo del presente trabajo se desea aplicar el método mecanístico empírico al catálogo de diseño del INVIAS y analizar el comportamiento y variación de la estructura con este método de diseño.

2. EVOLUCION DE LOS METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN EL TIEMPO

Desarrollo de los Pavimentos

En 1904 se inició el comienzo de la era del vehículo motorizado. Los vehículos motores habían sido utilizados antes pero su uso se había restringido a zonas urbanas. El desarrollo automotriz avanzo rápidamente y vehículos motorizados comenzaron a utilizar los caminos rurales en grandes cantidades debido a la economía y velocidad de operario, por consiguiente los caminos de piedra que funcionaron adecuadamente para el tránsito de carretas y caballos se empezaron a deteriorar rápidamente lo que hizo del desarrollo de los pavimentos una necesidad.

Los métodos de diseño de pavimentos flexibles han incursionado por varias etapas y pueden ser clasificados dentro de 5 categorías.

2.1 MÉTODO EMPÍRICO

El método de diseño empírico es aquel que se basa en los resultados de experimentos o, en la experiencia, no es necesario afirmar con certeza la base científica para las relaciones observadas mientras las limitantes se reconozcan.

Antes de 1920 los espesores de cada capa se calculaban con base en la experiencia, el mismo espesor era usado para otro camino aunque el tipo de suelo fuese totalmente diferente.

El primer intento fue establecer un sistema de clasificación de materiales para la construcción de carreteras aunque sin considerar alguna prueba de resistencia.

A partir del año 1929 se utilizó por primera vez un método empírico adoptado por el Departamento de Caminos de California. El espesor de los pavimentos se relacionó con el CBR, el cual mide la resistencia al corte un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

La desventaja de los métodos empíricos es que solo pueden ser aplicados a un conjunto dado de condiciones climáticas, de tránsito y de materiales, si estas condiciones cambia el diseño ya no es válido, y un nuevo método debe ser desarrollado a través de prueba y error que se conforme a las nuevas condiciones.

Figura 1. Prueba AASHO

En la figura 1 se observa la configuración de la prueba ASSHO en la que se consideró solo un tipo de subrasante, de igual manera se observa los vehículos de la época que difieren notoriamente de las características de los vehículos actuales.

2.1.1 Desventajas del método.[1] El método que se desarrolló en 1958, ha tenido variaciones a lo largo del tiempo para incluir variables no consideradas , sin embargo estas modificaciones consecuentes no han alterado de raíz los métodos originales, los cuales están basados en técnicas empíricas de regresión que relacionan de manera simple los materiales, el tránsito y las mediciones de desempeño.

El modelo empírico original fue modificado con muy poca información varias veces a lo largo de los años para incluir factores no considerados inicialmente, tales como la variación estacional de las condiciones de la subrasante, el subdrenaje, perdida de soporte y la confiabilidad del diseño

[1] VÁSQUEZ VARELA Luis Ricardo. Métodos de diseño de Pavimentos Universidad Nacional

Con el método de diseño empírico no hay manera de predecir el desarrollo de los componentes de la serviciabilidad (deterioros, ahuellamiento, baches, agrietamiento y rugosidad)

Un ejemplo de la diferencia entre las variables iniciales con que se formuló el método de diseño y las actuales son: en el método AASHO la velocidad de operación era de 35 km/h actualmente está entre 50 y 70 Km/hr

Las presiones de inflado eran de alrededor de 87 lb actualmente oscilan entre 100 y 120 lb

2.2 MÉTODO DE RESTRICCIÓN DE FALLA POR CORTANTE

Este método se usa para determinar el espesor del pavimento tal que las fallas por cortante no llegasen a ocurrir. Las propiedades más importantes de los componentes de pavimento y suelos de subrasante a ser considerados son la cohesión y el ángulo de fricción interna

Sin embargo con el incremento de velocidad y el volumen de tránsito pesado los pavimentos deberían ser diseñados con el criterio de confort en vez de prever únicamente fallas por cortante

2.3 MÉTODO DE RESTRICCIÓN DE LA DEFLEXIÓN

Este método se utilizó para evitar que las deflexiones verticales no excediesen los valores permisibles. El uso de la deflexión como un criterio de diseño tiene la ventaja aparente de que puede ser medido fácilmente en campo, en el año 1947 la comisión estatal de carreteras de Kansas modifico la ecuación de Bousinesq y limito la deflexión de la subrasante a 0.254 mm la marina de Estados Unidos en 1953 aplico la teoría de dos capas de Burmister y limito la deflexión de la superficie a 0.635 mm. Desafortunadamente las fallas del pavimento son causadas por esfuerzos y no por deflexiones.

Métodos de Regresión basados en el desempeño del pavimento

Este enfoque de diseño nace a finales de la década de los 50 con la prueba de caminos de la AASHO se construyó una pista de pruebas conformada por pavimentos de asfalto y concreto hidráulico, en la que se hicieron transitar vehículos de carga vacíos y cargados con la finalidad de obtener relaciones entre el desempeño del pavimento, las características estructurales del diseño y

las cargas. Esto resulta una aproximación empírica dado que el método está limitado por los tipos de suelo considerados, los métodos de construcción y las configuraciones vehiculares de la época en el tramo de prueba

2.4 MÉTODO EMPÍRICO MECANICISTA

El componente mecanicista es la determinación de las respuestas del pavimento tales como esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones debido a las cargas del tránsito. Esto se logra gracias al uso de modelos matemáticos. La porción empírica relaciona estas respuestas con el desempeño de la estructura por medio de funciones de transferencia que son calibradas con pruebas de campo.

Aunque los métodos de diseño empírico mecanicistas llevan ya tiempo de haberse desarrollado no habían logrado ser parte de la práctica principal de diseño hasta años recientes. Kerhoven y Dommon 1953 fueron los primeros en utilizar la deformación vertical a compresión en la parte superior de la subrasante como un criterio de falla para reducir la deformación permanente, el uso de la deformación vertical e compresión para controlar la deformación permanente se basa en el hecho de que las deformaciones plásticas son proporcionales a las deformaciones elásticas en la subrasante, al igual que las deformaciones elásticas en las capas adyacentes.

Con respecto a este método, se hará una exposición extensa en el Capítulo 3 del presente trabajo de grado.

2.5 METODO EMPIRICO MECANISTICO

2.5.1 Bases del Método Empírico. Está concebido para obtener ecuaciones de regresión que relacionan el comportamiento del pavimento con los parámetros de diseño.
Se restringe a la experiencia local
Se requiere validar el comportamiento de los materiales en el medio local dado que está basado únicamente en la experimentación

2.5.2 Bases del Método Mecanístico. Se establecen deformaciones máximas de compresión (subrasante) y de tracción (capas asfálticas)

Se establecen modelos de deterioro con el fin de vincular las variables estructurales de una capa de pavimento con los ejes que la transitan

Se realiza una caracterización de los materiales

El componente Mecanístico posee:

- Un enfoque esencialmente científico
- Depende del comportamiento mecánico (respuesta estructural) de las capas de pavimento ante las solicitaciones a que se vea sometida la estructura
- Se deben conocer las propiedades de los materiales
- Se debe tener precisión las propiedades geométricas de la estructura sometida a carga

El componente Empírico:

- Está basado en resultados experimentales
- Requiere de experimentación y observación para establecer vínculos entre las variables de diseño y el comportamiento de la estructura
- No requiere establecer funciones científicas en las relaciones observadas.

Bases del Método mecanístico – Empírico

- Combina los aspectos descritos anteriormente
- El componente mecanístico involucra la determinación de la respuesta del pavimento debido a las cargas aplicadas mediante el uso de modelos matemáticos
- El componente empírico relaciona la respuesta del pavimento con el desempeño del pavimento.
- Cada tipo de falla se asocia con una respuesta crítica del pavimento.

2.6 FILOSOFÍA DEL DISEÑO MECANÍSTICO - EMPÍRICO

El Método mecanicista de diseño de pavimentos se basa en la aplicación de los principios de la Ingeniería Mecánica, lo que da como resultado un proceso racional de diseño según Yoder y

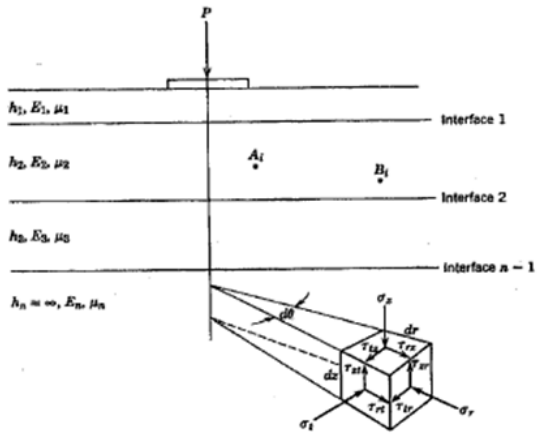
Wiitzac[2] afirman que para que un diseño de pavimentos sea completamente racional se deben considerar tres elementos: El uso de teoría para predecir la falla o un parámetro de daño asumido, La evaluación de las propiedades de los materiales aplicable a la teoría y la determinación de la relación entre la magnitud del parámetro en evaluación y el nivel de comportamiento deseado.

Este método supone un sistema elástico multicapa con base en unas suposiciones entre ellas:

- Supone que las propiedades de los materiales de cada capa son homogéneas, es decir las propiedades del punto Ai, son las mismas que las del punto Bi
- Cada capa se supone de un espesor infinito, excepto la mas inferior y todas son infinitas en la dirección lateral.
- Cada capa es Isotrópica, es decir que la propiedades del punto Ai es la misma en toda dirección y orientación
- Cada interface entre capas se desarrolla una fricción total
- No hay fuerzas de corte superficial
- Las soluciones de esfuerzos están caracterizadas por dos propiedades de materiales en cada capa. Estas propiedades son: La relación de Poissonμ, y el Modulo elástico E.

Se supone un sistema elástico Multicapa generalizado

Figura 2. Sistema Elástico Multicapa



[2]1er Curso de Actualización de Conocimientos en Pavimentos: La Nueva Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos. ASPECTOS BASICOS-INTRODUCCION – Instituto para el desarrollo de los Pavimentos en el Perú

En cada punto del sistema, existe una cierta orientación de los elementos, de tal forma que los esfuerzos de corte actuando en cada cara son cero. Los esfuerzos normales bajo esta condición se definen como esfuerzos principales y se denominan σ_z (esfuerzo principal), σ_r (intermedio) y σ_t (menor). La suma de los esfuerzos principales en un punto se define como el esfuerzo
Se han desarrollado varios métodos empíricos mecanicistas, uno de los más importantes es el AASTHO 2002, con el que se va a realizar el presente trabajo de aplicación

Aunque parezca diferente los métodos empíricos no son inexactos si se usan dentro del rango de factores de diseño para el que fueron desarrollados, los últimos desarrollos han tomado parte de la metodología tradicional empírica hacia un acercamiento mecanicista, el criterio mecanicista se refiere a que los principios de la mecánica de materiales se apliquen de manera directa.

En realidad no existe un método mecanicista en su totalidad debido a la naturaleza compleja del problema. Las relaciones empíricas siguen siendo requeridas para relacionar la teoría con el desempeño del pavimento en la realidad.

Los comienzos del acercamiento mecanicista para pavimentos flexibles se dieron con Bousinesq en 1887, tiempo después con Burmister en la década de 1940, Las soluciones de Bousinesq se basan en la suposición que el material que constituye el semi-espacio es elástico lineal. Es bien conocido que los suelos utilizados en la subrasante no son elásticos y que experimentan deformaciones permanentes bajo cargas estacionarias. Sin embargo sometidos a aplicaciones de cargas de tránsito en movimiento, la mayor parte de las deformaciones son recuperables y pueden considerarse elásticas.

Los pavimentos flexibles son sistemas de capas con materiales de mejor calidad en la parte superior y no pueden ser representados por una masa homogénea, así que el uso de la teoría de Burmister es más apropiado. Primero Burmister desarrollo soluciones para dos estructuras de pavimento en dos capas y luego se extendió a tres capas. Con el advenimiento de las computadoras la teoría puede ser aplicada a un sistema multicapas sin restringir el número de ellas.

En el acercamiento empírico – mecanicista del pavimento las respuestas del pavimento a las cargas tales como esfuerzos, deformaciones unitarias, deflexiones son calculadas a través del análisis mecanicista ya sea por la teoría elástica multicapa o por el método de los elementos finitos, y estas respuestas se relacionan con el desempeño del pavimento a través de análisis empírico

Para cuantificar como se distribuye o como asume la estructura las cargas, se deben conocer las propiedades mecánicas de los materiales, el modulo elástico y la relación de Poisson.

Las propiedades físicas de un material nos dan una indicación del comportamiento del mismo de acuerdo con las condiciones en que se encuentre, mientras las propiedades mecánicas hacen alusión a las propiedades intrínsecas de los materiales.

En la metodología empírica el uso de las propiedades físicas implica un grado de incertidumbre al suponer que los materiales que se ensayan en laboratorio se comportan de igual manera en el campo. El enfoque empírico mecanístico está basado en el hecho de que si la respuesta de los materiales de la capa de pavimento, dadas ciertas condiciones ambientales y de transito pueden ser predichas con exactitud, el desempeño del pavimento puede ser modelado sin tener que construir la estructura.

Esta metodología facilita la predicción correcta de la evolución en el tiempo de los diferentes deterioremos que se pueden presentar y por ende aumentar de gran manera a confiabilidad del diseño

Algunos componentes más importantes del enfoque empírico mecanicista son:

- Datos de entrada: tráfico, clima suelo
- Modelos mecanicistas para estimar las respuestas estructurales
- Modelos empíricos para predecir el desempeño del pavimento
- Variabilidad en el diseño y factores de seguridad
- Criterio de desempeño

Ventajas básicas del procedimiento empírico – mecanicista sobre la metodología empírica tradicional

- Diseños apegados a la realidad
- Mayor grado de certidumbre en el control de los deterioros para prever las fallas y minimizar los deterioros.
- Disminución del costo de mantenimiento y rehabilitación debido a un mayor grado de confiabilidad en la predicción de los deterioros.
- Tener una base más sólida para indagar las causas predominantes en el desarrollo de los deterioros.

Consideración directa de:

- Tipos de ejes, llantas, presiones, pesos por eje y diferentes tipos de cargas.
- Los efectos del cambio climático (debido a las temporadas – estaciones – ciclos invierno verano)
- Envejecimiento de los materiales.
- Tipos de deterioro como indicadores primarios del desempeño.

Una mejor utilización de:

- Materiales disponibles y la inclusión de nuevos materiales

Propiedades de materiales que se relacionan mejor con el comportamiento del pavimento y su desempeño.

2.7 COMPONENTES CLAVES DE LAS METODOLOGÍAS MECANICISTAS

Las componentes de entrada al proceso de diseño se refieren a la geometría de la estructura; básicamente son los espesores de cada capa, las propiedades de los materiales que conforman cada una de esas capas, que serán módulos dinámicos o resilientes, el tipo de clima del medio físico que atravesará la carretera, definido por precipitación y temperatura, y el nivel de tránsito vehicular definido ya sea en ejes equivalentes, o preferentemente a través de su correspondiente espectro dedistribución de cargas, que veremos más adelante.

La selección del diseño inicial consiste en una primera estimación de valores para esas componentes de entradas.Definido el diseño inicial se procede al cálculo de lo que se va a llamar, las respuestas estructurales en la sección estructural del pavimento. Estás respuestas estructurales consisten en conocer la distribución de esfuerzos (σ), deformaciones unitarias (ε), y deflexiones (δ). El cálculo se realiza básicamente considerando al pavimento como un medio multicapas en donde el comportamiento de los materiales se basa en la teoría de la elasticidad.

A partir de la respuesta estructural en el pavimento, se calcula el nivel de daño esperado en el período de diseño para los diferentes tipos de deterioros que se pudieran presentar; estos deterioros pueden ser agrietamientos por fatiga, agrietamientos térmicos, deformaciones permanentes, escalonamiento en el caso de pavimentos de concreto y, finalmente, el nivel de regularidad medido a través del llamado Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Una vez calculados los niveles de deterioro para el período de diseño se comparan con los valores máximos permitidos por el diseñador, que dependerán por supuesto del tipo de vía del que se trate. Para vías de altas especificaciones, la exigencia deberá ser mayor.

Adicionalmente, el cálculo se puede realizar de modo determinista, suponiendo solamente un valor medio para todos los parámetros involucrados, o probabilista, agregando el valor de incertidumbre para cada variable, usando por ejemplo la desviación estándar.

3. APLICATIVO SOFTWARE DG 2002 –ASHTO 2002

Figura 3. Vista general del software y entrada de datos del aplicativo DG2002

Esta guía constituye un cambio radical en la forma en que se diseñan los pavimentos, se diferencia con los métodos anteriores en que la guía de diseño MEPDG, logra realizar predicciones de diferentes indicadores y conjuga en un diseño la interacción de factores como materiales, diseño, transito, clima, construcción y sistemas de gestión de pavimentos

El estado de la practica en cuanto al análisis y diseño de pavimentos en este momento se basa esencialmente en métodos empíricos, en donde el diseño se respalda en las propiedades físicas de los materiales e índices de resistencia, especialmente la capacidad de soporte de suelo o CBR, (California Bearing ratio), aunque se manejan conceptos mecanicistas como el modulo de resiliencia pero solo como parámetro de cálculo que se correlaciona con el CBR, en algunos casos existen métodos semi empíricos que consideran algunas leyes de fatiga de los materiales y los cálculos de vida útil (Método Shell, Método del Instituto Americano del Asfalto). El enfoque exclusivamente empírico siempre estará limitado a los tipos de suelo considerados, los métodos constructivos, las configuraciones de los vehículos con que se realizan las pruebas.

El enfoque mecanístico es mas científico, posee una base científica suficiente que permite realizar un análisis del desempeño de un pavimento ante las acciones del clima, del tránsito vehicular, en un

marco teórico donde supuestamente se conocen las propiedades fundamentales de los materiales. Los métodos AASTHO hasta la versión del año 1993, están basados principalmente en las ecuaciones y resultados obtenidos originalmente en el tramo de prueba realizado en Ottawa (Illinois), el nuevo aplicativo ha mejorado con respecto al original al incluir ciertos factores no considerados en las versiones anteriores, producto de la experiencia adquirida por consultores y por la AASHTO.

Con el objetivo de que se mejore el desempeño de las estructuras de pavimento, optimizando costos de mantenimiento, rehabilitación y operación se creó el programa de investigación SHRP (Strategic Highway Reserach Program) auspiciado por la Agencia Federal de Carreteras

Se creo un nuevo producto para diseño y rehabilitación de pavimentos DG 2002 que está apoyada en una serie de conceptos basados en la mecánica de materiales, en la teoría de la elasticidad y visco-elasticidad, modelos de deterioro de estructuras de pavimentos y herramientas ofimáticas avanzadas.

La guía MEPDG[3] se inició bajo el proyecto 1-37A desarrollado por la NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) en tarea conjunta de cooperación con la FHWA (Federal Highway Administation) y AASHTO. Los derechos intelectuales del Aplicativo corresponden a la AASHTO desde diciembre de 2007, Este aplicativo incluye mejoras sustanciales al diseño de pavimentos especialmente el efecto climático que se incorpora con el modulo climático integral mejorado EICM.

El diseño de pavimentos antes del método empírico mecanístico está apoyado en las extrapolaciones y que en realidad son especulaciones del comportamiento del pavimento bajo cierto número de repeticiones de carga, garantizar el desarrollo correcto del pavimento a lo largo de su vida útil resulta en optimizar los costos de mantenimiento, rehabilitación.

En la práctica actual de diseño de pavimentos es común hacer uso de los diversos métodos empíricos uno de los más usados es el método AASTHO. El avance en los procedimientos de los

[3]AASHTO 2002- NCHRP 1-37A – Guide for Mechanistic Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures, National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board, National Research Council March 2004

diseños de pavimentos, es decir la tendencia actual de incorporar conceptos mecanicistas en lugar de la fundamentación empírica de los procedimientos anteriores lleva a la tendencia de caracterizar de manera más precisa los requerimientos de transito usados en el análisis y diseño

Para trabajar el método empírico mecanístico la AASHTO creó el software publicado en el NCHRP - 137ª, esta nueva guía incorpora un acercamiento de naturaleza holística, el cual incluirá un análisis detallado de las condiciones ambientales, las propiedades de los materiales en el desempeño de los pavimentos.

Los procedimientos mecanicistas son más capaces de tomar en cuenta el clima, el envejecimiento de los materiales, el uso de nuevos materiales, las cargas de tránsito y la consideración de varios modelos de deterioro.

El acercamiento de este método no se basa en el principio de obtener espesores totales (expresados en términos de números estructurales) para proteger la capa de subrasante durante la vida útil del mismo, esta guía incorpora un acercamiento de naturaleza holística, que incluye un análisis detallado de las condiciones ambientales, las propiedades de los materiales, la caracterización detallada del tránsito, la influencia del proceso constructivo y la calidad del pavimento durante su vida útil.

La guía de diseño MEPDG, propende por un acercamiento de diseño jerárquico, este acercamiento provee la flexibilidad para seleccionar la calidad de la información de entrada, basado en la importancia del proyecto o la disponibilidad de los recursos a obtener información, posee tres niveles propuestos.

De igual manera representa un cambio importante en la manera en que se realiza el diseño de pavimentos. El diseñador considera en un primer diseño de prueba propuesto para un pavimento nuevo o una rehabilitación, las condiciones del sitio (tráfico, clima, sub-rasante, condición del pavimento existente para el caso de una rehabilitación) y las condiciones de construcción. Luego se evalúa el diseño de prueba para su adecuación, por medio de la predicción de fallas y de la

rugosidad del pavimento. Si el diseño no cumple los criterios de comportamiento deseados, se revisa y el proceso de evaluación se repite cuantas veces sea necesario. Es decir, diseñador está totalmente involucrado con el proceso de diseño y tiene la flexibilidad para considerar los diferentes aspectos de diseño y de materiales, para las condiciones prevalecientes en el sitio. Este enfoque sucesivo hace posible optimizar el diseño y asegurar de manera cabal, que no se desarrollarán ciertos tipos específicos de fallas

3.1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DEL MEPDG

El MEPDG representa un gran cambio en la forma de diseñar el comportamiento de un pavimento. Mecanicista se refiere a la aplicación de los principios mecánicos ingenieriles que conducen a un proceso racional de diseño basado en tres elementos básicos: [4]

- La teoría es utilizada para predecir las respuestas críticas del pavimento (tensiones, deformaciones, etc.) ante las condiciones de tráfico y climatológicas imperantes en el proyecto.
- Procedimiento de caracterización de los materiales de forma consistente y colaborante con la teoría.
- Relación entre la respuesta critica de los pavimentos con los parámetros de respuesta y tensiones observadas in-situ (parte empírica).

El MEPDG es un predictor de tensiones e IRI (rugosidad), se utiliza para evaluar un juicio de diseño (combinación de capas, espesor, decisiones de diseño, etc.) para un set de condiciones ambientales y criterios de falla definidos. Una diferencia fundamental entre la "Guía para el diseño de estructuras de pavimento" (AASHTO, 1993) y el MEPDG, es que el MEPDG predice múltiples indicadores de comportamiento del pavimento proporcionando un balance entre los materiales, diseño estructural, construcción, clima, tráfico y gestión de sistemas de pavimento.

[4]CONCEJO NACIONAL DEL COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ. Nueva Guía para el diseño empírico – mecanicista de pavimentos

Al ser un método iterativo, con un set de ecuaciones bastante complejo, se ha desarrollado un software computacional con el cual se resuelve el método de forma iterativa, realizando varios cambios en el diseño a criterio del usuario

El MEPDG es un proceso iterativo, donde el resultado final no son espesores de capas como en el enfoque empírico AASHTO, sino que tensiones y rugosidades. El diseñador primero debe considerar las condiciones del sitio, (tráfico, clima, subrasante, pavimento pre existente si se trata de una rehabilitación) para proponer un juicio de diseño. Así el diseñador está completamente envuelto en el proceso de diseño y posee la flexibilidad de considerar diferentes factores de diseño y materiales para poder satisfacer el criterio de desempeño que se desea alcanzar.

El método MEPDG consta de tres etapas principales: Evaluación, Análisis y Selección de Estrategia. Estas son las influencias que el método posee sobre todas las etapas del proyecto, desde la idealización de la solución hasta la realización física del proyecto de pavimentación, sin embargo, aunque esto infiere hasta en los ensayos necesarios a realizar para obtener los datos de entrada, hasta los ensayos y verificaciones necesarias para ratificar los valores de serviciabilidad en el tiempo, nos concentraremos en la segunda etapa, el análisis de la solución, que es el núcleo del MEPDG materiales, construcción, conceptos de diseño, computadoras, etc.

3.2 NECESIDAD DE LA GUÍA DE DISEÑO

Las diferentes ediciones de la *Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos*, han servido bien por muchas décadas; no obstante, existen limitaciones serias para la continuidad de su uso como el principal procedimiento de diseño de pavimentos: [5]

- Deficiencias en las Cargas del Transito: Los niveles del volumen del tráfico pesado para el diseño se han incrementado tremendamente (de 10 a 20 veces) desde el diseño de pavimentos usado en el sistema Interestatal en los años 60.

[5]Concejo Nacional del Colegio de Ingenieros del Perú. Nueva Guía para el diseño empírico – mecanicista de pavimentos

- Deficiencias en la Rehabilitación: Los procedimientos de diseño para la rehabilitación de pavimentos no estuvieron considerados en la Carretera Experimental AASHO. Los procedimientos contenidos en la Guía de 1993, son completamente empíricos y muy limitados, especialmente en la consideración del tráfico pesado
- Deficiencias en los Efectos Climáticos: Debido a que la Carretera Experimental AASHO fue llevada a cabo en una ubicación geográfica específica, es imposible saber los efectos de diferentes condiciones climáticas sobre los pavimentos.
- Deficiencias en la Sub-rasante: Un mismo tipo de sub-rasante se utilizó para todas las secciones de la Carretera Experimental, pero a nivel nacional existen muchos tipos, lo que resulta en diferentes comportamientos de los pavimentos. Una caracterización y consideración de soporte de la sub-rasante más adecuados, harán posible mejorar el diseño de la estructura del pavimento, en términos de un comportamiento y una confiabilidad mejorados.
- Deficiencias en el Comportamiento: Los procedimientos AASHTO iniciales relacionan el espesor de las capas superficiales del pavimento (capas asfálticas o losas de concreto), con la serviciabilidad. Sin embargo, la investigación y las observaciones han demostrado que muchos pavimentos necesitan rehabilitación por razones que no están relacionadas directamente con el espesor del pavimento (p. ej., ahuellamiento, agrietamiento térmico, escalonamiento). Estos modos de falla no se consideran en las versiones previas de la Guía AASHTO, los cuales pueden conducir a fallas más prematuras.
- Deficiencias en la Confiabilidad: La Guía AASHTO de 1986 incluye un procedimiento para considerar la confiabilidad del diseño que nunca ha sido totalmente validado. Este procedimiento consiste en usar un gran multiplicador aplicado a las cargas del tráfico para diseño, a fin de alcanzar el nivel de confiabilidad deseado [por ejemplo, un pavimento diseñado para 50 millones de cargas por eje simple equivalente, era realmente diseñado para 228 millones].

La principal medida del comportamiento de los pavimentos en los procedimientos anteriores es la serviciabilidad presente y el factor dominante que afecta la serviciabilidad es el perfil longitudinal.

3.3 IMPACTO EN FALLAS TEMPRANAS

Uno de los aspectos principales del procedimiento previo de diseño AASHTO, fue su incapacidad para incorporar propiedades significativas de los materiales en el procedimiento de diseño. En el procedimiento previo de diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO, la única propiedad del material incorporada fue el coeficiente de capa “a”, definido vagamente. Nada podría ser más nebuloso que este parámetro. El procedimiento de diseño de pavimentos rígidos solamente consideró la resistencia y el módulo del concreto y otras propiedades tales como el altamente significativo coeficiente de dilatación térmica del concreto, no fueron consideradas para nada. Esta pérdida de consideración de las propiedades de los materiales, puede conducir a fallas tempranas. Esas limitaciones fueron consecuencia del hecho de que la variación en la calidad de los materiales no fue una variable experimental principal incluida en la Carretera Experimental AASHO.

3.4 IMPACTO PARA INCREMENTAR LA LONGEVIDAD DE LOS PAVIMENTOS

Un estudio de la FHWA sobre el valor del Programa de Comportamiento de los Pavimentos a Largo Plazo (LTPP por sus siglas en inglés), resalta los beneficios de adoptar la Guía de Diseño, en términos de incrementar la vida del pavimento (6). El estudio consideró los costos de un diseño dado de pavimentos para muchos años en el futuro (costo inicial, costo de mantenimiento, costo de rehabilitación, costo de las demoras a los usuarios debido al cierre de los carriles para reconstrucción).

Se encontró que esos costos varían ampliamente, dependiendo del diseño del pavimento, sus materiales y su construcción. Se espera que las tecnologías mejoradas del diseño de pavimentos y de la rehabilitación incorporadas en la Guía de Diseño, incrementen la vida del pavimento, resultando en un beneficio económico para las agencias (menores costos de construcción y rehabilitación) y para los usuarios de las carreteras (menores costos y tiempos de demoras originados en los mayores periodos de tiempo entre cierres de carriles debidos a la rehabilitación).

Los hallazgos estiman conservadoramente una reducción en los costos del ciclo de vida para las Agencias Estatales de por lo menos 5% y hasta el doble si se da una implementación total. El análisis también considera los costos de demora de los usuarios de carreteras debidos a los cierres de carriles por mantenimiento y rehabilitación. Los resultados mostraron que debería haber beneficios económicos muy significativos al viajero, debido a las reducidas actividades de mantenimiento y rehabilitación que requiere el cierre de carriles.

3.5 BENEFICIOS PRÁCTICOS ADICIONALES

En la Guía AASHTO de 1986 (3), se reconocieron otros beneficios del procedimiento de diseño mecanicista, difíciles de cuantificar:

1. Se puede hacer estimados de las consecuencias debidas a las nuevas condiciones de carga.
2. Se puede considerar una mejor utilización de los materiales disponibles. Por ejemplo, se puede simular el uso de materiales estabilizados en pavimentos rígidos y flexibles, para predecir el comportamiento futuro.
3. Se puede desarrollar procedimientos mejorados para evaluar la falla prematura y también es posible analizar por qué algunos pavimentos exceden sus expectativas de diseño. En efecto, se puede utilizar mejores técnicas de diagnóstico.
4. Se puede incluir el envejecimiento en las estimaciones del comportamiento (p. ej., el asfalto se endurece con el tiempo, lo que a su vez afecta al agrietamiento térmico por baja temperatura).
5. Se puede incluir los efectos estacionales, tales como el ablandamiento por deshielo, en las estimaciones del comportamiento.
6. Se puede evaluar las consecuencias de la erosión de la base debajo de los pavimentos rígidos.
7. Se puede desarrollar métodos para una mejor evaluación de los beneficios a largo

3.6 JERARQUÍA DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

Nivel 1: este nivel es de mayor exactitud (menor incertidumbre) y debe ser aplicado a pavimentos altamente transitados por vehículos pesados requiere mayor cantidad de recursos y tiempo, requiere

de proyectos específicos de entrada como la ensayos de laboratorio o pruebas de campo, se requiere el sitio especifico de aplicación de ejes de carga o de espectros, o pruebas de deflexión no destructiva. Debido a que estos tipos de entradas requieren de más tiempo y recursos para obtener, el nivel 1 se utilizan generalmente para investigaciones, estudios, o proyectos en los que una baja probabilidad de fracaso es importante,

Los datos de Nivel 1 deberían usarse típicamente para diseñar pavimentos sometidos a cargas pesadas de transito o en aquellos sitios donde existan graves consecuencias a la seguridad o afectación económica de fallas tempranas.

Nivel 2: Este se aplica cuando los recursos o las pruebas de laboratorio requerido en el nivel 1 no están disponibles, requiere de información INSITU de los volúmenes de tránsito y de la clasificación vehicular para realizar un pronóstico de las tasas de crecimiento. nivel 2 es más aplicable para proyectos de rutina con ningún grado de importancia especial

Los datos de nivel 2 ofrecen un nivel intermedio de seguridad y deberían estar más cercanos a los procedimientos típicos usados en las ediciones previas de AASHTO. Este nivel debería ser usado cuando no se dispone del equipamiento requerido para el nivel 1, los datos de nivel 2 deberían ser típicamente seleccionados por el usuario, posiblemente de bases de datos de alguna agencia, pueden ser derivados de programas de ensayos limitados u obtenidos a través de correlaciones

Nivel 3: Se aplica a vías con bajos volúmenes, posee un nivel menor de exactitud, ofrece el nivel más bajo de precisión. Este nivel puede ser utilizado para diseños en los que las consecuencias de una falla temprana son mínimas, los datos deberían ser típicamente valores seleccionados por el usuario o valores típicos de la región.

Para un proyecto dado, los datos pueden ser obtenidos usando mezclas de niveles, tomando módulos de concreto y roturas de nivel 1, espectros de carga tipo de nivel 2 y módulos resilientes de nivel 3.

3.8 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS BASE DEL APLICATIVO DEL SOFTWARE DG 2002

El análisis de elementos finitos está generalizado como herramienta para resolver problemas de mecánica estructural, con aplicaciones en la ingeniería civil que datan desde los años 1960, Los conceptos básicos del análisis de los elementos finitos es la subdivisión de los problemas en paquetes de elementos discretos o finitos. La geometría de cada elemento es definida en el caso más simple por las coordenadas de sus esquinas, o nodos, la variación de los desplazamientos de estos elementos es aproximada en términos de desplazamiento de los nodos y de funciones de interpolación.[6]

Los elementos finitos implementados en el DG 2002, esta basados en los desplazamientos aproximados en dos dimensiones en condiciones asimétricas.

El modelamiento se realiza con base en el método de los elementos finitos, La Guía diseño consiste en tres programas separados PRE-DSC, DSC2D,y POST-DSC, son tres programas que están escritos en Fortran y han sido compilados utilizandoCompaq Visual Fortran V 6.1 (Tomado Guía de Diseño anexo RR)

La metodología de La Guía de diseño 2002, está basada en el método empírico mecanístico para predecir el comportamiento del pavimento. Son muchos componentes y subsistemas involucrados en la realización de las predicciones, los datos de entrada como las cargas de tráfico, las condiciones ambientales, las propiedades de los materiales; los modelos de respuesta de pavimento, y los modelos de predicción de daño; Cada uno de estos componentes son inherentes e indeterminados, en general el nivel de incertidumbre debido a los datos de entrada y especialmente a los modelos de predicción puede ser un factor muy importante en el cálculo de respuesta del pavimento.

El PRE-DSC es el programa pre – procesador que convierte el análisis y el control de la información que se genera por el DG 2002, el programa esta creado en un formato apropiado para la entrada de

[6]AASHTO 2002- NCHRP 1-37A – Guide for Mechanistic Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures, National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board, National Research Council March 2004

datos programa del método de elementos finitos DSC2D, Este programa contiene una malla finita de elementos que genera un modelo de capas de la estructura de pavimento, las cargas y las condiciones de frontera.

DSC2D Es el programa de análisis de elementos finitos para determinar los esfuerzos, las deformaciones y los desplazamientos en el sistema de pavimentos no lineal, el DSC2D esta basado en el programa de elementos finitos creado originalmente por CS Desai en la Universidad de Arizona- Tucson, sin embargo este se modifico sustancialmente para la implementación del software DG 2002, en la guía de diseño incluye:

- Análisis y formulación no lineal asimétrico
- Esfuerzos dependientes del modulo resilientes en el modelo de capas de pavimento
- Condiciones de deslizamiento – no deslizamiento en las condiciones de interface entre capas
- Elementos de frontera infinitos para reducir el análisis de las dimensiones del modelo.

POST –DSC- este es el programa post – procesados que convierte los datos de entrada en esfuerzos provenientes del método de elementos finitos DSC2D, este es el programa que se usa para predecir el nivel de daño y el comportamiento o performance del pavimento

Figura 4. Flujograma del programa DG 2002 (tomado guía de diseño apéndice RR)

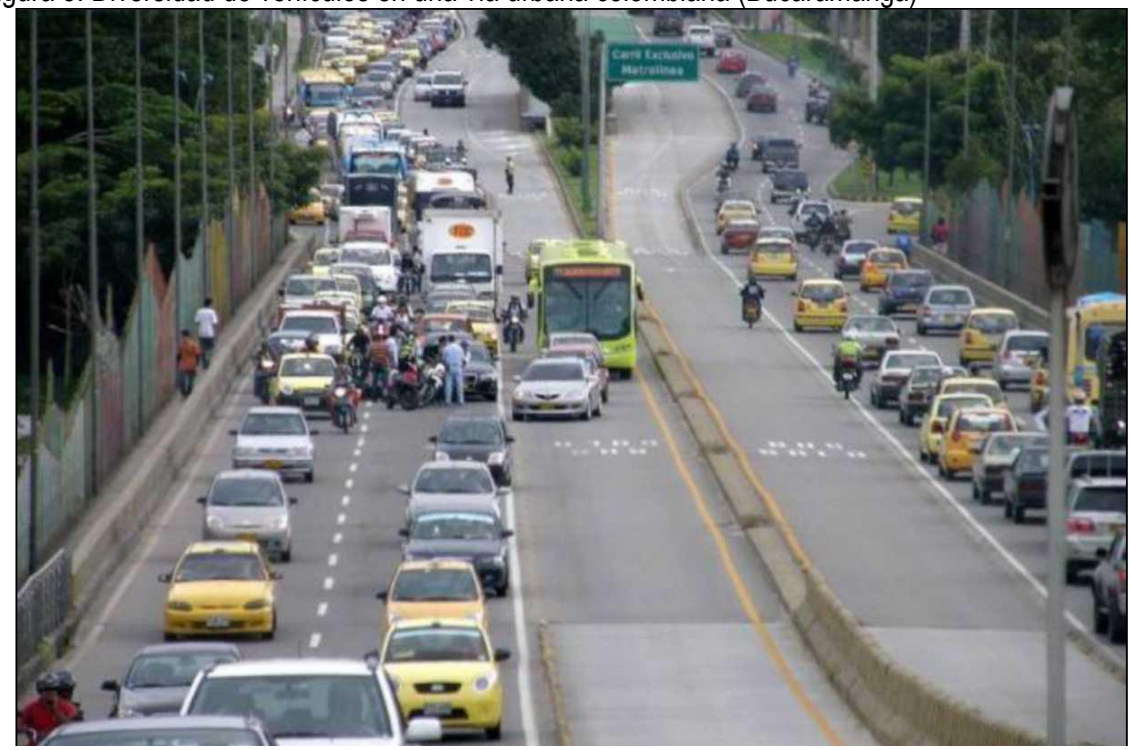
Tabla 1. Características sobresalientes del Programa de elementos finitosDSC2D (tomado guía de diseño)

Característica	**Elementos Finitos DSC2D**
Elementos	Elementos 2 Dimensiones Espesores de capa y junta infinitos
Materiales	Elásticos (Lineales elásticos, Hiperbólicos) Plásticos(Von Mises, Mohr – Coulomb, Cam-Clay, Drucker –Prager, Hoek Brown, HIss ,Elementos Visco elásticos Dependientes de la temperatura
Cargas	Cargas Nodales, Cargas de Superficie , Cargas térmicas Cargas Dinámicas, Cargas cíclicas y repetitivas
Pre y Post – Procesador	Generador especifico de mallas Post – procesador
MR Modelo	No posee – Fácilmente se puede implementar
Velocidad Precisión y Robustez	Verificado con test de laboratorio y datos de campo Unidad de datos robusta
Otros	Aplicativo general para pavimentos rígidos y flexibles Es posible simular la secuencia constructiva Análisis cíclico de fatigas.

4. DATOS DE ENTRADA

4.1 CARACTERIZACION DEL TRÁFICO

Figura 5. Diversidad de vehículos en una vía urbana colombiana (Bucaramanga)



Las cargas del tráfico de camiones se caracterizan en términos del espectro de carga por eje, se considera el espectro de cargas por eje total, para ejes simples, tándem, tridem y tetradem. Los espectros de carga son uno de los parámetros más importantes que se tienen en consideración actualmente para el análisis estructural y de diseño de pavimentos, la caracterización del transito es fundamental para concebir estructuras de pavimento que sean capaces de ofrecer altos desempeños en términos de durabilidad

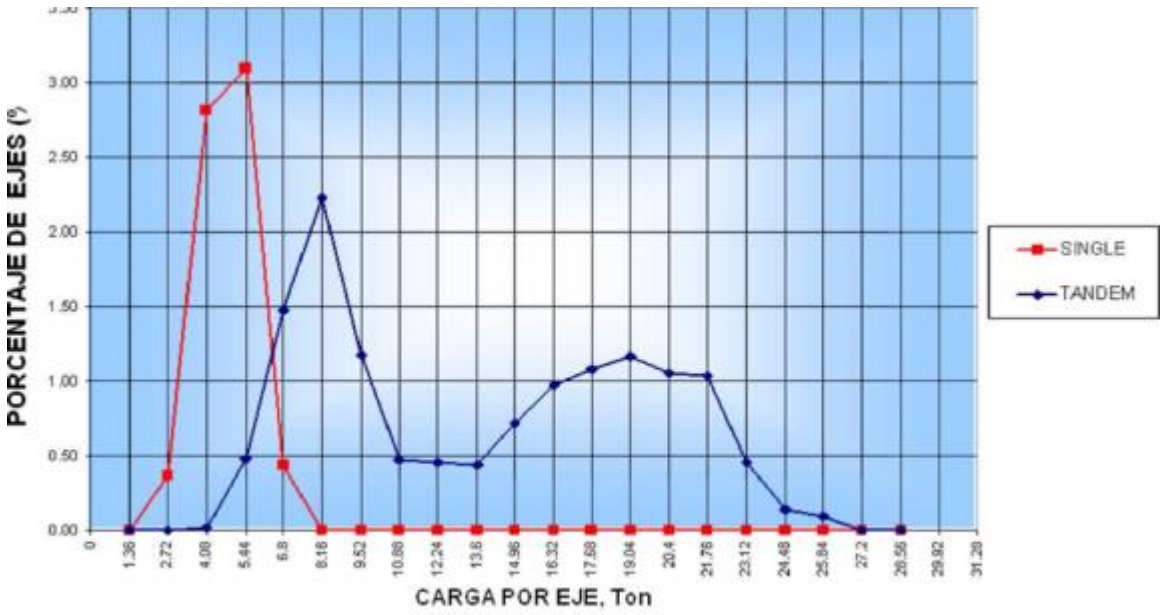


Figura 5.1. Ejemplo de espectro de carga para ejes sencillos y tándem.

Los espectros de carga se calculan usualmente para cada tipo de eje: sencillo, dual, tándem o trídem y se definen [7]como la relación entre el número de ejes con cierto rango de carga y el número total de este tipo de ejes representado en porcentaje

Cada punto en el espectro de carga representa el porcentaje de este tipo de eje con cierto nivel de carga, los picos representan los mayores porcentajes de participación.

La Caracterización del tránsito vehicular a través de espectros de carga, permite el uso del conocimiento de la distribución de la carga real, en los distintos tipos de ejes de los vehículos con el fin de valorar el daño que se presenta en una sección de pavimento.

El software utiliza el número de camiones pesados como un indicador general de la magnitud de las cargas del tráfico de camiones (clase 4 y superiores de la FHWA).

