

DISEÑO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE POR LOS MÉTODOS AASTHO Y RACIONAL

DOCENTE ASESOR. Ing. ADÁN SILVESTRE GUTIÉRREZ

LAURA MARCELA ARISTIZABAL MORALES

JOSE FERNANDO HOYOS ARENAS

LUISA GIL OBANDO

MARIA ALEJANDRA GOMEZ ECHEVERRY

DAYANA ANDREA GOMEZ JIMENEZ

UNIVERSIDAD LIBRE FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

PEREIRA

2014

RESUMEN

En este documento se presentan dos métodos para el diseño de pavimentos flexibles por los métodos AASTHO Y RACIONAL, donde se hace la descripción y posterior comparación de los elementos usados en cada uno, así mismo, se desarrolla el diseño de un pavimento flexible paso a paso con los elementos que cada método requiere y la explicación de los programas de software pertinentes para cada caso como lo son el AASTHO 93 y el DEPAV. Los datos iniciales encontrados en el documento son datos supuestos con el fin de hacer los cálculos correspondientes en general a un estudio de tránsito.

PALABRAS CLAVES

Diseño, pavimentos, pavimentos flexibles, método racional, variables AASTHO 1993, DEPAV (software), AASTHO 93 (software)

ABSTRACT

This paper presents two types of methods for calculating flexible pavements (AASHTO and RATIONAL), where the description is given and subsequent comparison of the elements used in each, also presents the design of a flexible pavement develops step by step with the elements that each method requires and explanation of relevant software programs for each case (AASHTO 93 or DEPAV). The initial data are found in the document data assumptions in order to make the calculations in general to a traffic study.

KEYWORDS

Design, pavements, flexible pavements, rational method, AASHTO 1993 variables, software DEPAV and software AASTHO 93

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	OBJETIVOS.....	9
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3	CARACTERIZACIÓN INICIAL	10
4	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	11
5	DISEÑO MÉTODO AASTHO.....	12
5.1	VARIABLES DE DISEÑO MÉTODO AASTHO	12
5.1.1	TRÁNSITO	12
5.1.2	SERVICIABILIDAD.....	12
5.1.3	PÉRDIDA O DISMINUCIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD.....	13
5.1.4	CONFIABILIDAD	14
5.1.5	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL SISTEMA (SO)	15
5.1.6	MÓDULO RESILIENTE EFECTIVO M_r	16
5.1.7	MÓDULO RESILIENTE PARA LA SUBRASANTE.	16
5.1.8	MÓDULO RESILIENTE PARA LA SUB-BASE, BASE Y CONCRETO ASFÁLTICO.	17
5.1.9	COEFICIENTES ESTRUCTURALES (a_i).....	19
5.1.10	DRENAJE.....	20
5.1.11	NÚMERO ESTRUCTURAL	21
5.2	APLICACIÓN DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR MÉTODO AASTHO	22
5.3	MANEJO DEL SOFTWARE “ECUACION AASTHO 93”	24
5.4	EJECUCIÓN DEL PROGRAMA PARA EL DISEÑO	29
5.5	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS METODO AASTHO	32
5.5.1	ALTERNATIVA 2	35
6	DISEÑO MÉTODO RACIONAL	37
6.1	DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO RACIONAL	37
6.2	APLICACIÓN DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR MÉTODO RACIONAL	38
6.2.1	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES	38
6.2.2	ESPESORES	38
6.2.3	ESFUERZOS ADMISIBLES	38
6.2.4	ELASTICIDADES.....	40

6.2.5	RELACIÓN DE POISSON	40
6.3	MANEJO DEL SOFTWARE DEPAV	41
6.3.1	CÓDIGO Y TÍTULO DEL TRABAJO	42
6.3.2	INFORMACIÓN ALTERNATIVA	43
6.3.3	ALTERNATIVAS A EVALUAR	44
6.3.4	CÁLCULO, RESULTADOS, TERMINAR.....	44
6.4	EJECUCIÓN DEL PROGRAMA PARA EL DISEÑO	45
6.5	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS MÉTODO RACIONAL.....	47
7	COMPARACIÓN	49
8	CONCLUSIONES.....	50
9	REFERENCIAS.....	52

INDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1)	17
Ilustración 2: Coeficiente estructural (a2), ábaco para Mr de la base	18
Ilustración 3: Coeficiente estructural (a3), ábaco para Mr de la sub-base	19
Ilustración 4: Interfaz software ecuación AASTHO 93.....	24
Ilustración 5: Desarrollador software ecuación AASTHO93	25
Ilustración 6: Ecuación AASTHO, Pavimento Flexible	26
Ilustración 7: Ecuación AASTHO, R=85%.....	27
Ilustración 8: Ecuación AASTHO 93, So=0.4, PSI inicial=4.2, PSI final= 2.5 y W18=58200000	28
Ilustración 9 Cálculo del SN1 para carpeta asfáltica	29
Ilustración 10: Calculo del SN2 para base granular	30
Ilustración 11: Cálculo del SN3 para sub-base granular	30
Ilustración 12: Cálculo del SN para subrasante granular	31
Ilustración 13: Representación gráfica de SN y D	31
Ilustración 14: Números Estructurales Arrojadados Por AASTHO93	32
Ilustración 15: Desarrolladores software DEPAV	41
Ilustración 16: Definición y parámetros necesarios para DEPAV	42
Ilustración 17: Menú de cascada (Opciones) DEPAV	42
Ilustración 18: Procedimiento inicial para el diseño.....	45
Ilustración 19: Definición de parámetros del diseño	46
Ilustración 20: Resultados	46
Ilustración 21: Resultados	47
Ilustración 22: Comparación de resultados DEPAV con esfuerzos admisibles calculados	47
Ilustración 23: Comparación de resultados DEPAV con esfuerzos admisibles calculados	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Índice de serviciabilidad en función de calidad de la vía	13
Tabla 2: Niveles de confiabilidad por tipo de vía	14
Tabla 3: Determinación de la desviación estándar normal ZR a partir de la confiabilidad	15
Tabla 4: Valores recomendados para la desviación estándar (So)	16
Tabla 5: Capacidad de drenaje	20
Tabla 6: Coeficientes de drenaje (mi) recomendados	21
Tabla 7: Datos iniciales	22
Tabla 8: Datos Iniciales	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 9: Datos Iniciales	23
Tabla 10: Espesores mínimos admisibles de carpeta asfáltica y base granular.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 11: Datos calculados relacionados con cada capa	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 12: Números estructurales corregidos	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 13: Espesores de diseño método AASTHO	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 14: Números Estructurales Alternativa 2	36
Tabla 15: Espesores De Capa Alternativa 2.....	36
Tabla 14: espesores de diseño método racional	38
Tabla 15: Resultado de esfuerzos admisibles calculados	48
Tabla 16: Resultados de espesores con el diseño de ambos métodos	49

1 INTRODUCCIÓN

El propósito de toda metodología de diseño de pavimentos es hallar los espesores mínimos del pavimento que se traduzcan en los menores costos anuales de mantenimiento. Si se toma un espesor mayor que el necesario, el pavimento presentará buen comportamiento con bajo costos de mantenimiento, pero el costo inicial será muy elevado. Ahora, si por el contrario, el espesor elegido es muy bajo, se requerirá un mantenimiento importante e interrupciones de tránsito prematuras y costosas, que excederán la compensación por el menor costo inicial. Por tanto, un criterio sano de ingeniería, implica la elección de espesores de diseño que equilibren adecuadamente los costos iniciales y los de mantenimiento¹.