Los niveles jerárquicos de los datos del tráfico son:

[7]Conferencia Magistral Alfonso Rico Rodríguez.Espectros de carga y Daño de Pavimentos

- Nivel 1, el enfoque recomendado para caminos con alto volumen de tráfico, requiere la compilación y análisis de los datos del tráfico del sitio específico, incluyendo el conteo vehicular por clase y por dirección y carril. Se desarrollan las distribuciones espectrales de las cargas por eje para cada clase de vehículo a partir de los datos de pesos por eje recolectados en o cerca del lugar del proyecto. Se proyectan los volúmenes de tráfico por clase de vehículo para el período de análisis y se usa el espectro de carga desarrollado para cada clase, para estimar las cargas por eje. Se pueden usar presiones de contacto, espaciamiento entre neumáticos y espaciamiento entre ejes, por defecto o a partir de datos del usuario.
- El Nivel 2 es similar al Nivel 1, requiriendo datos de clasificación y volumen específicos del sitio.
- El Nivel 3 proporcionará datos del espectro de carga por defecto para una clase funcional específica de carretera. El diseñador aplica esos valores por defecto para datos de volumen vehicular disponibles o estimados.

Los datos de tráfico son una de las llaves de datos de los elementos requeridos para el diseño y el análisis de la estructura de pavimento. Estos datos se requieren para estimar las cargas que serán aplicadas en el pavimento y la frecuencia con la cual las cargas serán aplicadas a través del pavimento durante el periodo de diseño. Este método requiere que los mismos datos de transito sin importar si es pavimento rígido o flexible o si es un pavimento nuevo o una rehabilitación.

Típicamente estos son los datos de transito que se requieren

- Volumen de transito base anual de camiones en las dos direcciones
- Número de carriles en la dirección de diseño
- Velocidad operacional de los vehículos (camiones)
- Factores de distribución direccional de tráfico.
- Clase de vehículos que circulan (clasificación del tipo de camión)
- Factores de distribución de ejes de carga
- Configuración de ejes y ancho de huella
- Características de presión de inflado de las llantas
- Factores de distribución lateral de camiones

- Factor de crecimiento de tránsito de camiones.

Factores de ajuste del volumen de tránsito

- Ajuste mensual
- Distribución por clase de vehículo
- Distribución horaria de camiones

4.2 FACTOR CLIMA

Figura 6. Cambios climáticos de hielo – deshielo y de humectación desecación causan daño en las estructuras de pavimento

Las condiciones ambientales tienen un efecto significativo en el comportamiento del pavimento sea flexible o rígido. Los factores externos como precipitación, temperatura, ciclos de congelamiento y descongelamiento y el nivel freático, son uno de los factores que causan impacto en el comportamiento de los pavimentos. Los factores internos son susceptibles en los pavimentos a la humedad y a los daños por los ciclos de congelamiento, el drenaje de las capas, la infiltración potencial del pavimento y una serie de factores o de condiciones ambientales que deben ser estudiados.

En las estructuras de pavimento, la humedad y la temperatura son dos factores ambientales que pueden tener un efecto significativo en las capas y en la subrasante, esto unido con las cargas de transito aumentan el factor de daño presentando fallas tempranas en la estructura diseñada.

Algunos de los efectos que causa el clima en la estructura son:

- El asfalto y los materiales ligantes exhiben variación en los valores de módulo de elasticidad dependiendo de la temperatura, los módulos pueden variar de 2 a 3 millones de psi durante los ciclos de congelamiento que se presenta en invierno y cerca de 100 mil psi durante los meses calurosos del verano.
- Los materiales cementantes cambian las propiedades en los esfuerzos flectores y en los módulos aunque no son tan significativos si se afectan por las temperaturas, sin embargo la temperatura y especialmente la humedad afecta significativamente el cemento portland y puede afectarse significativamente los esfuerzos y deflexiones y consecuentemente el factor de daño y las deformaciones.
- Las temperaturas de congelamiento, el agua presente en el suelo en ciclos de congelamiento afectan el modulo resiliente, los materiales no ligados no se ven tan afectados
- El congelamiento puede estar acompañado de deformaciones por que el hielo crea una zona donde se reducen los esfuerzos.

En el aplicativo el efecto del ambiente se incorpora en el modelo climático integral mejorado, EICM, (Enhanced Integrated Climatic Model) este modelo incorpora en el análisis del pavimento los datos climáticos de precipitación, temperatura, nubosidad, humedad relativa, velocidad del viento, como datos principales, se incorpora también la hora de salida y puesta del sol obtenidas por coordenadas geográficas.

El EICM realiza análisis mecanicistas en una dimensión de calor y flujo de humedad, simulando los cambios en el comportamiento y características del pavimento y de las capas de materiales que se afectan por los factores climáticos.

El modelo de clima fue creado en 1989 en la Universidad de Texas para la FHWA, la primera versión tenía solo el modelo ICM, el modelo EICM requiere de mucha información para modelar la estructura de pavimento, requiere de datos horarios de temperatura, precipitación, radiación solar, velocidad del viento, nubosidad, profundidad del nivel freático todo esto para predecir el comportamiento del pavimento ante los efectos del clima, estos factores externos se incorporan para definir el impacto de

estos en el desempeño del pavimento, factores internos como la susceptibilidad de los materiales de pavimento a la humedad, a los daños por deshielo, el drenaje de las capas y la infiltración definen la manera cómo reaccionará el pavimento ante las condiciones climáticas externas.

En resumen, los mayores avances alcanzados en desarrollo del EICM son

- Remplazo de la curva característica se contenido de agua en el suelo de Gardner SWCC (SWCC- Variación de la capacidad de almacenamiento de agua en los macro y micro poros del suelo con respecto a la capacidad de succión) por la ecuación propuesta por Fredlund[8] an Xing que obtiene una función de mejor ajuste.[9]
- Desarrollo de estimaciones mejoradas de SWCCs conductividad hidráulica saturada y la gravedad específica de sólidos, si se conocen los índices de suelo como distribución granulométrica (porcentaje que pasa el tamiz no 200, D60) y el índice de plasticidad.
- Se incorpora al EICM la predicción de la conductividad hidráulica no saturada basada en la SWCC propuesta por Fredlund
- Se adiciona una base de datos climática horaria de 800 estaciones de medición a lo largo de los Estados unidos, para lluvias, velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar estos datos son de National Climatic Data Center
- Otro importante avance es la introducción de algoritmos para estimar la gravedad especifica de los sólidos y la conductividad hidráulica saturada

El efecto climático se estudia en Estados Unidos con especial interés dado que cuentan con valores de fracciones horarias (15 minutos) provenientes de 850 estaciones con datos de aproximadamente 10 años tomados como se menciono anteriormente en fracciones horarias. Realizar un estudio como el que se desarrolla en esta tesis presenta la enorme dificultad de que en Colombia no se encuentra esta información discriminada de esta manera, puesto que las mediciones son pocas y no están al alcance de quienes realizan experimentación, en Estados

[8] Fredlund, DG and A Xing "Equation for the Soil-Water Characteristic Curve". Canadian Geotechnical Journal Vol 31 No. 4 pp 521-532

[9] Guide for Mechanistic – Empirical Design of new an rehabilitated pavement structures Part 2 Chapter 3 environmental effects

Unidos se encuentra esta información rápidamente y online, en Colombia esta información se obtiene en algunos casos diaria y es muy costosa, en este desarrollo se opto por trabajar con datos normalizados obtenidos de las estaciones de los aeropuertos que tienen información en línea, pero normalizada con curvas dado que la información no se presenta completa.

- El modulo climático de la guía DG 2002 desempeña un rol importante en el proceso de diseño especialmente en:
- El usuario suministra el modulo resiliente Mr de todas las capas de materiales como condiciones iniciales de referencia,
- El método evalúa los cambios en el contenido de humedad, tomando como referencia el valor inicial, para la subrasante y para las capas de materiales no ligadas en condiciones de equilibrio de humedad, también evalúa los cambios estacionales en el contenido de humedad.
- Evalúa los efectos debidos a los cambios de humedad en el suelo respecto a la condiciones de referencia utilizando para esto el modulo resiliente
- Evalúa los efectos del congelamiento en la capa a través del modulo resiliente
- Evalúa los efectos de congelamiento – descongelamiento en las condiciones del Mr
- Evalúa los cambios de temperatura en función del tiempo para las capas ligadas con asfalto.

Los datos requeridos por el EICM de la guía de diseño son

Como Información General

- Fecha de termino de construcción de base y subbase
- Fecha de construcción del pavimento
- Fecha de apertura al tránsito

Información relativa al clima

- Temperatura
- Precipitación
- Velocidad del viento

- Temperatura
- Nubosidad
- Humedad Relativa

Información del nivel freático

- Profundidad del nivel freático

Propiedades relacionadas con el drenaje

- Absorción de la superficie
- Infiltración
- Longitud de la trayectoria del drenaje
- Pendiente transversal

Para el análisis se evalúan las siguientes características del efecto climático

a) En Pavimentos Flexibles:

- Cambios en el contenido de humedad debido a cambios estacionales, para las subcapas y los materiales no ligados
- Cambios en el módulo resiliente Mr., de todas las subcapas y materiales no ligados debido a los cambios en el contenido de humedad en el suelo
- Cambios del Modulo resiliente debido al congelamiento, deshielo y recuperación de las condiciones de congelamiento
- Distribución de la temperatura en las capas ligadas en concreto asfáltico.

b) En Pavimentos Rígidos

- Perfiles de temperatura en las losas de concreto (para predicciones por alabeo)
- Valores promedio de humedad relativa (estimación de alabeo por humedad en las losas de concreto)

El EICM realiza análisis mecanicistas en función del calor y flujo de humedad, esto simula los cambios en el comportamiento y características del pavimento y capas de material incluidos por los factores climáticos. El modelo de clima que se realiza tienen en cuenta la infiltración, el drenaje, el modelo de ajuste debido a los ajustes por deshielo, el modelo de precipitación y el modelo del flujo de humedad en materiales no saturados, el índice de humedad de Thornthwaite para calcular las condiciones de humedad en contacto con la capa de base. [10]

El modelamiento calcula los contenidos de humedad, temperatura, presión de poro y empuje por deshielo en la estructura. El modelo CMS incorpora datos climáticos para calcular el flujo de calor bajo las condiciones de contacto (superficie de pavimento) y la temperatura a través del pavimento. La precipitación se modela simulando los patrones de precipitación con los datos climáticos, el modelo de ajuste debido a los esfuerzos de deshielo es un modelo en una dimensión que integra el flujo de calor y de humedad en los suelos. Todos los modelos intercambian información para realizar nuevos cálculos.

4.2.1 Formatos de archivos del ICM.[11] El EICM utiliza una serie de archivos para la modelación de los perfiles de temperatura y de humedad en la carpeta. A continuación se describen los archivos

4.2.1.1 Archivos hourly Climatic data (hcd). Este es uno de los archivos de datos ambientales que utiliza el EICM, es una base de datos climáticos de manera horaria, esta base se encuentra dividida por estaciones climáticas de manera horaria, esta base esta estructurada en el siguiente orden : fecha, temperatura, velocidad del viento, porcentaje de radiación solar, precipitación y humedad relativa

4.2.1.2 Archivos icm (*icm). Este se genera a partir de la base de datos horaria y contiene toda la información que requiere para trabajar el modelo numérico, los datos que se requieren son:

---

[10]AASHTO 2002- NCHRP 1-37A – Guide for Mechanistic Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures, National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board, National Research Council March 2004 –Part 2 –Chapter 3

[11] 11 Navarro Ledezma BISMARCK. Consideraciones Sobre el Modelo Climático en la Guía MEPDG. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán México 2011

- Fecha de inicio – Fecha de terminación este es el periodo de años entre los cuales se tienen datos
- Longitud, latitud, elevación, profundidad del nivel freático, profundidad de nivel freático en primavera, profundidad de nivel freático en otoño, profundidad de nivel freático invierno y verano, temperatura promedio anual, días de congelamiento, lluvia anual y doce datos de promedios mensuales de humedad (12 meses iniciando en enero)
- Mes, dia,año, horas con sol, atardecer, radiación solar máxima diaria, salida y puesta de sol calculada a partir de la latitud y la longitud, datos de radiación solar
- Hora, temperatura, precipitación, velocidad del viento, porcentaje de radicación profundidad del nivel freático de forma horaria.

Ejemplo de archivo * hcd

#Station: AUSTIN/BERGSTROM, TX - Elevation (ft):661 - Latitude:30.11 - Longitude:-97.41 -
Location: AUSTIN-BERGSTROM INTL ARPT - Months available data: 100
19960701-20060228
-97.41,30.11,661,12,-1,-1,-1,-
1,67.7064,3.28833,35.3357,70.7,73.1,73.4,73.1,74.1,73.7,70.1,68.8,70.5,75.9,76.0,70.3
7 1 1996 5.04244 18.9576 3711.8
0 75.7 0.00 3.1 100 12
1 75.7 0.00 3.1 100 12
2 75.7 0.00 3.1 100 12
3 75.7 0.00 0.3 100 12
4 73.8 0.00 0.2 100 12
5 73.7 0.00 0.0 100 12
6 75.9 0.00 0.3 100 12
7 80.9 0.00 4.1 100 12
8 84.9 0.00 3.1 100 12
9 88.0 0.00 3.1 100 12
10 89.2 0.00 4.0 100 12
11 89.2 0.00 3.9 53 12

12 93.9 0.00 5.8 98 12

13 93.7 0.00 5.9 72 12

14 95.0 0.00 6.1 100 12

15 95.0 0.00 3.2 77 12

16 95.0 0.00 4.4 100 12

17 93.9 0.00 5.2 100 12

18 90.0 0.00 9.1 100 12

19 87.1 0.00 8.2 100 12

20 84.9 0.00 5.2 100 12

21 82.9 0.00 4.3 100 12

22 82.0 0.00 6.1 100 12

23 80.9 0.00 4.2 100 12

5. MODELOS DE DETERIORO

Como se ha afirmado anteriormente el presente trabajo de aplicación utilizara el modelo empírico – mecanístico para formular un modelo de deterioro en las estructuras propuestas en el manual de INVIAS.

El daño de un pavimento es una condición o un conjunto de condiciones, generadas por el tránsito, el medio ambiente, los métodos de construcción y los materiales. El daño puede definirse como una alteración de las propiedades físicas o funcionales de la estructura de pavimento. En los pavimentos flexibles se presentan daños como agrietamiento y deformaciones el daño depende mucho de ciertos factores como son : la magnitud de la carga de rueda, el área de influencia de la carga, el número de aplicaciones y repeticiones de carga, la velocidad de operación, el área de contacto, la separación entre ejes etc.

El comportamiento estructural de un pavimento se relaciona con su condición física (agrietamiento por fatiga y ahuellamiento para pavimentos flexibles y escalonamiento en la junta y agrietamiento de la losa para pavimentos rígidos u otras condiciones que podrían afectar adversamente la capacidad de soportar cargas de la estructura del pavimento o que deberían requerir mantenimiento). Algunos de esos tipos de falla clave pueden predecirse directamente utilizando conceptos mecanicistas y están directamente considerados en el procedimiento de diseño.

Al comportamiento funcional de un pavimento le concierne cuán bien le sirve el pavimento al usuario de la carretera. Note que se asume una geometría adecuada para la velocidad de diseño. El confort o la calidad de la transitabilidad es la característica dominante del comportamiento funcional.

En pavimentos asfálticos, los principales deterioros se asocian a fenómenos deagrietamiento y deformación permanente.

El agrietamiento puede tener a su vez distintos orígenes, el más considerado es el generado por la aplicación de cargas repetidas que induce la fatiga del material, donde la carga repetida la puede inducir el tránsito vehicular (propagación ascendente), o los ciclos de temperatura existente en el sitio (propagación descendente).

5.1 LOS MODELOS DE DETERIORO Y EL MÉTODO MEPDG

La metodología de diseño de pavimentos empírico – mecanístico a diferencia de los métodos anteriores de diseño propone el análisis deformacional como instrumento de diseño de la estructura de pavimento. El objetivo principal del análisis es el control de las deflexiones y los esfuerzos de tracción, asociados al agrietamiento de la carpeta asfáltica. El análisis deformacional demuestra la desventaja de utilizar métodos como AASHTO 1993 y el método del instituto del Asfalto, los cuales no consideran adecuadamente la influencia de la estratigrafía del terreno de fundación y proponen la convertibidad del espesor de la capa asfáltica a espesores de bases granulares, sin considerar los módulos elásticos o rigidez de ambos materiales y la variación en la distribución de esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimento.

La aplicación del análisis deformación en el diseño de pavimentos flexibles tiene por objetivo controlar las deformaciones en la estructura de pavimento, incluyendo el terreno de fundación. La magnitud de las deformaciones que se presentan en la estructura de pavimento debido a las cargas móviles está asociada con la duración del pavimento.

El análisis deformacional constituye en la actualidad una herramienta de análisis que permite considerar:

- El tipo de superficie de rodadura o carpeta asfáltica a través del módulo dinámico, la herramienta MEPDG considera las variaciones horarias y estacionarias y la velocidad del tránsito, en función de la categoría de la vía.
- El tipo de base y Subbase granular, base y Subbase estabilizada asfáltica y/ o tratada con cemento, permite también determinar de manera directa el espesor del material estabilizado necesario para el diseño.

- La estratigrafía del terreno e fundación, la capa compactada y los estratos del terreno natural, así como la presencia de basamento rocoso.
- La distribución de los esfuerzos verticales de compresión en la subrasante y el terreno de fundación.
- La distribución de esfuerzos horizontales y esfuerzos de tracción en las capas superficiales del pavimento. Esto permite que la superficie de rodadura o carpeta asfáltica sea sometida a esfuerzos de tracción que genera el agrietamiento prematuro.

En el presente trabajo vamos a revisar las cartas de diseño compuestas por carpetas asfáltica y bases tratadas con cemento, En la figura que observamos a continuación se esquematiza los esfuerzos a los que se ve sometida la estructura, los cuales son esfuerzos de compresión en la carpeta asfáltica y los esfuerzos de tracción que son absorbidos por la base estabilizada.

La importancia de conocer el modelo de deterioro, el análisis de deformaciones en los pavimentos asfalticos, cualquiera que sea la categoría, es de gran importancia debido que permite evaluar el criterio de diseño aplicado, el tipo de diseño considerado y la influencia de las condiciones de cimentación

La metodología permite considerar las variables que influyen en la vida del pavimento, como la temperatura, velocidad de tránsito, estratigrafía, influencia de los espesores de las capas estabilizadas o tratadas todas estas variables es muy complicado tratarlas con otros métodos debido a las limitantes que contienen.

Los tipos de daño que afectan de manera considerable son:

5.1.1 Daño por fatiga.[12] Ocurre por acción reiterada de un esfuerzo, que aplicado una sola vez no producirá ningún problema. El agrietamiento inicia en el fondo de la carpeta asfáltica en las huellas y se propaga eventualmente a la superficie, apareciendo como una serie de grietas interconectadas que se asemejan a la piel de cocodrilo, es un deterioro relacionado mayormente con las cargas. El agrietamiento excesivo conduce a la formación de baches.

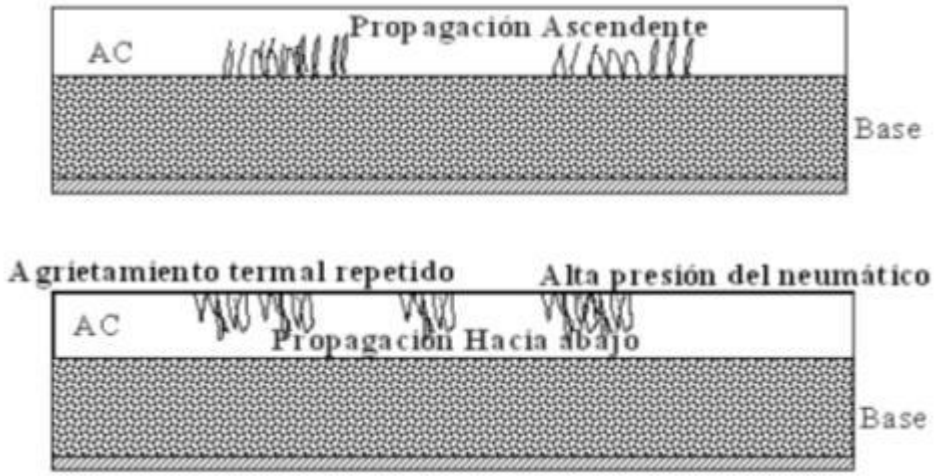
[12]Garnica Anguas PAUL, Correa ANGEL. Conceptos Mecanicistas en Pavimentos, Instituto Mexicano de Transporte. Querétaro México 2004

La guía predice dos tipos de agrietamientos relacionados con la Carga, que son el agrietamiento longitudinal, y el agrietamiento transversal o piel de cocodrilo, se asume que el agrietamiento transversal inicia en la parte inferior de la carpeta asfáltica y se propaga hacia la superficie por acción directa del tránsito pesado. El agrietamiento longitudinal se inicia en la superficie, la guía predice el número de aplicaciones permitidas para ambos tipos de agrietamiento y luego calcula un daño incremental a lo largo del tiempo para cada nivel y tipo de carga.

En resumen: El daño por fatiga se puede manifestar como:

- Agrietamiento Longitudinal; este se inicia en la superficie y es indicativo de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura que han superado la resistencia del material afectado.[13]
- Agrietamiento transversal (Piel de Cocodrilo): Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. En este caso la falla se inicia en el fondo de la capa donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas y se propagan a la superficie inicialmente como una o más fisuras longitudinales paralelas y ante la repetición de las cargas las fisuras se propagan formando piezas angulares que desarrollan un modelo similar al de la piel de cocodrilo.[14]

Figura 7. Tipos de daños por fatiga



[13]Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles INVIAS
[14] Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles.

En primer caso aquel que se inicia en el fondo de la carpeta y se propaga hacia la superficie, generalmente daño por agrietamiento transversal y en segundo caso la fisuración que se inicia en la carpeta y se transmite hacia abajo daño típico de agrietamiento longitudinal o agrietamientos producidos por cambios térmicos.

Figura 8. Daños típicos causados por fatiga,

En la figura izquierda agrietamiento longitudinal y en la derecha agrietamiento transversal, aunque se observa que en esta ultima ya se generalizo este daño y se presenta piel de cocodrilo.

El parámetro de respuesta estructural primario que gobierna el agrietamiento por fatiga es la deformación por tensión en el fondo de la carpeta asfáltica, la magnitud de la deformación gobierna el número de aplicaciones que en el pavimento puede soportar antes de la falla. La magnitud de la deformación gobierna el número de aplicaciones que el pavimento puede soportar antes de la falla, por tanto este mecanismo tiene que ver con el número de repeticiones de carga permisibles antes de que falle la estructura.

La predicción del daño por fatiga normalmente está basada en el concepto de daño acumulativo, el daño se calcula con una relación entre el número de repeticiones de tráfico y el numero de cargas repetitivas, teóricamente la falla por fatiga ocurre por acumulación de daño, en una distribución normal se asume una relación de daño acumulativa, el porcentaje de área fallada puede calcularse y chequearse con el comportamiento en campo.

La vida útil del concreto asfaltico está influenciada por muchos factores, entre ellas las propiedades del asfalto, el contenido de aire en la mezcla, la temperatura, la frecuencia y los periodos de aplicación de carga, estos factores son conocidos que influencian la vida útil del pavimento.

En la literatura es común usar el modelo para predecir el número de repeticiones de carga que causan falla por fatiga en función de las cargas, de la mezcla del modulo stiffness del asfalto.

$$D = \sum_{i=1}^{T} \frac{n_i}{N_i}$$

D= Daño

ni: trafico actual para el periodo i

T número total de años o tiempo considerado para el periodo

Ni: Numero de repeticiones de fallas en las condiciones prevalecientes del periodo i

Ecuación de Wiitzac y Shook (Ajustada en el Instituto del Asfalto)

$$N_f = Ck_1 \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{k_2} \left(\frac{1}{E}\right)^{k_3}$$

Nf: Numero de repeticiones para falla por fatiga

Єt: esfuerzo de tensión en el lugar de falla.

E= espesor del material

K1, k2, k3: Coeficientes de regresión obtenidos en laboratorio.

C. factor de ajuste de campo obtenido en laboratorio

Queda de la siguiente manera:

$$N_f = 0.004320 \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3.291} \left(\frac{1}{E}\right)^{0.854}$$

$$C = 10^{M}$$

$$M = 4.84 \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0.69\right)$$

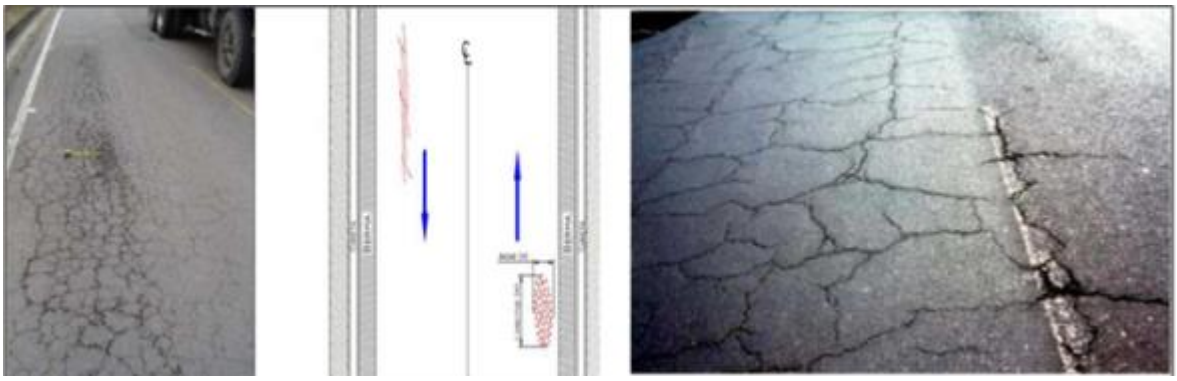
where:

V_b = effective binder content (%)

V_a = air voids (%)

Superficie Afectada por Piel de Cocodrilo

Figura 9. Daño por fatiga, piel de cocodrilo



Ecuación de Fatiga por piel de cocodrilo

$$FC = \left(\frac{C_4}{1 + e^{C_1 + C_2 \cdot \log Daño}} \right) \cdot \frac{1}{60}$$

Dónde:

FC= área con piel de cocodrilo (%)

C1= 1

C2= 1

C1'= -2 C2'

C2'= -2,40874-39,748 (1+hac)-2,856

C4= 6000

hac= espesor de capa asfáltica

Daño= daño por fatiga

5.1.2 Falla por deformaciones acumulativas. La deformación permanente es uno de los factores más importantes asociado a las cargas y a los esfuerzos que ocurren en los sistemas de pavimentos flexibles, está asociado con el rutting y el ahuellamiento, que se desarrollan gradualmente con el número de repeticiones acumulables, la variación longitudinal de la rugosidad y del ahuellamiento, la rugosidad afecta la serviciabilidad, se mide con el IRI, la rugosidad normalmente aparece como

depresiones longitudinales, en los que el ahuellamiento se acompaña de pequeños agujeros a los lados.

En general los diseños de ingeniería están consientes con la deformación total de la estructura de pavimento la cual es afectada con cambios en la superficie lateral y longitudinal, el mayor problema con este campo está asociado con la consolidación diferencial de los niveles superficiales, en los perfiles transversales, la rugosidad y el ahuellamiento puede modificar las condiciones del drenaje, las características y al capacidad, el agua se puede acumular en las líneas de trafico apareciendo condiciones de hidroplaneo para los vehículos, anchos de calzada reducida, y condiciones inseguras de transito, en el perfil longitudinal, la deformación diferencial permanente puede deberse a la variabilidad de los materiales incrementandoel ahuellamiento y reduciendo la serviciabilidad de la vía

Figura 10. Daño por ahuellamiento, roderas

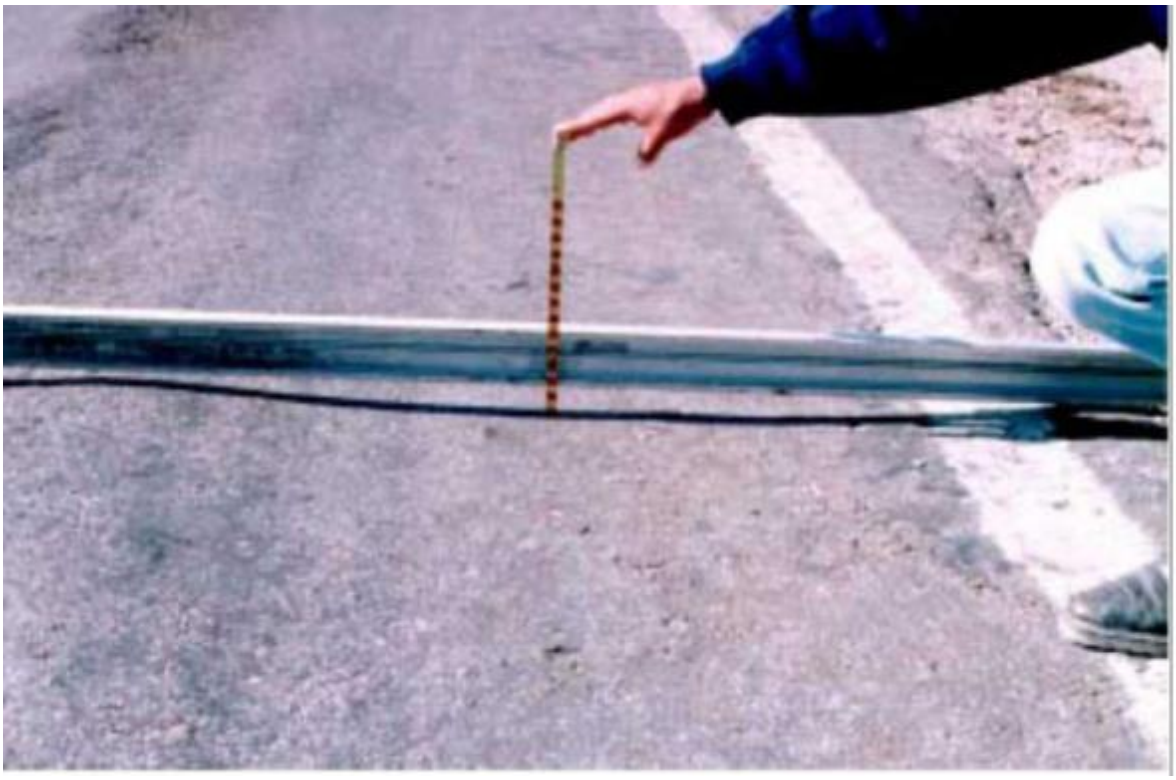
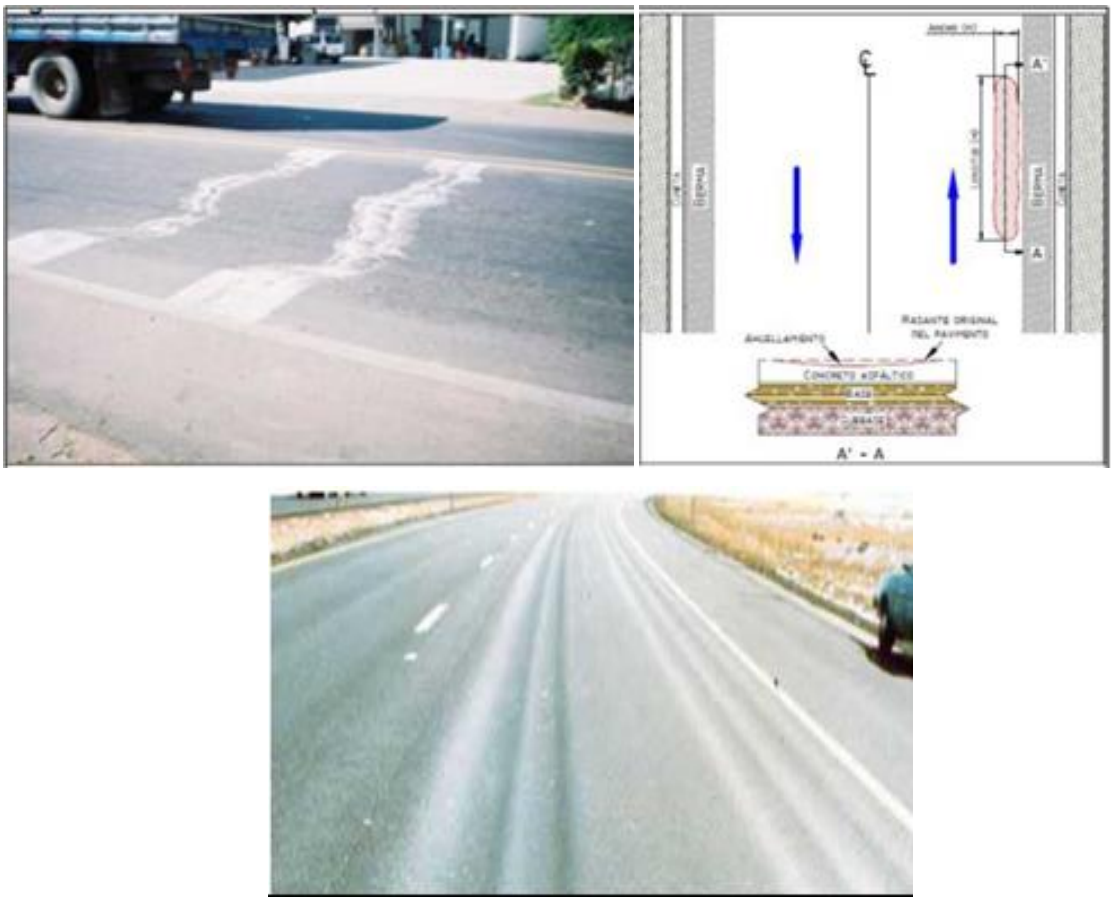


Figura 11. Detalle de la profundidad de un ahuellamiento.



En la figura 11 se observa la falla por ahuellamiento el ahuellamiento lleva a la pérdida de serviciabilidad y a condiciones de hidroplaneo de vehículos por almacenamiento de agua en la falla. [15]El ahuellamiento ocurre principalmente debido a la deformación permanente de alguna de las capas de pavimento o subrasante, generada por deformación plástica del concreto asfáltico, esta deformación tiende a aumentar en climas cálidos y puede darse de igual manera por compactación inadecuada de las capas durante la construcción.

Esta deformación se recupera parcialmente cuando la llanta deja de oprimir pero tal recuperación nunca es total, siempre queda un remanente que conduce a una deformación permanente y por lo tanto aumenta el costo de operación y aumenta la ruptura y agrietamiento

[15]Manual de inspección visual de pavimentos flexibles.

La guía de diseño analiza este modelo como un daño incremental, el daño por rutting es estimado cada intervalo y se mide cada capa con elsistema de pavimento, para estimar la deformación permanente y la deformación de cada capa el sistema verifica la capa y aplica el modelo correspondiente dependiendo del material de la subcapa, y se computa el esfuerzo plástico acumulado en cada intervalo, En genera e la deformación permanente se suma por intervalos en se expresan como:

Ecuación para ahuellamiento

$$PD = \sum_{i=1}^{nsublayers} \varepsilon_p^i h^i$$

Donde:

PD: Deformación permanente del pavimento

N sublayer: numero de capas

Єp: Esfuerzo plástico total en la sub capa i

H: espesor de la subcapa i

Las funciones de transferencia usadas en el Diseño se desarrollan relacionando una función de progresión de deterioro

Los modelos de deformación permanente usados para predecir la rugosidad en cada capa esta basado en conceptos similares. La aproximación de esfuerzos de compresión elástica vertical.

La deformación permanente en las mezclas de asfalto es uno de los tipos de esfuerzos más importantes en los sistemas de pavimento flexibles, los esfuerzos mayores que están sobre la vía están las características de los materiales, el asfalto es considerado como uno de los aspectos de diseño estructural en el comportamiento del pavimento

En la guía se provee de usar con la predicción del ahuellamiento con base en las características de los materiales

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r} = aT^b N^c$$

Donde

Єp: Esfuerzos plásticos acumulados con las N repeticiones de carga.

Єt: Esfuerzo resiliente en el material asfaltico en función de las propiedades de la mezcla, la temperatura y el tiempo de aplicación de las cargas.

N: Numero de repeticiones de carga

T: Temperatura del pavimento

a, b, c : Coeficientes de regresión no lineales.

Ahuellamiento

$$\left(\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r}\right) = \beta_{r1}\, 10^{-3.4488} \cdot T^{1.5606\beta_{r2}} \cdot N^{0.479\beta_{r3}}$$

Dónde:

εp= deformación específica plástica

εr= deformación específica resiliente

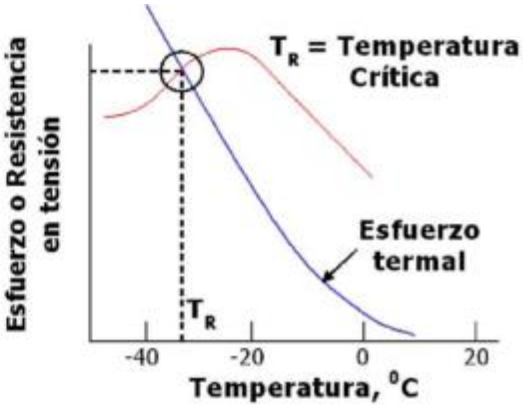
T= temperatura de la capa (ºF)

N= número de repeticiones de cargas

βr1, βr2, βr3 = factores de calibración, iguales a 1 en principio.

5.1.3 Falla por Fisuración Térmica

Figura 12. Detalle de falla por fisuración térmica y del momento en que se inicia por incremento en el esfuerzo a tensión



Ecuación por fisuración térmica

$$C_f = \beta_1 * N\left(\frac{\log C / h_{ac}}{\sigma}\right)$$

Dónde:

Cf= cantidad observada de Fisuración térmica (pies/500 pies).

β: Coeficiente de regresión determinado con medidas en campo.

N ()= distribución normal estándar evaluada en ().

σ= desvío estándar del logaritmo de la profundidad de fisuras del pavimento.

C= profundidad de fisura.

hac= espesor de capa asfáltica

La ecuación queda de la siguiente manera:

5.1.4 Falla por rugosidad

IRI= IRI0 + ΔIRID+ ΔIRISF

Donde:

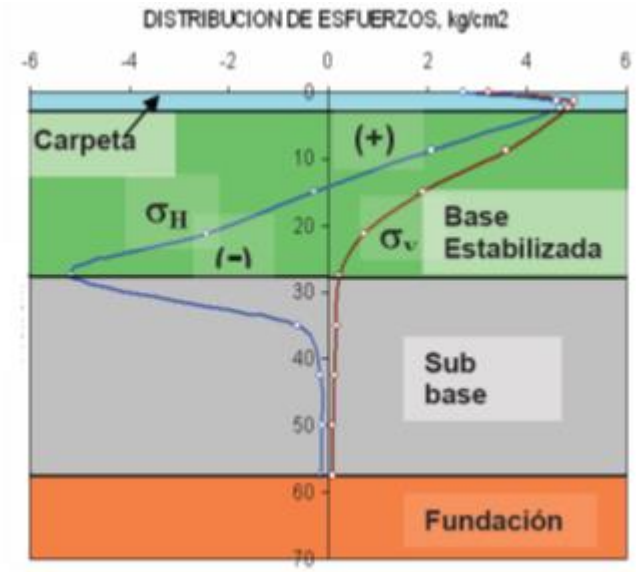
IRI0 = IRI inicia

ΔIRID= variación de IRI debido al incremento de deterioros ofallas en el pavimento

ΔIRISF= variación en IRI debido a factores del lugar(Hinchamiento de subrasante por helada y/o presencia desubrasante expansiva)

5.2 Respuestas estructurales

Figura 13. Distribución de esfuerzos en pavimentos con base estabilizada.



Para el cálculo de las respuestas estructurales (esfuerzos, deformaciones y deflexiones) en la sección estructural de un pavimento flexible, se considera una serie de puntos críticos a fin de calcular los valores más desfavorables. La práctica más común consiste en fijar un punto para estimar el agrietamiento por fatiga de la mezcla asfáltica en el contacto con la capa de base, y otro punto crítico para el cálculo de deformaciones permanentes situado en la parte superior de la subrasante

El cálculo se realiza a través de la teoría de Burmister para medios elásticos estratificados, en donde el material se caracteriza por su módulo de elasticidad y por la relación de Poisson. Para la mezcla asfáltica, el módulo que se debe emplear es el dinámico, y para suelos y materiales granulares, el módulo resiliente.

En las metodologías mecanicistas que se están describiendo, el aspecto último que tenemos que cumplir es el nivel de funcionalidad del pavimento, medido en términos de la regularidad de la superficie por medio del Índice de Regularidad Internacional, IRI, (ASTM E1926). Todos los deterioros mencionados anteriormente se traducen en afectaciones a los valores de IRI en la superficie del pavimento.

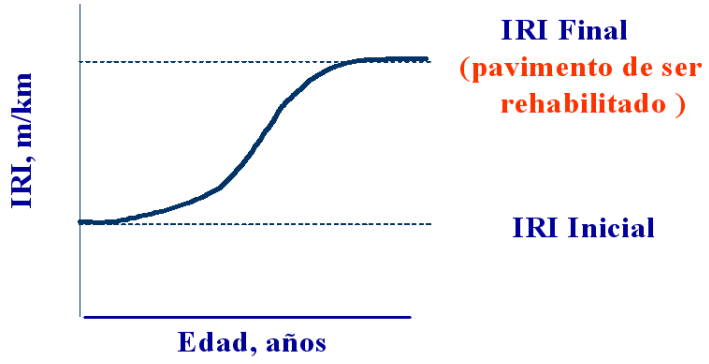
5.2.1 Análisis mecanicista de pavimentos. Generalmente los modelos de análisis o de respuesta estructural de un pavimento por el método mecanicista se basan en las variaciones del IRI (índice de rugosidad internacional)

La forma del modelo de regularidad es la que se ilustra en la figura, en dondese aprecia la evolución en el tipo de los valores de IRI en un pavimento, el valormáximo permitido se fija de acuerdo con la práctica del responsable de la gestiónde la conservación de la red carretera, de que se trate

Usualmente se considera que el IRI aumenta gradualmente a partir de cierto valorinicial IRIo, y se va incrementando en parte debido los deterioros superficiales Dj;también en parte existen reducciones por actividades de mantenimiento Mj ytambién contribuye a los valores de IRI una serie de factores relacionados con elsitio FSj, como pueden ser la presencia de depósitos de suelos expansivos, o Susceptibles a las heladas.

Matemáticamente esto se escribe: IRI t IRI a D t b M c FS

Figura 14. Propagación del IRI en el tiempo



El modelo de respuesta estructural para una aplicación particular debe desarrollarse para cada región puesto que es un modelo único para cada región.

5.2.2 Modelos de regularidad superficial. Como ya se ha mencionado en este documento todos los deterioros en la estructura de pavimento que se presenten se van a reflejar en la medida de la regularidad superficial, medida a través del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Así pues, el nivel de IRI inicial será un factor esencial, ya que mientras mejor condición inicial se tenga, el desempeño posterior se verá beneficiado durante la vida de proyecto.

Para establecer el modelo de regularidad se considera que el cambio de IRI en el tiempo se deberá a una serie de factores distintos. Se dice entonces, que una parte del cambio esperado en el IRI inicial resultará de los deterioros superficiales

5.2.3 Calibración de los Modelos de Deterioro para observar las Respuestas Estructurales

5.2.3.1 Calibración del Modelo de falla por fatiga. Los modelos de fatiga para las mezclas de concreto asfaltico (considerando el agrietamiento tanto de abajo hacia arriba como de arriba hacia abajo) pueden ser calibrados siguiendo el siguiente proceso.

1. Calibración (desempeño) de los datos obtenidos con la base de datos LTPP para cada sección de campo.

2. Simulación (predicción) de las vías usando el software DG 2002, para diferentes coeficientes de calibración y para diferentes modelos de repeticiones de carga

3. La predicción del daño con cada combinación de coeficientes de calibración fue comparado con las medidas de agrietamiento observadas en campo. Se selecciono la combinación de coeficientes de acuerdo con los datos que presentaran menor dispersión

4. La predicción del daño fue correlacionada con la medida del agrietamiento tomada en campo pero normalizados los errores con la ecuación de mínimos cuadrados

La calibración de los datos recogidos se realizó al tiempo para ambos tipos de fatiga por agrietamiento por los dos tipos de falla las que inician de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba

5.2.3.2 Calibración de Modelos de Deformación permanente. Los modelos de deformación permanente pueden ser calibrados así:

- Calibración con los datos colectados con la base de datos LTPP
- Se corre el modelo con usando el software DG 2002 y usando diferentes coeficientes de calibración
- La mejor combinación de coeficientes se selecciono basados en resultados razonables
- Se ajustan las funciones donde se adopta condiciones para corregir la presión de confinamiento a diferentes profundidades de la capa de asfalto.
- El daño predicho se correlaciona con la medida del ahuellamiento medida en campo pero minimizando el error por la ecuación de mínimos cuadrados.

5.2.3.3 Procedimiento para la Predicción de la Deformación permanente. El análisis de esta predicción es un proceso complicado que se realiza a través del software, el diseño empieza con el ingreso datos usando las ventadas creadas, luego se corre el análisis y finalmente se presentan unos datos en una hoja de cálculo. El procedimiento necesita predecir permanentemente una deformación en el pavimento flexible requiere los siguientes datos:

- Datos de entrada tabulados: se requieren necesariamente todos los datos organizados

- Datos del Procesados de trafico: Los datos de tráfico procesados se necesitan después para determinar el número de ejes equivalentes, simples, tándem y tridem en cada eje producidos por el paso de los ejes tándem, tridem y cuatridem.
- Subcapas de la estructura de pavimento: La estructura de pavimento se subdivide en pequeñas subcapas para tener en cuenta los cambios de temperatura y los cambios en la frecuencia en las capas así como los cambios en el contenido de humedad bajo las capas compactadas.
- Procesamiento de datos de temperatura del perfil del pavimento: La temperatura horaria del perfil de pavimento se generan usando el EICM (descrito anteriormente en este documento) se requiere convertir en una distribución de datos temperatura por mes calendario para cada profundidad vertical usando análisis computacional.

SEGUNDA PARTE – APLICACIÓN DEL SOFTWARE MEPDG EN LA EVALUACION DEL DETERIORO DE LAS CARTAS DE DISEÑO INVIAS PARA PAVIMENTOS CON BASE TRATADA CON CEMENTO

6. DATOS DE ENTRADA – TRANSITO

Con el fin de modelar las cartas de INVIAS en el Aplicativo MEPDG se debe realizar una adaptación de nuestros parámetros, datos y características a la filosofía.

En el desarrollo del presente trabajo aplicativo se han trabajado paralelamente con dos proyectos más cuya diferencia esencial es el tipo de material, es así como el Ing Julián Leonardo Pedreros está trabajando con Pavimento Flexible y con bases y subbases granulares y este proyecto se adelanta con base tratada con cemento, el Ing Juan Manuel Rodríguez adelanta una simulación paralela para pavimento rígido para los tres proyectos se toman parámetros similares que a continuación se relacionan, dada la complejidad y la extensión de los mismos se desarrollaron conjuntamente las simulaciones para Clima y Materiales.

6.1 NOMBRE DEL PROYECTO

Para facilitar el modelamiento, el nombre se escogió tomando como referencia la región, el tipo de suelo y el nivel freático es así como se designa de la siguiente forma:

$$\mathbf{R}_{(1\text{-}6)} - \mathbf{S}_{(1\text{-}5)} - \mathbf{T}_{(1\text{-}9)}$$

R $_{(1\text{-}6)}$: Corresponde al tipo de región (según las condiciones climáticas) la cual se encuentra la estructura de acuerdo con el catálogo, la distribución del clima fue hecha en seis regiones de las cuales se tomaron cuatro para modelar.

S $_{(1\text{-})}$: Corresponde a las características de los suelos (según su resistencia) en donde se encuentra la estructura de acuerdo con el catálogo. La cual tiene cinco (5) alternativas

$T_{(1-9)}$: Corresponde al nivel de tránsito (según la proyección del numero de ejes equivalentes para el periodo de diseño) en la cual se encuentra la estructura a evaluar de acuerdo al catálogo. Son nueve (9) niveles.

6.2 PERIODO DE DISEÑO

Se toma de acuerdo al Manual del INVIAS su duración depende de la categoría de la vía.

Tabla 2. Categoría de la Vía y Clasificación del TPDA

	Categoría de la Vía		
Categoría de la Vía	Tipo de vía	Importancia	TPDA
I	Autopista Interurbanas, caminos, interurbanos principales.	Muy Importante	>5000
II	Colectoras interurbanas, caminos rurales e industriales principales	Importante	1000 - 10000
III	Caminos rurales con tránsito mediano, caminos estratégicos	Poco Importante	<1000
Especial	Pavimentos especiales e innovadores	Importante a poco Importante	<10000

En la siguiente grafica de dan a conocer los periodos de diseño para los diferentes niveles de tráfico y categorías de vía.

Tabla 3. Periodos de diseño estructural recomendados

Periodos de diseño (PDE), en años				
Tráfico	Rango	TPDA	Categoría de vía	PDE
T1	0.5-1.0x10*6	<1000	III	10
T2	1.0-2.0x10^6	<1000	III	10
T3	2.0-4.0x10^6	1000-5000	II	15
T4	4.0-6.0x10^6	1000-5000	II	15
T5	6.0-10.0x10^6	1000-5000	II	15
T6	10.0-15.0x10^6	1000-5000	II	15
T7	15.0-20.0x10^6	1000-5000	II	15
T8	20.0-30.0x10^6	>5000	I	20
T9	30.0-40.0x10^6	>5000	I	20

6.3 MES DE CONSTRUCCIÓN PARA SUBRASANTE Y CAPAS GRANULARES

Para la entrada de datos se toma constante para todas las estructuras que se evalúan, y corresponde al mes de Septiembre del año 2012.

6.4 MES DE CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO

Este dato de entrada se toma constante para todas las estructuras que se evalúan, y corresponde al mes de Octubre del año 2012.

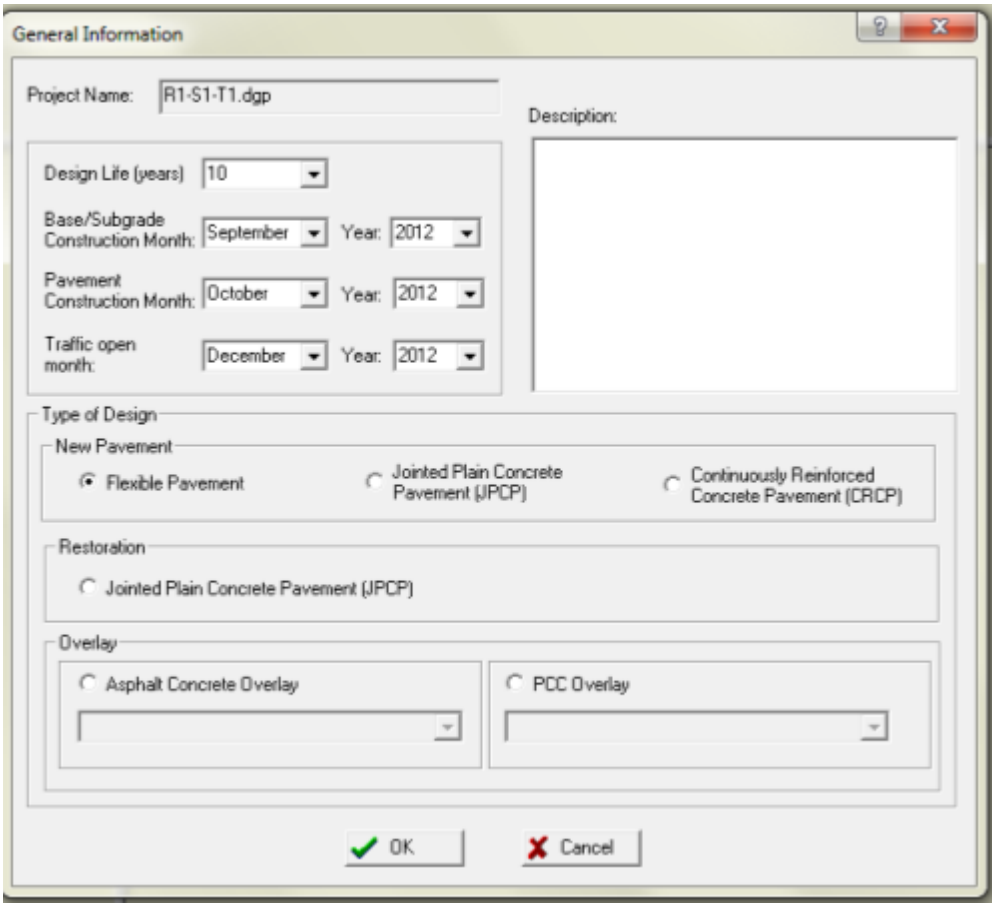
6.5 MES EN QUE SE ABRE AL TRÁFICO

Este dato de entrada se toma constante para todas las estructuras que se evalúan, y corresponde al mes de Diciembre del año 2012.

6.6 TIPO DE DISEÑO

Las estructuras objeto de estudio (pavimentos bituminosos con capas de base granular) y propuestas en el catálogo del INVIAS, se evalúan como pavimentos nuevos de tipo flexible.

Figura 15. Ejemplo de entrada de datos para el Software DG 2002



6.7 IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR DEL PROYECTO

6.7.1 Localización: En el presente manual se busca caracterizar unas estructuras aplicables a diferentes regiones del territorio nacional de acuerdo a las características climáticas, la localización que se define para cada alternativa a evaluar corresponde a la región a la cual se le aplicar. En este

documento se realizaron distribuciones para seis tipos de clima, dada la extensión de los modelos se hicieron sobre cuatro de ellos.

6.7.2 Identificación del Proyecto: En esta entrada se describe el objeto del presente documento. Este dato es constante para todas las alternativas que se evalúan.

6.7.3 Identificación de la sección: Se coloca el nombre asignado al proyecto de acuerdo a la región, el tipo de suelo y el nivel de tránsito en el que se encuentra la estructura a evaluar.

6.7.4 Fecha: Corresponde a la fecha de elaboración del diseño. Para este caso se supone una fecha tentativa la cual es constante para todas las alternativas a evaluar. Dicha fecha corresponde al 13/05/2012.

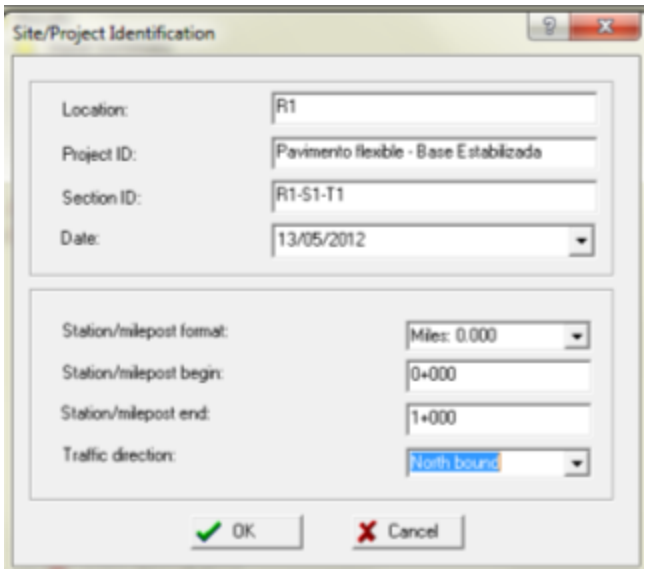
6.7.5 Formato de abscisado: Se escoge como unidad “millas” para todos los casos.

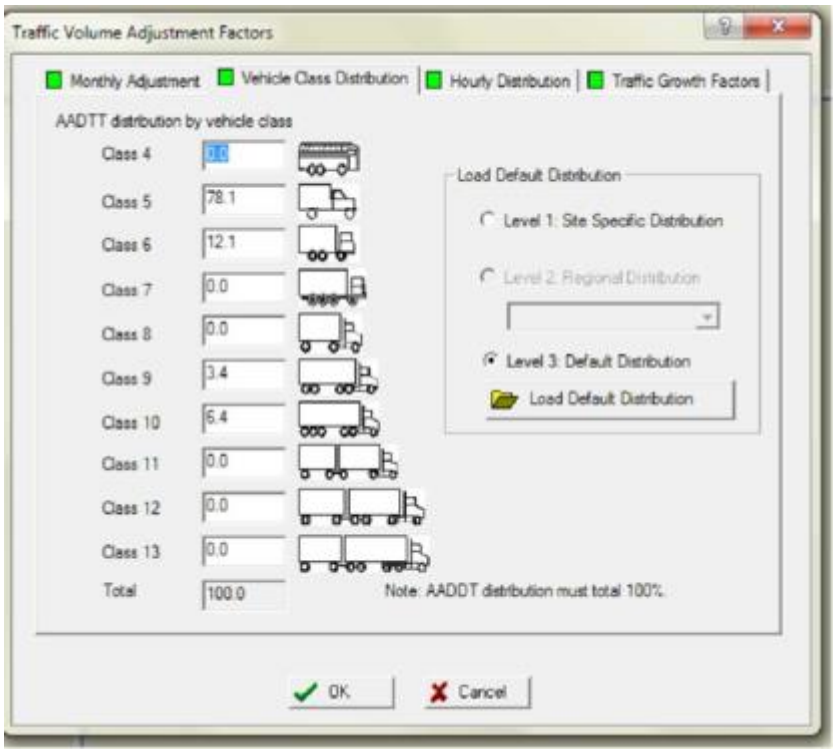
6.7.6 Inicio de abscisado: Se escoge como inicio del proyecto la abscisa 0+000 como valor constante para todas las alternativas a evaluar.

6.7.7 Fin de abscisado: Se escoge como final del proyecto la abscisa 1+000 como valor constante para todas las alternativas a evaluar.

6.7.8 Dirección del tráfico: Se toma como valor constante para todas las alternativas a evaluar la dirección Norte.

Figura 16. Entrada de datos de tráfico típica de una estructura a analizar.





7. PARAMETROS DE ANALISIS

El parámetro más importante es el IRI, sobre este se basan los modelos de deterioro

7.1 IRI INICIAL (in/mil)

Se toma como parámetro de referencia el artículo 440-07 de las especificaciones INVIAS en este se establecen los valores de IRI que aceptan o rechazan un pavimento recién construido.

Los valores limites para el IRI se establecen en la tabla que ser relaciona a continuación, estos valores se toman de acuerdo con una proyección de transito dada para un periodo de diseño y los valores limites no deben superar los siguientes:

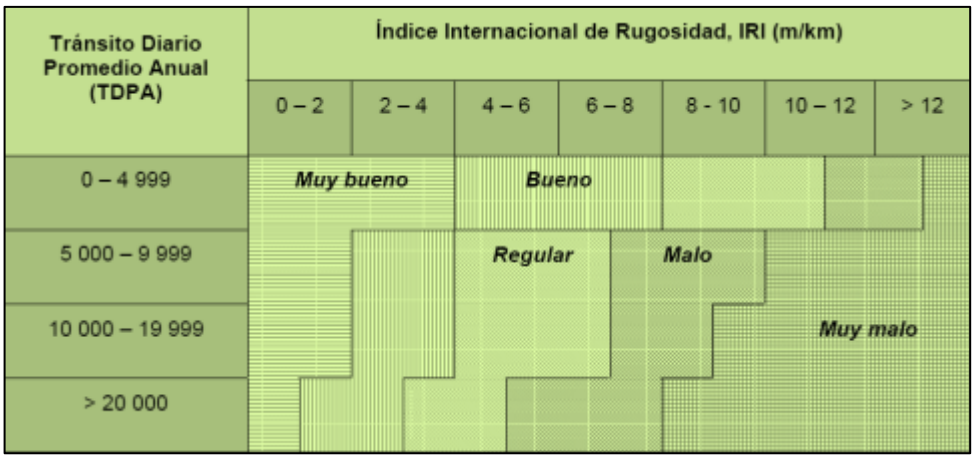
Tabla 4. Valores máximos de IRI admisibles iniciales

Valores máximos de IRI inicial admisibles			
Tráfico	Rango (e.eq. 8.2 ton.)	IRI (m/km)	IRI (in/mil)
N.A	0.5X10^6	3.5	222.0
T1-T4	0.5 -5.0X10^6	3.0	190.0
T4- T9	5.0X10^6	2.5	158.0

7.2 IRI FINAL (in/mil)

El IRI finalse define como la suavidad admisible del pavimento al final de su vida útil, este parámetro ha sido involucrado recientemente promovido especialmente por el Banco Mundial, entidad que siempre ha utilizado este parámetro en la evaluación de la regularidad superficial, se correlaciona con el TPDA y con los rangos de IRI admisibles, en nuestro medio es un parámetro de difícil alcance dadas las condiciones y los métodos constructivos que se utilizan.

Figura 17. propuesta del Banco mundial para la evaluación del IRI



Para este documento se toma la propuesta del Banco Mundial, se propone como IRI final para las estructuras a evaluar el valor en el cual las características de suavidad del pavimento pasan de Bueno a Regular.

Tabla 5 – Valores máximos de IRI final admisibles

Valores máximos de IRI final admisibles			
Tráfico	TPDA	IRI (m/km)	IRI (in/mil)
T1 – T7	0 -4999	8.0	507.0
T7 –T9	≥5000	5.0	317.0

7.3 AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL POR FATIGA DE ARRIBA HACIA ABAJO

De acuerdo con la guía de diseño se propone valores por defecto de 1000 ft/mil (190 m/km), este valor aplica para las altas especificaciones y la tecnología de construcción de Estados Unidos, pero no es tan aplicable en nuestro medio.

Una entidad que ha realizado publicaciones en nuestro medio es el Consejo de Directores de Carreteras para Iberia e Iberoamérica, en el catálogo de 2002, que se menciona, se propone una

evaluación para diferentes modelos de deterioro dependiendo de la celeridad y establece los siguientes parámetros para agrietamientos longitudinales:

Tabla 6. Parámetros de Evaluación por agrietamiento Longitudinal

Evaluación Agrietamiento Longitudinal		
Medición	Descripción	Rango
Longitud de las grietas en tramos de 100m, respecto a la longitud del tramo	Ligero	<20%
	Medio	20% - 100%
	Fuerte	100%

Para las alternativas a evaluar se toma como criterio de desempeño un valor de 35% para condiciones de afectación media. Este valor corresponde a un agrietamiento longitudinal de 350 m/km, es decir a 1848 (ft/mil).

7.4 AGRIETAMIENTO POR FATIGA DE ABAJO HACIA ARRIBA (PIEL DE COCODRILO)

El criterio de desempeño establecido para este tipo de deterioro se define como el área máxima afectada por piel de cocodrilo (en %) respecto al área total analizada del carril de diseño que tenga lugar durante el periodo de diseño. Los valores típicos establecidos son del orden de 25 a 50 % del área total del carril. El catálogo de deterioros propone la siguiente evaluación.

Tabla 7. Parámetros de Evaluación por agrietamiento tipo piel de cocodrilo

Evaluación Agrietamiento piel de cocodrilo		
Medición	Descripción	Rango
Proporción de área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m	Ligero	<10%
	Medio	10% - 50%
	Fuerte	>50%

Para los análisis, se toma como criterio de desempeño un porcentaje del 40% establecido para condiciones de afectación media.

7.5 FISURACIÓN TÉRMICA

El criterio de desempeño establecido para este tipo de deterioro se define como la longitud máxima de agrietamiento (en metros o pies) por cada tramo (en km o millas) de pavimento analizado que tenga lugar durante el periodo de diseño. Los valores típicos admisibles de fisuración térmica son del orden de 1000 (ft/mil), valor que trae por defecto la Guía. El catálogo de deterioros propone la tabla.

Tabla 8 Parámetros de Evaluación por fisuración térmica

Evaluación fisuración térmica		
Medición	Descripción	Rango
Numero de grietas por lo tramo de 100 m	Ligero	<2 grietas
	Medio	2 -15 grietas
	Fuerte	>50%

Para el presente documento se toma como criterio de desempeño un valor de ocho (8) grietas por cada 100 metros, valor comprendido dentro del rango de afectación media. Este valor proporciona una afectación por Fisuración térmica de 1542 (ft/mil), para un ancho del carril de diseño de 3.65 m.

7.6 FATIGA POR FRACTURA DE LAS CAPAS ESTABILIZADAS QUÍMICAMENTE

Se toma como criterio de desempeño para este documento 25% del área total como condición inicial y 90% del área fisurada para rehabilitación.

7.7 DEFORMACIÓN TOTAL PERMANENTE DEL PAVIMENTO (AHUELLAMIENTO)

Profundidades máximas de ahuellamiento de 0.3 a 0.5 pulgadas propone la Guía de Diseño. Sin embargo el catálogo de deterioros propone la evaluación mostrada en la tabla. Se establece como límite admisible de ahuellamiento un valor correspondiente a 1.25 pulgadas (3.175 cm) para la evaluación de las estructuras del catálogo.

Tabla 9. Parámetros de Evaluación por ahuellamiento

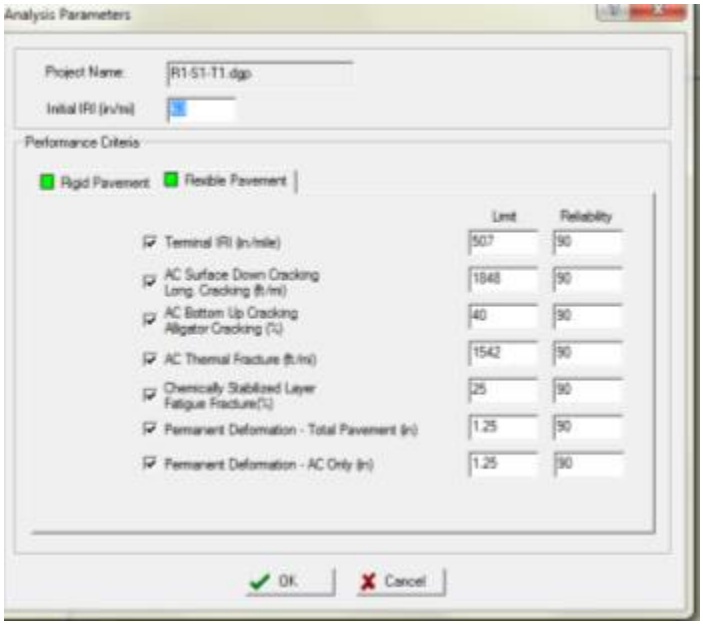
Evaluación ahuellamiento		
Medición	Descripción	Rango
Profundidad máxima del surco, medida a partir de una regla colocada transversalmente cada 100 m. o más.	Ligero	<2 cm
	Medio	2 -4 cm
	Fuerte	>4 cm

7.8 DEFORMACIÓN PERMANENTE – MEZCLA ASFÁLTICA ÚNICAMENTE

La Administración Federal de Carreteras de los estados Unidos (FHWA) clasifica las roderas (ahuellamiento) en cuatro grandes severidades:Hidroplaneo (0.5 a 0.7 cm), Baja (0.7 a 1.25 cm), Media (1.25 a 2.5 cm), Alta (mayores a 2.5 cm).

Se establece como límite admisible de ahuellamiento para la mezcla asfáltica un valor de 0.5 pulgadas (1.27 cm) para la evaluación de las estructuras del catálogo.

Figura 18. Entrada de datos con todos los parámetros de análisis parra un modelo en evaluación.



8. EL TRANSITO

Los manuales de diseños propuestos por INVIAS, dividen el transito en nueve intervalos de cargas tomados como proyección de ejes equivalentes de 8.2 toneladas para un periodo de diseño. En este estudio se tomo una muestra representativa de las estructuras que se evaluaran para realizar su caracterización, como se ha mencionado se escoge para cada tipo de región, subrasante, tres tipos de tránsito con el fin de representar para cada caso la condición menos critica (Transito T2) la condición intermedia (Transito T6) y la condición más desfavorable (Transito T9)

Tabla 10. Clasificación de las estructuras a Evaluar

Estructura del catalogo a evaluaren la Guía 2002			
No. carta	Región climática(R)	Resistencia de subrasante	Niveles de trafico
1	R1	de S1 a S5	T1, T4, T6 Y T9
2	R2	de S1 a S5	T1, T4, T6 Y T9
3	R3	de S1 a S5	T1, T4, T6 Y T9
4	R4	de S1 a S5	T1, T4, T6 Y T9
5	R5	de S1 a S5	T1, T4, T6 Y T9
6	R6	de S1 a S5	T1, T4, T6 Y T9

De acuerdo con la alternativa se determinan las características del tránsito para el año en que el pavimento entra en servicio.

8.1 TRÁFICO PROMEDIO DIARIO DE TRÁFICO PESADO (AADTT)

Se obtuvo este parámetropartiendo del límite superior del rango de ejes equivalentes proyectado para el periodo de diseño, con el fin de evaluar la condición más desfavorable en cada caso. Adicionalmente fue necesario determinar una tasa de crecimiento y una composición vehicular acorde a los estudios de volúmenes de tránsito y espectros de carga realizados a nivel nacional a fin de determinar para cada nivel, el tráfico de camiones que circula para el año inicial.

Tabla 11 AADTT para los niveles de tráfico evaluados

Trafico Promedio diario anual para vehículos pesados (AADTT)					
Niveles de trafico	Ejes 8.2 Ton	PDE	TPDA	% C	AADTT
T1	1.0x 10^6	10	329	35%	115
T4	6.0x10^6	15	1343	30%	403
T6	15.0x10^6	15	3290	30%	987
T9	40.0x10^6	20	25%	25%	1928

8.2 NÚMERO DE CARRILES EN LA DIRECCIÓN DE DISEÑO

En nuestro contexto se observa que solo las autopistas o las vías circunvalares poseen mas de dos carriles en cada sentido, situación que también se presenta en las áreas metropolitanas de las grandes ciudades donde se encuentran TPD mayores a 5000 vehículos, para el análisis general de la red primaria y secundaria, se presentan calzadas con un solo carril en cada sentido, para el presente documento se establecen los siguientes factores de distribución

Tabla 12. Factor de distribución por carril (Fca)

Factor de distribución por carril (Fca)			
Niveles de trafico	TPDA	Número de carriles	Fca
T1	<1000	1	1
T4	1000- 2500	1	1
T6	2500- 5000	1	1
T9	>5000	2	0.9

8.3 PORCENTAJE DE CAMIONES EN LA DIRECCIÓN DE DISEÑO (%)

Generalmente se supone como un 50% del TPD, este parámetro depende del ancho de la calzada se consideran los siguientes factores de distribución direccionales dependiendo del ancho de la vía.

Tabla 13. Factor direccional (Fd)

Ancho de calzada	Transito de diseño	Fd
<5 m	TPD	1
5 m < ancho < 6m	3/4 TPD	0.75
>6 m	1/2 TPD	0.50

El ancho de calzada para nuestro país según las normas establecidas se toma como 7.30 mts, entonces se toma para todos los niveles de transito a evaluar un 50% del AADTT para el carril de diseño.

8.4 PORCENTAJE DE CAMIONES EN EL CARRIL DE DISEÑO (%)

De acuerdo a lo presentado en la tabla de Fca, para los niveles de tráfico T1, T4 y T6 se contempla un 100% del tránsito especificado en la dirección de diseño, para el carril de diseño. Para el nivel T9 se establece un 90 %.

8.5 VELOCIDAD DE OPERACIÓN

Esta se define en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno. con base en estas variables se establece un rango de velocidades de diseño según lo indicado en a figura. A partir de la velocidad de diseño especificada se estima la velocidad de operación de acuerdo a la siguiente tabla en función del volumen de tránsito.

Tabla 14. Velocidades de operación de diseño

Velocidad de diseño (Km/h)	Velocidad de operación por medio (Km/h)		
	Volúmenes bajos	Volúmenes medios	Volúmenes altos
40	38	35	33
50	47	42	40
60	56	52	45
70	63	60	55
80	72	65	60
100	88	75	-
120	105	85	-

Velocidades de operación según velocidades de diseño

Categoría de la carretera	Tipo de terreno	Velocidad de diseño (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Primaria de una calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

8.6 VELOCIDAD DE DISEÑO PARA TRAMOS HOMOGÉNEOS

Se adopta como velocidad de diseño en función de la categoría de la vía y el tipo de terreno un valor de 80 Km/h, dada su aplicabilidad en la topografía y en las categorías de las carreteras (primarias y secundarias) que corresponden a los volúmenes de transito analizados en este estudio. Para esta velocidad de diseño corresponde una velocidad de operación que varía entre 60 y 65 Kph para volúmenes altos y medios de tránsito entonces se elige como parámetro 65 kph (40 mph)

8.7 FACTOR DE AJUSTE MENSUAL

Para el presente documento se establece una distribución mensual del tráfico constante durante el periodo de diseño, suposición que es recomendada por la Guía de Diseño para proyectos de aplicación regional o nacional (nivel 3 de jerarquía).

Tabla 15. Factor de ajuste mensual constante

Mes	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clase 12	Clase 13
Enero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Febrero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Marzo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Abril	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mayo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Junio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Julio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Agosto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Septiembre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Octubre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Noviembre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Diciembre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

8.8 DISTRIBUCIÓN VEHICULAR POR CLASE DE VEHÍCULO

Se determinó una composición vehicular que garantice el cumplimiento de los espectros de carga establecidos para el país tomando como base los camiones de mayor circulación en nuestras carreteras.

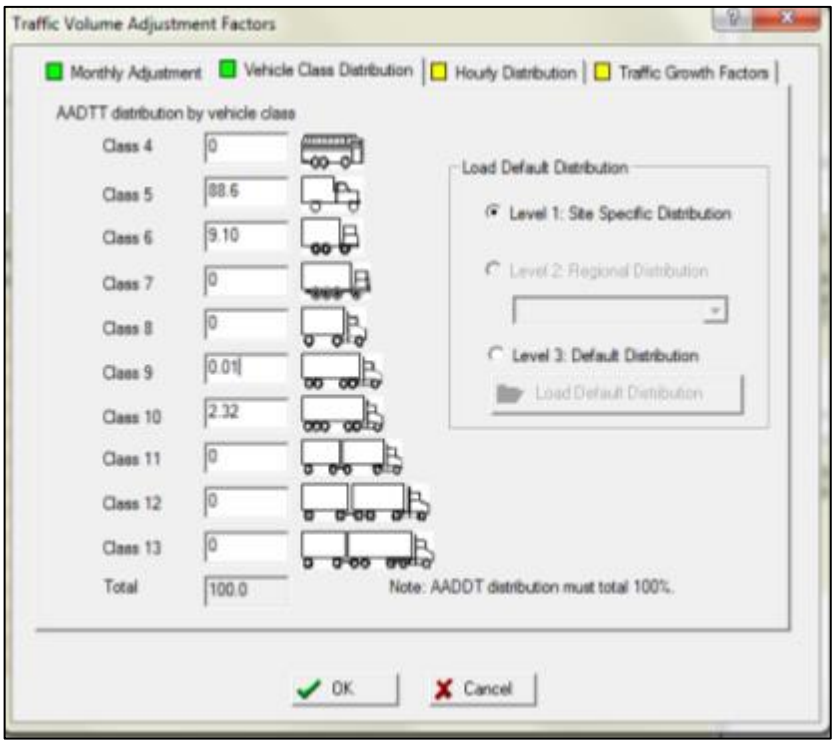
Tabla 16 Composición Vehicular

Composición vehicular								
Nivel de tráfico	TPDA	% A	% B	% C	% por tipo de Camión			
					C2g	C3	C3S2	C2S3
T1	< 500	55	10	35	88.6	9.10	0.01	2.32
T4	1000-2500	60	10	30	79.60	11.28	2.45	6.67
T6	2500-5000	60	10	30	76.00	12.20	4.20	7.60
T9	> 5000	65	10	25	78.2	12.1	3.40	6.40

8.9 COMPOSICIÓN VEHICULAR DEL TRÁFICO

Se procede a realizar la equivalencia de la composición vehicular con las clases de vehículos presentados en el software. De esta forma de las trece clases de camión presentados por la Guía de Diseño se toma para el análisis Clase 5 (C2g), Clase 6 (C3), Clase 10 (C3S2) y Clase 11 (C3S3).

Figura 19. Composición vehicular para el nivel de tráfico T1



8.10 DISTRIBUCIÓN HORARIA

Esta distribución se determino con base en la información suministrada por INVIAS a un proyecto de grado que caracterizó el transito en Santander. Se generalizo esta información para los diferentes tipos de región con el fin de establecer para cada nivel el volumen de transito y la conducta del parque automotor para cada hora del día.

Tabla 17 Distribución vehicular horaria para diferentes niveles de tránsito

Distribución vehicular horaria				
Hora del día	T1	T4	T6	T9
	<500	1000 - 2500	2500-5000	>500
Medianoche	1.04	1.55	2.42	3.21
01:00 a.m.	0.60	1.10	2.45	2.91
02:00 a.m.	1.03	1.35	2.28	3.18
03:00 a.m.	1.30	1.80	2.46	3.15
04:00 a.m.	2.77	3.15	3.22	3.98
05:00 a.m.	5.04	3.26	4.44	4.31
06:00 a.m.	5.97	4.31	5.57	5.20
07:00 a.m.	6.07	5.41	5.36	4.81
08:00 a.m.	6.00	6.76	4.82	5.03
09:00 a.m.	6.67	6.81	4.74	4.73
10:00 a.m.	6.40	6.01	5.00	4.87
11:00 a.m.	5.71	5.96	4.99	4.64
Mediodía	5.40	5.66	4.83	4.61
01:00 p.m.	6.00	6.31	4.83	4.30
02:00 p.m.	5.51	5.76	5.02	4.41
03:00 p.m	4.37	5.61	4.91	4.71
04:00 p.m	6.30	6.46	5.18	4.70
05:00 p.m	4.30	6.31	5.23	4.60
06:00 p.m	4.34	4.81	4.99	4.94
07:00 p.m	4.70	3.51	4.47	4.30
08:00 p.m	3.50	2.20	3.80	3.96
09:00 p.m	3.71	2.55	3.29	3.43
10:00 p.m	1.67	1.90	2.96	3.18
11:00 p.m	1.60	1.45	2.59	2.86

Crecimiento del Tráfico: El catálogo de pavimentos establece para la proyección del tránsito una Función de Crecimiento Compuesto, y a manera de referencia establece unas tasas de crecimiento anual obtenidas de muestreos realizados en diferentes tramos de la red vial nacional con alto grado de homogeneidad.

Tabla 18. Tasas de crecimiento obtenidas por muestreo de la red vial nacional

TPDS	Tasas de crecimiento		
	Niveles de tráfico	Tasa para vehículos comerciales	Valor adoptado
<1000	T1	5.5 – 6.0	5.75
1000- 2500	T4	4.0 – 5.0	4.5
2500- 5000	T6	4.0 – 5.0	4.5
5000- 10000	T9	4.0 – 5.1	4.5

A partir de los factores de ajuste de volúmenes de transito se calcula el periodo para un periodo de diseño el numero de ejes equivalentes correspondientes a cada nivel de tránsito, se toma como base para este cálculo los factores de daño, con el fin de determinar el Factor Camión a partir del cual se transforma el volumen general en ejes equivalentes de 8.2 ton

Tabla 19. Factores de daño – INV 2007

Factor de daño por tipo vehículo		
Tipo	Factor de daño	
	Vacío	Cargado
Autos	-	-
Bus grande	-	1.0
C2p	0.01	1.01
C2g	0.08	2.72
C3-C4	0.24	3.27
C5	0.25	4.88
>C5	0.26	5.23

A partir de los ejes equivalentes calculados, para un periodo de diseño y asumiendo una confiabilidad del 90%, que se toma con base en la confiabilidad con que fue diseñada el Manual

INVIAS, se tienen en cuenta para la entrada de datos ya que las ecuaciones de AASTHO involucran un error por comportamiento del pavimento de (So= 0.44)

La diferencia entre el tránsito estimado para el diseño y el tránsito que realmente soporta la vía presenta una distribución normal con una desviación estándar en pavimentos asfálticos de σ = 0.05. Por lo tanto se establece,

$$N'_{8.2\,Ton.\ Diseño} = N_{8.2Ton.Diseño} \times (10^{\sigma \cdot Zr})$$

Donde:

$N'_{8.2\ Ton\ Diseño}$: Número de ejes de 8.2 Ton. Corregido para un nivel de confianza deseado.

$N_{8.2\ Ton\ Diseño}$**:** Número de ejes de 8.2 Ton. Estimados antes de considerar el nivel de confianza.

σ: Desviación estándar de la curva normal que representa la diferencia entre el tránsito estimado y el tránsito real. Para pavimentos asfálticos equivale a 0.05.

Zr: Parámetro asociado a la distribución normal estándar. Para una confiabilidad del 90% su valor corresponde a 1.282

Resolviendo la expresión se tiene,

Ecuación 0-1 $N'_{8.2\,Ton.\ Diseño} = 1.159 \times N_{8.2Ton.Diseño}$

Con base en el estudio realizado por INVIAS para el manual de diseño de pavimentos de concreto en el año 1997-2000 en el cual se obtuvo una distribución de cargas por eje para mil camiones en función del tránsito promedio semanal (TPDS) con base en los datos tomados en 10 años de registros en las estaciones de pesaje de INVIAS

Factores

Tabla 20. Número de ejes sencillos, tándem y trídem por cada mil camiones para vías con diferentes volúmenes de tránsito

Ejes por 1000 camiones (TPDS)						
Eje	0-500	500-1000	1000-2500	2500-5000	5000-10000	>10000
Sencillo	1876	1892	1796	1760	1782	1839
Tándem	114	120	228	282	253	117
Tridem	23	30	67	76	64	38

Considerando los ejes que caracterizan cada clase de vehículo y las las proyecciones realizadas para cada nivel de tránsito, se obtiene el volumen vehicular y la cantidad de ejes simples, tándem y trídem para el periodo de diseño

Tabla 21. Número de ejes simples, tándem o trídem por cada clase de vehículo

No. Ejes por camión				
Clase de vehículo	MEPDG	Simples	Tándem	Tridem
C2 g	Clase 5	2	-	-
C3	Clase6	1	1	-
C3S2	Clase 9	1	2	-
C3S3	Clase 10	1	1	1

Tabla 22 Cálculo del número de ejes simples, tándem y trídem por cada mil camiones para el nivel de tráfico T1

Eje simples, tándem y trídem- tráfico T1 (TPDS<500)					
Clase de vehículo	**MEPDG**	**Vehículos para PDE**	**No ejes simples**	**No. Ejes Tándem**	**No. Ejes Trídem**
C2 g	Clase 5	561,429.12	968,816.44	0.00	0.000
C3	Clase6	57,683.25	49,769.84	49,769.84	0.00
C3S2	Clase 9	63.39	54.69	109.38	0.00
C3S3	Clase 10	14,706.06	12,688.57	12,688.57	12,688.57
Ejes totales			1,031,329.54	62,567.80	12,688.57
Ejes x cada 1000 camiones			**1886.00**	**114.0**	**23.00**

Tabla 23 Cálculo del número de ejes simples, tándem y trídem por cada mil camiones para el nivel de tráfico T4

Eje simples, tándem y trídem- tráfico T4 (TPDS 1000-2500)					
Clase de vehículo	**MEPDG**	**Numero de vehículos para PDE**	**No. Ejes simples**	**No. Ejes Tándem**	**No. Ejes Trídem**
C2 g	Clase 5	2,820,810.22	5,641,620.43	0.00	0.00
C3	Clase6	399,732.91	399,732.91	399,732.91	0.00
C3S2	Clase 9	86,821.42	86,821.42	173,642.84	0.00
C3S3	Clase 10	236,225.14	236,225.14	236,225.14	236,225.14
Ejes totales			6,364,399.89	809,600.88	236,225.14
Ejes x cada 1000 camiones			1796.00	228.00	67.003.00

Tabla 24 Cálculo del número de ejes simples, tándem y trídem por cada mil camiones para el nivel de tráfico T6

Eje simples, tándem y trídem- tráfico T6 (TPDS 2500-5000)					
Clase de vehículo	**MEPDG**	**No. Vehículo para PDE**	**No. Vehículo para simples**	**No. Ejes Tándem**	**No. Ejes Trídem**
C2 g	Clase 5	6,595,670.00	13,191,340.00	0.00	0.00
C3	Clase6	1,058,778.61	1,058,778.61	1,058,778.61	0.00
C3S2	Clase 9	364,497.55	364,497.55	728,995.11	0.00
C3S3	Clase 10	659,567.00	659,567.00	659,567.00	659,567.00
Ejes totales			15,274,183.16	2,447,340.71	659,567.00
Ejes x cada 1000 camiones			**1760.00**	**282.00**	**76.00**

Tabla 25 Cálculo del número de ejes simples, tándem y trídem por cada mil camiones para el nivel de tráfico T9

Eje simples, tándem y trídem- tráfico T9 (TPDS 5000-10000)					
Clase de vehículo	**MEPDG**	**No. Vehículo para PDE**	**No. Vehículo para simples**	**No. Ejes Tándem**	**No. Ejes Trídem**
C2 g	Clase 5	19,992,824.07	39,985,648.15	0.00	0.00
C3	Clase6	3,082,706.72	3,082,706.72	3,082,706.72	0.00
C3S2	Clase 9	869,809.36	869,809.36	1,739,618.73	0.00
C3S3	Clase 10	1,637,288.22	1,637,288.22	1,637,288.22	1,637,288.22
Ejes totales			45,575,452.44	6,459,613.66	1,637,288.22
Ejes x cada 1000 camiones			**1782.00**	**253.00**	**64.00**

El numero de ejes que se calculan con las proyecciones son muy cercanos con los valores obtenidos en el estudio de INVIAS para Colombia, existe una pequeña desviación de 0.35% de la cantidad total.

Se continua con la determinación de las cargas por tipos de ejes, en el estudio de INVIAS en comento, se ha obtenido el espectro para la red vial nacional, se considera que las proyecciones realizadas son congruentes con el mismo, por tanto se establecen los mismos espectros para cada uno de los niveles de transito.

El aplicativo MEPDG 2002 requiere como INPUT los factores de carga discriminados por clase de vehículos de carga específica y mes del año. Los estudios que se realizaron no alcanzan este nivel de detalle, se procede entonces a partir de los espectros obtenidos para Colombia con un ajuste a los rangos de carga, interpolando los datos sin afectar los espectros.

Con el numero de ejes para los rangos de carga establecidos en el aplicativo se calcula la proporción de estos respecto al número total de ejes por tipos

Se calcula de esta manera el factor de distribución de carga requerido en el aplicativo, que se generaliza para todas las clases de vehículos a considerar, el alcance de los espectros que se caracterizaron para Colombia no permite que se establezcan cantidades de ejes de un mismo tipo (simple, tándem o trídem) con una carga especifica (3000 psi, 4000, 5000 psi) que corresponde a un determinado tipo de vehículo solo se tiene la cantidad de ejes para cargas diferentes sin considerar el tipo de vehículo.

El software supone factores de carga para cada tipo de eje y categoría de camión constantes en el tiempo por lo que los espectros obtenidos se suponen iguales para todos los meses de año.
A continuación se describen los espectros de carga para el análisis de las estructuras en consideración

Las siguientes tablas (las tres primeras) describen los espectros de carga que se utilizan para el análisis de las estructuras de pavimento de acuerdo a las consideraciones descritas anteriormente.