Para lograr lo que se desea en una obra civil: calidad y eficiencia, se deben tomar las decisiones correctas. En este documento se toman dos métodos diferentes para calcular los espesores de las capas, con los cuales se hacen los cálculos pertinentes y desarrollo en el software, con el fin de hacer una comparación y análisis del diseño de pavimentos flexibles

Para lograr un diseño adecuado, con la mayor eficiencia, se requiere hacer estudios previos, los cuales están definidos en el desarrollo de este documento, donde además se presentan dos alternativas de diseño con diferentes variables. El diseño de cada una de las alternativas de pavimento está basado en dos metodologías que tienen como finalidad determinar los espesores mínimos de la estructura de pavimento (base, sub-base, y carpeta asfáltica). El primer método semiempírico utilizado es el de la AASHTO-93 (American Association of State Highway and Transportation Officials) en el cual influyen variables como el tráfico promedio diario (TPD) calculando así los ejes equivalentes para un periodo de diseño de 15 años, variables del terreno obtenidas por medio de ensayos como el

¹ BOWEN, Gary. "Método racional para la evaluación de subrasante de pavimento flexibles". Ecuador, 2011,108. Trabajo de grado de (magister en construcción de obras viales). Universidad técnica de Manabí. Ingeniería.

CBR (módulo de resiliencia), confiabilidad, drenaje, entre otros factores necesarios para hallar los espesores de las capas de la estructura de pavimento flexible.

El método diseño Racional tiene como finalidad evaluar los esfuerzos a los cuales se somete la estructura a lo largo de su vida de diseño e impedir que dichos esfuerzos afecten la rasante sobre la cual se construye la estructura de pavimento en función del espesor de las capas (base, sub-base y carpeta asfáltica), igualmente influyen variables como el TPD (tráfico promedio diario), CBR, ejes equivalentes, los cuales afectan proporcionalmente dependiendo del periodo de diseño.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar los métodos de diseño de pavimentos flexibles AASHTO y Racional

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estipular el tipo tránsito, volumen y las cargas a las que el pavimento será sometido durante el periodo de diseño para su puesta en servicio.
- Identificar y comparar las diferentes variables de los métodos empleados
- Determinar los espesores de las capas del pavimento, por medio de los métodos de la AASHTO y el método racional.

3 CARACTERIZACIÓN INICIAL

Para iniciar el diseño de un pavimento, se debe cumplir con ciertos requisitos mínimos, Con el propósito de lograr un acercamiento a una adecuada caracterización geomecánica del suelo que conforma la zona en estudio como punto de partida, estos pueden ser:²

- Reconocimiento del lugar.
- Definición del número, profundidad y localización de los apiques de exploración.
- Exploración del subsuelo con equipo manual, determinación de posibles niveles de aguas subterráneas, muestreo y ensayos “In Situ”.
- Realización de ensayos de laboratorio sobre “muestras cortadas” obtenidas mediante el respectivo molde (inalteradas tipo bloque y cortadas con molde para el ensayo de CBR).
- Definición del perfil estratigráfico del subsuelo y caracterización de los parámetros geo mecánicos.
- Análisis geotécnico a fin determinar las recomendaciones para la elaboración del proyecto, la zonificación del área de acuerdo con sus características y amenazas geotécnicas y diseño de pavimentos.

² PIEDRAHITA, Juan. “estudio geotécnico para el diseño de cimentaciones plan de vivienda sector la flora municipio de santa rosa de cabal–departamento de risaralda”. {En línea}. {10 agosto de 2014} disponible en (repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/.../36334C287_anexo.pdf)

4 ENSAYOS DE LABORATORIO.

A partir de las muestras tomadas en campo se realizan ensayos de laboratorio, definidos como Normas NTC por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales ASTM, a las cuales se hace referencia en el Capítulo H.2 de la NSR – 10, que incluyen las siguientes normas:

- NTC 1493 [ASTM D 4318]: ensayo para determinar los límites líquido y plástico y el índice de plasticidad del suelo³.
- NTC 1495 [ASTM D 2216]: ensayo para determinar el contenido de humedad natural⁴.
- [ASTM D 421-58 y D422-63]: ensayo para determinar la clasificación granulométrica del suelo (pasa tamiz 40 y 200)⁵.
- NTC 2122 [ASTM D 1883]: ensayo de la relación de soporte, suelos compactados⁶.

³ NSR-10 – Capítulo H.2

⁴ *Ibíd.*

⁵ *Ibíd.*

⁶ *Ibíd.*

5 DISEÑO MÉTODO AASTHO

El método AASHTO-1993 para el diseño de pavimentos flexibles, se basa primordialmente en identificar un “número estructural (SN)” para el pavimento, que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural, el método se apoya en una ecuación que relaciona los coeficientes, con sus respectivos números estructurales, los cuales se calculan con ayuda de un software, (AASHTO 93) el cual requiere unos datos de entrada como son el número de ejes equivalentes, el rango de serviciabilidad, la confiabilidad y el módulo resiliente de la capa a analizar⁷.

5.1 VARIABLES DE DISEÑO MÉTODO AASTHO

5.1.1 TRÁNSITO

El establecimiento de los espesores mediante este metodo, se fundamenta en la determinacion de las cargas equivalentes acumuladas para el periodo de diseño.

Se debe hacer un estudio detallado de transito que contenga la composicion vehicular,transito promedio anual, el factor camion, el transito acumulado en numero de ejes.

5.1.2 SERVICIABILIDAD

Es la condición necesaria de un pavimento para proveer los Usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento⁸.

⁷ MONSALVE, LINA. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RIGIDO. Armenia, 2012, 145. Trabajo de grado de (Ingeniero civil). Universidad del Quindío. Ingeniería. Quindío

⁸ PROYECTOS Y APUNTES TEORICO PRACTICOS DE LA INGENIERIA. 2011.(<http://www.ingenierocivilinfo.com/>)

Tabla 1: Índice de serviciabilidad en función de calidad de la vía (Fuente: AASTHO 1993)

Índice de Serviciabilidad (p)	Calificación
0 - 1.	Muy mala
1 - 2.	Mala
2 - 3.	Regular
3 - 4.	Buena
4 - 5.	Muy buena

5.1.2.1 Índice de servicio inicial.

Es el valor de servicio de un pavimento recién construido o rehabilitado, los valores usuales son 4.2 para pavimentos flexibles y 4.5 para pavimento rígido.

5.1.2.2 Índice de servicio terminal.

Es el valor mínimo del índice de servicio que puede ser aceptado para un pavimento dado los valores usuales están entre 1.5 para vías de muy baja importancia y de 2.5 a 3.0 para vías arterias⁹.

5.1.3 PÉRDIDA O DISMINUCIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

Los valores anteriormente descritos nos permiten determinar la disminución del índice de servicio, que representa una pérdida gradual de la calidad de servicio de la carretera, originada por el deterioro del pavimento. Por tanto:

⁹ PROYECTOS Y APUNTES TEORICO PRACTICOS DE LA INGENIERIA. 2011.(<http://www.ingenierocivilinfo.com/>)

¹⁰ *Ibid.*

$$\Delta PSI = p_o - p_t \quad 10$$

Donde:

PSI = Índice de servicio presente

\Delta PSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado.

p_o = Índice de servicio inicial

p_t = Índice de servicio final ¹¹

5.1.4 CONFIABILIDAD

Hace referencia al grado de certidumbre o seguridad de una determinada alternativa de diseño, determinando así la probabilidad de que el pavimento pueda soportar el número de repeticiones de la carga que sea aplicada durante su vida útil.