Tabla 26. Espectros de cargas para ejes simples y diferentes niveles de tránsito, obtenido mediante interpolación de los espectros aplicables a Colombia

Eje Simple		No. Ejes x 1000 camiones TPDS				Eje Simple		No. Ejes x 1000 camiones TPDS			
		TI	T4	T6	T9			TI	T4	T6	T9
KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000	KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000
13.34	3000	0	0	0	0	97.86	22000	80	62	59	9
17.79	4000	26	6	6	0	102.31	23000	3	0	0	15
22.24	5000	17	33	31	27	106.76	24000	89	58	55	60
26.69	6000	145	0	0	11	111.21	25000	27	18	17	0
31.14	7000	226	244	233	23	115.65	26000	69	36	35	42
35.59	8000	76	90	87	307	120.1	27000	53	69	66	32
40.03	9000	330	116	113	0	124.55	28000	37	0	0	0
44.48	10000	0	263	255	160	129	29000	66	101	96	96
48.93	11000	223	0	0	216	133.45	30000	8	9	9	8
53.38	12000	4	227	237	0	137.89	31000	42	46	44	30
57.83	13000	94	30	31	203	142.34	32000	0	47	45	78
62.28	14000	26	61	63	57	146.79	33000	18	3	3	0
66.72	15000	42	71	75	18	151.24	34000	1	43	41	58
71.17	16000	31	2	2	115	155.69	35000	0	0	0	34
75.62	17000	26	67	65	0	160.14	36000	0	11	11	0
80.07	18000	43	0	0	34	164.58	37000	0	6	6	44
84.52	19000	14	39	37	34	169.03	38000	0	0	0	1
88.96	20000	70	24	24	0	173.48	39000	0	0	0	6
93.41	21000	0	14	14	53	177.93	40000	0	0	0	11
								1886	**1796**	**1760**	**1782**

Tabla 27. Espectros de cargas para ejes tándem y diferentes niveles de tránsito, obtenido mediante interpolación de los espectros aplicables a Colombia

Eje Tándem		No. Ejes x 1000 camiones TPDS				Eje Tándem		No. Ejes x 1000 camiones TPDS			
		TI	T4	T6	T9			TI	T4	T6	T9
KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000	KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000
26.69	6000	0	0	0	0	204.62	46000	0	0	0	4
35.59	8000	0	0	0	0	213.51	48000	21	23	29	17
44.48	10000	0	0	0	0	222.41	50000	6	7	9	0
53.38	12000	1	0	0	0	231.31	52000	11	19	23	19
62.28	14000	1	3	4	0	240.2	54000	9	36	44	15
71.17	16000	1	1	1	5	249.1	56000	2	0	0	0
80.07	18000	7	5	6	0	258	58000	4	34	40	55
88.96	20000	0	12	15	8	266.89	60000	0	3	4	5
97.86	22000	6	0	0	11	275.79	62000	1	6	7	11
106.76	24000	0	10	12	0	284.69	64000	0	6	7	28
115.65	26000	5	1	2	10	293.58	66000	1	0	0	0
124.55	28000	1	6	7	3	302.48	68000	0	4	5	8
133.45	30000	4	6	9	2	311.38	70000	0	0	0	4
142.34	32000	3	0	1	12	320.27	72000	0	1	1	0
151.24	34000	3	13	15	0	329.17	74000	0	1	1	4
160.14	36000	4	0	0	7	338.06	76000	0	0	0	0
169.03	38000	2	8	10	8	346.96	78000	0	0	0	1
177.93	40000	7	5	7	0	355.86	80000	0	0	0	1
186.83	42000	0	3	4	13	364.75	82000	0	0	0	0
195.72	44000	14	15	19	2	373.65	84000	0	0	0	0
								114	**228**	**282**	**253**

Tabla 28 Espectros de cargas para ejes trídem y diferentes niveles de tránsito, obtenido mediante interpolación de los espectros aplicables a Colombia

Eje Trídem		No. Ejes x 1000 camiones TPDS				Eje Trídem		No. Ejes x 1000 camiones TPDS			
		TI	T4	T6	T9			TI	T4	T6	T9
KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000	KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000
53.38	12000	0	0	0	0	306.93	69000	0	6	6	13
66.72	15000	0	1	2	1	320.27	72000	1	4	5	3
80.07	18000	1	1	2	0	333.62	75000	1	1	1	5
93.41	21000	0	1	1	2	346.96	78000	1	3	3	3
106.76	24000	0	1	1	0	360.31	81000	0	1	2	2
120.10	27000	0	0	0	1	373.65	84000	1	1	1	2
133.45	30000	0	1	1	0	387.00	87000	0	2	2	1
146.79	33000	0	1	1	1	400.34	90000	0	1	1	2
160.14	36000	1	0	0	1	413.68	93000	0	1	1	1
173.48	39000	1	2	2	0	427.03	96000	0	0	0	1
186.83	42000	0	1	1	2	440.37	99000	0	0	0	1
200.17	45000	1	1	1	0	453.72	102000	0	0	0	1
213.51	48000	1	3	3	2	467.06	105000	0	0	0	0
226.86	51000	1	1	1	1	480.41	108000	0	0	0	0
240.20	54000	3	4	4	2	493.75	111000	0	0	0	0
253.55	57000	5	7	8	2	507.10	114000	0	0	0	0
266.89	60000	1	4	5	2	520.44	117000	0	0	0	0
280.24	63000	2	15	17	9	533.79	120000	0	0	0	0
293.58	66000	2	3	4	3	547.13	123000	0	0	0	0
								23	**67**	**76**	**64**

Factores de distribución de carga para cada tipo de eje y nivel de transito, generalizados para las diferentes clases de vehículo (constante en el tiempo)

Tabla 29 Factores de distribución de carga para ejes simple y diferentes niveles de tránsito

Eje Simple		Factores de distribución de carga TPDS				Eje Simple		Factores de distribución de carga TPDS			
		TI	T4	T6	T9			TI	T4	T6	T9
KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000	KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000
13.34	3000	0.000	0.000	0.000	0.000	97.86	22000	4.242	3.452	3.352	0.505
17.79	4000	1.379	0.334	0.341	0.000	102.31	23000	0.159	0.000	0.000	0.842
22.24	5000	0.901	1.837	1.761	1.515	106.76	24000	4.719	3.229	3.125	3.367
26.69	6000	7.688	0.000	0.000	0.617	111.21	25000	1.432	1.002	0.966	0.000
31.14	7000	11.983	13.586	13.239	1.291	115.65	26000	3.659	2.004	1.989	2.357
35.59	8000	4.030	5.011	4.943	17.228	120.1	27000	2.810	3.842	3.750	1.796
40.03	9000	17.497	6.459	6.420	0.000	124.55	28000	1.962	0.000	0.000	0.000
44.48	10000	0.000	14.644	14.489	8.979	129	29000	3.499	5.624	5.455	5.387
48.93	11000	11.824	0.000	0.000	12.121	133.45	30000	0.424	0.501	0.511	0.449
53.38	12000	0.212	12.639	13.466	0.000	137.89	31000	2.227	2.561	2.500	1.684
57.83	13000	4.984	1.670	1.761	11.392	142.34	32000	0.000	2.617	2.557	4.377
62.28	14000	1.379	3.396	3.580	3.199	146.79	33000	0.954	0.167	0.170	0.000
66.72	15000	2.227	3.953	4.261	1.010	151.24	34000	0.053	2.394	2.330	3.255
71.17	16000	1.644	0.111	0.114	6.453	155.69	35000	0.000	0.000	0.000	1.908
75.62	17000	1.379	3.731	3.693	0.000	160.14	36000	0.000	0.612	0.625	0.000
80.07	18000	2.280	0.000	0.000	1.908	164.58	37000	0.000	0.334	0.341	2.469
84.52	19000	0.742	2.171	2.102	1.908	169.03	38000	0.000	0.000	0.000	0.056
88.96	20000	3.712	1.336	1.364	0.000	173.48	39000	0.000	0.000	0.000	0.337
93.41	21000	0.000	0.780	0.795	2.974	177.93	40000	0.000	0.000	0.000	0.617
								100.00	**100.00**	**100.00**	**100.00**

Tabla 30 Factores de distribución de carga para ejes tándem y diferentes niveles de tránsito

Eje Tándem		Factores de distribución de carga TPDS				Eje Tándem		Factores de distribución de carga TPDS			
		TI	T4	T6	T9			TI	T4	T6	T9
KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000	KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000
26.69	6000	0.000	0.000	0.000	0.000	204.62	46000	0.000	0.000	0.000	1.581
35.59	8000	0.000	0.000	0.000	0.000	213.51	48000	18.421	10.088	10.284	6.719
44.48	10000	0.000	0.000	0.000	0.000	222.41	50000	5.263	3.070	3.191	0.000
53.38	12000	0.877	0.000	0.000	0.000	231.31	52000	9.649	8.333	8.156	7.510
62.28	14000	0.877	1.316	1.418	0.000	240.2	54000	7.895	15.789	15.603	5.929
71.17	16000	0.877	0.439	0.355	1.976	249.1	56000	1.754	0.000	0.000	0.000
80.07	18000	6.140	2.193	2.128	0.000	258	58000	3.509	14.912	14.184	21.739
88.96	20000	0.000	5.263	5.319	3.162	266.89	60000	0.000	1.316	1.418	1.976
97.86	22000	5.263	0.000	0.000	4.348	275.79	62000	0.877	2.632	2.482	4.348
106.76	24000	0.000	4.386	4.255	0.000	284.69	64000	0.000	2.632	2.482	11.067
115.65	26000	4.386	0.439	0.709	3.953	293.58	66000	0.877	0.000	0.000	0.000
124.55	28000	0.877	2.632	2.482	1.186	302.48	68000	0.000	1.754	1.773	3.162
133.45	30000	3.509	2.632	3.191	0.791	311.38	70000	0.000	0.000	0.000	1.581
142.34	32000	2.632	0.000	0.355	4.743	320.27	72000	0.000	0.439	0.355	0.000
151.24	34000	2.632	5.702	5.319	0.000	329.17	74000	0.000	0.439	0.355	1.581
160.14	36000	3.509	0.000	0.000	2.767	338.06	76000	0.000	0.000	0.000	0.000
169.03	38000	1.754	3.509	3.546	3.162	346.96	78000	0.000	0.000	0.000	0.395
177.93	40000	6.140	2.193	2.482	0.000	355.86	80000	0.000	0.000	0.000	0.395
186.83	42000	0.000	1.316	1.418	5.138	364.75	82000	0.000	0.000	0.000	0.000
195.72	44000	12.281	6.579	6.738	0.791	373.65	84000	0.000	0.000	0.000	0.000
								100.00	**100.00**	**100.00**	**100.00**

Tabla 31. Factores de distribución de carga para ejes trídem y diferentes niveles de tránsito

Eje Trídem		Factores de distribución de carga TPDS				Eje Trídem		Factores de distribución de carga TPDS			
		TI	T4	T6	T9			TI	T4	T6	T9
KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000	KN	Lb	0-500	1000-2500	2500-5000	5000-10000
53.38	12000	0.000	0.000	0.000	0.000	306.93	69000	0.000	8.955	7.895	20.313
66.72	15000	0.000	1.493	2.632	1.563	320.27	72000	4.348	5.970	6.579	4.688
80.07	18000	4.348	1.493	2.632	0.000	333.62	75000	4.348	1.493	1.316	7.813
93.41	21000	0.000	1.493	1.316	3.125	346.96	78000	4.348	4.478	3.947	4.688
106.76	24000	0.000	1.493	1.316	0.000	360.31	81000	0.000	1.493	2.632	3.125
120.10	27000	0.000	0.000	0.000	1.563	373.65	84000	4.348	1.493	1.316	3.125
133.45	30000	0.000	1.493	1.316	0.000	387.00	87000	0.000	2.985	2.632	1.563
146.79	33000	0.000	1.493	1.316	1.563	400.34	90000	0.000	1.493	1.316	3.125
160.14	36000	4.348	0.000	0.000	1.563	413.68	93000	0.000	1.493	1.316	1.563
173.48	39000	4.348	2.985	2.632	0.000	427.03	96000	0.000	0.000	0.000	1.563
186.83	42000	0.000	1.493	1.316	3.125	440.37	99000	0.000	0.000	0.000	1.563
200.17	45000	4.348	1.493	1.316	0.000	453.72	102000	0.000	0.000	0.000	1.563
213.51	48000	4.348	4.478	3.947	3.125	467.06	105000	0.000	0.000	0.000	0.000
226.86	51000	4.348	1.493	1.316	1.563	480.41	108000	0.000	0.000	0.000	0.000
240.20	54000	13.043	5.970	5.263	3.125	493.75	111000	0.000	0.000	0.000	0.000
253.55	57000	21.739	10.448	10.526	3.125	507.10	114000	0.000	0.000	0.000	0.000
266.89	60000	4.348	5.970	6.579	3.125	520.44	117000	0.000	0.000	0.000	0.000
280.24	63000	8.696	22.388	22.368	14.063	533.79	120000	0.000	0.000	0.000	0.000
293.58	66000	8.696	4.478	5.263	4.688	547.13	123000	0.000	0.000	0.000	0.000
								100.00	**100.00**	**100.00**	**100.00**

8.12 LOCALIZACIÓN PROMEDIO DE LA RUEDA

El manual de diseño geométrico del INV establece la dependencia de este parámetro del ancho de la calzada de acuerdo a la siguiente tabla

Tabla 32 Localización promedio de la rueda en tangente - INV

	Ancho de calzada en tangente (m)		
	6.00	6.60	7.20
Localización de la rueda en (m)	0.6	0.75	0.9

En curva, donde la maniobra de un vehículo de carga requiere de mayor espaciamiento, las distancias pueden reducirse hasta la mitad del valor indicado en la tabla. De esta forma, para un ancho de calzada de 7.20 m que corresponde al ancho mínimo establecido para las condiciones de tráfico a evaluar y considerando la situación más crítica de maniobra (en curva), se establece como valor estándar para este parámetro una distancia de 0.45 m (aprox. 18 pulg).

8.13 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA TRAYECTORIA DEL TRÁFICO

Se utiliza la desviación que por defecto trae el software, de 10 pulgadas la cual se recomienda si información más exacta no se encuentra al respecto.

8.14 ANCHO DEL CARRIL DE DISEÑO

Tomando como referencia el manual de diseño geométrico del INV, el ancho de la calzada es función de la categoría de la carretera, del tipo de terreno y de la velocidad de diseño del tramo homogéneo. En carreteras de una sola calzada el ancho mínimo de ésta debe ser de seis (6) metros. La figura establece los diferentes rangos de ancho de vía para las diferentes condiciones expuestas.

Para una velocidad de diseño de 80 km/h se abarca la mayor parte de los requerimientos por categoría de vía y topografía que aplican para las condiciones de tráfico establecidas en el presente trabajo. Para esta velocidad de diseño se establece un ancho de calzada de 7.30 m lo que equivale a un ancho del carril de diseño de 3.65 m (aprox. 12 pies).

Tabla 33. Ancho de calzada (metros) de acuerdo con la velocidad de diseño y el tipo de terreno

Categoría de la carretera	Tipo de terreno	Velocidad de diseño (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano							7.3	7.3	7.3	7.3
	Ondulado							7.3	7.3	7.3	7.3
	Montañoso						7.3	7.3	7.3	7.3	
	Escarpado						7.3	7.3	7.3		
Primaria de Una calzadas	Plano							7.3	7.3	7.3	
	Ondulado						7.3	7.3	7.3	7.3	
	Montañoso					7.3	7.3	7.3	7.3		
	Escarpado					7	7	7			
Secundaria	Plano					7.3	7.3	7.3			
	Ondulado				7	7.3	7.3	7.3			
	Montañoso			6.6	7	7	7				
	Escarpado			6	6.6	7					
Terciaria	Plano			6							
	Ondulado		6	6							
	Montañoso	6	6	6							
	Escarpado	6	6								

Ejes por vehículo: El número de ejes especificado para cada clase de vehículo involucrado en el proceso de análisis se detalló en una tabla anterior.

8.15 CONFIGURACIÓN DE LOS EJES

8.15.1 Ancho de eje promedio. Se encontraron estudios acerca del tema, realizados por el Concejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica para el año 2005, Para Colombia se tienen los datos descritos a continuación:

Tabla 34. Dimensionamiento de vehículo de carga para Colombia y países de la región

Resultado de encuestas sobre dimensionamiento de vehículos					
Dimensión		Colombia	Promedio países de la región		
			Promedio	Máximo	Mínimo
Ancho		2.6	2.58	2.6	2.5
Largo	Camión simple	11.5	12.31	14	11
	Semiremolque	18	18.28	21	16.15
	Con acoplado	18.3	20.25	28.5	18
	Omnibus	14	13.56	15	12
Alto		4,10	4.14	4.65	3.8

Tabla 35. Llantas para cualquier posición y tamaño de rueda

Llantas para cualquier posición y de remolque						
Tamaño rin	Carga por llanta eje dual		Inflado llanta eje dual		Espacio mínimo entre duales	
pulg.	lbs	Kg	psi	kpa	in	mm
9R20	4940	2240	100	690	11.6	295
9R22.5	4300	1950	105	720	10.3	262
10R20	5840	2650	105	720	11.4	290
10R22.5	5355	2430	115	790	11.4	290
10R22.5	4940	2240	100	690	11.4	290
11R20	6780	3075	120	830	13.2	336
11R22.5	5840	2650	105	720	12.5	318
11R22.5	6005	2725	120	830	12.5	318
11R24.5	6005	2725	105	720	12.5	318
11R24.5	6610	3000	120	830	12.5	318
12R22.5	6780	3075	120	830	13.5	343
225/70R19.5	3750	1700	110	760	10.0	254
245/70R19.5	4410	2000	110	760	11.0	280
245/75R22.5	4410	2000	110	760	11.0	280
255/70R22.5	5070	2300	120	830	11.3	287
265/75R22.5	4805	2180	100	690	11.6	295
265/70R19.5	5070	2300	120	830	11.6	295
275/70R22.5	6395	2900	125	860	11.9	302
285/75R24.5	5675	2575	100	690	12.5	318
285/75R24.5	5675	2575	110	760	12.5	318
295/75R22.5	5675	2575	100	690	12.9	328
295/75R22.5	5675	2575	110	760	12.9	328
315/80R22.5	7610	3450	120	830	13.8	351
315/80R22.5	8270	3750	130	900	13.8	351
		Prom.	**111.67**	**Prom.**	**12.07**	

De acuerdo a estos valores, se maneja un ancho de eje de 2.60 m (aprox. **8.5 pies**).

8.15.2 Separación de neumáticos dobles: Se requiere de un valor promedio que caracterizarse la variedad de combinaciones que presenta el mercado de neumáticos de acuerdo al tipo de vehículo y la carga a soportar. A pesar de la existencia de una gama amplia de opciones, el valor propuesto por defecto en el software representa un valor promedio acorde a la realidad del parque automotor y de

los tipos de vehículos a tratar para el análisis de las estructuras de pavimento. La siguiente tabla exhibe un catálogo de neumáticos de diferentes dimensiones y características, utilizables en cualquier posición (dirección, tracción y remolque) de un vehículo de carga. Los promedios obtenidos, certifican lo expresado. De esta forma se adopta para los análisis un valor de 30 cm. (aprox. **12 in**).

8.15.3 Presión de los neumáticos: Al igual que para el parámetro anterior, se requiere caracterizar mediante un valor la variedad de presiones de inflado existentes para los diferentes vehículos de carga. En este caso se adopta el valor que trae por defecto la Guía de **120 psi**, que resulta algo mayor al promedio obtenido en la tabla referenciada, sin embargo es un valor común en el medio del transporte.

8.16 DISTANCIA PROMEDIO DE NEUMÁTICOS DOBLES Y PRESIÓN DE INFLADO

8.16.1 Separación de ejes: Nuevamente se hace referencia al estudio presentado por el Consejo de Directores de Carreteras, en el cual se establecen los valores límites de este parámetro para Colombia y países de la región. Se especifica una separación de 1.30 m (aprox. **51.2 pulg.)** correspondiente al valor promedio de los valores límites establecidos. Como se observa en la tabla, es aplicable tanto a ejes tándem como trídem.

Tabla 36 dimensionamiento promedio de ejes de vehículos

Resultado de encuestas sobre dimensionamiento de vehículos					
Límites de separación		**Colombia**	**Promedio países de la región**		
			Promedio	**Máximo**	**Mínimo**
Eje tándem doble	Sep. Máxima	1.60	2.17	2.45	1.6
	Sep. Mínima	1.00	1.13	1.20	1.0
Eje trídem	Sep. Ext. Máxima	3.20	4.00	4.80	3.2
	Sep. Ext. Mínima	2.00	2.36	3.20	2.0
	Sep. Int. Máxima	1.60	2.07	2.80	1.4
	Sep. Int. Mínima	1.00	1.14	1.30	1.0

9. DATOS DE ENTRADA DE CLIMA

En desarrollo del presente documento, para el manejo de la información climática debieron realizarse los archivos icm, a diferencia de Estados Unidos que poseen la información de 850 estaciones medidas cada hora, en Colombia no se encuentra con la información categorizada de esta manera, es por lo anterior que algunos datos se obtuvieron de correlaciones, otros de datos medidos directamente, es un trabajo dispendioso y arduo debido a los requerimientos del EICM para el manejo climático, a continuación se describe la manera como se obtuvo la información climática

Antes es necesario señalar que el objeto del presente estudio es evaluar los modelos de deterioro del manual de INVIAS, este manual esta creado para seis regiones climáticas que ya se han enunciado, por tanto el manejo es regional, para un tipo de clima especificado, es decir el manejo se realizará para un nivel jerárquico tres, dado que no se está trabajando para un sitio específico

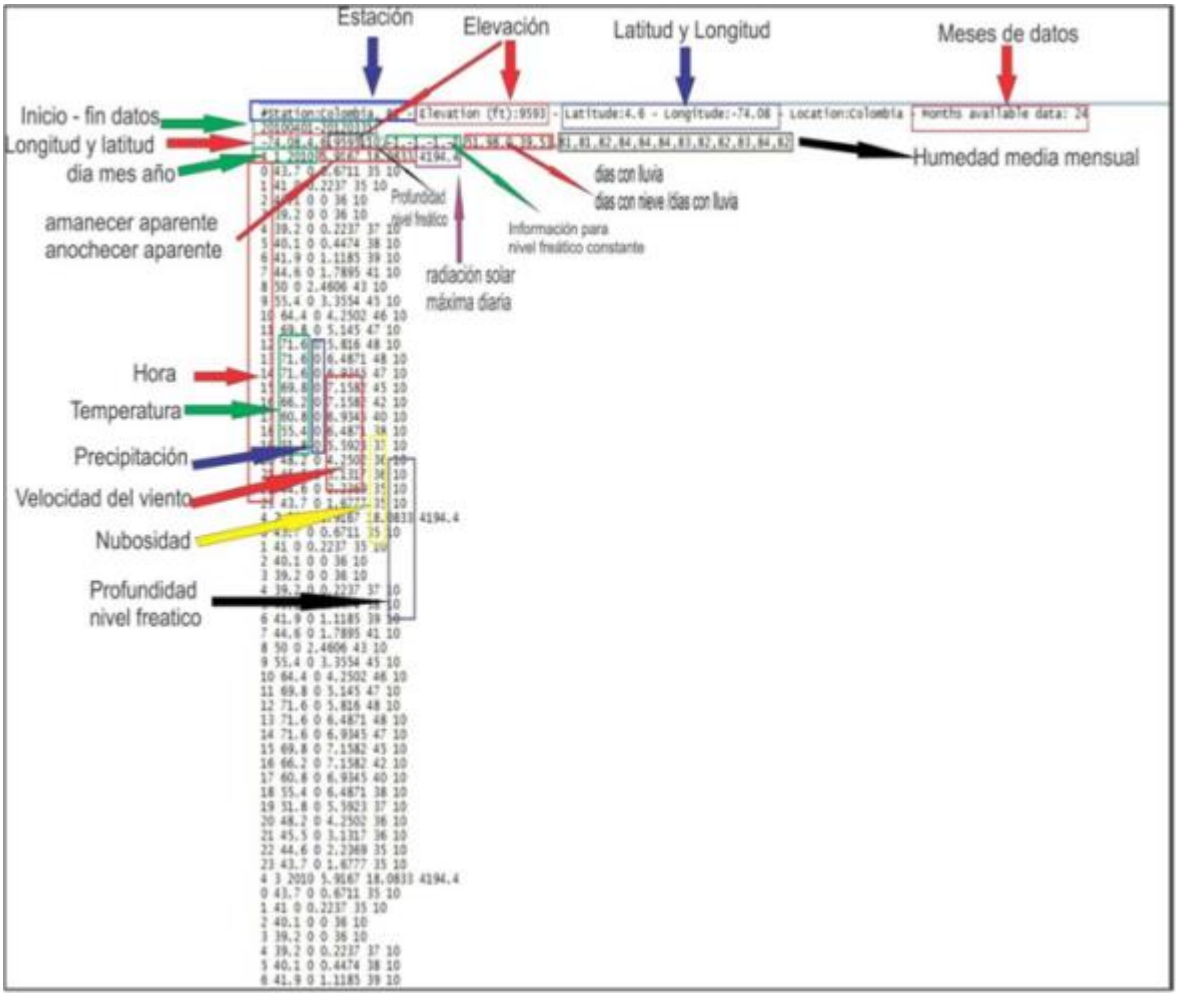
Las regiones climáticas que maneja el manual INVIAS están subdivididas así:

Tabla 37. Regiones Climáticas en estudio

Región	Temperatura	Precipitación
Región R1-	Menor 13°C	< 2000 mm anuales
Región R2	13°C -20°C	< 2000 mm anuales
Región R3	20°C -30°C	< 2000 mm anuales
Región R4	13°C -20°C	2000-4000 mm/anuales
Región R5	20°C -30°C	2000-4000 mm/anuales
Región R6	20°C – 30°C	➢ 4000 mm/anuales

Para iniciar con el modelamiento previamente se deben elaborar los archivos icm, que ya mencionamos en este documento, estos se generan a partir de la base de datos horaria, diaria , mensual y anual dependiendo del parámetro.

Figura 20. Ejemplo de archivo ICM



Para elaborar los archivos icm, con base en los datos provenientes del IDEAM, se clasifico el clima de Colombia de acuerdo con los parámetros del INVIAS, tal como se menciono en la tabla 38.

Obtenida la información de interes por parte del IDEAM de las diferentes estaciones de medición se clasificaron estas estaciones de acuerdo con las regiones de INVIAS (por temperatura y precipitación), los datos regionales no se encuentran completos en parámetros horarios como exige

el método, por tanto por cada región se escogió una ciudad principal, de ella se obtuvo la información horaria y con base en esta información y en la información regional se realizó un modelamiento para cada parámetro dado que esta información en general no se encuentra completa.

Tabla 38. Detalle de la formación de las regiones en este caso la región R3

									PRECIPITACION (MM)	TEMPERATURA MEDIA
CODIGO	TIPO	NOMBRE_EST	MUNICIPIO	CORRIENTE	DPTO	ELEV	LONGITUD	LATITUD	V_ANUAL	PROM
2617504	CO	Tunez Hda	Fredonia	Cauca	Antioquia	655	-75.650833333	5.800277778	1768	25.9
2701507	SP	Agto Olaya Herrera	Medellin	Medellin	Antioquia	1490	-75.588888889	6.220555556	1685	22.0
2701515	CO	Progreso Hda El	Barbosa	Medellin	Antioquia	1390	-75.400277778	6.416944444	1964	21.7
2701509	CP	Tulio Ospina	Bello	Medellin	Antioquia	1438	-75.555833333	6.333333333	1657	21.7
1202518	CO	Melito El	Necocli	Mulatos	Antioquia	10	-76.675661111	8.545777778	1769	26.6
1204501	CP	Arboletes	Arboletes	Q Seca	Antioquia	4	-76.430555556	8.842694444	1738	27.5
2622504	CO	Fiunti Hda	Buritica	Q Tesorero	Antioquia	1540	-75.916194444	6.732916667	1396	20.4
2622503	AM	Cotove Hda	Santafe de Antioquia	Tonusco	Antioquia	530	-75.830777778	6.536638889	1015	26.9
3705501	SP	Agto Arauca	Arauca	Arauca	Arauca	128	-70.736166667	7.069333333	1804	26.8
2903513	CP	Sta Lucia Gja	Santa Lucia	Canal del Dique	Atlantico	5	-74.950000000	10.316666667	981	28.2
2903512	CO	Limon El	Manati	Cga Guajaro	Atlantico	7	-75.066666667	10.416666667	957	28.3
2903508	CP	Normal Manati	Manati	Cga Guajaro	Atlantico	10	-74.958833333	10.446555556	1061	27.6
2903507	CP	Repelon	Repelon	Cga Guajaro	Atlantico	10	-75.133333333	10.500000000	867	28.3
2904502	SP	Agto E Cortissoz	Soledad	Magdalena	Atlantico	14	-74.774400000	10.895450000	822	27.4
2904512	CP	Flores Las	Barranquilla	Magdalena	Atlantico	2	-74.820810210	11.038997630	642	27.5
2904511	CO	Juan de Acosta	Juan de Acosta	Magdalena	Atlantico	20	-75.047055556	10.832416667	909	27.6
2901502	AM	Carmen de Bolivar	El Carmen de Bolivar	Ay Alferez	Bolivar	152	-75.110777778	9.710472222	1069	27.2
2903504	CP	Nueva Florida	Maria La Baja	Ay El Viento	Bolivar	13	-75.355416667	9.938944444	1489	27.1
2901503	CO	Guamo El	El Guamo	Ay Guamo	Bolivar	75	-74.976590000	10.036520000	1193	27.9
2903511	CO	San Pablo	Maria La Baja	Ay Hondo	Bolivar	20	-75.250000000	10.050000000	1648	27.4
2903517	CP	Sincelejo	Arjona	Ay Raicero	Bolivar	10	-75.282527778	10.137388889	1229	27.5
2502510	CP	Agto Barrancas	Magangue	Bzo de Loba	Bolivar	18	-74.848277778	9.276611111	1167	28.1
2502521	CO	Pinillos	Pinillos	Bzo de Loba	Bolivar	10	-74.459600000	8.919600000	1927	28.6
2320504	CO	Morales-La Cruz	Morales	Bzo Morales	Bolivar	110	-73.966190000	8.278080000	1104	28.6
1401502	SP	Agto Rafael Nunez	Cartagena	Mar Caribe	Bolivar	2	-75.520194444	10.442000000	1008	27.6
1401503	CP	Esc Naval CIOH	Cartagena	Mar Caribe	Bolivar	1	-75.538138889	10.385555556	810	27.7
1401501	CP	Galerazamba	Santa Catalina	Mar Caribe	Bolivar	6	-75.265722222	10.789638889	810	27.0
2903503	CO	Presa Ay Grande	Maria La Baja	Presa Ay Grande	Bolivar	60	-75.330500000	9.874416667	1678	27.8
2320503	CO	Sta Rosa D Sinifi	Santa Rosa del Sur	Q Las Mercedes	Bolivar	650	-74.062472222	7.968222222	1729	24.7
2502522	CO	Norosi	Rio Viejo	Q Norosi	Bolivar	160	-74.042250000	8.543010000	1505	28.0
2614505	CO	Samaria La	Viterbo	Risaralda	Caldas	1020	-75.874620000	5.051510000	1787	24.2
2617507	CO	Rafael Escobar	Supia	Supia	Caldas	1320	-75.650000000	5.466666667	1917	21.5
2602503	CO	Japio	Santander de Quilichao	Cauca	Cauca	1040	-76.444694444	3.051333333	1754	23.4
2606501	CO	Ing Cauca	Miranda	Desbaratado	Cauca	1009	-76.350069444	3.272000000	1366	23.3
2606502	CO	Miranda	Miranda	Desbaratado	Cauca	1156	-76.226416667	3.248472222	1573	23.2
2604501	CO	Ing Bengala	Puerto Tejada	Palo	Cauca	1003	-76.419672222	3.265296296	1388	23.9
5201502	CO	Fonda La Citec	Patia	Patia	Cauca	677	-77.062500000	2.158111111	1953	26.4
5202501	CO	Bolivar	Bolivar	Sambingo	Cauca	1431	-77.007305556	1.832805556	1757	21.4

Con precipitaciones menores a 2000 mm anuales y temperatura entre 20 y 30 solo se aprecia un detalle de las oscilaciones, en total se encontraron 162 estaciones de medición de esta región.

Figura 21. Información horaria para el día 30 de agosto de 2010 en Medellín (aeropuerto Josu María Córdoba)

Parámetros Climáticos para Medellin

Hora (COT)	Temp.	Índice de calor	Punto de ro	Humedad	Presión	Visibilidad	Wind Dir	Velocidad d	Velocidad d	Precip	Eventos	Condiciones
06:00 a.m.	19.0 °C	-	17.0 °C	88%	1019.2 hPa	8.0 km	Sin viento	Sin viento	-	NIA		Nubes dispersas
07:00 a.m.	19 °C	-	17 °C	83%	hPa	9 km	Sin viento	Sin viento	-	-	Lluvia	Llovizna débil
07:00 a.m.	19.0 °C	-	17.0 °C	88%	1019.5 hPa	9.0 km	Sin viento	Sin viento	-	NIA		Llovizna débil
08:00 a.m.	20.0 °C	-	17.0 °C	83%	1019.9 hPa	10.0 km	Sin viento	Sin viento	-	NIA		Nubes dispersas
09:00 a.m.	22.0 °C	-	16.0 °C	69%	1019.9 hPa	10.0 km	Sin viento	Sin viento	-	NIA		Parcialmente nublado
10:00 a.m.	24 °C	-	15 °C	51%	hPa	15 km	Sin viento	Sin viento	-	-		Bruma
10:00 a.m.	24.0 °C	-	15.0 °C	57%	1018.8 hPa	10.0 km	Sin viento	Sin viento	-	NIA		Nubes dispersas
11:00 a.m.	25.0 °C	-	14.0 °C	50%	1018.5 hPa	10.0 km	Sin viento	Sin viento	-	NIA		Nubes dispersas
12:00 p.m.	27.0 °C	27.0 °C	13.0 °C	42%	1017.5 hPa	10.0 km	Sin viento	Sin viento	-	NIA		Nubes dispersas
01:00 p.m.	28 °C	-	12 °C	27%	hPa	20 km	Sin viento	Sin viento	-	-		Bruma
01:00 p.m.	28.0 °C	27.5 °C	12.0 °C	37%	1015.8 hPa	10.0 km	Sin viento	Sin viento	-	NIA		Nubes dispersas
02:00 p.m.	29.0 °C	-	11.0 °C	33%	1015.1 hPa	10.0 km	Este	11.1 km/h / 3.1 m/s	-	NIA		Nubes dispersas
03:00 p.m.	29.0 °C	-	9.0 °C	29%	1014.1 hPa	10.0 km	Este	11.1 km/h / 3.1 m/s	-	NIA		Nubes dispersas
04:00 p.m.	29 °C	-	12 °C	24%	hPa	20 km	ONO	21.6 km/h /	-	-		Bruma
04:00 p.m.	29.0 °C	28.2 °C	12.0 °C	35%	1013.4 hPa	10.0 km	ONO	22.2 km/h / 6.2 m/s	-	NIA		Parcialmente nublado
05:00 p.m.	28.0 °C	-	10.0 °C	32%	1013.1 hPa	10.0 km	ONO	18.5 km/h / 5.1 m/s	-	NIA		Parcialmente nublado
06:00 p.m.	26.0 °C	-	14.0 °C	47%	1014.1 hPa	10.0 km	Sur	11.1 km/h / 3.1 m/s	-	NIA		

Con base en la información horaria encontrada, por dificultades con el IDEAM, no se obtuvo la información horaria de cada ciudad, por tanto se opto por trabajar con la información libre encontrada en las paginas climáticas de los aeropuertos del mundo, en este caso del aeropuerto José María Córdoba, se obtuvo información para 24 meses, como se observa en la figura 11 la información de las 24 horas no se encuentra completa por lo que para completar la información se requiere de hacer modelos climáticos que a continuación se explican.

La manera como está estructurado el archivo requiere de varios tipos de información climática y a continuación se expone paso a paso como se elabora dicho archivo con la información que se tiene al alcance, que para el medio colombiano es escasa.

Para elaborar los archivos se requieren los siguientes datos en orden:

9.1 ESTACIÓN

Se refiere a la estación o sitio del estudio, se describió en este sitio la Información del país entonces como #station: se tomo = Colombia

9.2 ELEVACIÓN

Para este estudio la información es regional con nivel de jerarquía 3, se tomo para todas las regiones la información geográfica de la capital del País, es decir en todas las regiones se tomaron como parámetros de latitud, longitud y altitud la información de Bogotá. Entonces para Elevación se tomo la cota de la ciudad de Bogotá = 9593 ft

9.3 LATITUD Y LONGITUD

Como ya se describió se tomaron los datos de Bogotá entonces Longitud -74.8 y Latitud 4.6°

9.4 MESES DE DATOS

El software requiere de al menos 24 meses de información para realizar el modelo climático..

9.5 INICIO Y FIN DE DATOS

Como ya se describió se requieren al menos 24 meses de información para todas las regiones se tomaron como fecha de inicio 1 de abril 2010 y fecha de finalización 31 de marzo de 2012 - 20100401-20120331.

9.6 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Se requiere nuevamente que se digite la información de Longitud, latitud y elevación

9.7 INFORMACIÓN CONCERNIENTE A NIVEL FREÁTICO

Para este caso se tomo por defecto el valor recomendado por la guía de -1 para cada una de las cuatro estaciones debido a que no se tienen estudios específicos de la variación del nivel freático, además de estar trabajando con nivel de jerarquía 3

9.8 DÍAS CON LLUVIA, DÍAS CON NIEVE Y DÍAS CON SOL

Se coloca esta información anual concerniente a los días que ocurren fenómenos climáticos.

9.9 HUMEDAD MEDIA MENSUAL

El modelo requiere de la información de humedad media mensual multianual, para el presente estudio se tomo esta información proveniente del IDEAM, de la humedad publicada por esta entidad para las diferentes regiones.

Tabla 39. Detalle de la humedad media multianual para algunas de las estaciones correspondientes a la estación R3 (para mayor detalle se adjunta información en los anexos)

									HUMEDAD RELATIVA (%)													
CODIGO	TIPO	NOMBRE_EST	MUNICIPIO	CORRIENTE	DPTO	ELEV	LONGITUD	LATITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
2617504	CO	Tunez Hda	Fredonia	Cauca	Antioquia	655	-75.650833333	5.900277778	71	69	69	72	77	77	74	73	75	78	78	77	74
2701507	SP	Apto Olaya Herrera	Medellín	Medellín	Antioquia	1490	-75.588888889	6.220555556	66	66	67	70	71	67	63	64	69	72	72	70	68
2701515	CO	Progreso Hda El	Barbosa	Medellín	Antioquia	1390	-75.400277778	6.416944444	80	79	80	82	83	81	79	80	81	83	84	82	81
2701509	CP	Tulio Ospina	Bello	Medellín	Antioquia	1438	-75.555833333	6.323333333	75	74	75	77	78	77	74	74	77	80	80	79	77
1202503	CO	Mellito El	Necocli	Mulatos	Antioquia	10	-76.675861111	8.545777778	87	85	84	85	87	87	87	88	88	88	88	88	87
1204501	CP	Arboletes	Arboletes	Q Seca	Antioquia	4	-76.430055556	8.842694444	81	79	78	81	84	84	83	83	83	82	83	82	82
2622504	CO	Piurti Hda	Buritica	Q Tesorero	Antioquia	1540	-75.916194444	6.732916667	79	78	78	81	83	82	79	80	82	84	84	83	81
2622503	AM	Cotove Hda	Santafe de Antioquia	Tonusco	Antioquia	530	-75.830777778	6.536838889	69	70	68	75	80	80	79	77	79	81	80	76	76
3705501	SP	Apto Arauca	Arauca	Arauca	Arauca	128	-70.738166667	7.069333333	71	66	65	75	83	86	86	85	84	84	83	78	79
2903513	CP	Sta Lucia Gja	Santa Lucia	Canal del Dique	Atlantico	5	-74.950000000	10.316666667	75	73	73	75	80	81	79	81	84	84	83	79	79
2903512	CO	Limon El	Manati	Cga Guajaro	Atlantico	7	-75.066666667	10.416666667	75	73	73	74	79	80	78	79	81	82	82	78	78
2903508	CP	Normal Manati	Manati	Cga Guajaro	Atlantico	10	-74.958833333	10.448555556	79	79	77	79	82	83	82	82	84	84	84	82	82
2903507	CP	Repelon	Repelon	Cga Guajaro	Atlantico	10	-75.133333333	10.500000000	70	69	68	71	77	78	75	78	81	82	81	74	75
2904502	SP	Apto E Cortissoz	Soledad	Magdalena	Atlantico	14	-74.774400000	10.895450000	78	77	76	78	80	81	80	81	83	84	83	80	80
2904512	CP	Flores Las	Barranquilla	Magdalena	Atlantico	2	-74.820810210	11.038997630	82	82	82	83	84	83	83	84	83	84	83	83	83
2904511	CO	Juan de Acosta	Juan de Acosta	Magdalena	Atlantico	20	-75.047055556	10.832416667	81	80	80	80	82	83	81	83	85	85	84	81	82
2901502	AM	Carmen de Bolivar	El Carmen de Bolivar	Ay Alferez	Bolivar	152	-75.110777778	9.710472222	73	71	71	73	78	76	75	77	79	81	80	76	76
2903504	CP	Nueva Florida	Maria La Baja	Ay El Viento	Bolivar	13	-75.355416667	9.938944444	82	81	80	82	85	85	85	85	86	87	87	85	84
2901503	CO	Guamo El	El Guamo	Ay Guamo	Bolivar	75	-74.976590000	10.036520000	71	69	68	73	79	79	77	79	81	83	82	76	76
2903511	CO	San Pablo	Maria La Baja	Ay Hondo	Bolivar	20	-75.250000000	10.050000000	79	76	76	78	83	83	82	83	85	86	86	82	81
2903517	CP	Sincerin	Arjona	Ay Raicero	Bolivar	10	-75.282527778	10.137388889	80	79	79	81	85	85	84	84	86	87	85	84	83
2502510	CP	Apto Baracoa	Magangue	Bzo de Loba	Bolivar	18	-74.848277778	9.276611111	76	74	73	75	79	81	79	81	83	84	83	80	79
2502521	CO	Pinillos	Pinillos	Bzo de Loba	Bolivar	10	-74.459900000	8.919660000	77	77	76	77	78	77	77	78	78	78	79	78	77
2320504	CO	Morales-La Cruz	Morales	Bzo Morales	Bolivar	110	-73.866190000	8.278080000	74	70	70	70	78	77	76	78	78	79	78	75	75
1401502	SP	Apto Rafael Nunez	Cartagena	Mar Caribe	Bolivar	2	-75.520194444	10.442000000	80	79	78	80	81	81	81	81	81	83	82	82	81
1401503	CP	Esc Naval CIOH	Cartagena	Mar Caribe	Bolivar	1	-75.538138889	10.395555556	83	82	83	83	85	84	84	85	84	86	85	85	84
1401501	CP	Galerazamba	Santa Catalina	Mar Caribe	Bolivar	6	-75.265722222	10.789638889	84	83	83	84	85	85	85	85	86	86	86	85	85
2903503	CO	Presa Ay Grande	Maria La Baja	Presa Ay Grande	Bolivar	60	-75.330500000	9.874416667	79	77	76	77	82	82	82	82	83	84	84	80	81
2320503	CO	Sta Rosa D Simiti	Santa Rosa del Sur	Q Las Mercedes	Bolivar	650	-74.062472222	7.968222222	73	73	74	81	86	85	84	84	86	88	85	79	81
2502522	CO	Norosi	Rio Viejo	Q Norosi	Bolivar	160	-74.042250000	8.543010000	73	71	71	76	80	80	78	79	81	82	81	78	78
2614505	CO	Samaria La	Viterbo	Risaralda	Caldas	1020	-75.874820000	5.051510000	77	78	77	79	82	80	79	78	77	81	80	79	79
2617507	CO	Rafael Escobar	Supia	Supia	Caldas	1320	-75.650000000	5.466666667	74	73	74	77	79	77	73	73	73	79	79	77	76
2602503	CO	Japio	Santander de Quilichao	Cauca	Cauca	1040	-76.444694444	3.051333333	78	78	79	80	80	80	77	74	76	79	81	80	78
2606501	CO	Ing Cauca	Miranda	Desbaratado	Cauca	1009	-76.350069444	3.272000000	78	78	78	79	80	79	77	78	78	80	81	80	79
2606502	CO	Miranda	Miranda	Desbaratado	Cauca	1156	-76.226416667	3.248472222	82	81	81	82	83	81	79	79	79	81	82	82	81
2604501	CO	Ing Bengala	Puerto Tejada	Palo	Cauca	1003	-76.419972222	3.265296296	80	80	80	81	81	81	79	79	79	81	82	82	80

Información diaria

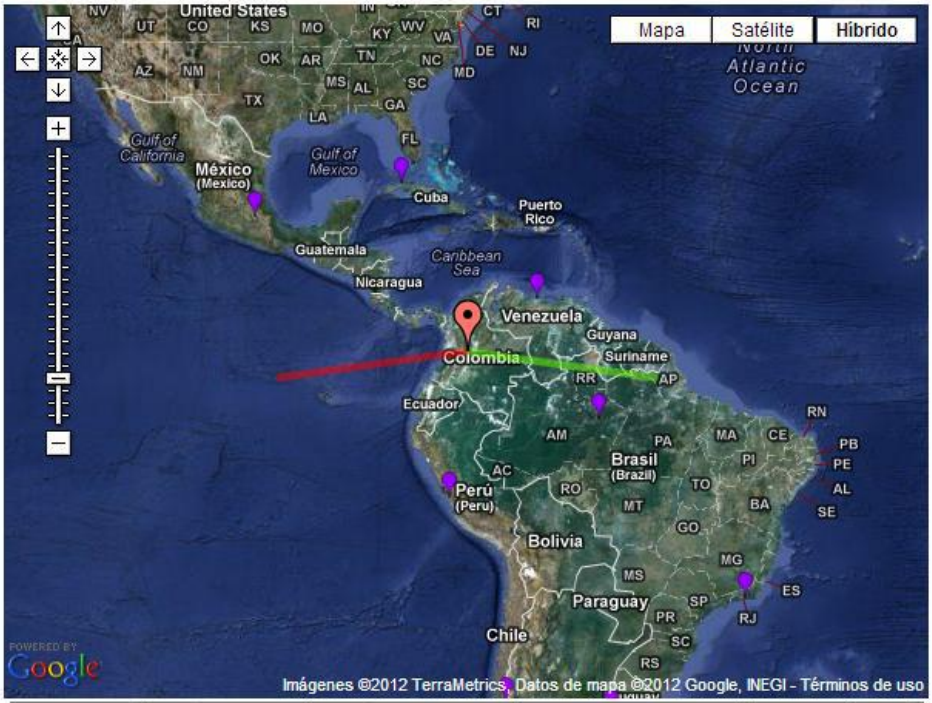
9.10 FECHA

Previo a la descripción de la información de los parámetros horarios se requiere la fecha del registro, empezando por el día, mes y año ejemplo 412010 (mes 4, día 1, año 2010).

9.11 AMANECER APARENTE Y ANOCHECER APARENTE:

El software requiere la información geográfica del amanecer y anochecer para este caso, se tomo esta información para la ciudad de Bogotá y se obtiene de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) El link donde se encuentra la información es: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/index.html

Figura 22. Información tomada de NOAA sobre amanecer aparente y anochecer aparente para Bogotá



Location:	Lat 4.6	Lng -74.8	Time Zone -6	DST?	Save

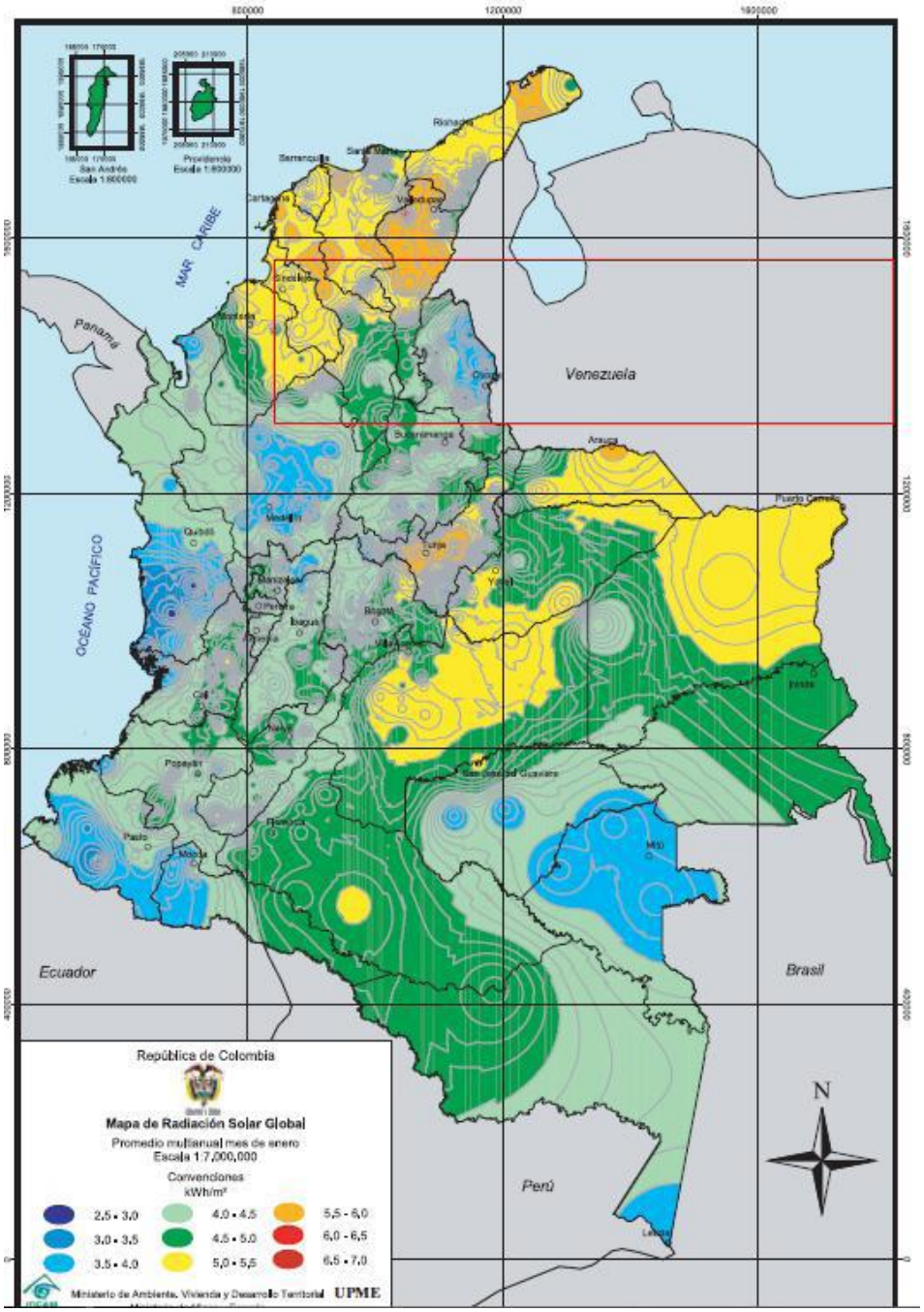
Date:	Day 1	Mon Mar	Yr 2010	Local Time:	19 : 57 : 52 PM

Equation of Time (minutes):	Solar Declination (in °):	Apparent Sunrise:	Solar Noon:	Apparent Sunset:	Az/El (in °) at Local Time:	
-12.24	-7.3	05:11	11:11:31	17:12	dark	dark
Show on map:		Sunrise ☑		Sunset ☑	Local Time ☐	

9.12 RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA DIARIA

Esta se tomo con base en los mapas multianuales de radiación solar debido a la escases de información diaria, entonces se tomo el registro para cada estación de la zona en estudio y se promedio la radiación solar máxima para cada región

Figura 23. Mapa de radiación solar multianual para el mes de enero en Colombia



Con base en los mapas multianuales de radiación se tomaron los datos de radiación en Kwh/m2 y se pasaron a unidades Wh /m2 y después se promediaron para cada región.

Tabla 40. Radiación máxima mensual multianual para la región R3

									Radiación Solar (Wh//m2)												
CODIGO	TIPO	NOMBRE_EST	MUNICIPIO	CORRIENTE	DPTO	ELEV	LONGITUD	LATITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
2617504	CO	Tunez Hda	Fredonia	Cauca	Antioquia	655	-75.650833333	5.800277778													
2701507	SP	Apto Olaya Herrera	Medellin	Medellin	Antioquia	1490	-75.588888889	6.220555556	3750.00	4250.00	4250.00	3750.00	4250.00	4250.00	5250.00	4750.00	4250.00	3750.00	3750.00	3750.00	4166.70
3705601	SP	Apto Arauca	Arauca	Arauca	Arauca	128	-70.738166667	7.069333333	5750.00	6250.00	6250.00	6250.00	5750.00	6250.00	6250.00	5750.00	6250.00	5250.00	4250.00	4750.00	5750.00
2904512	CP	Flores Las	Barranquilla	Magdalena	Atlantico	2	-74.820810210	11.038997630	5250.00	5750.00	5750.00	6250.00	5750.00	5250.00	6250.00	5750.00	5750.00	5250.00	5250.00	4750.00	5583.30
1401502	SP	Apto Rafael Nunez	Cartagena	Mar Caribe	Bolivar	2	-75.520194444	10.442000000	5750.00	5750.00	5750.00	5250.00	4750.00	4750.00	6250.00	5750.00	4750.00	4250.00	4250.00	4750.00	5166.70
2614505	CO	Samaria La	Viterbo	Risaralda	Caldas	1020	-75.874820000	5.051510000	4750.00	5250.00	4750.00	4250.00	4250.00	4250.00	5750.00	4750.00	4750.00	4250.00	4250.00	4250.00	4625.00
2617507	CO	Rafael Escobar	Supia	Supia	Caldas	1320	-75.650000000	5.466666667													
2602503	CO	Japio	Santander de Quilichao	Cauca	Cauca	1040	-76.444694444	3.051333333	4750.00	4750.00	4750.00	4750.00	4250.00	4750.00	5250.00	4250.00	4750.00	4750.00	3750.00	3750.00	4541.70
2804501	CO	Pueblo Bello	Valledupar	Ariguani	Cesar	1000	-73.633333333	10.366666667	5750.00	6250.00	6250.00	5750.00	5750.00	5750.00	6250.00	5750.00	5750.00	5250.00	5250.00	5250.00	5750.00
1306502	CO	Maracayo	Monteria	Ay Betanci	Cordoba	25	-75.875820000	8.418630000	5250.00	5750.00	5750.00	5250.00	5250.00	5250.00	5750.00	5750.00	5250.00	5250.00	4750.00	5250.00	5375.00
2501501	CO	Centro Alegre	Planeta Rica	Ay El Desorden	Cordoba	99	-75.643140000	8.154070000													
2120566	CO	Mercedes Las	Anapoima	Bogota	Cundinamarc	810	-74.526611111	4.581888889	4250.00	4250.00	4250.00	3750.00	3750.00	3750.00	4250.00	4250.00	3750.00	3750.00	3250.00	3750.00	3916.70
2111510	CO	Palacio-Vegalarga	Neiva	Fortalecillas	Huila	1100	-75.069250000	2.946111111	4750.00	4750.00	4750.00	4250.00	4250.00	4250.00	4750.00	4750.00	4750.00	4750.00	4750.00	4250.00	4583.30
1506501	SP	Apto Alm Padilla	Riohacha	Ay Zongo	La Guajira	4	-72.933333333	11.533333333	5250.00	5750.00	5750.00	5750.00	5750.00	5750.00	6750.00	6250.00	5750.00	5250.00	5250.00	5250.00	5708.30
1501504	CO	Univ Tec Magdalena	Santa Marta	Manzanares	Magdalena	7	-74.198000000	11.227200000	5750.00	6250.00	6250.00	6250.00	5750.00	5750.00	6250.00	5750.00	5750.00	5250.00	5250.00	5250.00	5791.70
1602502	CO	Risaralda	El Zulia	Cno Picho	Norte Santar	90	-72.567000000	8.152750000													
1601501	SP	Apto Camilo Daza	Cucuta	Pamplonita	Norte Santar	250	-72.529944444	7.780944444	3750.00	4250.00	4250.00	4250.00	4750.00	4750.00	5250.00	4750.00	4750.00	4250.00	3750.00	3750.00	4375.00
1605502	CO	Teorama	Teorama	Q Teorama	Norte Santar	1160	-73.288879630	8.445000000													
2613510	CO	Bohemia La	Pereira	Cauca	Risaralda	999	-75.880861111	4.880861111	4250.00	4750.00	4750.00	4250.00	4250.00	4250.00	4750.00	4250.00	4250.00	4250.00	4250.00	4250.00	4375.00
1702502	SP	Apto El Embrujo	Providencia	Mar Caribe	San Andres y	1	-81.355950000	13.361850000													
1701501	SP	Apto Sesquicentena	San Andres	Mar Caribe	San Andres y	1	-81.704000000	12.583530000	4750.00	5250.00	6250.00	6250.00	5250.00	5250.00	5250.00	5250.00	4750.00	4750.00	4250.00	4250.00	5125.00
2403526	CO	Capitanejo	Capitanejo	Chicamocha	Santander	1160	-72.696638889	6.520694444													
2319504	CP	Univ Ind Santander	Bucaramanga	Tona	Santander	1018	-73.122055556	7.144715278	4250.00	3750.00	3750.00	3750.00	3750.00	3250.00	4250.00	3750.00	3750.00	3750.00	3750.00	3750.00	3791.70
1309502	CP	Primates	Coloso	Ay Chalan	Sucre	200	-75.333333333	9.516666667	5250.00	5750.00	5750.00	5250.00	5250.00	5200.00	6250.00	5250.00	5250.00	4750.00	4750.00	5250.00	5329.20
2121514	ME	Cementos Diamante	Ibague	Coello	Tolima	780	-75.083333333	4.333333333	4250.00	4250.00	4250.00	3750.00	4250.00	4250.00	4750.00	4250.00	4250.00	3750.00	3750.00	3750.00	4125.00
2121507	CO	Chapeton	Ibague	Coello	Tolima	1300	-75.266666667	4.450000000													
2608512	SS	Base Aerea M F S	Cali	Cauca	Valle	1002	-76.503314815	3.457759259	4750.00	4750.00	4750.00	4750.00	4250.00	4250.00	5250.00	4750.00	4750.00	4750.00	4250.00	4250.00	4625.00
									4855.30	5144.70	5171.10	4934.20	4802.60	4800.00	5513.20	5039.50	4907.90	4592.10	4355.30	4434.20	**4879.20**

Tabla 41. Radiación máxima solar mensual multianual para la Región R5 (en los anexos se encuentra la información para cada región)

								RADIACIÓN SOLAR (Wh/m2)												
CODIGO	TIPO	NOMBRE_EST	MUNICIPIO	DPTO	ELEV	LONGITUD	LATITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
				Boyaca																
1111502	CO	Canasgordas	Canasgordas	Antioquia	1200	-76.033083333	6.760833333	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	4000.00	5000.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3500.00	3958.33
2625504	CP	Cacaoteras del Diq	Caucasia	Antioquia	55	-75.113520000	7.982870000	4500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3700.00	5000.00	4000.00	4500.00	3500.00	3500.00	3500.00	3933.33
1201506	CO	Tulenapa	Carepa	Antioquia	30	-76.665833333	7.773888889	4500.00	4000.00	4000.00	4500.00	3500.00	3700.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	4058.33
2309501	CP	Apto Pto Berrio	Puerto Berrio	Antioquia	150	-74.412222222	6.485055556	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	4500.00	5500.00	4500.00	4000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4375.00
2502514	CO	Nechi	Nechi	Antioquia	200	-74.774150000	8.103400000	4500.00	4500.00	4500.00	3500.00	3500.00	4000.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	4083.33
2701519	CO	Guayabito	Santo Domingo	Antioquia	1700	-75.150277778	6.543055556	4000.00	4000.00	4500.00	3750.00	3500.00	3500.00	5000.00	4000.00	4500.00	4000.00	3500.00	3500.00	3979.17
2308521	CP	Violetas Las	San Rafael	Antioquia	952	-75.002222222	6.348888889	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3875.00
1202504	CO	Turbo	Turbo	Antioquia	2	-76.715833333	8.093333333	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	5000.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3958.33
1201507	SP	Apto Los Cedros	Carepa	Antioquia	20	-76.721250000	7.816916667	4000.00												4000.00
2310503	CO	Vegachi	Vegachi	Antioquia	965	-74.796420000	6.778940000													
1201502	AM	Uriban	Apartado	Antioquia	23	-76.651388889	7.825833333	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3958.33
3704501	CO	Saravena	Saravena	Arauca	148	-71.894166667	6.949388889	5500.00	6000.00	6000.00	6000.00	5500.00	6000.00	6000.00	5500.00	6000.00	5000.00	4000.00	4500.00	5500.00
2320502	CO	Col Cooperativo	San Pablo	Bolivar	165	-73.928961481	7.477842593	4500.00	4500.00	5500.00	4000.00	4500.00	4500.00	5250.00	5000.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4604.17
2320505	CO	Canelos	Santa Rosa del Sur	Bolivar	1000	-74.240833333	7.885513889	4500.00	4500.00	5500.00	4000.00	4500.00	4500.00	5250.00	5000.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4604.17
2311501	CO	Pto Boyaca	Puerto Boyaca	Boyaca	350	-74.596800000	5.983500000	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	5000.00	4500.00	5000.00	4000.00	3500.00	3500.00	4125.00
2615502	CP	Cenicafe	Chinchina	Caldas	1310	-75.583333333	4.983333333	3500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	4000.00	4500.00	4500.00	5000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3958.33
4601502	CO	Sta Rosa Caguan	San Vicente del Caguan	Caqueta	240	-74.785055556	1.735472222	4500.00	4500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	3500.00	4000.00	4083.33
4413501	CP	Araracuara	Solano	Caqueta	150	-72.381888889	-0.616388889	4700.00	4500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	4000.00	3500.00	4000.00	4000.00	3500.00	4000.00	3933.33
4603501	CO	Maguare	El Doncello	Caqueta	270	-75.182722222	1.640138889	4700.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	4000.00	4000.00	3500.00	4000.00	4016.67
4403503	AM	Macagual	Florencia	Caqueta	280	-75.664388889	1.502583333	4500.00	4500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	4000.00	3500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3875.00
4404503	CO	Mono La	Belen de Los Andaquies	Caqueta	300	-75.811027778	1.306305556	4500.00	4500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	4000.00	3500.00	4000.00	4000.00	3500.00	4000.00	3916.67
4404502	CO	Valparaiso	Valparaiso	Caqueta	270	-75.705138889	1.194888889													
3522502	CO	Modulos	Orocue	Casanare	130	-71.459640000	4.937870000													
3521501	CP	Apto Yopal	Yopal	Casanare	325	-72.391000000	5.323444444	5500.00	5500.00	4750.00	4000.00	4000.00	4000.00	4500.00	4000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	4395.83
3519502	CO	Tauramena	Tauramena	Casanare	460	-72.749305556	5.021111111	4500.00	4000.00	4750.00	4500.00	4000.00	4500.00	5000.00	4000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	4312.50
3519503	CO	Aguazul	Aguazul	Casanare	380	-72.550833333	5.179972222	4500.00	5000.00	4750.00	4500.00	4000.00	4200.00	5000.00	4500.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	4412.50
2321505	CO	Mata La	La Gloria	Cesar	163	-73.642280000	8.616140000	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4000.00	4000.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	4291.67
5402501	CO	San Jose Palmar	San Jose del Palmar	Choco	1000	-76.232805556	4.898083333	3500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3500.00	4500.00	3500.00	3500.00	3500.00	3500.00	3000.00	3625.00
1112501	CO	Teresita La	Riosucio	Choco	50	-77.505760000	7.022630000	3000.00	4500.00	4000.00	3500.00	3500.00	3500.00	4000.00	3500.00	3500.00	3500.00	3000.00	3000.00	3541.67
2502515	CO	Ayapel	Ayapel	Cordoba	33	-75.166805556	8.296750000	4500.00	5500.00	4500.00	5000.00	4500.00	4500.00	6000.00	5000.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4750.00
2502516	CO	Cuba Hda	Montelibano	Cordoba	50	-75.402500000	7.997305556	4500.00	5000.00	4500.00	5000.00	4500.00	5000.00	5500.00	5000.00	5000.00	4500.00	4000.00	3500.00	4666.67
3505501	CO	Japon El	Paratebueno	Cundinamarc	280	-73.301333333	4.377083333	4000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3958.33
2306511	CO	Yacopi	Yacopi	Cundinamarc	1347	-74.354555556	5.483416667	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3958.33
3109502	CO	San Fernando D Ata	Inirida	Guainia	90	-67.666666667	4.016666667	5000.00	5500.00	4750.00	4000.00	4000.00	4000.00	6000.00	5500.00	4500.00	4000.00	3500.00	3500.00	4520.83
3101501	CO	Trueno El	San Jose del Guaviare	Guaviare	150	-72.715470000	2.416200000	5500.00	5000.00	4750.00	4200.00	3800.00	3500.00	4000.00	3500.00	4500.00	4000.00	3500.00	3500.00	4145.83
2502509	SP	Apto Las Flores	El Banco	Magdalena	34	-73.976660000	9.035160000	5200.00	6000.00	6000.00	5750.00	5000.00	4000.00	6200.00	5000.00	6000.00	5000.00	4500.00	5000.00	5304.17
3203501	CP	Macarena La	La Macarena	Meta	350	-73.799590000	2.188840000	5500.00	5500.00	5500.00	5000.00	3500.00	4500.00	4500.00	4500.00	5000.00	4500.00	3500.00	3500.00	4583.33
3207503	CO	Vista Hermosa	Vistahermosa	Meta	325	-73.724800000	3.083550000	5500.00	5500.00	5500.00	5000.00	4500.00	4000.00	4500.00	4000.00	4500.00	4000.00	3500.00	3500.00	4500.00
3303501	AM	Carimagua	Puerto Gaitan	Meta	200	-71.337940000	4.569210000	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	4000.00	4500.00	4500.00	4000.00	5000.00	4000.00	3500.00	3500.00	4416.67
3512501	CO	Margaritas Hda Las	Puerto Lopez	Meta	150	-72.207090000	4.339950000	5000.00	5500.00	5000.00	5000.00	4000.00	4500.00	4500.00	4000.00	5000.00	4000.00	3500.00	3500.00	4458.33
5103501	SS	Apto La Florida	Tumaco	Narino	3	-78.741490000	1.800830000	3500.00	4000.00	4500.00	3500.00	3500.00	3500.00	4000.00	3500.00	4000.00	3500.00	3500.00	3500.00	3708.33
1603502	CO	Petrolea	Tibu	Norte Santan	62	-72.579222222	8.485166667	3500.00	4500.00	4000.00	4000.00	4500.00	4000.00	4500.00	4500.00	4500.00	4000.00	3500.00	3500.00	4083.33
1601504	CO	Sta Isabel	Cucuta	Norte Santan	90	-72.428000000	8.229960000	3500.00	4500.00	3500.00	3500.00	4000.00	4000.00	4500.00	4000.00	4500.00	4000.00	3500.00	3500.00	3916.67
1602503	CP	Salazar	Salazar	Norte Santan	860	-72.820231481	7.776370370	4500.00	4500.00	4000.00	3500.00	4000.00	4000.00	4500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3500.00	3958.33
1604502	CO	Tarra El	El Tarra	Norte Santan	180	-73.080550000	8.594440000	3500.00	4500.00	4000.00	3500.00	4000.00	4000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3916.67
1603501	CO	Tibu	Tibu	Norte Santan	50	-72.715250000	8.637888889	4500.00	4500.00	4000.00	4000.00	4000.00	4500.00	4500.00	4000.00	4500.00	4500.00	3500.00	3500.00	4166.67
4704501	SP	Pto Leguizamo	Leguizamo	Putumayo	147	-74.780000000	-0.199722222	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3500.00	3800.00	3500.00	3500.00	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3691.67
2612507	CO	Bella La	Calarca	Quindio	1450	-75.666666667	4.516666667	4000.00	4000.00	3500.00	3500.00	3500.00	4000.00	4000.00	4500.00	4500.00	3500.00	3500.00	3500.00	3833.33
2612508	CP	Paraguayoito	Buenavista	Quindio	1250	-75.733333333	4.383333333	4000.00	4500.00	4000.00	3500.00	3400.00	4000.00	4500.00	4000.00	4500.00	4000.00	3500.00	3500.00	3950.00
2312513	CO	Landazuri	Landazuri	Santander	1085	-73.806777778	6.221305556	4500.00	4700.00	4500.00	4000.00	4000.00	4500.00	5000.00	4500.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4433.33
2312505	CO	Carare	Puerto Parra	Santander	168	-74.064838889	6.652238889	4500.00	4700.00	4000.00	4500.00	4000.00	4500.00	5000.00	4500.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4433.33
2319517	CO	Provincia	Sabana de Torres	Santander	172	-73.447330000	7.416300000	4500.00	4700.00	4000.00	4000.00	4000.00	4500.00	5000.00	5000.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4433.33
2315503	SP	Apto Yariguies	Barrancabermeja	Santander	126	-73.812222222	7.029166667	4500.00	4700.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	5000.00	4500.00	5000.00	4500.00	4000.00	4000.00	4516.67

Información Horaria

El método requiere información horaria de 5 parámetros como son Temperatura, Precipitación, Velocidad del viento, Nubosidad, y Profundidad del nivel freático

9.13 TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN, VELOCIDAD DEL VIENTO, NUBOSIDAD

Estos parámetros se obtuvieron de dos maneras de la temperatura media mensual obtenida del IDEAM y de la Información obtenida de algunas ciudades principales contenidas en cada región, como no se encuentra información completa se requiere hacer modelos matemáticos por región y por parámetro para encontrar la información de las 24 horas.

Tabla 42. Datos mensuales de precipitación en mm para la región 3

						PRECIPITACION (MM)												
CODIGO	TIPO	NOMBRE_EST	MUNICIPIO	DPTO	ELEV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	V_ANUAL
2617504	CO	Tunez Hda	Fredonia	Antioquia	655	58	73	93	160	176	156	128	157	209	257	195	107	1768
2701507	SP	Apto Olaya Herrera	Medellin	Antioquia	1490	65	80	126	161	198	158	118	148	178	212	147	95	1685
3705501	SP	Apto Arauca	Arauca	Arauca	128	8	23	41	138	235	312	303	229	197	185	107	25	1804
2904512	CP	Flores Las	Barranquilla	Atlantico	2	1	2	1	12	89	58	26	65	128	146	80	35	642
1401502	SP	Apto Rafael Nunez	Cartagena	Bolivar	2	4	1	2	24	115	100	110	125	135	230	128	35	1008
2614505	CO	Samaria La	Viterbo	Caldas	1020	73	85	133	228	224	169	141	123	123	210	181	98	1787
2617507	CO	Rafael Escobar	Supia	Caldas	1320	116	111	154	185	206	116	112	125	187	233	226	145	1917
2602503	CO	Japio	Santander de Quilichao	Cauca	1040	146	139	169	210	168	87	51	65	122	212	224	163	1754
2804501	CO	Pueblo Bello	Valledupar	Cesar	1000	13	41	47	159	270	188	129	222	276	302	196	56	1899
1306502	CO	Maracayo	Monteria	Cordoba	25	31	21	29	99	201	170	167	203	176	138	83	30	1347
2501501	CO	Centro Alegre	Planeta Rica	Cordoba	99	17	24	54	145	209	206	241	197	200	137	99	37	1566
2120566	CO	Mercedes Las	Anapoima	Cundinamarc	810	65	86	121	135	129	47	37	53	92	156	133	86	1139
2111510	CO	Palacio-Vegalarga	Neiva	Huila	1100	120	123	197	178	130	67	57	52	67	212	200	154	1557
1506501	SP	Apto Alm Padilla	Riohacha	La Guajira	4	4	1	3	21	64	39	15	37	131	140	62	23	541
1501504	CO	Univ Tec Magdalena	Santa Marta	Magdalena	7	4	2	4	15	54	76	60	87	115	145	72	28	663
1602502	CO	Risaralda	El Zulia	Norte Santar	90	98	88	125	218	167	83	100	132	204	260	290	166	1930
1601501	SP	Apto Camilo Daza	Cucuta	Norte Santar	250	49	39	66	104	79	41	38	42	78	147	120	75	878
1605502	CO	Teorama	Teorama	Norte Santar	1160	35	41	56	118	143	89	110	142	190	171	126	74	1294
2613510	CO	Bohemia La	Pereira	Risaralda	999	105	101	175	198	224	156	118	128	155	200	201	118	1879
1702502	SP	Apto El Embrujo	Providencia	San Andres y	1	74	46	24	35	123	170	138	148	184	301	266	127	1635
1701501	SP	Apto Sesquicentena	San Andres	San Andres y	1	77	38	24	33	131	206	199	201	238	324	270	141	1881
2403526	CO	Capitanejo	Capitanejo	Santander	1160	10	31	45	89	103	64	48	54	94	126	57	23	745
2319504	CP	Univ Ind Santander	Bucaramanga	Santander	1018	90	101	138	134	131	86	106	86	111	132	111	78	1303
1309502	CP	Primates	Coloso	Sucre	200	22	11	29	75	146	158	128	149	159	131	109	36	1153
2121514	ME	Cementos Diamante	Ibague	Tolima	780	46	78	108	183	157	63	53	82	161	196	140	81	1346
2121507	CO	Chapeton	Ibague	Tolima	1300	102	114	154	213	250	159	93	112	183	220	213	134	1945
2608512	SS	Base Aerea M F S	Cali	Valle	1002	71	70	64	125	116	70	41	37	71	135	110	86	995
						48	59	79	127	154	108	90	109	142	184	143	77	1320

Tablas 42. Temperatura y Brillo solar mensual multianual para la Región 3 con base en estos se ajustan los modelos horarios (se realizaron de igual manera para todas las regiones ver anexos)

						TEMPERATURA MEDIA												
CODIGO	TIPO	NOMBRE_EST	MUNICIPIO	DPTO	ELEV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
2617504	CO	Tunez Hda	Fredonia	Antioquia	655	26.2	26.8	27.2	26.5	25.8	25.7	25.8	26.1	25.6	25.1	25.2	25.3	25.9
2701507	SP	Apto Olaya Herrera	Medellin	Antioquia	1490	21.9	22.2	22.2	22.0	22.0	22.4	22.7	22.6	21.9	21.3	21.3	21.5	22.0
3705601	SP	Apto Arauca	Arauca	Arauca	128	27.2	28.2	28.6	27.6	26.4	25.8	25.5	25.9	26.4	26.7	26.8	26.8	26.8
2904512	CP	Flores Las	Barranquilla	Atlantico	2	26.5	26.4	26.8	27.4	28.1	28.3	28.0	28.1	28.0	27.9	27.9	27.1	27.5
1401502	SP	Apto Rafael Nunez	Cartagena	Bolivar	2	26.6	26.7	27.0	27.6	28.2	28.4	28.1	28.2	28.1	27.8	27.7	27.0	27.6
2614505	CO	Samaria La	Viterbo	Caldas	1020	24.5	24.4	24.6	24.2	23.9	23.9	24.0	24.3	24.2	23.8	23.9	24.3	24.2
2617507	CO	Rafael Escobar	Supia	Caldas	1320	21.8	22.0	22.1	21.7	21.3	21.5	21.7	21.8	21.5	20.9	20.9	21.4	21.5
2602503	CO	Japio	Santander de Quilichao	Cauca	1040	23.4	23.5	23.6	23.5	23.3	23.4	23.5	23.9	23.6	23.2	23.0	23.4	23.4
2804501	CO	Pueblo Bello	Valledupar	Cesar	1000	20.6	21.3	21.9	21.6	21.3	21.5	21.7	21.3	21.0	20.8	20.7	20.3	21.1
1306502	CO	Maracayo	Monteria	Cordoba	25	27.0	27.2	27.2	27.0	26.9	26.9	26.7	26.7	26.5	26.4	26.9	27.0	26.9
2501501	CO	Centro Alegre	Planeta Rica	Cordoba	99	28.1	28.1	28.4	28.1	27.5	27.7	27.4	27.4	27.2	27.0	27.3	27.7	27.7
2120506	CO	Mercedes Las	Anapoima	Cundinamarc	810	25.3	25.1	25.1	24.6	24.6	24.7	25.1	25.5	25.4	24.7	24.3	24.6	24.9
2111510	CO	Palacio-Vegalarga	Neiva	Huila	1100	22.3	22.4	22.2	22.0	22.0	22.1	22.0	22.6	22.8	22.3	21.8	21.9	22.2
1506501	SP	Apto Alm Padilla	Riohacha	La Guajira	4	26.8	27.1	27.4	27.8	28.7	29.8	29.9	29.5	28.5	27.9	27.7	27.4	28.2
1501504	CO	Univ Tec Magdalena	Santa Marta	Magdalena	7	27.7	27.9	28.2	28.5	28.4	28.6	28.7	28.1	27.3	27.0	27.5	27.4	27.9
1602502	CO	Risaralda	El Zulia	Norte Santar	90	26.3	26.7	26.6	27.2	27.9	28.1	28.2	28.1	27.6	27.4	26.7	26.3	27.3
1601501	SP	Apto Camilo Daza	Cucuta	Norte Santar	250	25.6	26.1	26.6	26.9	27.7	27.9	27.8	28.3	28.2	27.2	26.3	25.5	27.0
1605502	CO	Teorama	Teorama	Norte Santar	1160	20.1	20.5	21.1	21.6	22.1	22.0	21.9	22.2	22.0	21.7	21.2	20.4	21.4
2613510	CO	Bohemia La	Pereira	Risaralda	999	23.8	23.9	24.0	23.7	23.5	23.6	23.9	24.0	23.6	23.1	23.1	23.4	23.6
1702502	SP	Apto El Embrujo	Providencia	San Andres	1	26.6	26.5	26.8	27.4	28.0	28.1	28.1	28.1	27.9	27.5	27.4	27.0	27.4
1701501	SP	Apto Sesquicentena	San Andres	San Andres	1	26.7	26.6	26.9	27.4	27.9	28.0	27.9	27.9	27.8	27.6	27.4	27.1	27.4
2403526	CO	Capitanejo	Capitanejo	Santander	1160	26.2	26.1	26.3	25.9	25.3	25.2	25.2	25.2	25.1	24.6	25.1	25.7	25.5
2319504	CP	Univ Ind Santander	Bucaramanga	Santander	1018	22.9	23.2	23.3	23.2	23.1	23.0	22.9	23.0	22.8	22.5	22.4	22.6	22.9
1309502	CP	Primates	Coloso	Sucre	200	27.0	27.2	27.4	27.3	26.8	27.0	27.0	27.0	26.7	26.4	26.6	26.6	26.9
2121514	ME	Cementos Diamante	Ibague	Tolima	780	28.9	28.9	29.0	28.2	28.0	28.3	29.3	29.6	28.6	27.4	27.4	27.9	28.5
2121507	CO	Chapeton	Ibague	Tolima	1300	20.3	20.6	20.9	20.6	20.7	20.8	20.9	21.1	20.9	20.3	20.2	20.2	20.6
2608512	SS	Base Aerea M F S	Cali	Valle	1002	25.4	25.4	25.5	25.1	25.3	25.3	25.5	25.8	25.5	24.8	24.7	24.6	25.2
						25.7	26.0	26.2	26.1	25.9	26.0	26.2	26.3	26.0	25.5	25.4	25.5	25.9

Tablas 43 Temperatura y Brillo solar mensual multianual para la Región 3 con base en estos se ajustan los modelos horarios (se realizaron de igual manera para todas las regiones ver anexos)

						BRILLO SOLAR (HRS/MES)												
CODIGO	TIPO	NOMBRE_EST	MUNICIPIO	DPTO	ELEV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2617504	CO	Tunez Hda	Fredonia	Antioquia	655	217.5	178.0	181.8	157.6	175.5	189.8	216.9	195.2	172.6	162.1	172.6	189.8	2209.4
2701507	SP	Apto Olaya Herrera	Medellin	Antioquia	1490	172.5	143.2	150.9	127.9	139.2	170.1	203.4	189.3	149.7	133.2	135.9	153.2	1888.5
3705601	SP	Apto Arauca	Arauca	Arauca	128	269.0	217.1	209.3	159.9	152.4	135.6	141.6	155.0	176.0	197.0	207.9	253.6	2274.4
2904512	CP	Flores Las	Barranquilla	Atlantico	2	233.8	212.4	221.2	205.5	185.4	174.0	206.4	203.0	169.0	155.4	187.0	197.2	2350.3
1401502	SP	Apto Rafael Nunez	Cartagena	Bolivar	2	278.9	240.2	244.7	209.5	196.6	188.0	216.2	204.3	176.5	175.3	202.3	244.5	2577.0
2614505	CO	Samaria La	Viterbo	Caldas	1020													
2617507	CO	Rafael Escobar	Supia	Caldas	1320	177.3	152.5	149.9	129.7	130.5	151.3	177.4	175.4	146.5	130.2	132.0	159.3	1812.0
2602503	CO	Japio	Santander de Quilichao	Cauca	1040													
2804501	CO	Pueblo Bello	Valledupar	Cesar	1000	255.1	221.4	192.7	177.1	167.0	170.5	204.8	181.5	163.4	161.5	179.7	240.1	2314.8
1306502	CO	Maracayo	Monteria	Cordoba	25													
2501501	CO	Centro Alegre	Planeta Rica	Cordoba	99													
2120566	CO	Mercedes Las	Anapoima	Cundinamarc	810	184.7	146.0	130.7	128.0	128.6	145.9	151.1	149.4	136.6	147.9	151.3	174.5	1774.7
2111510	CO	Palacio-Vegalarga	Neiva	Huila	1100	148.4	120.9	108.3	107.3	128.3	133.7	144.0	147.0	117.6	121.1	107.7	141.3	1525.6
1506501	SP	Apto Alm Padilla	Riohacha	La Guajira	4	257.8	225.4	233.2	194.4	193.8	230.9	255.2	242.5	197.5	210.3	219.4	234.6	2695.0
1501504	CO	Univ Tec Magdalena	Santa Marta	Magdalena	7													
1602502	CO	Risaralda	El Zulia	Norte Santan	90	135.8	128.7	121.8	115.4	155.2	155.4	192.2	178.2	172.0	145.1	137.5	117.6	1754.9
1601501	SP	Apto Camilo Daza	Cucuta	Norte Santan	250	202.0	163.4	157.4	143.9	181.0	175.0	202.2	211.0	196.6	194.2	189.5	194.3	2210.5
1605502	CO	Teorama	Teorama	Norte Santan	1160													
2613510	CO	Bohemia La	Pereira	Risaralda	999	207.9	168.6	171.4	148.4	149.3	153.0	191.3	186.2	167.3	157.2	163.5	184.7	2048.8
1702502	SP	Apto El Embrujo	Providencia	San Andres y	1	229.9	226.3	260.2	256.6	232.6	187.0	210.4	232.0	196.1	188.1	181.4	191.2	2591.8
1701501	SP	Apto Sesquicentena	San Andres	San Andres y	1	252.7	237.9	281.7	275.2	240.5	183.0	192.4	216.0	191.8	188.2	190.3	214.7	2664.4
2403526	CO	Capitanejo	Capitanejo	Santander	1160	242.5	203.3	210.4	182.8	190.1	179.4	211.4	207.0	184.2	186.7	200.3	230.8	2428.9
2319504	CP	Univ Ind Santander	Bucaramanga	Santander	1018	173.9	106.9	97.7	100.1	114.9	88.3	112.4	110.9	101.2	104.4	124.5	155.8	1390.9
1309502	CP	Primates	Coloso	Sucre	200	195.4	187.9	198.8	133.8	123.0	126.9	151.8	137.1	135.1	130.1	148.8	182.8	1851.5
2121514	ME	Cementos Diamante	Ibague	Tolima	780	198.7	160.0	156.4	152.0	174.4	177.5	194.4	193.2	171.7	172.2	179.7	194.9	2125.1
2121507	CO	Chapeton	Ibague	Tolima	1300	156.8	128.1	128.8	115.8	145.8	158.9	176.5	169.8	152.6	125.0	125.1	140.3	1723.5
2608512	SS	Base Aerea M F S	Cali	Valle	1002													
						208.3	176.7	173.7	151.9	156.7	162.8	187.5	180.5	156.5	155.2	164.3	189.1	2063.0

Tabla 44. Velocidad del viento mensual para la región 3

						VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)												
CODIGO	TIPO	NOMBRE_EST	MUNICIPIO	DPTO	ELEV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
2617504	CO	Tunez Hda	Fredonia	Antioquia	655													
2701507	SP	Apto Olaya Herrera	Medellin	Antioquia	1490	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	1.75	2.25	2.25	2.20
3705501	SP	Apto Arauca	Arauca	Arauca	128	1.75	1.75	1.75	1.25	0.75	1.25	1.25	0.75	0.75	0.75	1.25	1.25	1.20
2904512	CP	Flores Las	Barranquilla	Atlantico	2	7.50	6.50	5.50	6.50	4.50	3.25	3.25	3.75	2.75	2.75	3.25	6.50	4.70
1401502	SP	Apto Rafael Nunez	Cartagena	Bolivar	2	3.75	3.75	4.50	3.25	3.25	2.25	5.50	5.50	1.75	2.25	5.50	5.50	3.90
2614505	CO	Samaria La	Viterbo	Caldas	1020	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	3.25	2.25	2.25	2.75	2.25	2.25	2.25	2.40
2617507	CO	Rafael Escobar	Supia	Caldas	1320													
2602503	CO	Japio	Santander de Quilichao	Cauca	1040	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.25	1.25	0.75	0.75	0.75	0.75	0.80
2804501	CO	Pueblo Bello	Valledupar	Cesar	1000	5.50	5.50	5.50	4.50	2.75	3.25	3.75	3.25	5.50	2.25	3.25	5.50	4.20
1306502	CO	Maracayo	Monteria	Cordoba	25	1.75	2.25	2.25	2.25	2.25	1.25	1.75	1.75	2.25	1.75	1.25	1.25	1.80
2501501	CO	Centro Alegre	Planeta Rica	Cordoba	99													
2120566	CO	Mercedes Las	Anapoima	Cundinamarc	810	1.75	1.75	1.75	2.25	2.25	2.75	2.25	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	2.00
2111510	CO	Palacio-Vegalarga	Neiva	Huila	1100	1.25	1.25	1.75	1.75	1.75	3.75	2.75	3.25	2.25	1.75	1.25	1.25	2.00
1506501	SP	Apto Alm Padilla	Riohacha	La Guajira	4	3.75	4.50	4.50	4.50	3.75	4.50	4.50	4.50	3.25	2.75	2.75	3.75	3.90
1501504	CO	Univ Tec Magdalena	Santa Marta	Magdalena	7	2.25	2.25	2.25	2.25	1.75	1.75	1.75	2.25	1.75	1.75	1.75	2.25	2.00
1602502	CO	Risaralda	El Zulia	Norte Santan	90													
1601501	SP	Apto Camilo Daza	Cucuta	Norte Santan	250	2.25	2.25	2.75	2.25	3.25	4.50	5.50	5.50	3.75	2.75	2.25	2.25	3.30
1605502	CO	Teorama	Teorama	Norte Santan	1180													
2613510	CO	Bohemia La	Pereira	Risaralda	999	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.80
1702502	SP	Apto El Embrujo	Providencia	San Andres y	1													
1701501	SP	Apto Sesquicentena	San Andres	San Andres y	1	5.50	5.50	5.50	4.50	4.50	4.50	6.50	4.50	3.75	3.75	4.50	4.50	4.80
2403526	CO	Capitanejo	Capitanejo	Santander	1180													
2319504	CP	Univ Ind Santander	Bucaramanga	Santander	1018	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.80
1306502	CP	Primates	Coloso	Sucre	200	2.75	2.75	3.25	2.75	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.50
2121514	ME	Cementos Diamante	Ibague	Tolima	780	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.75	3.25	2.25	1.75	1.75	1.75	2.30
2121507	CO	Chapeton	Ibague	Tolima	1300													
2608512	SS	Base Aerea M F S	Cali	Valle	1002	1.25	1.75	1.75	1.25	1.25	1.25	1.25	1.75	1.75	1.25	1.25	1.25	1.40
						2.70	2.80	2.80	2.80	2.40	2.80	2.90	2.80	2.40	2.00	2.30	2.60	2.60