A medida que se escoja un R (nivel de confiabilidad) mayor, serán necesarios espesores más grandes.¹²

Tabla 2: Niveles de confiabilidad por tipo de vía (Fuente: tabla 2.2 AASTHO 1993)

¹¹ PROYECTOS Y APUNTES TEORICO PRACTICOS DE LA INGENIERIA.
2011. (<http://www.ingenierocivilinfo.com/>)

¹² *Ibíd.*

Clasificación funcional	Nivel de Confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Tabla 3: Determinación de la desviación estándar normal ZR a partir de la confiabilidad (Fuente: tabla 4.1 AASTHO 1993)

Reliability, R (percent)	Standard Normal Deviate, Z _R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.535
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

5.1.5 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL SISTEMA (S₀)

El valor de la desviación estándar (S₀) que se seleccione debe, por otra parte, ser

representativo de las condiciones locales. Se recomienda para uso general, pero estos valores pueden ser ajustados en función de la experiencia para uso local¹³.

Tabla 4: Valores recomendados para la desviación estándar (So)

Condición de Diseño	Desviación Estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0,25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0,35 — 0,50

5.1.6 MÓDULO RESILIENTE EFECTIVO Mr.

Es el módulo Resiliente promedio que se traduce en un daño del pavimento (Uf) igual al que se alcanzaría si se usaran valores modulares estacionales.

5.1.7 MÓDULO RESILIENTE PARA LA SUBRASANTE.

Para materiales de sub-rasante con $CBR \leq 7,2\%$. $MR = 1.500 * CBR$.

Para materiales de sub-rasante con mayo de $7,2\% \leq CBR \leq 20,0\%$.

$$MR = 3.000 * (CBR)^{0.65}$$

Para materiales de sub-rasante con valores de $CBR \geq 20,0\%$, se deberán emplear otras formas de correlación, tal como la recomendada por la propia Guía de Diseño AASHTO-93.¹⁴

¹³ PROYECTOS Y APUNTES TEORICO PRACTICOS DE LA INGENIERIA. 2011.(<http://www.ingenierocivilinfo.com/>)

¹⁴ MEJIA, Miguel. Curso diseño de pavimentos flexibles. Mexico.2014
 RONDON, Hugo Alexander. "Metodologías de diseño de pavimento flexible: tendencias, alcances y limitaciones". {En línea}. {10 agosto de 2014} disponible en (www.umng.edu.co/documents/63968/74787/17n2art3.pdf)

5.1.8 MÓDULO RESILIENTE PARA LA SUB-BASE, BASE Y CONCRETO ASFÁLTICO.

Se toman los valores de CBR de la base y sub-base según las especificaciones de la tabla 300.1 del artículo 300 – 07: disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas ¹⁵ y se establece el módulo resiliente por medio de los siguientes ábacos.

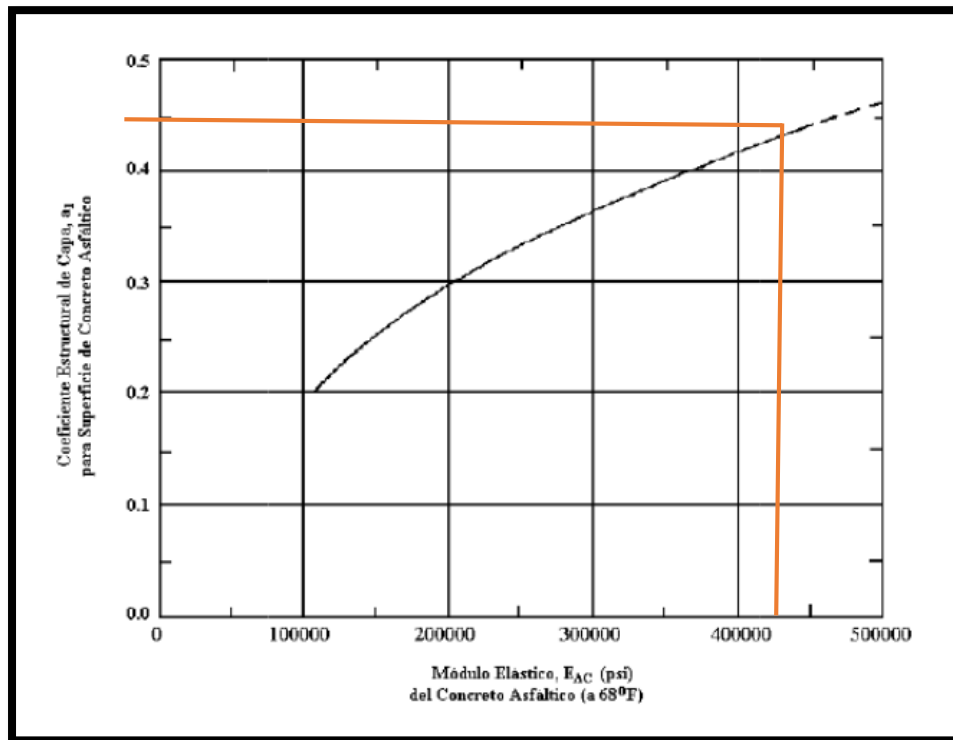


Ilustración 1: Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a_1) (Fuente: AASTHO 1993)

Según la Ilustración 1, El coeficiente estructural de la carpeta asfáltica a_1 , usado para el desarrollo de este ejercicio es 0.44

¹⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Artículo 300 - 07: disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas. INVIAS.

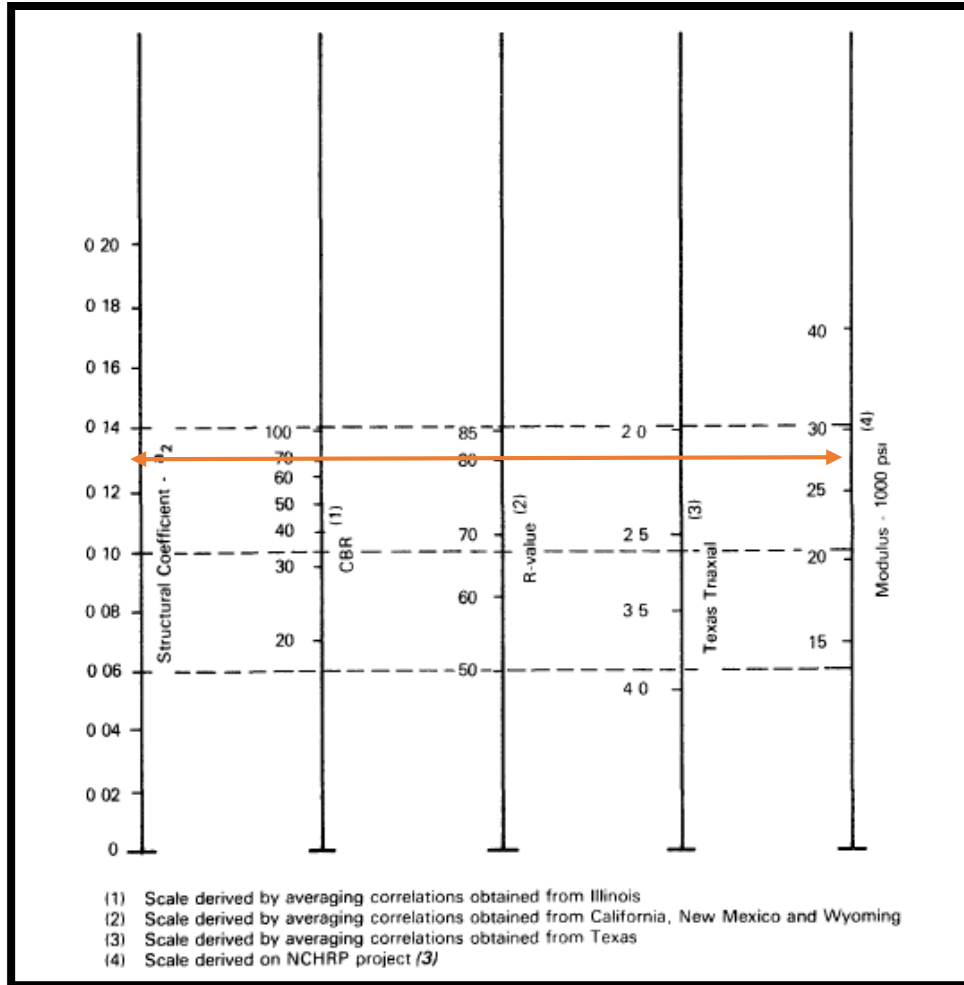


Ilustración 2: Coeficiente estructural (a_2), ábaco para M_r de la base (Fuente: figura 2.6 AASTHO 1993)

Según la lectura de Ilustración 2, el coeficiente estructural a_2 es 0.13, valor que se usó para los cálculos.