Tabla 45. Modelamiento horaria para enero en la región 3 con diferentes parámetros de clima

Variación Horaria Parámetros Climaticos - Enero (SI)								Iluvia - 6 dias
Hr	Temp. (°C)	Precip. (mm)	V. V. (m/s)	Nubos. (%)	N.F.	H.R (%)		Precip. (mm)
0.00	20.0	0.00	1.50	60.00	10.00	90.00		0.00
1.00	20.0	0.00	1.25	60.00	10.00	92.00		0.40
2.00	19.0	0.00	1.00	65.00	10.00	93.00		0.60
3.00	19.0	0.00	1.00	70.00	10.00	95.00		0.65
4.00	18.0	0.00	1.20	80.00	10.00	96.00		0.70
5.00	20.0	0.00	1.30	80.00	10.00	95.00		0.70
6.00	22.0	0.00	1.50	85.00	10.00	93.00		0.60
7.00	24.0	0.00	1.80	90.00	10.00	87.00		0.45
8.00	27.0	0.00	2.10	90.00	10.00	83.00		0.20
9.00	29.0	0.00	2.50	90.00	10.00	74.00		0.10
10.00	31.0	0.00	3.10	90.00	10.00	63.00		0.05
11.00	33.0	0.00	3.70	95.00	10.00	57.00		0.00
12.00	34.0	0.00	4.30	100.00	10.00	53.00		0.00
13.00	34.0	0.00	4.60	100.00	10.00	52.00		0.05
14.00	34.0	0.00	4.70	95.00	10.00	53.00		0.20
15.00	33.0	0.00	4.80	90.00	10.00	57.00		0.30
16.00	31.0	0.00	4.70	90.00	10.00	59.00		0.45
17.00	29.0	0.00	4.40	85.00	10.00	63.00		0.60
18.00	27.0	0.00	3.80	80.00	10.00	68.00		0.65
19.00	25.0	0.00	3.30	80.00	10.00	75.00		0.60
20.00	24.0	0.00	2.70	70.00	10.00	78.00		0.40
21.00	22.0	0.00	2.30	65.00	10.00	83.00		0.30
22.00	21.0	0.00	1.90	60.00	10.00	85.00		0.00
23.00	20.0	0.00	1.60	60.00	10.00	89.00		0.00
	25.7	0.00	2.70	80.00	10.00	76.00		8.00

Figura 24. Gráficas de temperatura y velocidad del viento utilizadas para ajustar los parámetros horarios en este caso para la región R3 y los parámetros de temperatura y velocidad del viento

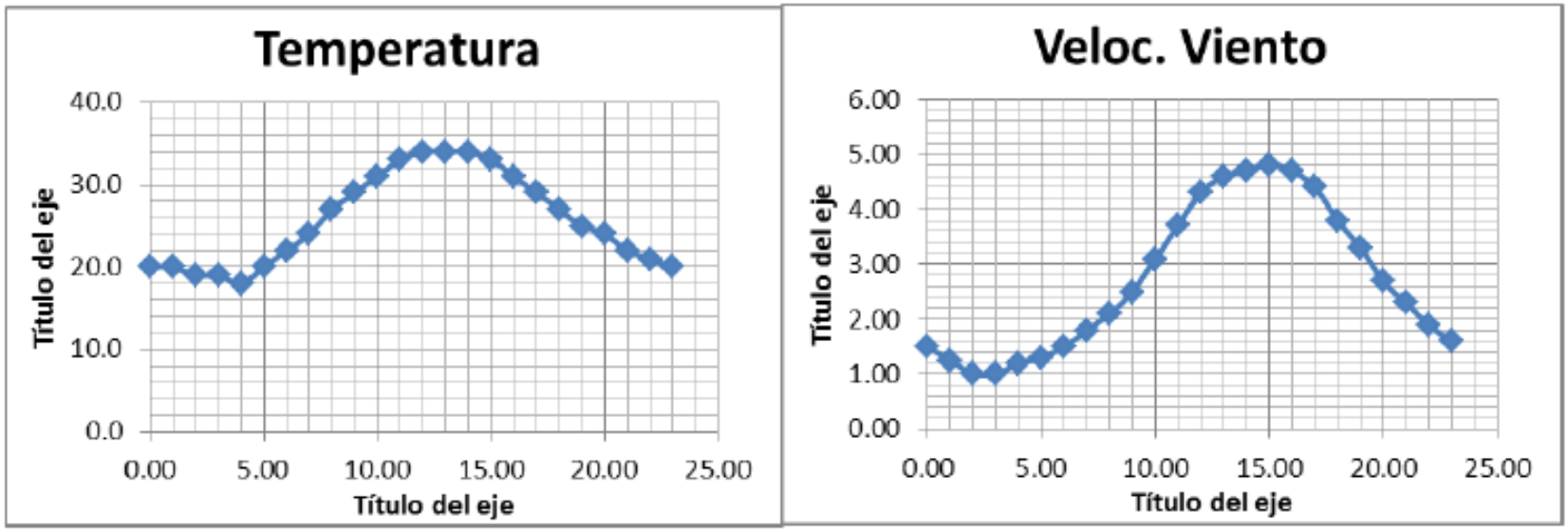


Figura 25. Fragmento del archivo icm para la región r3

```
#Station:Colombia, R3 - Elevation (ft):9593 - Latitude:4.6 - Longitude:-74.08 - Location:Colombia -
20100401-20120331
-74,08,4.6,9593,10,-1,-1,-1,-1,52.04,0,39.60785,76,75,75,77,79,78,75,75,77,80,81,79
4 1 2010 59167 18.0833 4194,4
0 68 0 3,3554 50 10
1 68 0 3,1317 50 10
2 66,2 0 2,6843 65 10
3 66,2 0 2,4606 65 10
4 66,2 0 2,6843 65 10
5 68 0 2,908 65 10
6 73,4 0 3,5791 65 10
7 78,8 0 4,0265 65 10
8 84,2 0 4,6976 55 10
9 86 0 5,3686 55 10
10 87,8 0 7,1582 55 10
11 91,4 0 8,053 55 10
12 93,2 0 9,3951 55 10
13 93,2 0 9,6188 55 10
14 93,2 0 9,6188 60 10
15 91,4 0 9,6188 65 10
16 89,6 0 9,3951 65 10
17 86 0 8,9477 65 10
18 82,4 0 8,5004 65 10
19 77 0 7,3819 65 10
20 75,2 0 6,2634 60 10
21 73,4 0 5,145 60 10
22 69,8 0 4,2502 55 10
23 68 0 3,5791 50 10
4 2 2010 59167 18.0833 4194,4
0 68 0 3,3554 50 10
1 68 0 3,1317 50 10
2 66,2 0 2,6843 65 10
3 66,2 0 2,4606 65 10
4 66,2 0 2,6843 65 10
5 68 0 2,908 65 10
6 73,4 0 3,5791 65 10
7 78,8 0 4,0265 65 10
8 84,2 0 4,6976 55 10
9 86 0 5,3686 55 10
10 87,8 0 7,1582 55 10
11 91,4 0 8,053 55 10
12 93,2 0 9,3951 55 10
13 93,2 0 9,6188 55 10
14 93,2 0 9,6188 60 10
15 91,4 0 9,6188 65 10
```

10. CARACTERIZACION DE MATERIALES

Caracterización de las capas del pavimento

10.1 CARPETA ASFÁLTICA

10.1.1 Absorción de onda corta para las capas superficiales: Se toma por defecto **0.9** que corresponde al valor promedio entre los rangos establecidos para pavimentos asfálticos nuevos y pavimentos asfálticos desgastados.

10.1.2 Gradación del agregado: La Guía Utiliza la ecuación de predicción de módulo dinámico para determinar la curva maestra de la mezcla asfáltica, para esta caracterización se requiere de la gradación del agregado, específicamente del % acumulado retenido en el tamiz No. 3/4", del % acumulado retenido en el tamiz No. 3/8", del % acumulado retenido en el tamiz No. 4" y el % que pasa el tamiz No. 200.

Para las estructuras en análisis se tienen dos tipos de mezclas (densa en frio y densa en caliente) la gradación está definida por las Especificaciones y Normas INV-07 en sus artículos 440 y 450 respectivamente. Los límites de granulometría establecidos según estas normas se detallan en las tablas 37 y 38

Tabla 46. Gradaciones para mezclas densas en frío.

TIPO DE MEZCLA			% PASA - TAMIZ (U.S. Standard)									
			11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200	Fondo
MEZCLAS DENSAS EN FRIO	MDF-1	MIN	100.0	80.0		62.0		45.0	35.0	13.0	3.0	
		MAX	100.0	95.0		77.0		60.0	60.0	23.0	8.0	
		PROM	100.0	87.5		69.5		52.5	47.5	18.0	5.5	
		% RETEN.		12.5		18.0		17.0	5.0	29.5	12.5	5.5
		% RET. ACUM.		**12.5**		**30.5**		**47.5**	**52.5**	**82.0**	**94.5**	**100.0**
	MDF-2	MIN		100.0	80.0		60.0	47.0	35.0	13.0	3.0	
		MAX		100.0	95.0		75.0	62.0	50.0	23.0	8.0	
		PROM		100.0	87.5		67.5	54.5	42.5	18.0	5.5	
		% RETEN.			12.5		20.0	13.0	12.0	24.5	12.5	5.5
		% RET. ACUM.			**12.5**		**32.5**	**45.5**	**57.5**	**82.0**	**94.5**	**100.0**
	MDF-3	MIN			100.0	80.0		50.0	35.0	13.0	3.0	
		MAX			100.0	95.0		65.0	50.0	23.0	8.0	
		PROM			100.0	87.5		57.5	42.5	18.0	5.5	
		% RETEN.				12.5		30.0	15.0	24.5	12.5	5.5
		% RET. ACUM.				**12.5**		**42.5**	**57.5**	**82.0**	**94.5**	**100.0**

Tabla 47 Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente

TIPO DE MEZCLA			% PASA - TAMIZ (U.S. Standard)										
			11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200	Fondo
MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE	MDC-1	MIN		100.0	80.0	67.0	60.0	43.0	29.0	14.0	8.0	4.0	
		MAX		100.0	95.0	85.0	77.0	59.0	45.0	25.0	17.0	8.0	
		PROM		100.0	87.5	76.0	68.5	51.0	37.0	19.5	12.5	6.0	
		% RETEN.			12.5	11.5	7.5	17.5	14.0	17.5	7.0	6.5	6.0
		% RET. ACUM.			**12.5**	**24.0**	**31.5**	**49.0**	**63.0**	**80.5**	**87.5**	**94.0**	**100.0**
	MDC-2	MIN			100.0	80.0	70.0	49.0	29.0	14.0	8.0	4.0	
		MAX			100.0	95.0	88.0	65.0	45.0	25.0	17.0	8.0	
		PROM			100.0	87.5	79.0	57.0	37.0	19.5	12.5	6.0	
		% RETEN.				12.5	8.5	22.0	20.0	17.5	7.0	6.5	6.0
		% RET. ACUM.				**12.5**	**21.0**	**43.0**	**63.0**	**80.5**	**87.5**	**94.0**	**100.0**
	MDC-3	MIN					100.0	65.0	43.0	16.0	9.0	5.0	
		MAX					100.0	87.0	61.0	29.0	19.0	10.0	
		PROM					100.0	76.0	52.0	22.5	14.0	7.5	
		% RETEN.						24.0	24.0	29.5	8.5	6.5	7.5
		% RET. ACUM.						**24.0**	**48.0**	**77.5**	**86.0**	**92.5**	**100.0**

Entonces de acuerdo con el tipo de mezcla asfáltica dependiendo de la alternativa que se quiera modelar, se escogen los valores de porcentajes retenidos acumulados de las tablas ya expuestas.

10.1.3 Ligante asfáltico: Las estructuras propuestas en el catálogo del INV establecen la utilización de emulsiones CRL-1 ó CRL-1h en el caso de mezclas densas en frío, y cemento asfáltico con grado convencional de penetración 60-70 ú 80-100 en caso de utilizar mezclas densas en caliente (situación más común en las estructuras a evaluar).

El artículo 400 de las Especificaciones y Normas INV-07 establece los criterios que debe seguirse para la utilización de uno u otro grado de penetración (Anexo 6), lo cual es función de las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía (volumen de trafico). La adaptación de esos criterios a la Guía de Diseño de acuerdo a las condiciones establecidas en cartas de diseño del INV se establece en tabla

Tabla 48. Tipo de cemento asfáltico a utilizar en mezclas en caliente

Tránsito de diseño		Clima		Tipo de capa	
No. Ejes equiv. 8.2 ton.	Nivel	Temp, media anual (°C)	Región	Rodadura e intermedia	Base
0.5-5.0 x 10*6	T1-T4	<15	R1	80-100	80-100
		15-24	R2-R4	60-70 ú 80-100	60-70 ú 80-100
		> 24	R3-R5-R6	60-70	60-70 ú 80-100
> 5.0 x 10*6	T4-T9	<15	R1	80-100	80-100
		15-24	R2-R4	60-70	60-70 ú 80-100
		> 24	R3-R5-R6	60-70	60-70

Para las alternativas a evaluar, el cemento asfáltico forma parte de la capa de rodadura del pavimento, por lo cual se adopta los valores establecidos en dicha columna según las variables de tránsito y temperatura previamente establecidas.

10.1.4 Propiedades generales de la mezcla asfáltica: El módulo dinámico es el parámetro esencial que caracteriza la mezcla, este depende del tiempo-temperatura (E*). El módulo del concreto asfáltico es función de la temperatura, de la tasa de aplicación de las cargas, de la edad y de las características de la mezcla tales como rigidez del aglomerante, gradación de agregados, contenido de aglomerante y vacíos.

10.1.5 Temperatura de referencia: Para tomar en cuenta la temperatura y la tasa de aplicación de las cargas, se determina el módulo del concreto asfáltico en todos los niveles de análisis, a partir de una curva maestra construida a una temperatura de referencia de 21 °C (**70°F**).

10.1.6 Contenido efectivo de ligante (%): Representa el volumen total de asfalto menos la cantidad de asfalto perdido por absorción dentro de las partículas del agregado. Es la porción del contenido total de asfalto que se queda como una capa en el exterior de la partícula del agregado y es el contenido de asfalto que gobierna el desempeño de una mezcla asfáltica.

10.1.6 Vacíos con aire (%): Los vacíos de aire en la mezcla asfáltica compactada consiste en los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado.

El artículo 450 de las Especificaciones y Normas INV-07 establece los criterios para la definición preliminar del porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla, y en ellas se define los porcentajes óptimos de los conceptos descritos anteriormente. A partir de este artículo se desprende las siguientes tablas a partir de las cuales se calcula el contenido de asfalto efectivo solicitado en el software.

Tabla 49 Vacíos con aire en la mezcla asfáltica

Parámetro volumétrico		Niveles de tráfico					
		T1 - T4			T4 - T9		
VACÍOS CON AIRE (Va) %	TIPO	MIN	MAX	PROM	MIN	MAX	PROM
	RODADURA	3.GG	5.GG	4.GG	4.GG	6.GG	5.GG
	INTERMEDIA	4.GG	S.GG	6.GG	4.GG	7.GG	5.5G
	BASE	5.GG	9.GG	7.GG	5.GG	S.GG	6.5G

Para los niveles de tráfico especificados, se escoge el valor promedio de los rangos establecidos para la capa de rodadura.

Para capas de rodadura e intermedias, el artículo 450 expresa una relación volumétrica a partir de la cual se despeja el volumen efectivo de ligante asfáltico en porcentaje.

$$\% \, de \, vacíos \, llenos \, de \, asfalto \, (VFA) = \frac{Volumen \, efectivo \, de \, asfalto}{Vacíos \, en \, los \, agregados \, minerales \, (VAM)} \times 100$$

Los valores proporcionados por la norma para los porcentajes de vacíos llenos de asfalto (VFA) y vacíos en los agregados minerales (VAM) se observan en las tablas que a continuación se exponen:

Tabla 50 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto para el diseño de mezcla asfáltica en caliente

Parámetro volumétrico		Niveles de tráfico					
		T1 - T4			T4 - T9		
VACIOS LLENOS DE ASFALTO (VFA) %	TIPO	MIN	MAX	PROM	MIN	MAX	PROM
	MDC1	65.GG	7S.GG	71.5G	65.GG	75.GG	7G.GG
	MDC2	65.GG	7S.GG	71.5G	65.GG	75.GG	7G.GG
	MDC3	65.GG	7S.GG	71.5G	65.GG	75.GG	7G.GG

Tabla 51 Porcentaje de vacíos en los agregados minerales para el diseño de mezcla asfáltica en caliente

	TIPO	T1- T4	T4 - T9
VACIOS EN LOS AGREGADOS MINERALES (VAM)	MDC1	S 14.00	S 14.00
	MDC2	S 15.00	S 15.00
	MDC3	S 16.00	S 16.00

A partir de los valores promedios presentados en las tablas anteriores se obtiene los porcentajes efectivos de ligante para los diferentes tipos de mezclas en caliente y niveles de tráfico. Estos valores corresponden a los datos a suministrar en el software.

Tabla 52. Porcentaje de volumen efectivo de asfalto para el diseño de mezclas asfálticas en caliente

	TIPO	T1- T4	T4 - T9
VOLUMEN DE ASFALTO EFECTIVO	MDC1	1G.G1	9.SG
	MDC2	1G.73	1G.5G
	MDC3	11.44	11.2G

10.1.7 Peso unitario total (pcf): También denominado densidad, Es la masa por unidad de volumen de la mezcla asfáltica, para diferente porcentajes de ligante asfaltico se obtienen los siguientes valores de pesos unitarios para mezclas densas en caliente

Tabla 53. Pesos unitarios promedio para MDC tipo 1 y 2

Peso unitario (g/cm3)		
% de asfalto	MDC- 1	MDC - 2
4.G	2.15	
4.5	2.17	2.14
5.G	2.1S	2.16
5.5	2.21	2.1S
6.G	2.22	2.2G
6.5	2.23	2.21
7.G		2.22
Promedios	2.19	2.19

Se adopta para la evaluación de las estructuras a modelar un peso unitario para la mezcla asfáltica de 2.19 g/cm3 (**137 lb/ft3**).

10.1.8 Relación de Poisson: Para materiales asfálticos está en el rango de 0.15 a 0.50 y es función de la temperatura. Para el análisis, se puede considerar satisfactoriamente el uso de correlaciones o valores típicos asumidos (Nivel 3). Valores característicos de este parámetro para mezclas densas en caliente se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 54. Relaciones de Poisson típicas para MDC

Temperatura		**Región**	
°C	**°F**		
4 - 21	40 - 70	R1 - R2 - R4	0.25
21 - 38	70 -100	R3 - R5 - R6	0.35

Dependiendo de la región a la que corresponda la estructura a evaluar, se adopta los valores descritos en la anterior tabla.

10.1.9 Conductividad térmica del asfalto (K): Para un niel 3 de información, se seleccionan valores típicos de diseño correspondiente a datos históricos de agencias. Para el concreto asfáltico dicho parámetro varía en un rango de 0.44 a 0.81 BTU/(ft)(hr)(°F). Se escoge por defecto el valor proporcionado por el software, **0.67 BTU/(ft)(hr)(°F)**.

10.1.10 Capacidad calórica (Q): Para un niel 3 de información, se seleccionan valores típicos de diseño correspondiente a datos históricos de agencias. Para el concreto asfáltico dicho parámetro varía en un rango de 0.22 a 0.40 BTU/(lb)(°F). Se escoge por defecto el valor proporcionado por el software, **0.23 BTU/ (lb)(°F).**

10.2 CAPAS GRANULARES

La caracterización de los para materiales no ligados requeridos en el modelo de respuesta del pavimento son el módulo resiliente y la relación de Poisson.

10.2.1 Módulo resiliente (Mr): Este valor depende del nivel jerárquico en el que se esté trabajando, para un nivel 2 de información se, se usan correlaciones generales que describen la relación entre diferentes propiedades del suelo y el Mr. Para el presente estudio se toma como parámetro de referencia el CBR, de cuyos valores mínimos establecidos para capas granulares de base y subbase, se obtiene los módulos resilientes mediante la utilización establecida por la Guía de Diseño.

$$Mr(psi) = 2555(CBR)^{0.64}$$

El artículo 300 de las Especificaciones y Normas INV-07 establece las disposiciones generales para los materiales de base y subbase granular. Dentro de los requisitos de calidad solicitados, se establece los CBR mínimos según el tipo de capa y tránsito de diseño especificado, estos se exponen a continuación:

Tabla 55. Relación entre CBR y Módulo Resiliente para capas de base y subbase

Correlación entre CBR y Mr	Niveles de tráfico			
	T1-T4		T4-T9	
	Subbase granular	Base granular	Subbase granular	Base granular
CBR (%)	> 30	> 80	> 30	> 100
Mr (psi)	> 22529	> 42205	> 22529	> 48685

10.2.2 Módulo de Poisson: Es un dato requerido para el cálculo de los modelos de respuesta estructural, aunque su efecto no es muy significativo. En consecuencia este parámetro muy rara vez se mide y a menudo se asume. El valor para materiales granulares no ligados típicamente se encuentra entre 0.2 y 0.45.

10.2.3 Coeficiente de presión lateral (Ko): Expresa la relación entre la presión lateral de tierras con respecto a la presión vertical. Para materiales granulares no ligados, varía en un rango típico de 0.40 a 0.60. Para efectos de análisis, se toma su valor promedio, **0.50**.

Existe una relación entre la presión lateral de tierras (Ko) y módulo de Poisson (μ) para materiales no cohesivos, la cual se muestra a continuación:

Ecuación 10-1

A partir de esta expresión, y tomando Ko igual a 0.5 de acuerdo a la definición expuesta, se obtiene el valor del módulo de Poisson para los análisis, **0.33.**

10.2.4 Datos del EICM para materiales no ligados: Las propiedades de los materiales requeridos como datos para EICM incluyen los límites de Atterberg, gradación y conductividad hidráulica.

El índice de plasticidad de un suelo (IP), es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo e indica la magnitud del rango de contenido de humedad por encima de los cuales el suelo está en una condición plástica. La Tabla 56 establece los valores de IP según el tipo de

capa y nivel de tráfico, de acuerdo a lo establecido en el artículo 300 de las Especificaciones y Normas INV-07.

Tabla 56 Índices para capas granulares no ligadas

Parámetro	**Niveles de tráfico**			
	T1-T4		**T4-T9**	
	Subbase granular	**Base granular**	**Subbase granular**	**Base granular**
Limite líquido (%)	< 40	-	< 40	-
Indice de plasticidad (%)	< 6	0	< 6	0

El análisis granulométrico se lleva a cabo para determinar la distribución de tamaños de partículas de materiales granulares no ligados. La información del análisis granulométrico requerido es el porcentaje de material pasante de la malla No. 4, el porcentaje de material pasante de la malla No. 200 y el diámetro de la malla en mm en la cual pasa el 60% del material (D60). Esta información se deriva de las especificaciones INV-07, artículo 320 para subbases y artículo 330 para bases granulares.

Tabla 57 Franja granulométrica para subbases granulares

Granulometria Sub-Base Granular			**Porcentaje que pasa %**					
			SBG-1			**SBG-2**		
	Nomai	**Alterno**	**MIN**	**MAX**	**PROM**	**MIN**	**MAX**	**PROM**
	50.0 mm	**2"**	100.00		100.00	0.00		0.00
	37.5 mm	**11/2"**	70.00	95.00	82.50	100.00		100.00
	25.0 mm	**1"**	60.00	90.00	75.00	75.00	95.00	85.00
TAMIZ	**12.5 mm**	**1/2"**	45.00	75.00	60.00	55.00	85.00	70.00
	9.5 mm	**3/8"**	40.00	70.00	55.00	45.00	75.00	60.00
	4.75 mm	**No. 4**	25.00	55.00	40.00	30.00	60.00	45.00
	2.0 mm	**No. 10**	15.00	40.00	27.50	20.00	45.00	32.50
	425.0 urn	**No. 40**	6.00	25.00	15.50	8.00	30.00	19.00
	75.0 urn	**No. 200**	2.00	15.00	8.50	2.00	15.00	8.50

La subbase se clasifica como un material A-2-4 de acuerdo al sistema AASHTO, o como una grava limosa mal gradada (GP-GM) según el sistema SUCS.

Tabla 58. Franja granulométrica para bases granulares

Granulometria Base Granular			**Porcentaje que pasa %**					
			BG-1			**BG-2**		
	Nornal	**Alterno**	**MIN**	**MAX**	**PROM**	**MIN**	**MAX**	**PROM**
	37.5 mm	**11/2"**	100.00		100.00	0.00		0.00
	25.0 mm	**1"**	70.00	100.00	85.00	100.00		100.00
	19.0 mm	**3/4"**	60.00	90.00	75.00	70.00	100.00	85.00
TAMIZ	**9.5 mm**	**3/8"**	45.00	75.00	60.00	50.00	80.00	65.00
	4.75 mm	**No. 4**	30.00	60.00	45.00	35.00	65.00	50.00
	2.0 mm	**No. 10**	20.00	45.00	32.50	20.00	45.00	32.50
	425.0 urn	**No. 40**	10.00	30.00	20.00	10.00	30.00	20.00
	75.0 um	**No. 200**	5.00	15.00	10.00	5.00	15.00	10.00

La base se clasifica como un material A-1-a de acuerdo al sistema AASHTO, o como una grava bien gradada (GW) según el sistema SUCS.

10.3 CAPAS ESTABILIZADA CON CEMENTO

Los datos del material ligados requeridos en el modelo de respuesta del pavimento son el módulo resiliente y la relación de Poisson.

10.3.1 Módulo resiliente (Mr): El Modulo resiliente de los materiales químicamente estabilizados se puede estimar utilizando los modelos de la guía para nivel 2, que se derivan de la correlación de la resistencia a la compresión de los testigos recuperados.

Tabla 59. Modelos o Relaciones usadas para determinar E o Mr

M.iici Químicamente Estabilizado	Relaciones Recomendadas'
Concreto pobre[1]	***E*** **=** 57,000 **^** ***f c (I S)***
Agregado tratado con cemento[1]	donde, ***E*** es el módulo de elasticidad, psi; ***f e*** es la resistencia a la compresión, psi, ensayado de acuerdo con AASHTO T22.
Estabilizado con cemento de gradación abierta	No hay correlaciones disponibles
Suelo-cemento[3]	***E*** **=** 1.200 * ***(¡u(1 S)*** donde, ***E*** es el módulo de elasticidad, psi ***qu*****=**resistencia a la compresión no confinada, psi ensayada de acuerdo con A5TM D1633 "Método de Ensayo Estándar para la Resistencia a la Compresión de Cilindros Moldeados de Suelo-C emento"
Suelo-ceniento-cemzas volantes'	E = 50O + ¡7„ ***(¡ o)*** donde, ***E*** es el módulo de elasticidad, psi ***qu***= resistencia a la compresión no confinada, psi ensayada de acuerdo con ASTM C593 "Especifica ciónEstándar para Cenizas Volantes y Otras Pii-zolauas a ser Usadas con C a l"
Suelos estabilizados con cal"	***M r*** **=** 0.124 ***q „ + 9*** 98 ***(1 7)*** donde, ***M r*** **=** módulo resiliente, ksi. ***qa*****=**resistencia a la compresión no confinada, psi ensayada de acuerdo con ASTM5102 "Método de Ensayo Estándar para la Resistencia a la Compresión No Confinada de Mezclas Compactadas de Suelo-Cal".

Para datos de entrada del nivel 3 que se están manejando en este caso se pueden tomar de acuerdo con los datos históricos; a continuación se menciona una tabla tomada de la guía donde establece los datos históricos comparativos de módulos resilientes y materiales

Tabla 60 tomada de la guía de diseño DG 2002 Modulo Elástico para materiales químicamente estabilizados

Material Químicamente Estabilizado	**Rango ile *E*o .Virisi**	***EùM*,tínicos, nsí**
Concreto pobre	1,500,000 **a** 2,500,000	2,000,000
Agregados estabilizados con cemento	700,000 **a** 1,500,000	1,000,000
Agregados estabilizados con cemento de gradación abierta		750,000
Suelo cemento	50,000 **a** 1.000 000	Í00.000
C'al-cetneiit o-c emzasvol ante s	500,000 **a** 2,000,000	1,500,000
Suelos estabilizados con cal*	30,000 **a** 60,000	***a:***ooo

10.3.2 Modulo de Poisson. Este parámetro en nivel dos se puede determinar a partir de ensayos de laboratorio, dado que el tiempo y el costo que toma determinar el modulo, se pueden usar valores típicos para diseños nuevos, reconstrucciones y rehabilitaciones

A continuación se exponen los rangos recomendados de las relaciones de Poisson para materiales químicamente estabilizados

Tabla 61 Relación de Poisson para diferentes materiales estabilizados

Material	Relación de Poisson
Agregados estabilizados con cemento	0.1 a 0.2
(incluyendo concreto pobre)	
Suelo cemento	0.15 a 0.35
Cal-cenizas volantes	0.1 a 0.15
Suelos estabilizados con cal	0.15 a 0.2

Se toma con base en las recomendaciones de la literatura una relación de Poisson de 0.2

Tabla 62 Propiedades recomendadas del Cemento Portland para Bases estabilizadas (Tomadas guía DG 2002)

Especificación	Requerimiento
Contenido de Cemento*	El contenido de cemento Portland seleccionado debe asegurar que los agregados queden bien recubiertos. Se recomienda una tasa de aplicación de 137 a 177 kg/rn^3.
Relució» w/c	Relación w/c para asegurar resistencia y trabajabilidad: = 3 a 0.5
Trabíijabilidad	El revenimiento (slump) de la mezcla debe estar entre 1 y 2 pulgadas.
Limpieza	Use solo agregados limpios.
Permeabilidad	Permeabilidad mínima de la mezcla: 300 m /día.

10.3.3 Conductividad Térmica y Capacidad de Transmitir el Calor para Diseño. La conductividad térmica, K y la capacidad de transmitir el calor, Q, son aquellas propiedades de los materiales que controlan el flujo de calor a través del sistema de pavimentos y por eso influyen en los regímenes de temperatura y humedad dentro de él. La conductividad térmica y la capacidad de transmitir el calor son datos importantes para el EICM y se usan para estimar los perfiles de humedad y temperatura en la estructura del pavimento y sub-rasante a lo largo del período de vida de un pavimento.

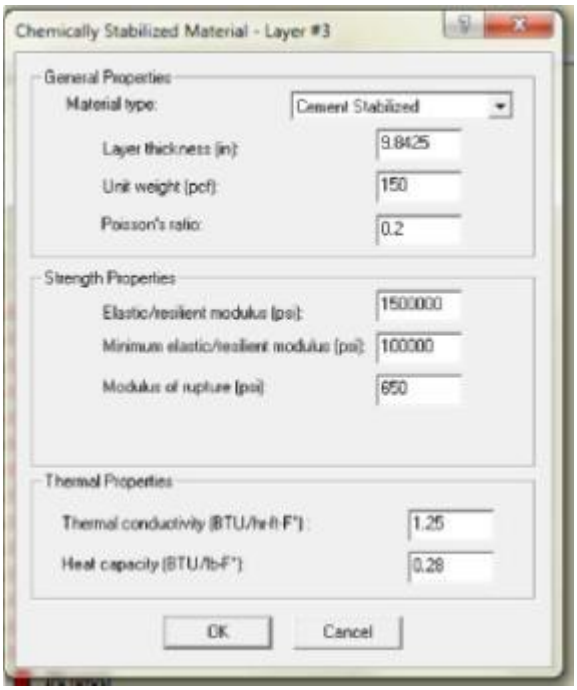
Se adjunta la tabla describe los enfoques recomendados para caracterizar K y Q a diferentes niveles jerárquicos de datos para materiales químicamente estabilizados. Esto es aplicable a diseños nuevos, reconstrucciones y rehabilitaciones con sobre capas.

Enfoque recomendado para la estimación de la conductividad térmica y de la capacidad de transmitir el calor para materiales químicamente estabilizados para los cálculos EICM.

Tabla 63 Conductividad térmica y Capacidad Calórica de acuerdo con la Guía de diseño

Propiedad del Material	Nivel de Dato	Descripción
Conductividad Térmica, K	1	Se recomienda una medida directa en este nivel (ASTM El952)
	2	No aplicable,
	3	El usuario selecciona el valor de diseño basado en los datos lústóricos de la agencia o de los siguientes valores típicos: * Los valores típicos para capas estabilizadas con cal van de 1.0 a 1.5 Btu/(pie)(hr)(^{c}F). Se puede usar un valor típico de 1.25 Btu/(pieXhr)(T) en los diseños
Capacidad de transmitir el calor, Q	1	Se recomienda una medida directa en este nivel (ASTM El 952)
	2	No aplicable
	3	El usuario selecciona el valor de diseño basado en los datos lustóncos de la agencia o de los sismen tes valores típicos: • Rango razonable de valores de 0.2 a 0.4 Btu/(pie)(hr)(°F). Se puede usar un valor típico de 0.2S Btu/(pie)(hr)(^{ft}F) en los diseños.

Figura 26. Entrada de datos del aplicativo para la base estabilizada



10.3.4 Prevención de la Erosión Debajo de una Capa de Base Estabilizada. Mientras que la capa de base es la capa más a menudo afectada por la erosión, cualquier capa ubicada debajo de una base tratada, puede experimentar una erosión seria. Hay muchos ejemplos de erosión de suelos finos debajo de una capa de base estabilizada, causantes de pérdida de soporte y escalonamiento en las juntas. Así, algunas agencias colocan una capa de sub-base granular de gradación densa entra la base y la sub-rasante compactada para reducir este problema

Tabla 64 Potencial de erosión del material de Base

Recomendaciones para Seleccionar el Potencial de Erosión del Material de Base en el Nivel 3. Basado solamente en la descripción del material

Clase **ele** El üriibilidrid	Descripción **del**Mnteri.il**y** Ensayo
1	**(1)** Concreto pobre con comportamiento **pasado** sobresaliente como material permeable y una capa **de sub**-base granular o una **capa** de suelo estabilizado, o un geotextil colocado entre la **base** tratada y la sub-rasante. De olía manera **es** Clase ***2.*** (2) Concreto con comportamiento pasado sobresaliente como material permeable y una capa **de** sub-base granular o una capa de suelo estabilizado colocada entre la base tratada y **la sub-**rasante: de otra manera es Clase ***2.*** (3) Capa permeable de drenaje (agregados tratados con asfalto o con cemento y con una capa de separación granular o de geotextil colocada entre la base permeable tratada y la **sub**-rasante. Sobre capas PCC no adheridas: Se especifica mía **capa** de separación de HMA (de gradación densa o permeable).
2	**(1)** Material granular tratado **con** cemento, **con buen** comportamiento pasado y **una capa** de sub-base granular o **una capa de** suelo estabilizado, o un geotextil colocado entre la base tratada y la sub-rasante De otra manera es Clase 3. (2) Material granular tratado con asfalto con buen comportamiento pasado y mía **capa** de **sub**-base granular o una capa de suelo **Tratado** o un geotextil colocado entre la base **Tratada** y la **sub-**rasante. De otra manera es Clase ***3.***
3	**(1)** Material granular tratado que ha mostrado alguna erosión y **bombeo en el** pasado. (2) Material granular tratado con asfalto, que ha mostrado alguna erosión y bombeo en el pasado. Sobre capas PCC no adheridas: Se usa tratamiento superficial o arena-asfalto.
4	Material granular triturado no adherido con una gradación densa y agregados de alta calidad.
5	Suelos de sub-rasante no **rraTados**(compactados).

En general se caracterizó el material de base estabilizada de la siguiente manera:

- Peso Unitario / Peso específico: 150 pcf
- Relación de Poisson: 0.20

- Modulo de elasticidad: 1.789.841 psi
- Se asume una conductividad térmica de 1.25 BTU/ hr/ft

10.3.5 Condiciones de Erodabilidad de la Base Estabilizada. Con base en las recomendaciones de la DG 2002, se asume una erodabilidad de 2 que representa las condiciones de manera mas acertada, se debe tener en cuenta que se presume unas buenas condiciones de drenaje es decir que se debe considerar que bajo la capa tratada con cemento debe existir una capa de suelo drenante o un geotextil, si se presume que estas condiciones no se presentan se debe trabajar con un índice de nivel 3.

10.4 SUBRASANTE

Esta se caracteriza de la igual manera que las capas granulares no ligadas, debido a la variación en los tipos de suelo (25 para Colombia) se requiere con el fin de afinar el diseño agruparlos en ciertas categorías es así como el INVIAS los agrupo en cinco tipos dependiendo de su resistencia, partiendo de esta resistencia, e identificando el tipo de suelo con índices de plasticidad, granulometría y todos los parámetros que se requieren

Como se desea modelar la condición más desfavorable, se opto por escoger el menor modulo resiliente para el intervalo que se esté trabajando (son cinco en su totalidad) determinando a partir de éste el tipo de suelo según relación establecida en la Guía de Diseño (Anexo 6C). Esto tipo de información se clasifica dentro de un nivel 3 de jerarquía. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta los suelos de subrasante que caracterizan los cinco rangos de resistencia establecidos en el catálogo de estructuras.

Tabla 65 Clasificación de los suelos para el aplicativo de acuerdo con los manuales INVIAS y con la clasificación AASHTO

Tipo de Suelo	Módulo Resiliente		Clasificación del Suelo	
	kg/cm^2	psi	AASHTO	SUCS
S1	300	4267	A-7-6	CH
S2	500	7112	A-7-6	CH
S3	700	9956	A-7-5	MH
S4	1000	14223	A-6	CL
S5	1500	21335	A-5	ML

Para el material de subrasante se maneja los mismos valores de módulo de Poisson (**μ = 0.33**) y presión lateral de tierras (**Ko = 0.5**) establecidos para las capas de base y subbase.

10.4.1 Agrietamiento térmico. Para predecir el agrietamiento térmico se requiere conocer propiedades adicionales de los materiales las cuales junto con las condiciones climáticas determinan el desarrollo y progreso de este tipo de falla. Las propiedades que se requieren son.

10.4.2 Resistencia a la tensión: Indica la resistencia a la tensión del material cuando es sometido a una prueba de tracción indirecta a una temperatura de 14 °F.

10.4.3 Deformación bajo flujo plástico: Indica la deformación del material cuando éste es sometido a una prueba de tracción indirecta bajo niveles de esfuerzo que mantienen al material en el rango viscoelástico a temperaturas de -4, 14 y 32 °F.

Como comentado se está trabajando estos parámetros para un nivel Jerárquico 3,la Guía de Diseño establece para los anteriores parámetros la utilización de los siguientes valores según el tipo de ligante.

Tabla 66. Deformación de flujo plástico y resistencia a la tensión según el tipo de ligante

Tipo de ligante	Tiempo (sec)	Deformación Flujo Plástico (1/Gpa)			Resistencia a la Tensión a 14°F (psi)
		-4°F	11°F	32°F	
Grado de penetración 85-100	1	0.041	0.060	0.077	444
	2	0.043	0.061	0.090	
	5	0.048	0.076	0.113	
	10	0.049	0.085	0.127	
	20	0.053	0.094	0.152	
	50	0.055	0.116	0.197	
	100	0.058	0.132	0.246	
Grado de penetración 60-70	1	0.030	0.035	0.062	370
	2	0.032	0.039	0.068	
	5	0.035	0.043	0.080	
	10	0.037	0.047	0.091	
	20	0.039	0.051	0.108	
	50	0.041	0.057	0.137	
	100	0.045	0.059	0.163	

10.4.4 Coeficiente de contracción térmica: El coeficiente de contracción térmica de la mezcla asfáltica es un factor importante para determinar el potencial de agrietamiento térmico en esta capa. Mide la magnitud de contracción que experimenta el material con la disminución de los niveles de temperatura. Se puede introducir este valor directamente o se puede utilizar el valor calculado internamente por el software a través de propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica (porcentaje de vacíos del agregado mineral en volumen VMA) y el coeficiente de contracción térmica de los agregados.

Para el análisis se opta por la última, en la cual el software calcula implícitamente el valor de VMA y establece por defecto un valor del coeficiente de contracción para los agregados (5.0x10^-6 /ºF), el cual es acorde a valores establecidos en varios tipos de agregado según su origen.

Tabla 67 Coeficiente de contracción térmica en agregados minerales

Tipo de agregado	Coeficiente de contracción térmica, 10^{A}-6/°F
Granitos y gneis	3.2 - 5.3
Sienitas, Dioritas, Andesitas, Basaltos, Gabros, Diabasa	3.0 - 4.5
Dolomitas	3.9 - 5.5
Areniscas	5.6 - 6.7
Arenas y gravas de cuarzo	5.5 - 7.1
Cuarcita, sílico-calcáreo	6.1 - 7.0

Los parámetros de absorción superficial de onda corta, conductividad térmica y capacidad calórica, también requeridos para el análisis de agrietamiento térmico, ya fueron definidos en numerales anteriores.

11. MODELAMIENTO Y REVISION DE DISEÑOS CONTENIDOS EN EL MANUAL INVIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE

De acuerdo con los objetivos específicos del presente estudio se requiere conocer los modelos de deterioro para las estructuras contenidas en el Manual de INVIAS de Pavimentos flexibles para altos y medianos volúmenes de tránsito, y específicamente aquellas tienen como característica bases estabilizadas.

En los capítulos anteriores se hizo una descripción de las entradas de datos que requiere el software, se describió el transito, los parámetros de medida, el clima, una a una las entradas de datos que se requieren, en este capítulo de modelación, se realizara una evaluación del comportamiento y desempeño de las estructuras que contienen las cartas de diseño INVIAS revisadas con el método empírico mecanicista utlizando el software dg 2002.

El manual de diseño INVIAS que se ha hecho referencia contiene seis cartas de diseño cada carta corresponde a un clima especifico, para realizar los modelos se tomó una muestra representativa de las estructuras con el fin de evaluar en el diseño en si y las tendencias comparativas de los diferentes parámetros.

De las seis cartas de diseño se eligieron cuatro para que se revisara el comportamiento en casos de bajas, medianas y altas solicitaciones por clima, es decir revisamos desde la condición menos desfavorable a la más desfavorable, entonces se modelo la región R1 correspondiente a los climas fríos secos y fríos húmedos con precipitaciones inferiores a 2000mm/año, la región R1 correspondiente a climas templado seco y templado húmedo con precipitaciones inferiores a 2000 mm/ año, La región R3 con climas cálido seco y cálido húmedo con temperaturas entre 20 y 30°C y precipitaciones inferiores a 2000 mm/año y finalmente se tomo la condición más critica que la posee la región R6 que contiene los climas mas cálidos y húmedos con temperaturas entre 20 y 30°C y precipitaciones superiores a 4000 mm/año.