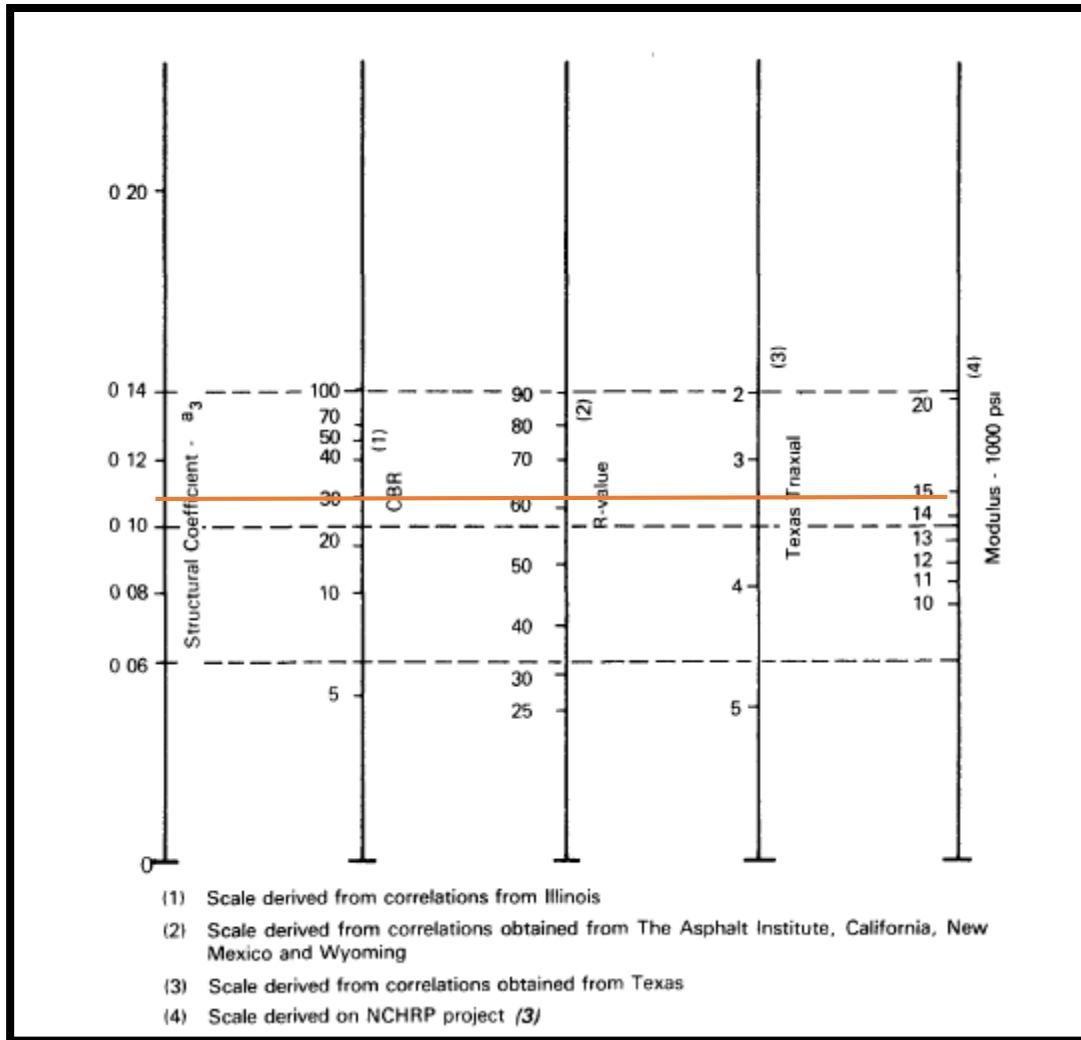


Ilustración 3: Coeficiente estructural (a_3), ábaco para M_r de la sub-base (Fuente: figura 2.6 AASTHO 1993)

Según la lectura de la Ilustración 3, $a_3=0.11$, valor que se usó para el desarrollo del ejercicio

5.1.9 COEFICIENTES ESTRUCTURALES (a_i).

Para materiales y/o mezclas de sub-base y bases no tratadas:

Método de ensayo AASTHO T-274, el cual permite determinar el valor del módulo de elasticidad dinámico.

Para mezclas asfálticas y suelos estabilizados:

Métodos de ensayo ASTM D4123 ó ASTM C469, que permiten determinar el valor del módulo elástico.

No obstante se puede usar una serie de ábacos, que se encuentran en AASTHO 1993.

Los valores promedio para los coeficientes estructurales son:

- Mezcla asfáltica densa en caliente: 0.44 pulgadas
- Base granular: 0.14 pulgadas
- Sub-base granular: 0.11 pulgadas

5.1.10 DRENAJE

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la siguiente tabla¹⁶:

Tabla 5: Capacidad de drenaje (Fuente: AASTHO 1993)

¹⁶ MEJIA, Miguel. Curso diseño de pavimentos flexibles. Mexico.2014
PROYECTOS Y APUNTES TEORICO PRACTICOS DE LA INGENIERIA. 2011.(<http://www.ingenierocivilinfo.com/>)

Calidad del Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser Evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Tabla 6: Coeficientes de drenaje (mi) recomendados (Fuente: tabla 2.4 AASTHO 1993)

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en que la nueva estructura de pavimentos está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Deficiente	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.4

5.1.11 NÚMERO ESTRUCTURAL

El diseño de pavimentos flexibles, se basa primordialmente en identificar un “número estructural (SN)” para el pavimento, que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural, el método se apoya en una ecuación que relaciona los coeficientes, con sus respectivos números estructurales, los cuales se

calculan con ayuda de un software, (AASHTO 93) el cual requiere unos datos de entrada como son el número de ejes equivalentes, el rango de serviciabilidad, la confiabilidad y el módulo resiliente de la capa a analizar; esta ecuación se relaciona a continuación:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \quad 17$$

donde:

a = Coeficiente estructural

D = Espesor en pulgadas

m = Coeficiente de drenaje ¹⁸

5.2 APLICACIÓN DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR MÉTODO AASTHO

Para este ejemplo aplicativo se suponen algunos valores iniciales, como los de los numerales 2, 3, y 4.1 que corresponden a estudios de suelos y tránsito.

Se diseñará el pavimento flexible en una arteria principal en zona rural, se tomará el valor de 58.200.000 ejes equivalentes para un diseño a 15 años, con un valor de CBR de 4.23

A continuación se muestran todos los datos extraídos de tablas, ábacos encontrados en el documento.

Tabla 7: Datos iniciales (Fuente: Propia)

INDICE DE SERVICIO INICIAL P_o	4.2	PARA PAVIMENTO FLEX	
INDICE DE SERVICIO TERMINAL P_t	2.5	PARA VIAS ARTERIAS	
CONFIABILIDAD	85%	PARA UNA ARTERIA PRINCIPAL EN	

¹⁷ MEJIA, Miguel. Curso diseño de pavimentos flexibles. Mexico.2014

¹⁸ *Ibíd.*

		AREA RURAL	
CARACTERISTICAS DE SUB-RAZANTE	CBR%	4.23	
CARACTERISTICAS DE SUB BASE	CBR%	30	SEGÚN TABLA 300 ESPECIFICACION INVIAS
CARACTERISTICAS DE BASE	CBR%	80	SEGÚN TABLA 300 ESPECIFICACION INVIAS
DRENAJE LLUVIA NORMAL 2 MESES %	16.67	1.00-0.80	

Tabla 8: Datos Iniciales (Fuente: Propia)

INDICE DE SERVICIO	5
PSI	1.7
Zr	-1.037
So	0.4

Tabla 9: Datos Iniciales (Fuente: Propia)

CARACTERISTICAS DE MATERIALES POR TABLAS			
MATERIAL	MR MODULO RESILIENTE (PSI)	COEFICIENTE ESTRUCTURAL (a)	COEFICIENTE DE DRENAJE (m)
CONCRETO ASFALTCO	450000	0.44	0
BASE GRANULAR	28000	0.13	0.8
SUB BASE GRANULAR	14000	0.11	0.8
SUBRASANTE	6345	0	

5.3 MANEJO DEL SOFTWARE “ECUACION AASHTO 93”

Para el desarrollo del diseño de pavimentos por el método de AASTHO, se cuenta con un software que calcula el SN (numero estructural), a partir de datos como serviciabilidad inicial y final, confiabilidad, desviación estándar, módulo resiliente de la capa, numero de ejes equivalentes (W18).

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is organized into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu for 'Reliability (R)' and a text box for 'So'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' and 'PSI final'.
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' followed by 'psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. The last two are only visible when rigid pavement is selected.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18', with a text box for 'W18 ='. The 'Calcular SN' option is selected.
- Número Estructural:** A text box for 'SN ='. The 'Calcular SN' option is selected.

At the bottom of the window are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Ilustración 4: Interfaz software ecuación AASTHO 93

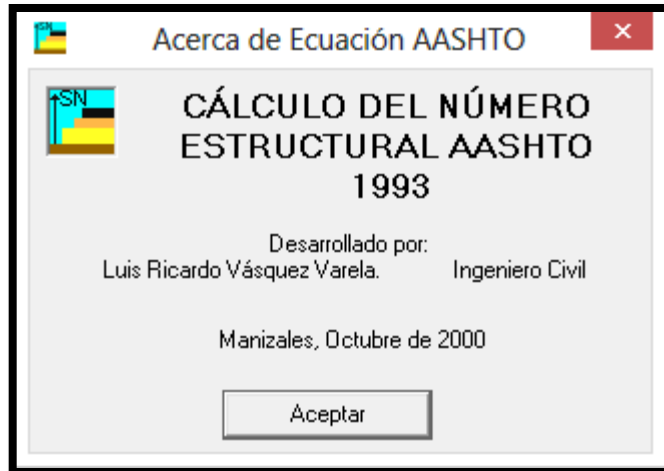


Ilustración 5: Desarrollador software ecuación AASTHO93

Al introducir los datos al software AASTHO93, se obtienen los valores de los números estructurales para cada capa.

Primero se debe elegir el tipo de pavimento a diseñar, en este caso, flexible

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento

Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)

Reliability (R) So

Serviciabilidad inicial y final

PSI inicial PSI final

Módulo resiliente de la subrasante

Mr psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis

Calcular SN **W18 =**

Calcular W18

Número Estructural

SN =

Ilustración 6: Ecuación AASTHO, Pavimento Flexible

Seleccionar la confiabilidad (R), escogida para el diseño, para el caso 85%.

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial PSI final

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 =**
 Calcular W18

Número Estructural
SN =

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)

Reliability (R)

50 %	$Z_r = -0.000$
60 %	$Z_r = -0.253$
70 %	$Z_r = -0.524$
75 %	$Z_r = -0.674$
80 %	$Z_r = -0.841$
85 %	$Z_r = -1.037$
90 %	$Z_r = -1.282$
91 %	$Z_r = -1.340$

Ilustración 7: Ecuación AASTHO, R=85%

Introducir los valores de desviación estándar del sistema, índice de servicio inicial, índice de servicio final y tránsito (en número de ejes en años a calcular el diseño). para este diseño los valores son, $S_o=0.4$, PSI inicial=4.2, PSI final= 2.5 y $W18= 58200000$

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 85 % $Z_r = -1.037$ So

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial PSI final

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 =**
 Calcular W18

Número Estructural
SN =

Ilustración 8: Ecuación AASHTO 93, $S_o=0.4$, PSI inicial=4.2, PSI final= 2.5 y W18= 58200000

5.4 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA PARA EL DISEÑO

Se introducen en el programa los valores calculados con anterioridad correspondientes al nivel de serviciabilidad inicial y fina, módulo resiliente de la capa, y numero de ejes para los que se está diseñando. En este ejemplo los resultados fueron los siguientes:

The screenshot shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93". The interface is organized into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for "Pavimento flexible" (selected) and "Pavimento rígido".
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing "85 % Zr=-1.037" and a text box for "So" with the value "0.4".
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for "PSI inicial" (4.2) and "PSI final" (2.5).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for "Mr" with the value "450000 psi".
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for "Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)", "Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)", "Coeficiente de transmisión de carga - (J)", and "Coeficiente de drenaje - (Cd)".
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for "Calcular SN" (selected) and "Calcular W18".
- Número Estructural:** A text box for "SN" with the value "1.28".
- W18:** A text box for "W18" with the value "58200000".

At the bottom, there are two buttons: "Calcular" and "Salir".

Ilustración 9 Cálculo del SN1 para carpeta asfáltica

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 85 % $Z_r = -1.037$ So

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial PSI final

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN Calcular W18 **W18 =**

Número Estructural
SN =

Ilustración 10: Cálculo del SN2 para base granular

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 85 % $Z_r = -1.037$ So

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial PSI final

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN Calcular W18 **W18 =**

Número Estructural
SN =

Ilustración 11: Cálculo del SN3 para sub-base granular

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 85 % Zr=-1.037 So = 0.4

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.5

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr = 6345 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 = 5.82e+07**
 Calcular W18

Número Estructural
SN = 6.32

Ilustración 12: Cálculo del SN para subrasante granular

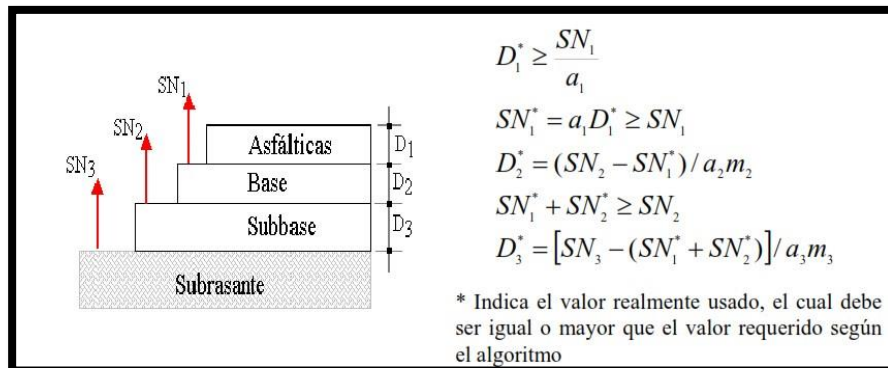


Ilustración 13: Representación gráfica de SN y D (Fuente: Diseño De Pavimento Flexible Y Rígido Vía Aeropuerto El Edén)

5.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS METODO AASTHO

Después de obtenidos los valores SN, se puede calcular los espesores mínimos por capa. Con base en las ecuaciones de la Ilustración 13.