Aunque no se realizaron los modelos para todas los tipos de clima, debido a su extensión y lo dispendioso que resulta el manejo de los datos de entrada si se realizó el modelamiento climático para todas las regiones y se dejan los archivos icm que requiere el software para todos los tipos de clima.

Al igual que para el clima se tomaron diferentes condiciones de suelo de fundación, con el fin de obtener una muestra representativa, se tomaron cinco tipos de subrasante definidas en el manual de acuerdo con la capacidad de soporte, S2 suelos con capacidad de soporte entre 500 y 700 kg/cm^2, S3, suelos con capacidades de soporte entre 700 y 1500 kg/cm2, S4 modulo resilientes entre 1000-1500kg/cm2 y S5 suelos con capacidad de soporte superiores a 1500 kg/cm2 en todos los casos se tomo la condición más crítica es decir el menor valor de modulo resiliente para cada intervalo.

En cuanto a la ultima variable de importancia que es el factor Tránsito se realizaron modelos para tres tipos de transito, desde el que menos presenta afectaciones por carga hasta la condición más critica que es el tránsito de 40 millones de ejes equivalentes. El manual de INVIAS posee nueve tipos diferentes de transito de los que se eligieron tres, para revisar el comportamiento a las condiciones menos criticas (Transito T4 = 6 millones de ejes equivalentes), la condición intermedia (Transito T6= 15 millones de ejes equivalentes) y la condición crítica (Transito T9 = 40 millones de ejes equivalentes).

De acuerdo con lo expuesto a continuación en la tabla 58 se resumen las estructuras que se modelaron y evaluaron.

Tabla 68 Estructuras a Evaluar por deterioro

CARTA DE DISEÑO 1			
R1S2T4	R1S3T4	R1S4T4	R1S5T4
R1S2T6	R1S3T6	R1S4T6	R1S5T6
R1S2T9	R1S3T9	R1S4T9	R1S5T9

Tabla 68. Continuación

CARTA DE DISEÑO 2			
R2S2T4	R2S3T4	R2S4T4	R2S5T4
R2S2T6	R2S3T6	R2S4T6	R2S5T6
R2S2T9	R2S3T9	R2S4T9	R2S5T9

CARTA DE DISEÑO 3			
R3S2T4	R3S3T4	R3S4T4	R3S5T4
R3S2T6	R3S3T6	R3S4T6	R3S5T6
R3S2T9	R3S3T9	R3S4T9	R3S5T9

CARTA DE DISEÑO 6

R6S2T4	R6S3T4	R6S4T4	R6S5T4
R6S2T6	R6S3T6	R6S4T6	R6S5T6
R6S2T9	R6S3T9	R6S4T9	R6S5T9

El aplicativo realiza un modelamiento extenso de cada parámetro, la información que concluye es muy interesante dado que modela mes a mes cada estructura hasta completar la vida útil, muestra la progresión del daño y las características especialmente del tránsito y de la deformación que soporta cada estructura.

11.1 MODELOS DE DETERIORO DE LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS

El software posee gran complejidad en el manejo de la información tanto de datos de entrada como la respuesta de la estructura, éste realiza un modelamiento individual de cada parámetro mes a mes durante la vida útil del pavimento, por la extensión del mismo se realiza un resumen de cada modelo con los parámetros más importante y se realiza la verificación del cumplimiento de los requisitos que generalmente se exigen por norma, es decir se comprueba que las deformaciones estén en los rangos permisibles al igual que los diferentes criterios de IRI.

A continuación se encuentra el resumen de cada carta de diseño (identificadas con colores), un resumen del deterioro de la estructura y los parámetros de falla, se realizaron en total 48 modelos

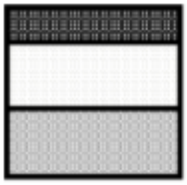
El comportamiento estructural de un pavimento se relaciona con su condición física (agrietamiento por fatiga y ahuellamiento para pavimentos flexibles y escalonamiento en la junta y agrietamiento de la losa para pavimentos rígidos u otras condiciones que podrían afectar adversamente la capacidad de soportar cargas de la estructura del pavimento o que deberían requerir mantenimiento). Algunos de esos tipos de falla clave pueden predecirse directamente utilizando conceptos mecanicistas y están directamente considerados en el procedimiento de diseño.

Tabla 69. Resumen del Comportamiento para estructuras de la Región 1

Modelo Correspondiente a la Región fría seca y fría semihumeda con temperaturas menores a 13°, precipitaciones menores a 2000 mm/años observa que la estructura alcanza su periodo de diseño si fallas por agrietamiento longitudinal o transversal y con el IRI final inferior al IRI mimo es decirla estructura no pierde su serviciabilidad a lo largo de su vida útil

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R1-S2-T4
CLIMA	<13°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500 kg /cm2

ESTRUCTURA



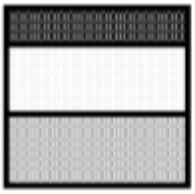
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	5.9055	15
SUBBASE GRANULAR	5.9055	15

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observación**
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal	198.2	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	22.2	ok
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0923	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.204	ok
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.572	ok
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	15	

Modelo Correspondiente a la Regionfria seca y friasemihumedacontemperaturasmenoresa13°, precipitaciones menores a 2000mm/añoseobservaquelaestructuraalcanzasuperiodo dediseñosifallas por agrietamientolongitudinal o transversaly conelIRIfinalinferioral IRImimoesdecirla estructura no pierde su serviciabilidad a lo largo de su vida útil

PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500 kg /cm2

ESTRUCTURA



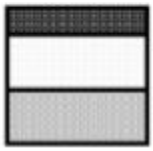
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	4.7244	12
BASE GRANULAR =	7.874	20
SUBBASE GRANULAR	11.811	30

CRITERIOS INICIALES		**EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS**		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observación**
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal	265.24	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	42.1	ok
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0251	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	no falla	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.349	ok
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.711	ok
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	15	

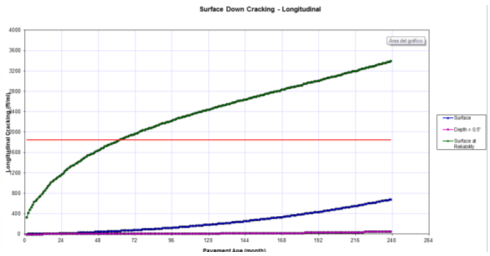
ModeloCorrespondientealaRegionfriasecayfriasemihumedacontemperaturasmenoresa13°,precipitacionesmenoresa2000mm/año,elmodelopresentafallaporAgrietamientolongitudinaldelacarpetaypordeformaciónpermanenteenlacarpetaasfáltica,enlapartesuperiorseencuentraunagraficadedeformaciónlongitudinalmaximayseobservaenellaquelaestructuraconperiododediseñode20años,solologracincoañossinfallasquesuperen el limite permisible, es decir empieza a perder la serviciabilidad en el quinto año.

PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500 kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	4.7244	12
BASE GRANULAR =	13.7795	25
SUBBASE GRANULAR	11.811	30

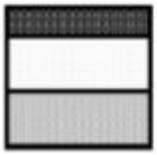


CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observacion**
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal	290.88	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	683	falla !!!!
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0251	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	no falla	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.585	falla
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.036	falla pasa por encima del 90%
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	5	

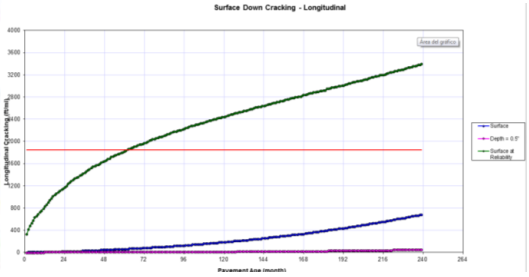
ModeloCorrespondientealaRegionfriasecayfriasemihumedacontemperaturasmenoresa13°,precipitacionesmenoresa2000mm/año,laestructura presenta un desempeño adecuado en el periódo de diseño

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R1-S3-T4
CLIMA	<13°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700 kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.874	20
SUBBASE GRANULAR	7.874	20



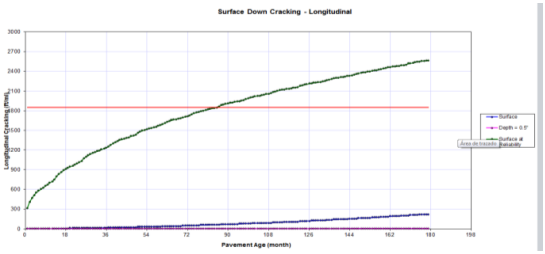
CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal	290.88	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	683	falla !!!!
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0251	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	no falla	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.585	falla
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.036	falla pasa por encima del 90%
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	5	

ModeloCorrespondientealaRegionfriasecayfriasemihumedacontemperaturasmenoresa13°,precipitacionesmenoresa2000mm/año,Moduloreslientede700kg/cm2laestructurapresentaundesempeñointermedioensuvidaútilaunquelasfallassonsomeras,esdecirnoalcanzanelmáximodeladeformaciónmáximapermisiblesiseobservaquelaestructurapermaneceinalteradalospirmerossieteañosdevidaildelosquincaañosparalos que fue diseñada

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	**R1-S3-T6**
CLIMA	<13°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700 kg /cm2

ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.874	20
SUBBASE GRANULAR	11.811	30



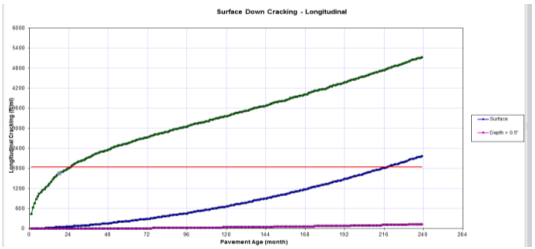
CRITERIOS INICIALES		**EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS**		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observacion**
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	203	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	226	falla ?7
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.3	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	1	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	no falla	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.328	ok
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.693	ok
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	7	

ModeloCorrespondientealaRegionfriasecayfriasemihumedacontemperaturasmenoresa13°,precipitacionesmenoresa2000mm/año,Moduloreslientede700kg/cm2,Laestructurapresentaconsiderableporagrietamientolongitudinalenlacarpeta,fallapordeformaciónpermanenteyestaporencimadel90%queseteiencomocriterioparadeformaciónpermanentetotaal,,seobservaquesoloalcanzadosañosdevidautilsindañodelosveintepara los que fue diseñada.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R1-S3-T9
CLIMA	<13°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700 kg /cm2

ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	11.811	30
SUBBASE GRANULAR	11.811	30

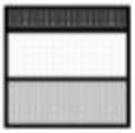


CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observacion**
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal para rehabilitacion	291	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	2180	falla
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	1.88	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	1	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado		
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.55	falla
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.008	> 90% falla
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,914,320	
Periodo de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	2	
		vehiculos pesados para falla	648042	

ModeloCorrespondientealaRegionfriasecayfriasemihumedacontemperaturasmenoresa13°, precipitaciones menoresa2000mm/año,Moduloresliente de 1000kg/ cm2, el deterioro de la estructura esta acorde con el diseño y presenta un comportamiento adecuado durante su vida útil

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R1-S4-T4
CLIMA	<13°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1,000 kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.87401	20
SUBBASE GRANULAR	7.87401	20

CRITERIOS INICIALES		**EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS**		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observacion**
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	256.99	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	5.35	ok
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0913	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado		
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.193	ok
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.542	ok
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	15	

ModeloCorrespondientealaRegionfriasecayfriasemihumedacontemperaturasmenoresa13°,precipitacionesmenoresa2000mm/año,Moduloreslientede1000kg/cm2,eldeteriorodelaestructuraestaacordecone ldiseñoypresentauncomportamientoadecuadodurantesuvidaútilsolohastael año 12 se inicia la aparición de fisuras que no comprometen el desempeño del pavimento

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R1-S5-T6
CLIMA	<13°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1,500 kg /cm2

ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	5.9055	15
SUBBASE GRANULAR	5.9055	15

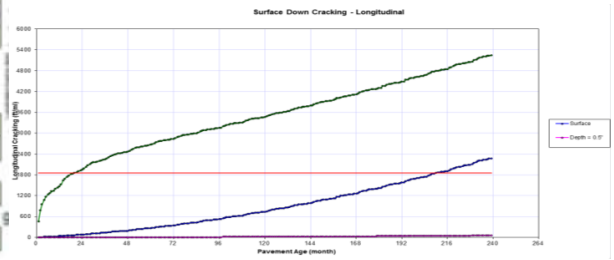
CRITERIOS INICIALES		**EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS**		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observacion**
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	264.09	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	102	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.327	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado		
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.317	ok
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.696	ok
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	12	

ModeloCorrespondientealaRegionfriasecayfriasemihumedacontemperaturasmenoresa13°,precipitacionesmenoresa2000mm/año,Moduloreslientede1000kg/cm2,eldeteriorodeéstaestructuraesmuyrápido,dosañosdespuesdesupuestaenfuncionamientoyapierdeserviciabilidad,seobservaqueseobtienenvaloresdeagrietamientolongitudinalmuyporencimadelospermisiblesyquesuperael90%delvalorquesetieneco mocriterio de fala para deformaicón permanente total.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R1-S4-T9
CLIMA	<13°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1,000 kg /cm2

ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	5.9055	15
SUBBASE GRANULAR	13.7795	35



CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observacion**
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	264.09	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	102	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.327	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado		
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.317	ok
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.696	ok
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	12	

ModeloCorrespondientealaRegionfriasecayfriasemihumedacontemperaturasmenoresa13°,precipitacionesmenoresa2000mm/año,Moduloreslientede1500kg/cm2,laestructurapresentaundesempeñointermedioaunquenollegaaloslimitesdeperdidadeserviciabilidad,siposeeciertogrado de fisuración que se vuelve notoria cinco años despues de su puesta en funcionamiento.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	**R1-S5-T4**
CLIMA	<13°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1,500 kg /cm2

ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	2.9507	7.5
BASE GRANULAR =	5.9055	15
SUBBASE GRANULAR	5.9055	15

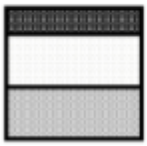
CRITERIOS INICIALES		**EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS**		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observacion**
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	255.67	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	371	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0071	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	N/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.188	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.55	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	4.83	

Vehiculos pesados en el tiempo de falla 388005

ModeloCorrespondientealaRegionfriasecayfriasemihumedacontemperaturasmenoresa13°,precipitacionesmenoresa2000mm/año,Moduloresliente de 1500kg/ cm2, la estructura presenta un desempeño intermedio se inicia la fisuración en el año 12 de su puesta en funcionamiento.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	**R1-S5-T6**
CLIMA	<13°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1,500 kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	5.9055	15
SUBBASE GRANULAR	5.9055	15

CRITERIOS INICIALES		**EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS**		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observacion**
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitación	261.45	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848 40	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	94 0.306	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo		Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %		
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible		Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado		
Deformación Permanente en la carpeta permisible	25	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica Deformación Permanente		
Deformación Permanente total	0.5 1.25	total	0.315 0.667	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	11.75	
		Vehiculos pesados en el tiempo de falla	2714280	

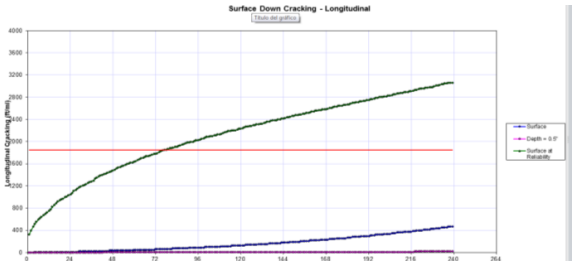
Tabla 70 Resumen del Comportamiento para estructuras de la Región 2

ModeloCorrespondientealaRegionfriasecayfriasemihumedacontemperaturasmenoresa13°,precipitacionesmenoresa2000mm/año,Moduloreslientede1500kg/cm2,laestructurapresentaundesempeñointermedioaunquenoalcanzavalorescriticosdeagrietamientoodeformaciones,ladeformación permantente de la carpeta llega hasta el 90% de la maxima permitida, presentandose fallas a partir del sexto año de su puesta en servicio.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R1-S5-T9
CLIMA	<13°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1,500 kg /cm2

ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	5.9055	15
SUBBASE GRANULAR	9.8425	25



CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS		
EPECIFICACION	VALOR	**ESPECIFICACION**	**VALOR**	**observación**
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal para rehabilitacion	281.78	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	468	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	1.22	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.475	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.882	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	6.25	
		Vehiculos pesados en el tiempo de falla	2,231,690	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede500kg/cm2, se observa que la estructura alcanza su periodo de diseño sin fallas que afecten su desempeño.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R2-S2-T4
CLIMA	13°-20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500 kg /cm2

ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.874015	20
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal	259.81	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	42.2	ok
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.112	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.232	ok
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.581	ok
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	1,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	15	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede500kg/cm2, se observa que la estructura alcanza su periodo de diseño sin deformaciones o fallas importantes pero se inicia su deterior en el año 10 despues de su puesta en servicio.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R2-S2-T6
CLIMA	13°-20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500 kg /cm2

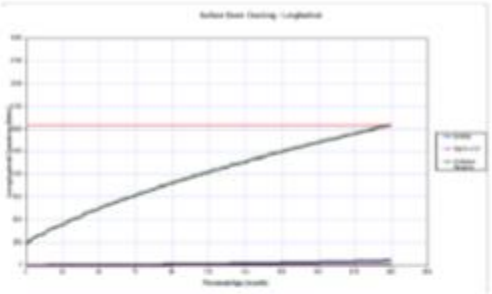
ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	4.7244	12
BASE GRANULAR =	9.8425	25
SUBBASE GRANULAR =	13.779	35

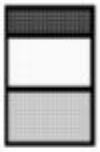
CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
(RI) Maximo permitido	507	(RI) terminal	266.75	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	122	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0379	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.379	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.735	
Transito de Diseño	1,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	10.25	
		Vehiculos pesados para falla	2284940	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede500kg/cm2,seobservaquelasdeformacionesp ermanentesenlacarpetasuperanlaspermisiblesyquepresentafallasalfinaldesuperiododediseñoperoeng eneraaestructuraposeeun comportamiento intermedio a bueno.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R2-S2-T9
CLIMA	13°-20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500 kg/cm2



ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	5.90551	15
BASE GRANULAR =	9.8425	25
SUBBASE GRANULAR =	13.779	35

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal	288.91	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	61.7	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.14	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.633	falla?
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.989	falla?
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	19.5	
		Vehiculos pesados para falla	9,758,480	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede700kg/cm2, la estructura presenta un buen desempeño y no presenta fallas ni deformaciones durante su periodo de d iseño

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	**R2-S3-T4**
CLIMA	13°-20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700 kg /cm2

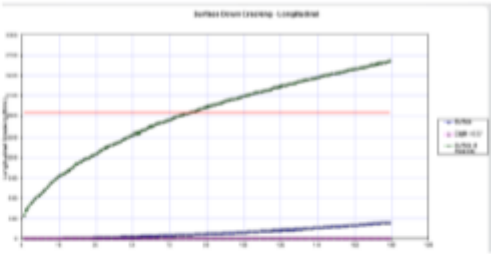
ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	5.90505	15
SUBBASE GRANULAR =	7.874	20

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal(rehabilitacion)	257.33	ok
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	50.1	ok
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.084	ok
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	ok
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	ok
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.227	ok
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.535	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	15	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede700kg/cm2, la estructura presenta un desempeño intermedio y aparecen algunas deformaciones permanentes en la carpeta a los 6.6 años despues de su puesta en servicio pero al final de su periodo de diseño no supera los valores permisibles es decir presenta un comportamiento aceptable.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R2-S3-T6
CLIMA	13°-20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700 kg /cm2



ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.874	20
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30

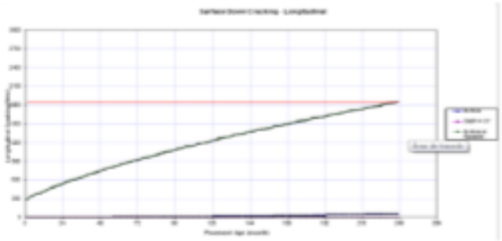
CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal(rehabilitacion)	266.53	ok
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	241	ok
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.363	ok
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	ok
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	ok
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.361	ok
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.728	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	6.6	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede700kg/cm2,laestructurapresentaunadeforma ciónenpermanenteenlacarpetaquesuperaellimite,peroengeneralpresentauncompotamientointermedio yaquesolohastaelaño19.6despues de su puesta en servicio es que inician las fallas.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	**R2-S3-T9**
CLIMA	13° -20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700 kg /cm2

ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	5.9055	15
BASE GRANULAR =	9.842519	25
SUBBASE GRANULAR =	13.77952	35

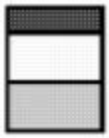


CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal(rehabilitacion)	288.9	ok
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	61.7	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.14	ok
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	ok
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	ok
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.633	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.989	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,370	
Periodo de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	19.66666667	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede700kg/cm2,laestructurapresentaunadeforma ciónenpermanenteenlacarpetaquesuperaellimite,peroengeneralpresentauncompotamientointermedio yaquesolohastaelaño19.6despues de su puesta en servicio es que inician las fallas.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R2-S4-T4
CLIMA	13° -20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1000 kg /cm2

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	5.9055	15
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	20

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal(rehabilitacion)	257.17	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	14.4	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0923	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.216	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.543	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	15	NO HAY FALLA

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede1000kg/cm2, la estructura presenta un buen desempeño durante su periodo de diseño

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	**R2-S4-T6**
CLIMA	13° -20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1000 kg /cm2

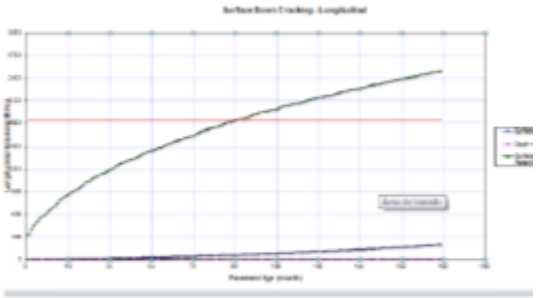
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.8749	20
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal(rehabilitacion)	265.31	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	200	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.373	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.352	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.712	OK
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	7.5	NO HAY FALLA

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede1000kg/cm2,Eldesempeñodelamismanoesel deseadopuestoquefalladespuesde7.5añosdesupuestaenservicioysudeformacionessuperanlaspermisi blesenlagracaseobserva que hacia el mes 90 inicia la falla

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R2-S4-T9
CLIMA	13° -20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1000 kg /cm2



ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	5.9055	15
BASE GRANULAR =	5.9055	15
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal(rehabilitacion)	286.48	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /mila)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/mila)2 alcanzada	55.1	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.112	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.636	falla!!!
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.953	falla!!!
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	7.5	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede1500kg/cm2, La estructura presenta un comportamiento y desempeño adecuado durante su vida util y no supera los criterios admisibles para deformaciones y rugosidad.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R2-S5-T4
CLIMA	13° -20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1500 kg /cm2

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

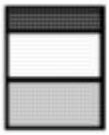
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	5.90551	15
SUBBASE GRANULAR =	5.90551	15

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal(rehabilitacion)	255.6	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	25	ok
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.113	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.216	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.53	ok
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	15	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede 1500kg/cm2, La estructura presenta un comportamiento y desempeño adecuado durante su vida util y no supera los criterios admisibles para deformaciones y rugosidad.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	**R2-S5-T6**
CLIMA	13° -20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1500 kg /cm2

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO



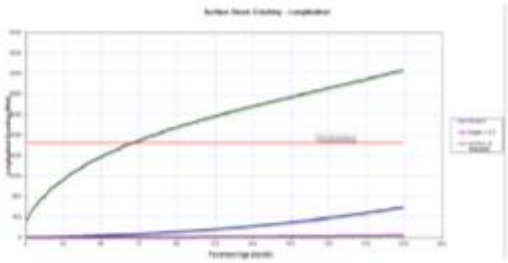
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.8749	20
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal(rehabilitacion)	262.47	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	166	ok
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.32	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	n/a	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.348	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.679	ok
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla		

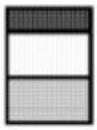
Tabla 71. Resumen del Comportamiento para estructuras de la Región 3

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre13y20°yprecipitacion esmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede1500kg/cm2,laestructurapresentadeformacio nesconsiderablesalquintoañodesupuestaenserviciocondeformacionespermanentesenlacarpetaasfálti ca,aunquenopierdesuserviciabilidad total dado que no supera los valores rugosidad

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R2-B5-T9
CLIMA	13° -20°
PRECIPITACION	< 2000 mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000 Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1500 kg /cm2



ESTRUCTURA DE PAVIMENTO



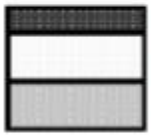
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	4.7244	10
BASE GRANULAR =	7.8749	20
SUBBASE GRANULAR =	7.8749	20

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal(rehabilitacion)	286.05	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	592	ok
Agrietamiento Transversal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.162	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	na	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.609	falla
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.986	ok
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	5.5	
		Vehiculos pesados hasta la falla=	3,122,660	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede500kg/cm2,Eldesempeñodelaestructuraesmuypobre,elagrietamientolongitudinalaunquenosuperaloscriteriosdepermisibilidad, no se comporta adecuadamente, presenta fallas por deformación permanente de la carpeta que superan la permisibles.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S2-T4	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500	kg /cm2

ESTRUCTURA



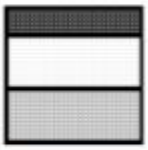
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	9.842519	25
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal (rehabilitacion)	285.22	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	1070	FALLA
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.286	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.671	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.067	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Perido de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	1.4	
		Vehiculos pesados para alcanzar falla	105,644	

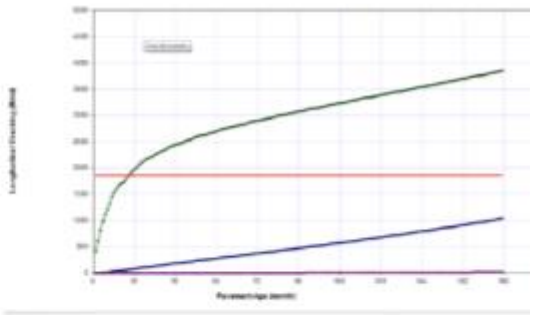
ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede500kg/cm2,Eldesempeñodelaestructuraesmuypobre,elagrietamientolongitudinalaunquenosuperaloscriteriosdepermisibilidad, no se comporta adecuadamente, presenta fallas por deformación permanente de la carpeta que superan la permisibles.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S2-T6	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500	kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	4.7244	12
BASE GRANULAR =	11.811	30
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30

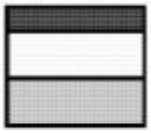


CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal (rehabilitacion)		
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	1040	FALLA?
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.12	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.092	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.511	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	0.25	
		Total vehiculos pesados para falla		

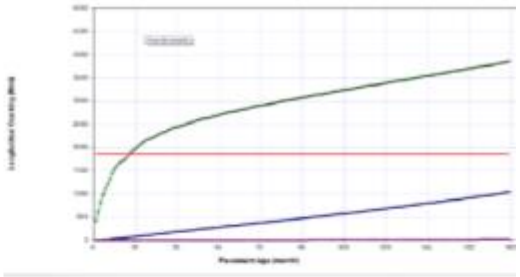
ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede500kg/cm2,Eldesempeñodelaestructuraesmuypobre,elagrietamientolongitudinalaunquenosuperaloscriteriosdepermisibilidad, no se comporta adecuadamente, presenta fallas por deformación permanente de la carpeta que superan la permisibles.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S2-T6	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500	kg /cm2

ESTRUCTURA



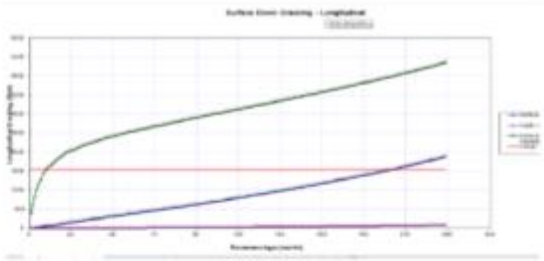
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	4.7244	12
BASE GRANULAR =	11.811	30
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30



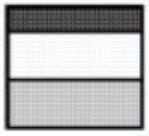
CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal (rehabilitacion)		
Agnetamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	1040	FALLA?
Agnetamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.12	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.092	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.511	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Perido de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	0.25	
		Total vehiculos pesados para falla		

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmodulo resiliente de 500 kg /cm2, el desempeño de la estructura es muy pobre, presenta fallas por regularidad superficial considerables, el desempeño es muypobre,lasdeformacionespermanentessuperantresveceslaspermisiblesypresentafalla9mesesdespuesdeiniciarsupuestaenfuncionamiento,en general se observa el pobre desempeño de las estructuras de la carta de diseño No. 3}

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S2-T9	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500	kg /cm2



ESTRUCTURA



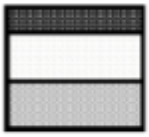
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	5.90511	15
BASE GRANULAR =	13.779	20
SUBBASE GRANULAR =	13.779	35

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPENO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal (rehabilitacion)	348.68	FALLA
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	2270	FALLA
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.573	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.838	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	2.266	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Perido de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	0.75	9 MESES
		Total vehiculos pesados para falla	237668	
numero fallas presentadas	3			

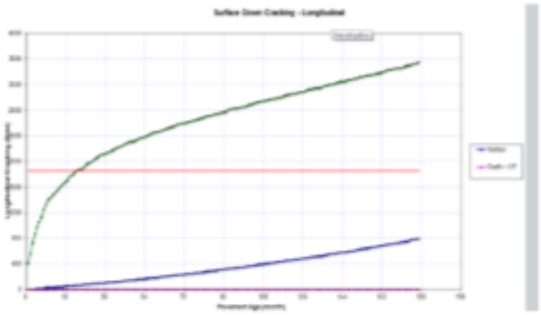
ModeloCorrespondienteala Regiontemplada humedaytemplada semihumedaentre20-30°y precipitacionesmenores a 2000mm/año, presentaunmoduloresilientede500kg/cm2, presentafallaspor deformacion permanenteenla carpetaysuperael90% dedeformacióntotallaestructurafallacercade los dos años de su puesta en funcionamiento.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S3-T4	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700	kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.973	10
BASE GRANULAR =	9.8425	25
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25

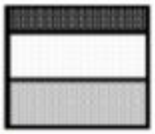


CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	281.24	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	794	FALLA????
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.284	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	na	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.654	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.046	FALLA SUP 90%
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Perido de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (AÑOS)+	1.91	
		Total Vehiculos pesados para falla	144,099	
numero fallas presentadas	3			

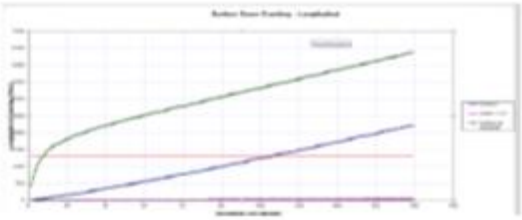
ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede700kg/cm2,ladeformaciónpermanentedelacarpetasuperaen100%lapermitida,aligualqueladeformaciónpermanentetotal,lafalla por agrietamiento longitudinal de la carpeta es muy notoria, y la falla supera los 6 meses despues de su puesta en servicio.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S3-T6	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700	kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	11.81102	30
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30



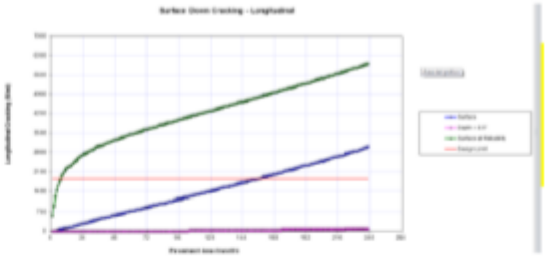
CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	301.63	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	3130	FALLA
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	1.02	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.04	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.47	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Perido de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	6 MESES	
numero fallas presentadas		Vehiculos pesados para falla	90,125	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede700kg/cm2,ladeformacionporagrietameintosuperaen90%laesperada,yladeformaciónpermanentedelacarpetapermisible,superaen200%ladeformacionpermsibleylaestructuraqueposeeunperiododediseñode20añosfallaalos5mesesdespuesdeiniciarsufuncionamiento.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S3-T9	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700	kg /cm2

ESTRUCTURA

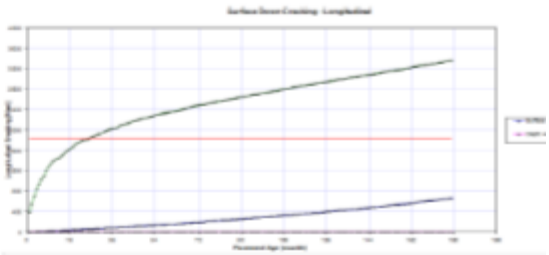
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	5.9057	11
BASE GRANULAR =	9.8425	25
SUBBASE GRANULAR =	13.739	35



CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal para rehabilitacion	346.62	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	3000	FALLA
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.494	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	na	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.84	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	2.232	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Perido de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	5 MESES	
		Vehiculos pesados para falla	132,038	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede1000kg/cm2,ladeformacion poragrietameintosuperaen90%laesperada,yladeformaciónpermanentedelacarpetapermisible,superaen200%ladeformacionpermsibleylaestructuraqueposeeunperiododediseñode20añosfallaalos5mesesdespuesdeiniciarsufuncionamiento.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S4-T4	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1000	kg /cm2



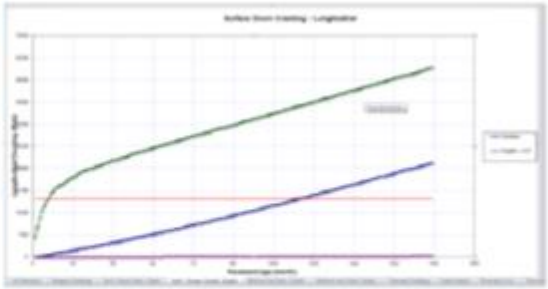
ESTRUCTURA

	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.874	20
SUBBASE GRANULAR =	7.874	20

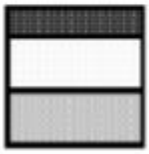
CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	279.01	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	667	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.247	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	Na	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.636	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.009	FALLA SUPERA 90%77
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Perido de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	2.16	
		Vehiculos pesados en el momento de la falla	163,903	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede1000kg/cm2,ladeformacion poragrietameintosuperaen90%laesperada,yladeformaciónpermanentedelacarpetapermisible,superae n200%ladeformacionpermsibleylaestructuraqueposeeunperiododediseñode20añosfallaalos6mesesd espuesdeiniciarsufuncionamiento.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S4-T6	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1000	kg /cm2



ESTRUCTURA

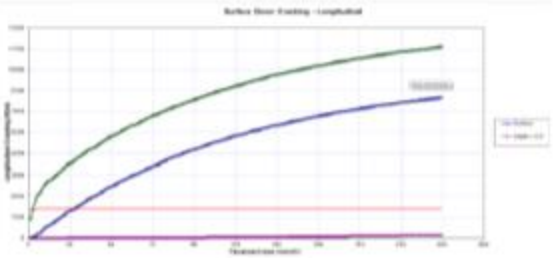


	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	9.8425	25
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25

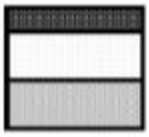
CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	299.09	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	3000	FALLA
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.926	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.019	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.429	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Perido de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	6 MESES	
		Vehiculos pesados que alcanza la falla	90,125	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede1000kg/cm2,ladeformacion poragrietameintosuperaen90%laesperada,yladeformaciónpermanentedelacarpetapermisible,superaen200%ladeformacionpermsibleylaestructuraqueposeeunperiododediseñode20añosfallaalos3mesesdespuesdeiniciarsufuncionamiento.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S4-T9	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1000	kg /cm2



ESTRUCTURA

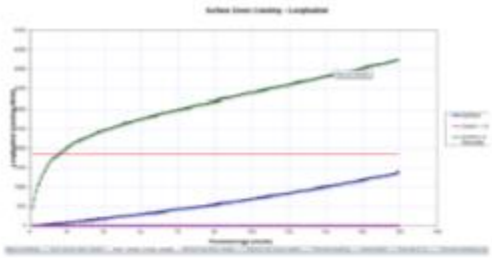


	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.874	30
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30

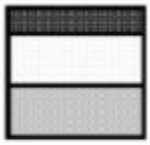
CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal para rehabilitacion	344.87	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	8690	FALLLAAAAA
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	3.6	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.704	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	2.147	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Perido de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	3 meses	
		Vehiculos peados que alcanzan la falla	79,223	

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede1500kg/cm2,Eldesempeño delaestructuranoesladeseada,ladeformaciónpermanentedelacarpetasuperalapermisibleyseinician su falla a 1.16 años despues de su puesta en funcionamiento.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S5-T4	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1500	kg /cm2



ESTRUCTURA



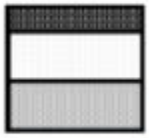
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	
BASE GRANULAR =	5.9055	
SUBBASE GRANULAR =	7.874	

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	275.74	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	1370	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.206	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.638	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.966	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Perido de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	1.16	
		Vehiculos pesados en el tiempo de falla	86,416	

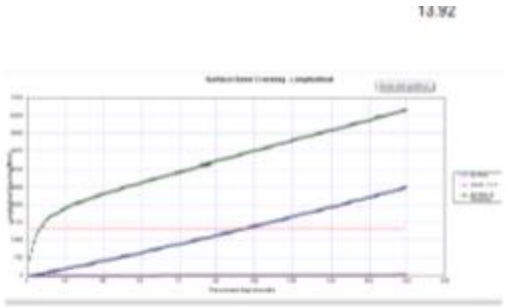
ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede1500kg/cm2.,presentaunmuypobredesempeño,elindicadordeagrietamientolongitudinalsuperaen95%delpermsiibleylasfallaspordeformaciónpermanentetambien,elperiodoqueiniciaelfalloenlaestructuraesde6mesesmuypobresiseconsideraquetiene15añosdeperiodo de diseño

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R1-S5-T6	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1500	kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.874	20
SUBBASE GRANULAR =	7.874	20

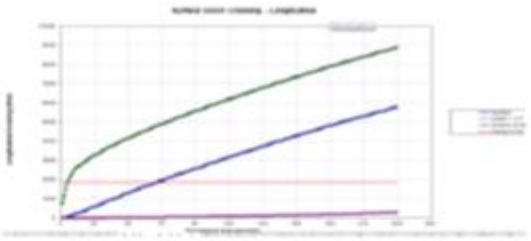


CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	296.24	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	3510	falla
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.854	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.015	falla
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.395	falla
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Perido de diseño	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	0.5	
		Vehiculos pesados en el tiempo de falla	90,125	

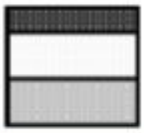
Tabla 72. Resumen del Comportamiento para estructuras de la Region R6

ModeloCorrespondientealaRegiontempladahumedaytempladasemihumedaentre20-30°yprecipitacionesmenoresa2000mm/año,presentaunmoduloresilientede1500kg/cm2,fallaportodosl osparámetrosdeevaluacióndesderegularidadsuperficial,agrietamientolongitudinalydeformaicónperma nente, al igual que la mayoria de las estructuras de la carta 3 presenta fallas muy tempranas

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R3-S5-T9	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	<2000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1500	kg /cm2



ESTRUCTURA



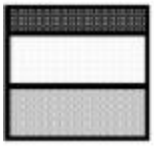
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	9.8425	25
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR LA ESTRUCTURA		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal para rehabilitacion	341.48	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	5800	FALLA
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.531	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.764	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	2.176	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo de diseño	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	0.33	4 MESES
		Vehiculos pesados en el tiempo de falla		

ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30° y precipitaciones mayores a4000mm/año, presenta un modulo resiliente de 500kg/cm2, la estructura presenta un comportamiento adecuado con respecto a los criterios de desempeño

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S2-T4	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500	kg /cm2

ESTRUCTURA



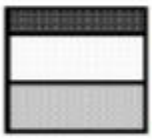
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	5.9011	15
BASE GRANULAR =	11.811	20
SUBBASE GRANULAR =	13.779	35

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal	269.76	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	24.6	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0339	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	na	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.432	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.734	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Periodo	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	15	

ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30°yprecipitacionesmayoresa4000 mm/año, presenta un modulo resiliente de 500 kg /cm2, La estructura presenta fallas por deromacion permanente en la carpeta

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S2-T6	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500	kg /cm2

ESTRUCTURA



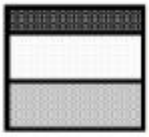
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	5.90511	15
BASE GRANULAR =	11.811	30
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal	283.47	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	51.4	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.091	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	na	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.671	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.031	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	no falla	
		Vehiculos pesados para falla		

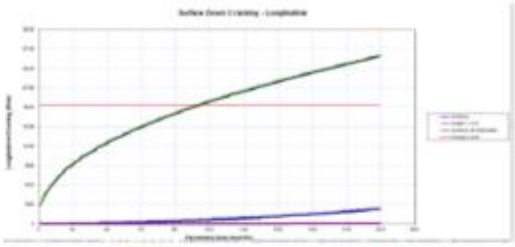
ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30°yprecipitacionesmayores a 4000mm/año, presenta un modulo resiliente de500kg/cm2, La estructura presenta fallas por deformación permanente en la carpeta y por deformación total de la estructura ,presenta un desempeño deintermedio abajosisetieneencuenta que sufallainiciaenel 50%delperiododediseño

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S2-T9	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	500	kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	7.874	20
BASE GRANULAR =	15.748	40
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25

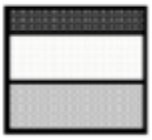


CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal	313.86	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	235	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0356	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	na	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.051	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.424	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	9.33	
		Vehiculos pesados que alcanzan la falla	3,580,070	
numero fallas presentadas	3			

ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30°yprecipitacionesmayoresa4000 mm/año, presenta un modulo resiliente de 700 kg /cm2, la estructura presenta un buen desempeño durante su periodo de diseño

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S3-T4	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700	kg /cm2

ESTRUCTURA



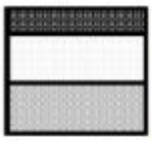
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	4.7244	12
BASE GRANULAR =	9.8425	25
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPENO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	273.07	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	64.8	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0291	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	na	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.464	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.814	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Periodo	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla	no falla	

ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30°yprecipitacionesmayores a4000mm/año,presentaunmoduloresilientede 700kg/cm2, laestructura presentaundesempeñointermedioaunquenosuperaloscriteriosdedesempeño y falla si se inicia su desgaste antes de finalizar su periodo de diseño

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S3-T6	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700	kg /cm2

ESTRUCTURA



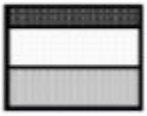
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	5.9011	15
BASE GRANULAR =	9.8425	25
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPENO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	281.8	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	27.9	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0843	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.657	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.00	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla		
numero fallas presentadas		Vehiculos pesados para falla		

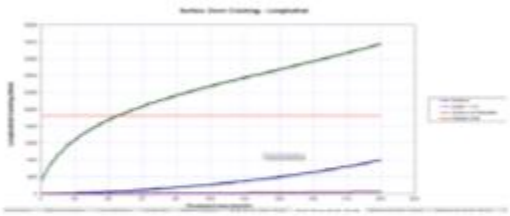
ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-
30°yprecipitacionesmayoresa4000mm/año,presentaunmoduloresilientede700kg/cm2,laestructuranoti enebuendesempeñoantedeformacionespermanetes,estassuperanlas permisibles y falla despues de 4.25 años de su puesta en servicio

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S3-T9	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	700	kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	5.9011	15
BASE GRANULAR =	17.748	40
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25

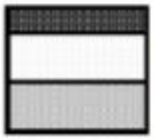


CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPENO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal para rehabilitacion	316.59	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	799	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.426	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.082	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.489	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	4.25	
		Vehiculos pesados para falla	1,513,180	

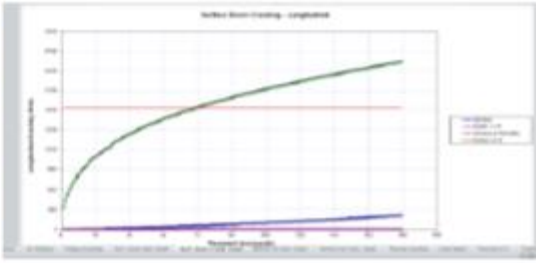
ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30°yprecipitacionesmayoresa4000mm/año, presentaunmodulo resilientede1000kg/cm2, Laestructurapresenta fallasterminandosuperiodo dediseño engeneral presentauncomportamiento aceptable.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S4-T4	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1000	kg./cm2

ESTRUCTURA



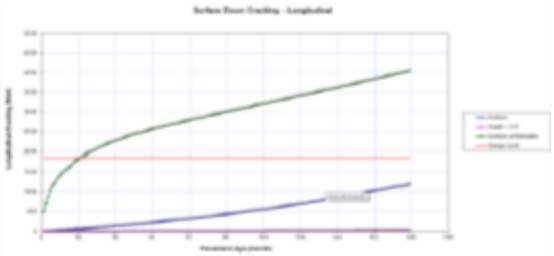
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
	3	
BASE GRANULAR =	7.874	20
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25



CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	270.2	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	217	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.199	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.414	FALLA > 90% PARA REHABILITACION
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.757	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	1,529,660	
Periodo	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	15	

ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30°yprecipitacionesmayoresa4000mm/año,presentaunmodulo resilientede 1000kg/cm2 laestructurapresentafallaspordeformacionpermanente en la carpeta asfáltica yestainicia solo 1.5 años despues de su puesta en funcionamiento.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S4-T6	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1000	kg /cm2



ESTRUCTURA

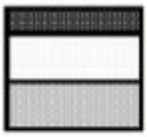
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	9.8425	25
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPENO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	283.71	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	1210	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.756	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado	NA	
Deformacion Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.659	FALLA
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.038	FALLA
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	1.5	
		Vehiculos pesados que alcanzan la falla0	274,432	

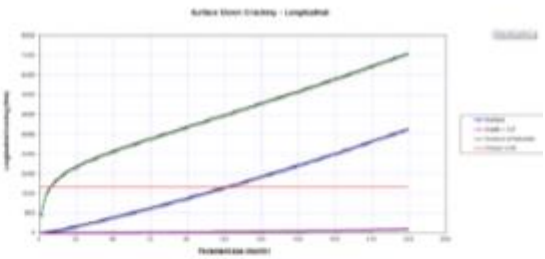
ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30°yprecipitacionesmayoresa4000mm/año,presenta unmoduloresilientede1000kg/cm2 laestructura presentaunmuy pobredesempeñofallapor agrietamientolongitudinal delacarpetaypordeformaciones permanentesylafallainicioloseis mesesdespuesdesupuesta enfuncionamiento si setieneencuentaqueelperiodode diseño es de 20 años.7

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S4-T9	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1000	kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	4.7244	12
BASE GRANULAR =	7.8746	20
SUBBASE GRANULAR =	13789	35

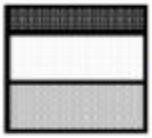


CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal para rehabilitacion	317.11	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	4230	falla
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	1.07	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica	0	
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado		
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.108	falla
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.501	falla
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	0.5	
		numero vehiculos pesados que alcanzan la	158,445	

ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30°yprecipitacionesmayoresa4000 mm/año, presenta un modulo resiliente de 1500 kg /cm2, el modelo posee un comportamiento aceptable.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S5-T4	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	6,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1500	kg /cm2

ESTRUCTURA



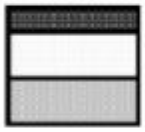
	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	7.5
BASE GRANULAR =	7.874	20
SUBBASE GRANULAR =	7.874	20

CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	229.61	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	8.23	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.0062	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica		
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado		
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.121	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.365	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	6,000,000	Vehiculos pesados totales	80,007	
Periodo	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	15	
		Vehiculos pesados en el tiempo de falla		

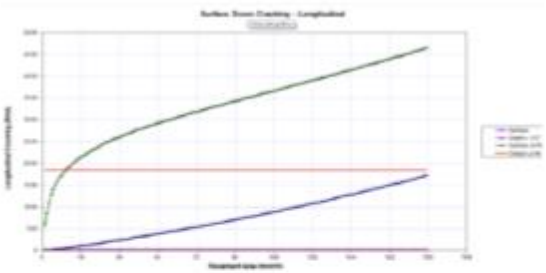
ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30°yprecipitaciones mayoresa4000mm/año,presenta unmodulo resilientede1500kg/cm2, elmodelofallapor agrietamientolongitudinaly deformaciónpermanente, comoenlamayoria de los casos para transito T6 las estructuras fallas en sus primeros años de puesta en funcionamiento en este caso antes del primer año.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S5-T6	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	15,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1500	kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.397	10
BASE GRANULAR =	5.9055	15
SUBBASE GRANULAR =	9.8425	25

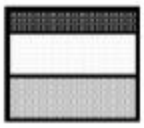


CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	507	IRI terminal para rehabilitacion	280.21	
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	1730	falla supera 90%
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	0.523	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica		
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado		
Deformación Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	0.661	falla
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	0.993	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	15,000,000	Vehiculos pesados totales	3,746,340	
Periodo	15	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	0.75	
		Vehiculos pesados en el tiempo de falla	135,188	

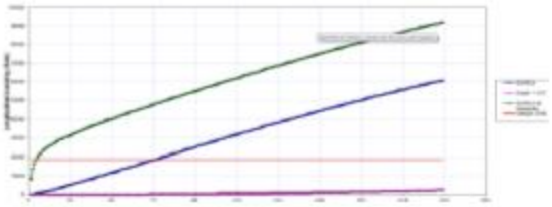
ModeloCorrespondientealaCartadediseñoNo.6pararegionescalidasmuyhúmedacontemperaturasentre 20-30°yprecipitacionesmayoresa 4000mm/año,presentaun moduloresilientede 1500kg/cm2, eldesempeñodelaestructuraesmalo,presentauncomportamientomuypobreencuanto a deformaciones permanentes y a agrietamiento lontudinal

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	R6-S5-T9	
CLIMA	20°-30°	
PRECIPITACION	>4000	mm/año
TRANSITO (Ejes equivalentes)	40,000,000	Ejes (8.2 Ton)
SUBRASANATE TIPO (Modulo Resiliente)	1500	kg /cm2

ESTRUCTURA



	Pulgadas	Cms
MDC 2 =	3.937	10
BASE GRANULAR =	7.874	20
SUBBASE GRANULAR =	11.811	30



CRITERIOS INICIALES		EVALUACION DE DESEMPEÑO - VALORES ALCANZADOS POR		
EPECIFICACION	VALOR	ESPECIFICACION	VALOR	observacion
IRI Maximo permitido	317	IRI terminal para rehabilitacion	317.28	falla
Agrietamiento Longitudinal de la CA Permisible (ft /milla)	1848	Agrietamiento Longitudinal CA (ft/milla)2 alcanzada	6110	
Agrietamiento Transvesal Permisible o maximo	40	Agrietamiento transversal Piel de cocodrilo %	3.07	
Fisuración Térmica ft / milla	1542	Fisuración termica		
Falla Por fractura en la capa estabilizada permisible	25	Falla por Fractura en la capa estabilizada alcanzado		
Deformacion Permanente en la carpeta permisible	0.5	Deformacion Permanente alcanzada solo en la Carpeta asfaltica	1.106	
Deformación Permanente total	1.25	Deformación Permanente total	1.502	
Transito de Diseño (ejes 8.2 ton)	40,000,000	Vehiculos pesados totales	9,941,320	
Periodo	20	Tiempo que alcanza la estructura sin falla (años)	0.25	
		Vehiculos pesados en el tiempo de falla	79,223	

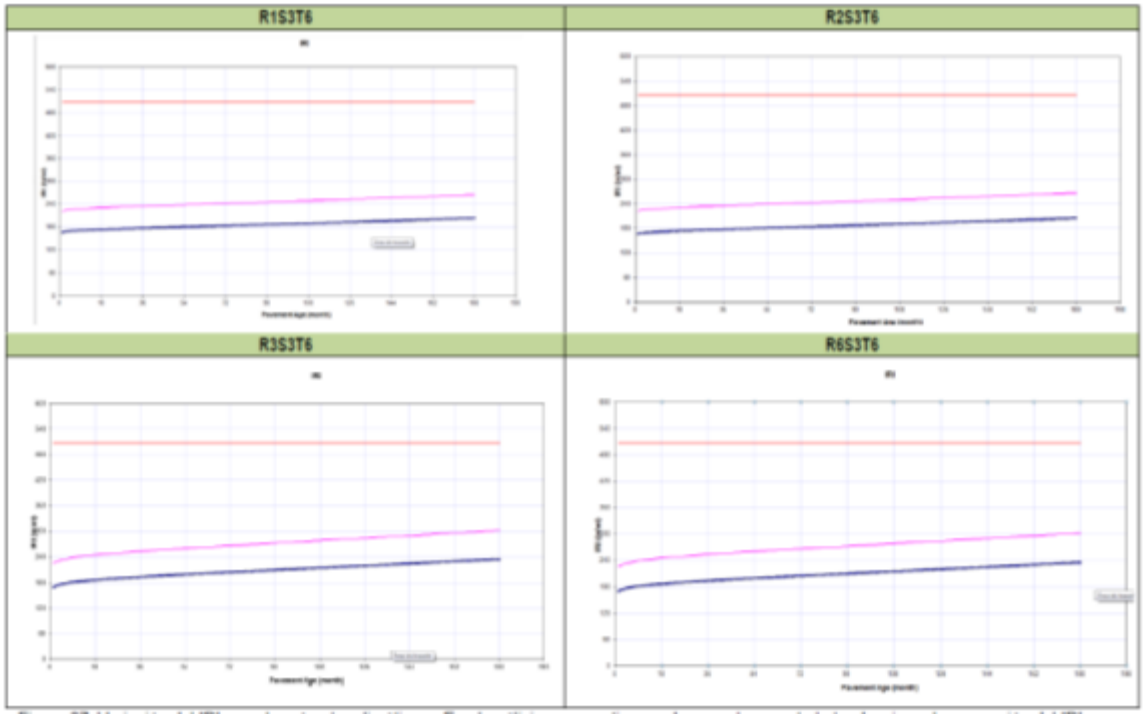
11.2 ANALISIS DE SENSIBILIDAD POR CLIMA

De las estructuras estudiadas se escogieron dos cartas de cuatro modelos que permiten una comparación y análisis adecuado de parámetros:

Se compararon modelos que poseen condiciones similares de tránsito y subrasante para regiones climáticas diferentes, es decir se tomaron estructuras con igual subrasante S3 es decir 700 kg / cm2 de modulo resiliente, se tomo igual parámetro de transito 15 millones de ejes equivalentes con el fin de observar cuán sensible es la variación de parámetros como la rugosidad superficial y la deformación de la carpeta ante las variaciones del clima.

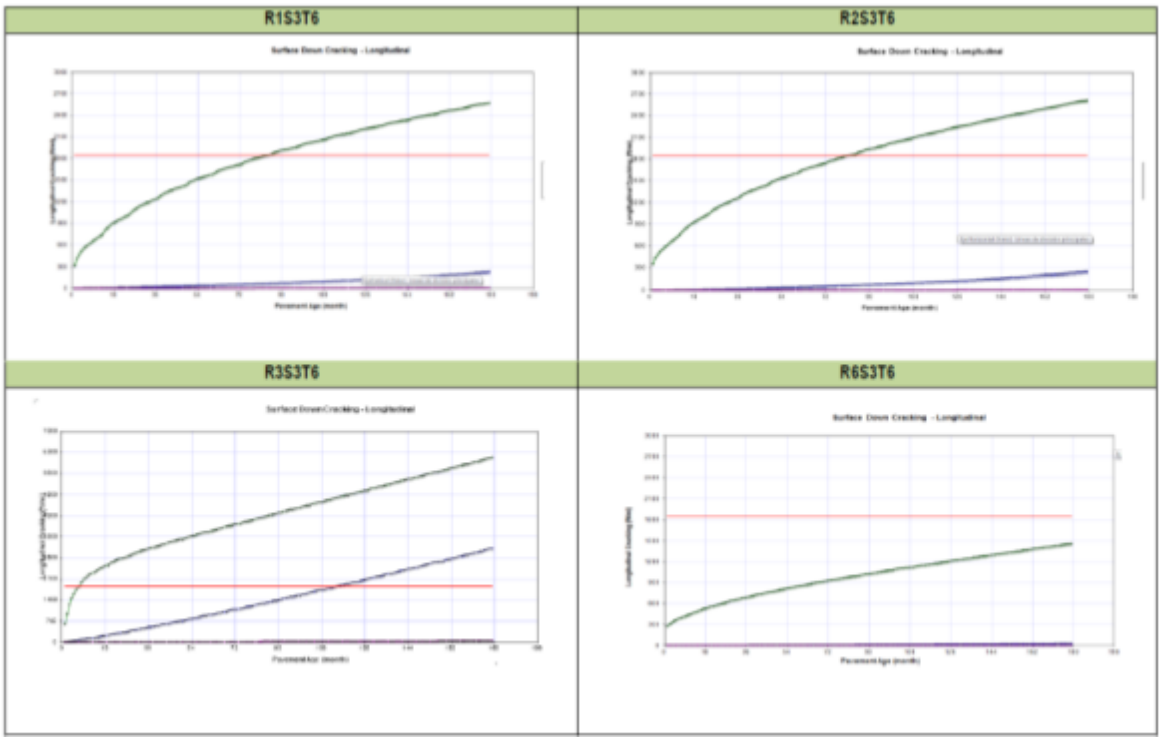
Figura 27 Variación del IRI con el parámetro climático

ESTRUCTURA	ANALISIS POR CLIMA			
	R1S3T6	R2S3T6	R3S3T6	R6S3T3
CARPETA (CMS)	10	10	10	15
BASE GRANULAR (CMS)	20	20	30	25
BASE ESTABILIZADA (CMS)	30	30	30	25



En el análisis comparativo se observa claramente la tendencia en la progresión del IRI con el parámetro climático para condiciones similares de suelo y tránsito; se observa una clara variación de este que para las condiciones menos criticas alcanza un valor de 240 in/milla y para las condiciones más desfavorables alcanza valores superiores a 300 in /milla

Figura 28 Variación del Agrietamiento longitudinal para condiciones similares de subrasante, tránsito y estructura



Se observa como para estructuras con condiciones climáticas menos desfavorables (R1) la falla por agrietamiento longitudinal se presenta hacia el mes 90, para las condiciones intermedias R2 se presenta falla más temprana cerca del mes 80 y para el clima R3 falla iniciando la serviciabilidad del pavimento hacia el sexto mes, la ultima estructura aunque pertenece al mismo tipo de subrasante, tránsito y clima posee 5 cms mas de carpeta asfáltica es decir un 50% mayor que las anteriores debido a esto no se puede revisar la tendencia.

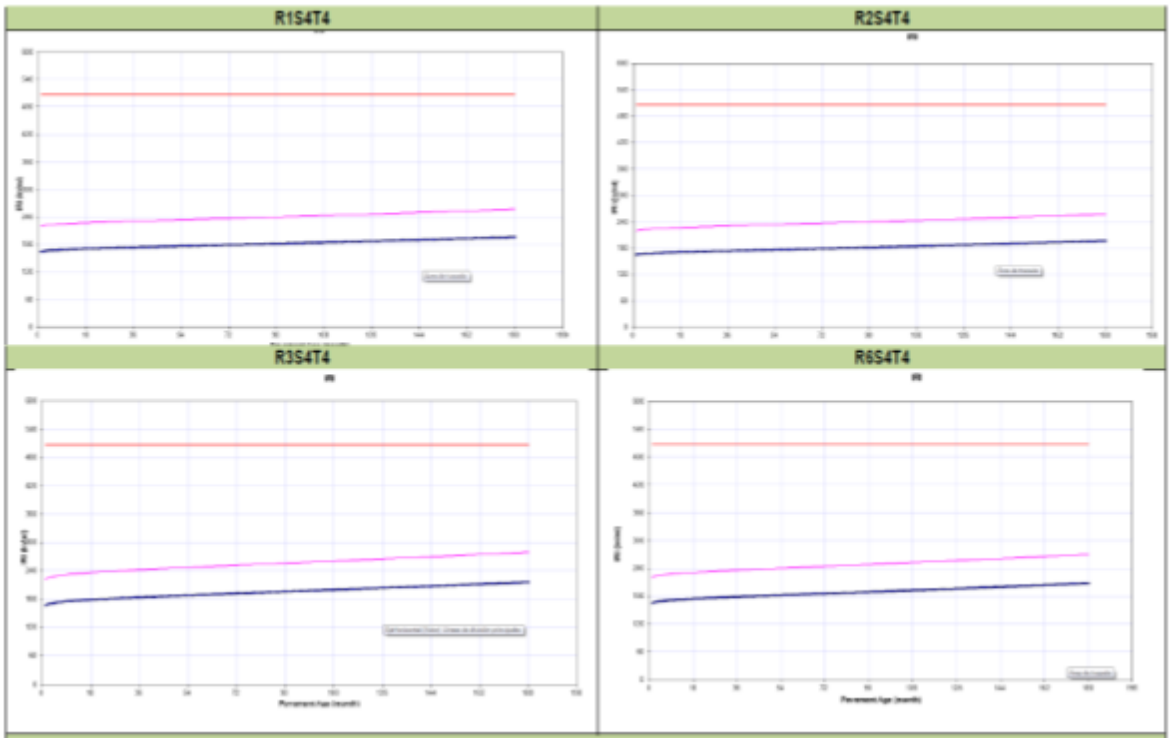
Análisis comparativo No. 2 Sensibilidad por efecto Climático

Tabla 73 – Variación del IRI con el parámetro clima en cuatro estructuras analizadas

ESTRUCTURA	ANALISIS POR CLIMA			
	R1S4T4	R2S4T4	R3S4T4	R6S4T4
CARPETA (CMS)	10	10	10	15
BASE GRANULAR (CMS)	20	15	20	20
BASE ESTABILIZADA (CMS)	30	15	20	25

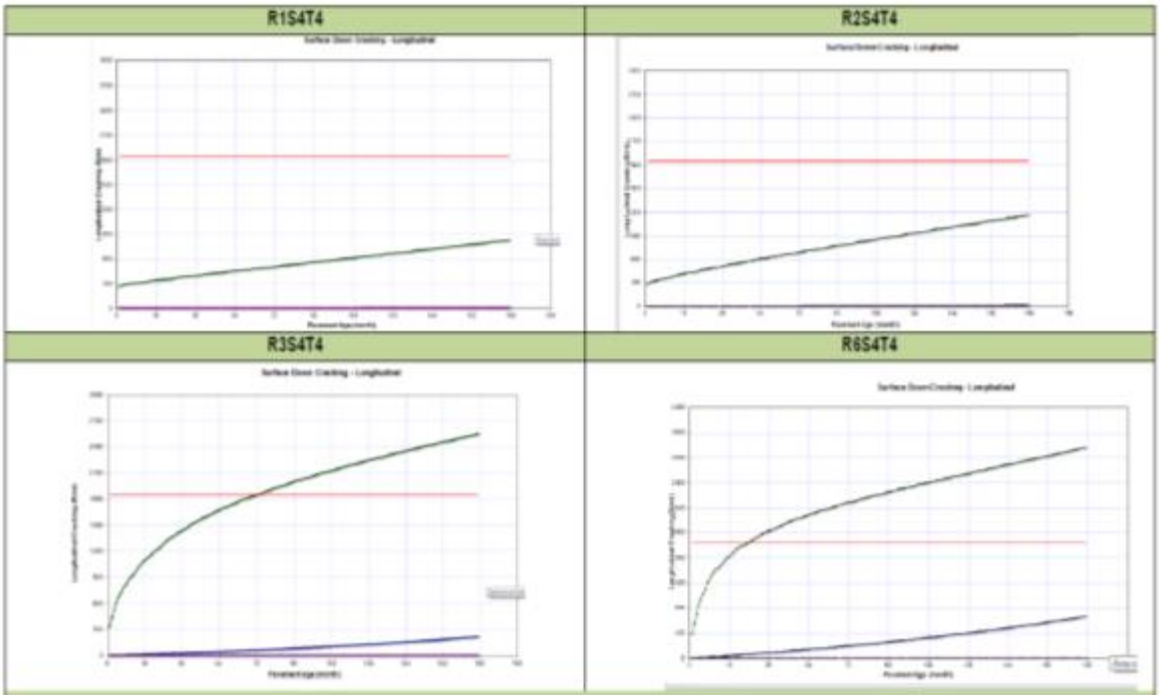
Se realiza un análisis similar al anterior para evidenciar la variación del IRI y de la deformación en la Carpeta Asfáltica siendo estos los criterios en los que más fallas arrojaron los modelos y a continuación se evidencian las variaciones a través de graficas

Figura 29. Variación del IRI para cuatro estructuras con condiciones similares de subrasante y tránsito



Se observa en la figura que aunque con menor intensidad se presenta la variación en el IRI dependiendo de las condiciones climáticas desfavorables.

Figura 30. Agrietamiento en la carpeta asfáltica para cuatro estructuras con condiciones similares de subrasante y tránsito

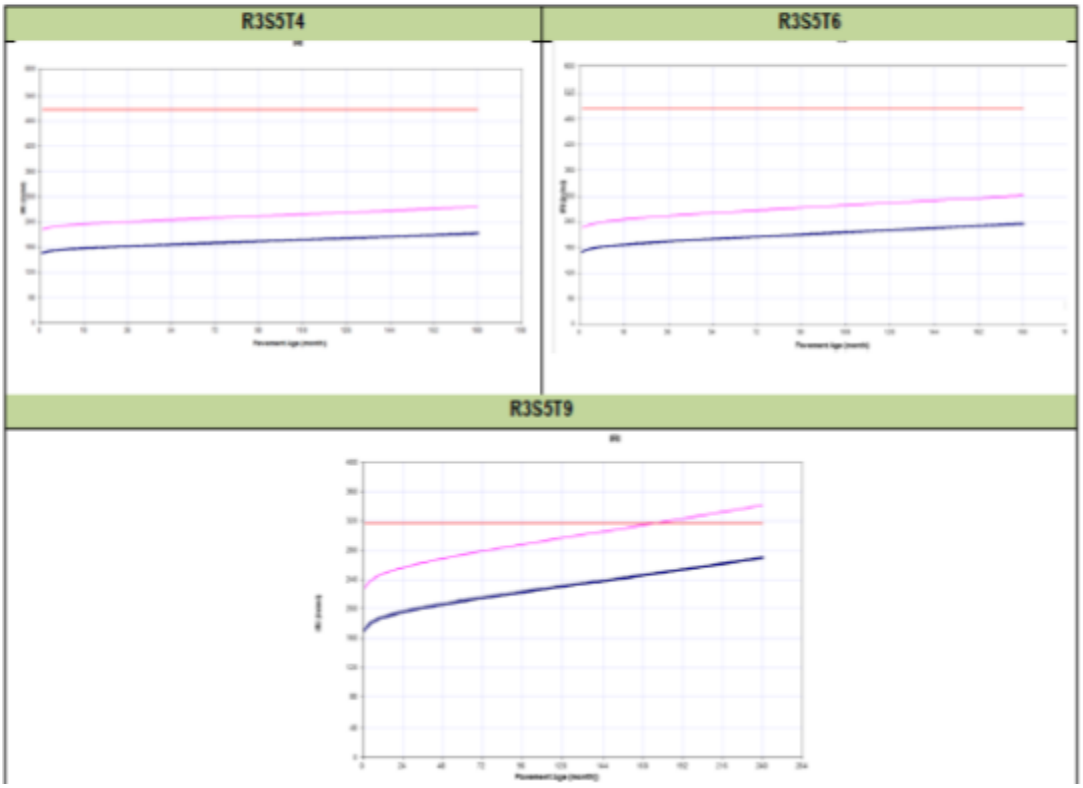


Como en el caso anterior se observa que el daño ocurre en etapas más tempranas debido a las condiciones climáticas, es así como para el clima R6 el fallo se produce en los primeros meses.

11.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD POR TRÁNSITO

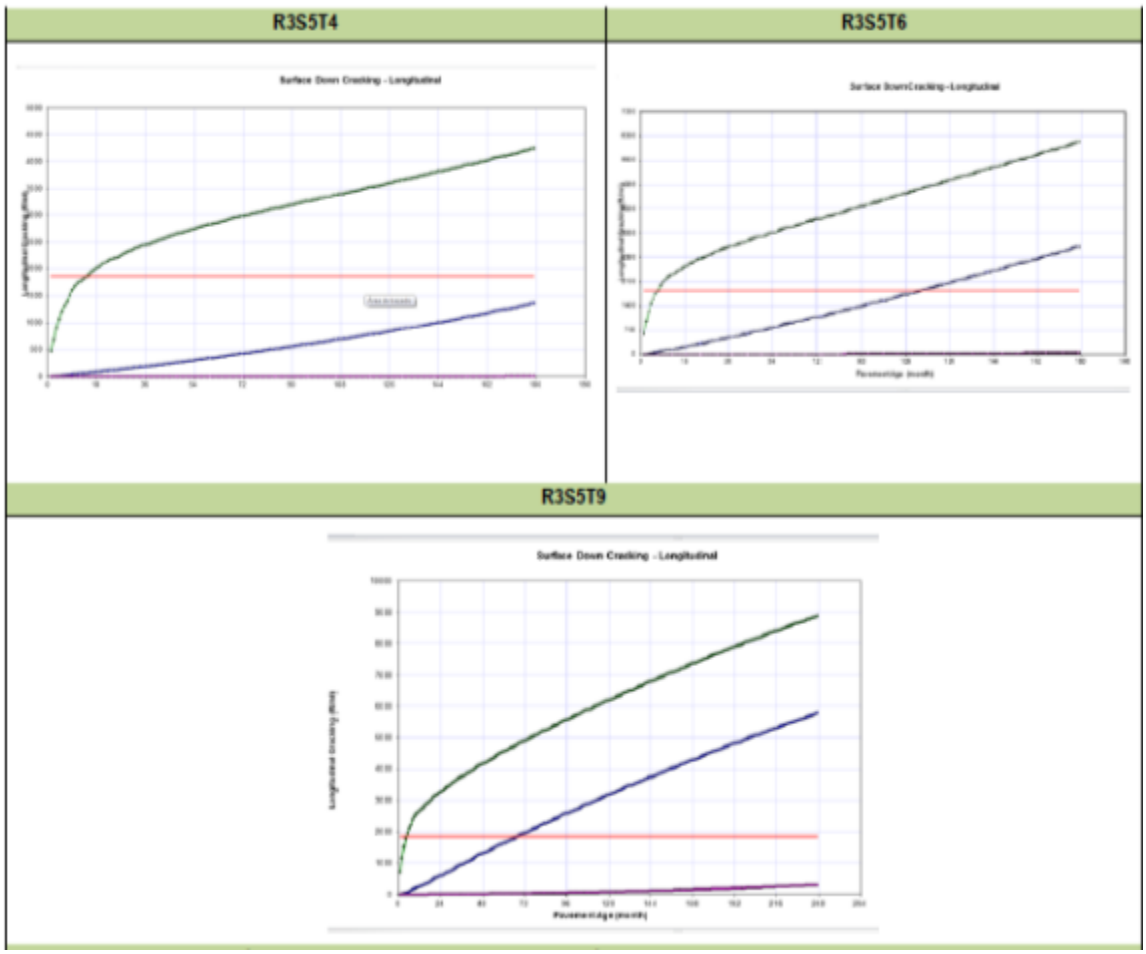
Figura 31. Variación del IRI con respecto al tránsito para condiciones similares de suelo y de clima

	ANALISIS POR TRÁNSITO		
	R3S5T4	R3S5T6	R3S5T9
CARPETA (CMS)	10	10	10
BASE GRANULAR (CMS)	15	25	30
BASE ESTABILIZADA (CMS)	20	25	30



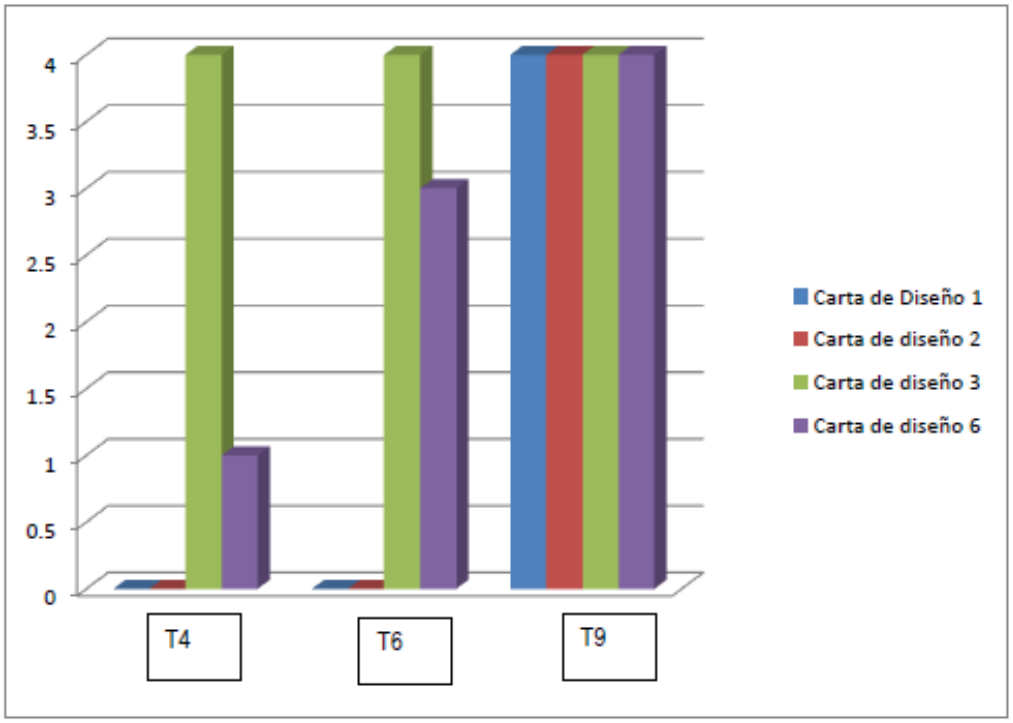
Se observa claramente la tendencia, es natural que las estructuras se deformen por las cargas de tránsito, y que esto cause la variación del IRI; se observa que el tránsito T9 la estructura difícilmente resiste las cargas superando los valores permisibles.

Figura 32. Variación del agrietamiento con respecto al tránsito para condiciones similares de suelo y de clima



Se observa claramente la tendencia, es natural que las estructuras se deformen por las cargas de tránsito, y que esto cause la variación del IRI; se observa que el tránsito T9 la estructura difícilmente resiste las cargas superando los valores permisible.

Figura 33 Cantidad de Estructuras Falladas por Tipo de Tránsito y Carta de Diseño



Se observa como para la carta de Diseño 3 (color Verde) fallo en al menos un parámetro para todas las estructuras en estudio.

12. CONCLUSIONES

12.1 CONCLUSIONES GENERALES

- Se observa que el avance en diseño de la Guía MEPDG 2002 es considerable, el estudio minucioso y detallado de tantas variables que influyen en el diseño de pavimento hacen que el diseño que se realice utilizando este método sea muy específico y con un alto grado de confiabilidad. El avance en el diseño estriba en el hecho que se modele la influencia que tienen los diferentes parámetros en una estructura dada especialmente variables como el clima y el tránsito; de esta manera se convierte en una herramienta valiosa que permite identificar el momento en que la vía pierde su serviciabilidad y asumir criterios que permitan mejorar el desempeño de una estructura durante el período de diseño.

- Se presenta un avance significativo si se compara con los métodos tradicionales de diseño, ya no se basa en modelos empíricos tradicionales, se dejan de lado las ecuaciones obtenidas a partir de correlaciones básicas para dar paso a metodologías mecanicistas, calibradas con modelos reales (base empírica), incorpora el uso de un aplicativo que permite realizar un análisis de alto grado de complejidad para un sitio específico.

- Un punto en discusión en cuanto a la aplicabilidad del software y es la entrada de datos que requiere el aplicativo; es tan extensa y detallada que requiere de tiempo valioso y de ensayos costoso en el Nivel jerárquico 1 especialmente, es dispendiosa la organización de los datos que se requieren, el presente trabajo presentó dificultades enormes en el momento de configurar todas las variables. En la variable transito se requiere todo un modelamiento dado que en nuestro medio es común trabajar con ejes equivalentes y este método trabaja con espectros de carga, y en la variable clima la dificultades fueron mayores dado que requiere información horaria de tantos parámetros climáticos que son de difícil consecución en nuestro medio.

- La aplicabilidad de la Guía Mepdg 2002, en nuestro medio es complicada dado en mediciones de parámetros como clima y transito comparativamente con países desarrollados, es difícil adaptar el

software a nuestras condiciones, puesto que su desarrollo es exclusivo para las condiciones norteamericanas y es poco exportable ser requiere de esfuerzos significativos. Se debe tener en cuenta que tan solo en el aspecto climático esta guía con cerca de novecientas estaciones para Norteamérica y más de mil, teniendo en cuenta las estaciones Canadienses que aportaron datos; información automática en intervalos de quince minutos de todos los parámetros de clima, en nuestro país a pesar que se cuenta con muchas estaciones, los datos de las mismas en algunos casos diarios y con estaciones no automatizadas, en cuanto a la facilidad de obtención de la información, en Estados unidos la información está en línea y con disponibilidad inmediata y en nuestro caso requiere de un presupuesto considerable para su obtención.

- Se observa con este aplicativo, la Importancia del clima como una Variable en el desempeño del pavimento, La entrada de datos es extensa y especifica, para lo cual se necesitaron extensas jornadas y horas de trabajo, con el fin lograr de realizar el ingreso de los datos, para seis regiones con varios parámetros de clima entre ellos: precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, niveles freáticos, velocidad del viento, amanecer y anochecer aparente, una vez realizado el modelamiento se observa la importancia que poseen las variaciones climáticas en el desempeño y en el deterioro del mismo variando su serviciabilidad

- En cuanto a la Variable transito se destaca que en nuestro país a partir de 1998 se empezó a trabajar los espectros de carga, aunque de manera somera se ha empezado a variar este criterio para analizar de manera cercana la afectación de esta variable en el desempeño del pavimento, el cambio en la caracterización del tránsito es notoria ya que desaparecen los factores de daño y se da paso a los espectros de carga, los cuales corresponden a distribuciones de frecuencia de las cargas por tipos de ejes; El INVIAS ha empezado a utilizar los datos de pesajes de vehículos para obtener esta información, se requiere un trabajo adicional en cuanto a los factores de distribución horarios y mensuales para los diferentes tipos de transito.

- En cuanto a las características de los materiales se obtuvieron correlaciones directas de nuestros materiales con respecto a la guía AASHTO, se deja también un modelo de cada tipo de subrasante y subbase al relacionar sus materiales, en la entrada de datos al software se modifican los módulos de

acuerdo con las clasificaciones de las cartas de diseño para obtener una evaluación de materiales exactas y en los términos similares. El aplicativo tiende hacia una mejora en el conocimiento de los materiales especialmente mediante pruebas de laboratorio que simulen el comportamiento real de los materiales bajo las condiciones de trabajo de un pavimento.

- A pesar que la guía de diseño es una herramienta valiosa, dado su adelanto significativo en todos los temas, el hecho de realizar el modelamiento a partir de elementos finitos y que se consideren tantas variables, permiten realizar modelamientos tan cercanos que simulan las condiciones reales, pero presenta unas dificultades difíciles de superar en medios como el nuestro dado el costo que requiere obtener la información para la entrada de datos, los parámetros de clima y transito son cuantiosos para proyectos que no son de altas especificaciones, debe rescatarse para proyectos de desarrollo regional el modelamiento con este aplicativo, En aquellos proyectos de interes nacional, cuya inversión es altísima aplicar este método independientemente de los costos harán que la relación costo beneficio sea productiva ya que las estructuras diseñadas con este método permiten diseños confiables , con una vida útil que no requiere intervenciones y que las funcionalidad de la misma se garantice durante todo el periodo de diseño

- Para proyectos de alta complejidad requerirá la disponibilidad de equipos de laboratorio y la evaluación de las propiedades de los materiales, es decir el trabajar con un nivel jerárquico Uno como lo define el aplicativo, haciendo que se simulen certeramente las condiciones del sitio; aunque requiere de una inversión cuantiosa que se se vera reflejada en la confiabilidad del diseño y en la serviciabilidad.

- La aplicación de la guía de diseño MEPDG 2002; se puede realizar en condiciones diversas y para diferentes tipos de materiales aunque su uso requiere de ajuste y calibración con el fin de que se reflejen las condiciones locales.

- Se observa que los métodos mecanicistas al final realizan un análisis estructural de un pavimento como un medio multicapa en donde cada capa tiene su representación, la importancia de caracterizar cada capa estriba en la consideración de los tipos de deterioro que suelen presentarse,

se debe ser objetivo en el manejo de la información y en el conocimiento de las leyes de fatiga y deformación para entender realmente el comportamiento del pavimento.

- Con este método se garantiza que los modelos que se realicen sean cercanos al comportamiento o desempeño del pavimento a lo largo de su vida útil, analizando los niveles de agrietamiento, deformación permanente, irregularidad superficial, este modelo permite que el diseñador mantenga estos en rangos ideales que dependerán finalmente de la complejidad del proyecto.

12.2 CONCLUSIONES PARTICULARES

- Se obtuvo como producto especifico de este los datos de transito para nueve clasificaciones de transito en términos de espectros de carga para las condiciones de nuestro medio.

- Otro producto obtenido son los archivos icm (archivos con información climática horaria durante 24 meses) para seis regiones de nuestro país con todas sus variables y con un modelamiento exacto de la variable clima (aproximadamente 16 mil datos por región).

- Se observa que el Clima y el Transito son Variables que influyen determinantemente en el desempeño de un pavimento, se observo que al variar el transito con estructuras similares el desempeño varia notoriamente, específicamente los tránsitos T3 en adelante (clasificación de la Norma INVIAS) presentan un desempeño desfavorable especialmente en aquellos climas donde la temperatura y la precipitación influye, se observa que especialmente para los climas a partir de la Carta de diseño 3, el deterioro ocurre a pocos meses de iniciar su puesta en servicio, algunas cartas de diseño que tienen periodos de diseño de 20 años fallan incluso a 3 meses de iniciar su vida útil.

- Se observo con preocupación las fallas tempranas de las estructuras del manual INIVAS para temperaturas mayores a 20 grados y con precipitaciones superiores a 2000 mm/año,

- La carta de diseño No. 3 presenta fallas en todas las estructuras analizadas la falla generalmente se dan por agrietamiento longitudinal en la carpeta y dependiendo del tránsito las fallas se inician

tempranamente en la estructura, es así como para los tránsitos tipo T4 las fallas se dan entre los 1.4 y 2.1 años y los tránsitos tipo T9 fallan incluso 3 meses después de la puesta en servicio de la estructura.

- Se observo claramente la influencia de la variable clima en el desempeño de las estructuras de pavimento comparativamente tránsitos iguales, con subrasantes iguales y estructuras similares fallas para para climas con temperaturas superiores a 20° es decir siempre fallan para climas R3 y R6 que se analizaron.

- Siempre ha sido clara la influencia de las solicitaciones por transito en el desempeño del pavimento, pero el análisis realizado con el aplicativo es muy valioso se observa que para estructuras similares en espesor, climas iguales y subrasantes iguales a mayor tránsito la falla es más temprana.

- Se determinaron los modelos de deterioro para las estructuras analizadas encontrándose que la falla que se presenta típicamente es aquella debida al agrietamiento longitudinal, se observo que para tránsitos mayores a 15 x 10 ^6 ejes equivalentes y para climas con precipitación mayor a 2000 mm/año, y temperaturas que superan los 20 grados las fallas son muy tempranas incluso al inicio de la vida útil del pavimento

- Se observa con preocupación el diseño asumido para el transito del clima R3, dado que todas las estructuras presentan fallas que se vuelven criticas con tránsitos altos, como ya se afirmo se encuentran caso de inicio de daño tan solo 3 meses luego de la puesta en funcionamiento.

- Con los modelos de deterioro obtenidos se observa que el dimensionamiento realizado para los tránsitos T9 no fue adecuado ya que sin importar el tipo de clima, estos presentan falla generalizada.

- Se observo con preocupación la falla generalizada por agrietamiento longitudinal para la mayoría de las cartas de diseño, como se ha repetido innumerables veces; las fallas se dan incluso en la vida temprana del pavimento, el uso generalizado de este manual por parte de los diseñadores daba por

sentado que las estructuras cumplían para todos los tipos de deterioro, mas aún se pensaba que las estructuras estaban sobrediseñadas, la sorpresa se da con este aplicativo que simula las condiciones climáticas y de transito y que utiliza aplica certeramente el deterioro por agrietamiento longitudinal.

- Sería conveniente realizar una calibración de este método con un tramo experimental donde permita evaluar en el tiempo la aplicabilidad del mismo.

BIBLIOGRAFIA

AASHTO 2002- NCHRP 1-37A – Guide for Mechanistic Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures, National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board, National Research Council March 2004

ÁLVAREZ GARCIA, Guadalupe. FUENTE LORTUA, Alvaro Antonio. Caracterización de los espectros de carga en la red federal de carreteras. Universidad autónoma de Querétaro. México 2009

ARRATE Carlos, SIERRA Natalia, SOLAR Alvaro. Diseño de Pavimentos rígidos Universidad concepción. Chile 2010.

BOUSSINESQ, V J "Application des potentiels a l'etude de l'equilibre et du moumement des solides elastiquesavec les notes etendues sur diverspoints de physique, mathematique et d'analyse," Gauthier-Villais, Paris (1885).

David H TIMM. Rod E TUROCHI, David P Kendra. Guidance for ME Pavement Design implementation

Eicam, Unsj . Estudio y Adaptación a Condiciones Locales del método NCHRP 1-37ª para diseño de Pavimentos Rígidos

GARNICA ANGUAS Paul, CORREA Angel. Conceptos Mecanicistas en Pavimentos, Instituto Mexicano de Transporte. Querétaro México 2004

INSTITUTO NACIONAL DE PAVIMENTOS DE PERU Curso de Actualización de Conocimientos en Pavimentos en La Nueva Guía Para El Diseño Empírico-Mecanicista De Pavimentos, 2005

INVIAS, Manual de diseño de pavimentos asfalticos para medianos y altos volúmenes de tránsito. Colombia. 1998

MINAYA GONZALES, Silene, ORDOÑEZ HUAMAN Abel. Diseño moderno de pavimentos Asfalticos. Universidad Nacional de Ingeniería Peru.2006

NAVARRO LEDEZMA Bismarck. Consideraciones Sobre el Modelo Climático en la Guía MEPDG. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán México 2011

SHELL.SHELL PAVEMENT DESIGN Manual—Asphalt Pavements and Overlays for Road Traffic, Shell International Petroleum, London (1978).

Shook, J F, F N Finn, M W Witczak y C.L. Monismith. 1982. "Thickness Design of Asphalt pavement—The Asphalt Institute Method," Proceedings, 5th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol 1 (1982).