Tabla 10: Espesores mínimos admisibles de carpeta asfáltica y base granular, (Fuente: propia a partir de AASTHO 1993)

Trafico, ESAL's	Carpeta asfáltica(pul)	Base granular(pul)
menos de 50.000	1,0 (o tratamiento superficial)	4
50.000-150.000	2	4
150.001-500.000	2,5	4
500.001-2.000.000	3	6
2.000.001-7.000.000	3,5	6
más de 7.000.000	4	6

Tabla 11: Datos calculados relacionados con cada capa (Fuente: Propia)

Capa	a(pulg)	SN	M
Carpeta	0,44	1,28	
Base	0,13	3,85	0,8
subbase	0,11	4,92	0,8
subrasante		6,32	

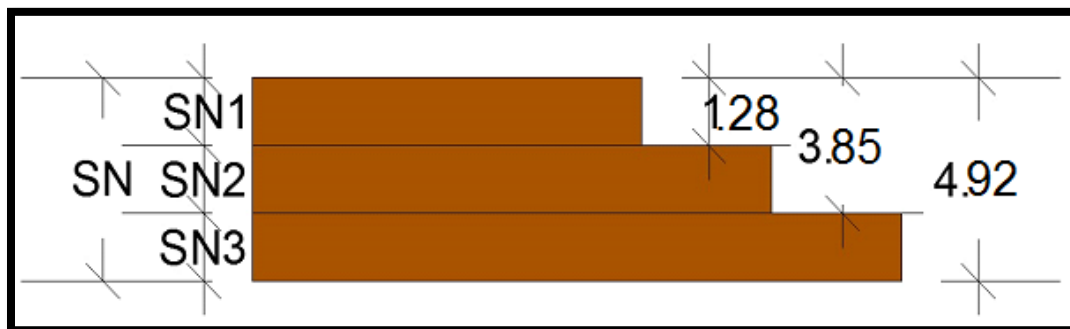


Ilustración 14: Números Estructurales Arrojadados Por AASTHO93 (Fuente: Propia)

- Cálculo espesor de la carpeta asfáltica:

Para calcular el espesor de la carpeta asfáltica se utiliza la siguiente expresión, despejada de la ecuación mencionada en el título 5.1.11 NÚMERO ESTRUCTURAL del presente documento, igualmente relacionada en la Ilustración 13.

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$D_1 = \frac{1.28}{0.44} = 2.91 \text{ pul} < 4 \text{ pul}$$

De lo anterior, podemos concluir que no cumple con los espesores mínimos establecidos, consignados en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, entonces se toma el mínimo para este caso 4 pulgadas

Se corrige el número estructural de la carpeta asfáltica puesto que se tomó el espesor mínimo

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

$$SN_1 = 0.44 * 4 = 1.76$$

- Cálculo del espesor de la base

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2}$$

$$D_2 = \frac{3.85 - 1.76}{0.13 * 0.8} = 20.1 \text{ pul} > 6 \text{ pul}$$

El espesor de la base calculado por el método de la ASSHTO cumple con el espesor mínimo permitido, según **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Se corrige el número estructural por la aproximación del espesor:

$$SN_2 = D_2 * a_2 * m_2$$

$$SN_2 = 20 * 0.13 * 0.8 = 2.08$$

- Cálculo espesor de la sub-base

$$D_3 = \frac{SN_3 - SN_2}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{4.92 - 1.76 - 2.08}{0.11 * 0.8} = 12.270pul > 6pul$$

El espesor de la sub-base cumple con el espesor mínimo permitido según **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se corrige SN3 por la aproximación del espesor:

$$SN_3 = D_3 * a_3 * m_3$$

$$SN_3 = 12.5 * 0.11 * 0.8 = 1.1$$

$$\Sigma SN = 1.76 + 2.08 + 1.1 = 4.94$$

comprobación

$$\Sigma SN > SN_3$$

$$4.94 > 4.92$$

Tabla 12: Números estructurales corregidos (Fuente: Propia)

Capa	SN corregidos
Carpeta	1,76
Base	2.08
Subbase	1.1

Tabla 13: Espesores de diseño método AASTHO (Fuente: Propia)

CAPA	H (pul)
Carpeta asfáltica	4
Base	20

Sub-base	12.5
----------	------

Dado que las capas superiores en un pavimento son más costosas, se decide disminuir el espesor de la base, el método de AASTHO permite modificarlos partiendo del número estructural, para así disminuir costos, por lo tanto se calcula con espesores así carpeta asfáltica 4 pulgadas, Base 15 pulgadas y Subbase 22 Pulgadas.

5.5.1 ALTERNATIVA 2

- Cálculo del espesor Carpeta asfáltica

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$D_1 = \frac{1.28}{0.44} = 2.91 \text{ pul} < 4 \text{ pul}$$

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

$$SN_1 = 0.44 * 4 = 1.76$$

- Cálculo del espesor de la base

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2}$$

$$D_2 = \frac{3.85 - 1.76}{0.13 * 0.8} = 20.1 \text{ pul} > 6 \text{ pul}$$

Se corrige el número estructural con espesor 15 pul.

$$SN_2 = D_2 * a_2 * m_2$$

$$SN_2 = 15 * 0.13 * 0.8 = 1.56$$

- Cálculo del espesor de la Sub-base

$$D_3 = \frac{SN_3 - SN_2}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{4.92 - 1.76 - 1.56}{0.11 * 0.8} = 18.18pul > 6pul$$

Se corrige el SN por cambio en espesor de capa a 22 pul

$$SN_3 = D_3 * a_3 * m_3$$

$$SN_3 = 22 * 0.11 * 0.8 = 1.94$$

$$\Sigma SN = 1.76 + 1.56 + 1.94 = 5.26$$

comprobación

$$\Sigma SN > SN_3$$

$$5.26 > 4.92$$

Tabla 14: Números Estructurales Alternativa 2(Fuente: Propia)

Capa	SN
carpeta	1,76
Base	1.56
subbase	1.94

Tabla 15: Espesores De Capa Alternativa 2(Fuente: Propia)

CAPA	H (pul)
Carpeta asfáltica	4
Base	15
Sub-base	22

6 DISEÑO MÉTODO RACIONAL

A diferencia de los métodos empíricos, los métodos analíticos tienen en cuenta como el estado de esfuerzo y deformación que experimentan las capas que conforman la estructura del pavimento influyen en el comportamiento del mismo. Para el cálculo de esfuerzos y deformaciones, se emplean programas de computador disponibles desde la década de los 60's¹⁹. En estos programas se introducen la carga, la presión de contacto, las propiedades mecánicas de los materiales (por lo general el módulo elástico y la relación de Poisson) y el espesor de las capas del pavimento con el fin de obtener los estados de esfuerzos y deformación. Una vez calculados estos estados, se comparan con aquellos que admite el pavimento para la vida útil proyectada, y en un procedimiento de ensayo y error (aumentando o disminuyendo por lo general los espesores de capas) se dimensionan las capas que conformarán la estructura de pavimento²⁰

La metodología racional busca aplicar teorías multicapa elástica para analizar el comportamiento y establecer los materiales y espesores necesarios

6.1 DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO RACIONAL

- "Radio de carga: 10.80 cm.
- Presión de contacto: 5.60 kg/cm².
- Distancia entre llantas: 32.40 cm.
- Espesor de capa (en cm).
- Módulo elástico de cada capa (en Kg/cm²).
- Relación de Poisson de cada capa.
- Se consideran ligadas o no las interfaces entre capas. ²¹

¹⁹⁻²⁰ RONDON, Hugo Alexander. "Metodologías de diseño de pavimento flexible: tendencias, alcances y limitaciones". {En línea}. {10 agosto de 2014} disponible en (www.umng.edu.co/documents/63968/74787/17n2art3.pdf)

²¹ GUTIERREZ, Julián. Método racional. 2014.

6.2 APLICACIÓN DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR MÉTODO RACIONAL

6.2.1 NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES

Debido a que para el presente trabajo no se hizo el estudio de tránsito y no se tienen los datos de composición vehicular como lo requiere la ecuación para calcular número de ejes equivalentes, como previamente se plasmó en este documento, se toma $Ne = 5.82 \times 10^7$, con el fin de comparar el diseño por el método Racional con el diseño por el método AASTHO.

6.2.2 ESPESORES

Se toman los siguientes espesores para hacer el diseño

Tabla 16: espesores de diseño método racional (Fuente: Propia)

CAPA	H (CM)
Carpeta asfáltica	16
Base	30
Sub-base	50

6.2.3 ESFUERZOS ADMISIBLES

6.2.3.1 Deformación específica por tracción:

Es la que se produce en la parte inferior de las capas asfálticas y no debe ser mayor que la admisible, ya que se produciría el fisuramiento ó el agrietamiento de la capa asfáltica. La Ley de fatiga utilizada es la siguiente:

$$(Et_{adm} = 0.00389 * Ne^{-0.1626})^{22}$$

²² GUTIERREZ, Julián. Método racional. 2014.

Reemplazando con los datos que se tiene $Ne = 5.82 \times 10^7$

$$Et_{adm} = 0.00389 * (5.82 \times 10^7)^{-0.1626}$$

$$Et_{adm} = 2.13 \times 10^{-4}$$

6.2.3.2 Esfuerzo de compresión:

Ley de fatiga utilizada, normalmente se toma el promedio entre los criterios de Kerhoven y Dormon y el de CRR Bélgica. Se presentan a continuación ecuaciones, valores respectivos y promedio obtenido.

$$\left(\sigma_{z_{adm}} = \frac{0.07 * Esr}{1 + 0.7 \log Ne} \right)^{23}$$

Reemplazando con los datos que se tiene $Ne = 5.82 \times 10^7$ y $Esr = 423$

$$\sigma_{z_{adm}} = \frac{0.07 * 423}{1 + 0.7 \log 5.82 \times 10^7}$$

$$\sigma_{z_{adm}} = 4,60$$

6.2.3.3 Deformación específica por compresión:

La deformación vertical por compresión en la subrasante Ez , no puede superar los rangos admisibles, pues se producirían deformaciones permanentes en el suelo de fundación y en toda la estructura del pavimento. Para su evaluación se utilizó la siguiente expresión:

$$(Ez_{adm} = 2.8 \times 10^{-2} Ne^{-0.25})^{24}$$

Reemplazando con los datos que se tiene $Ne = 5.82 \times 10^7$ y $Esr = 423$

$$Ez_{adm} = 2.8 \times 10^{-2} (5.82 \times 10^7)^{-0.25}$$

$$Ez_{adm} = 3.21 \times 10^{-4}$$

6.2.4 ELASTICIDADES

Calcular las elasticidades de cada una de las capas teniendo en cuenta los espesores escogidos por el diseñador, En donde CBR es el valor de la capacidad portante en términos de porcentaje; h (mm) el espesor de la capa que se analiza y E módulo elástico de la capa subyacente.

Para un diseño de 15 años, un $N_e = 5.82 \times 10^7$ y una estructura de SBG = 55cm, BG= 25 y CA=16cm, Con un CBR de 4.23.

$$SR = 100 * CBR \frac{Kg}{cm^2}$$

$$SR = 100 * 4.23 = 423 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$E_{capa\ granular} = 0.206 * (h^{0.45}) * E_{capa\ anterior}^{25}$$

$$E_{SB} = 0.206 * (500^{0.45}) * 423 = 1428.05 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$E_{BG} = 0.206 * (300^{0.45}) * 1428.05 = 3831.03 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$E_{CA} = 350000\ psi = 24605\ (Kg/cm^2)$$

6.2.5 RELACIÓN DE POISSON

En cuanto al otro término requerido por DEPAV, relación de Poisson, para la caracterización de las capas de las estructuras que se analizan, se tienen los siguientes valores normalmente empleados en el diseño racional de pavimentos:

- Capas asfálticas = 0.3

²⁵ GUTIERREZ, Julián. Método racional. 2014.

- Base=0.4
- Subbase= 0.45
- Subrasante 0.5

Se introducen estas elasticidades en el programa DEPAV y se calculan los esfuerzos admisibles del resultado del programa con los calculados. Se comparan los resultados del DEPAV con los esfuerzos admisibles.

6.3 MANEJO DEL SOFTWARE DEPAV

Para el desarrollo del diseño de pavimentos por el método racional, se cuenta con un software que calcula los esfuerzos y deformaciones máximas que una rueda doble colocada en la superficie produce en los niveles de interface de un sistema elástico multicapa, a partir de datos como radio de carga, módulo de elasticidad, presión de contacto, relación de Poisson, espesor de la capa.



Ilustración 15: Desarrolladores software DEPAV

Al igual que el AASTHO, El DEPAV es un ejecutable, en la Ilustración 16: Definición y parámetros necesarios para DEPAV Ilustración 16, se muestra la interfaz principal donde define los parámetros necesarios para iniciar el cálculo, igualmente define los alcances del software.

Para seguir, se puede dar clic sobre la imagen del software o simplemente hundir cualquier tecla.

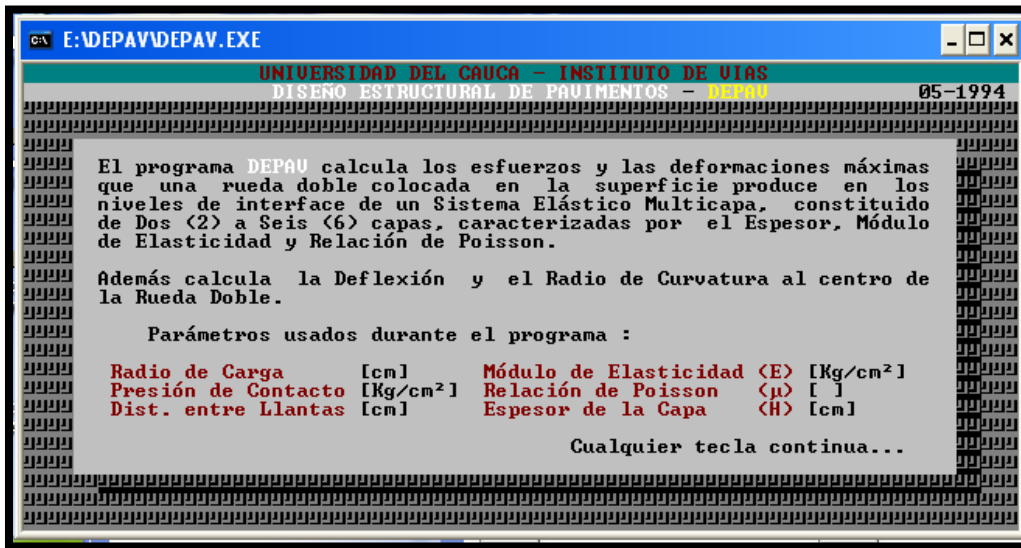


Ilustración 16: Definición y parámetros necesarios para DEPAV

Inicialmente, el programa pide que se configuren algunos datos, las cuales se pueden modificar con la tecla enter o clic sobre ellas. Igualmente para aceptar los cambios, o para salir de ellas con la tecla “esc”.

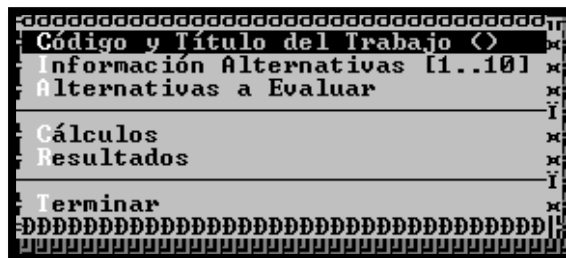
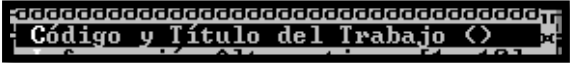


Ilustración 17: Menú de cascada (Opciones) DEPAV

6.3.1 CÓDIGO Y TÍTULO DEL TRABAJO.

Donde se define un numero cualquiera, con el que se idéntica el diseño y se podrá acceder el cuándo sea requerido



Al aceptar en esta opción con “enter” el programa pide que se digite código y título del trabajo con el fin de darle una identificación, se acepta nuevamente con “enter”



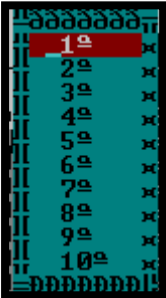
Con las teclas de dirección del teclado se logra moverse en el menú de opciones del DEPAV.

6.3.2 INFORMACIÓN ALTERNATIVA.

Donde se introducen los datos e información de todo el diseño



De esta opción se despliega un cuadro donde pide definir que numero de alternativa se va a editar, se elige con “enter” o se desplaza con las teclas de dirección.



Posteriormente el programa pide introducir la información pertinente al diseño que se desea calcular.

Número de Capas [2..6]				
		Radio de Carga [cm]	
		Presión de Contacto [Kg/cm ²]	
		Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]	
Capas	E [Kg/cm ²]	μ []	H [cm]	Ligada ó No
1 ^a
2 ^a
3 ^a
4 ^a
5 ^a
6 ^a

6.3.3 ALTERNATIVAS A EVALUAR.

En esta opción se activan las alternativas introducidas que se deseen analizar, o en el caso contrario se pueden desactivar de la misma opción, configurando una “s” en caso positivo o “n” para no analizar la alternativa

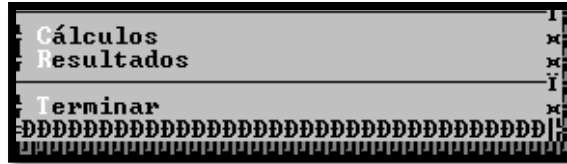


Al aceptar en esta opción se despliega estas opciones que identifican a la izquierda el número de alternativa y a la derecha si se activa o no para ser analizado

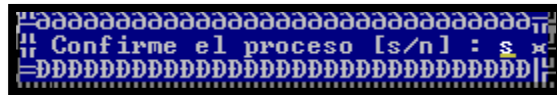
S/N	
1 ^a	S
2 ^a	N
3 ^a	S
4 ^a	S
5 ^a	S
6 ^a	S
7 ^a	S
8 ^a	S
9 ^a	S
10 ^a	S

6.3.4 CÁLCULO, RESULTADOS, TERMINAR.

Son las opciones que como su mismo nombre lo indica se usan para iniciar el cálculo, visualizar los resultado o salir del programa



Al confirmar en cálculos se despliega esta opción donde se continúa con el proceso de cálculo con “s” o se detiene con “n”



Para resultados se despliega la opción para escoger la alternativa de la que se desee observar sus resultados.

6.4 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA PARA EL DISEÑO

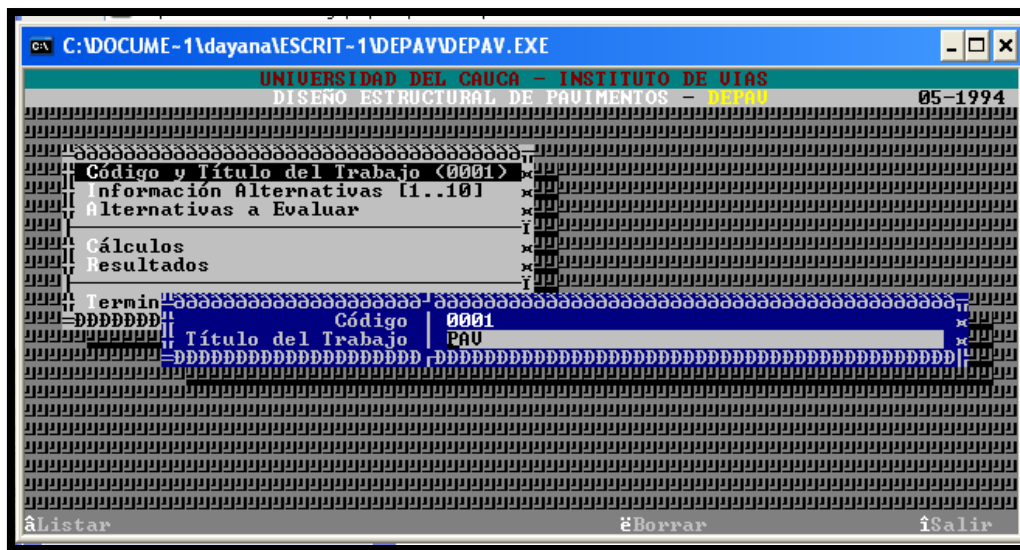


Ilustración 18: Procedimiento inicial para el diseño

Seguidamente, está la opción Información de alternativas donde se introducen los datos de las diferentes alternativas que se deseen diseñar, para este caso se aplicara solo una alternativa.

Se introducen los datos para hacer el análisis, para moverse en las opciones con la tecla “enter”, finalmente para salir tecla “esc” y se va a la opción alternativas a evaluar, poniendo “S” en el número de alternativas que se introducen, y “N” en las que no, para

este caso solo es necesario poner "S" en la primera alternativa, se sale con la tecla "esc".

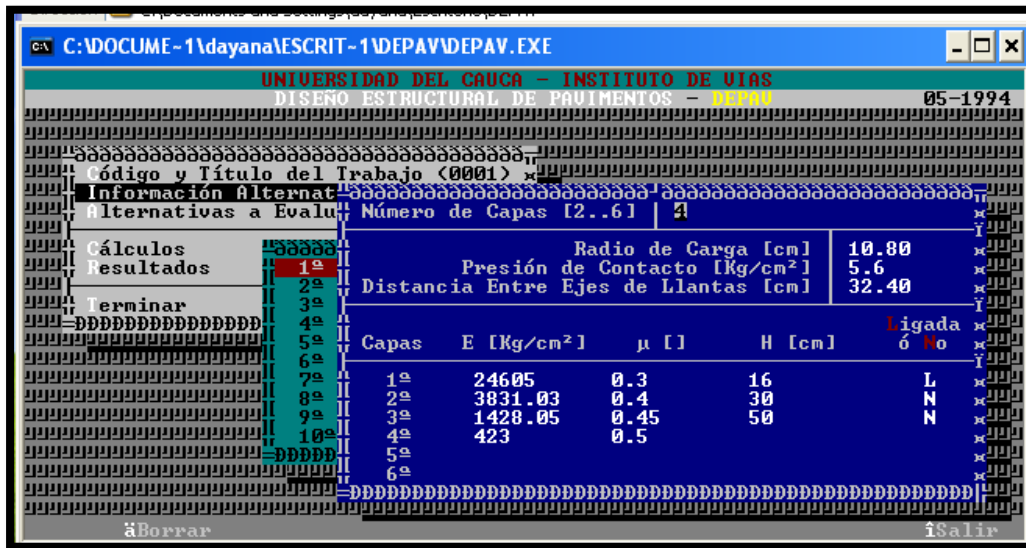


Ilustración 19: Definición de parámetros del diseño

Se activa la opción calcula, se espera unos segundos y se prosigue a verificar los resultados.

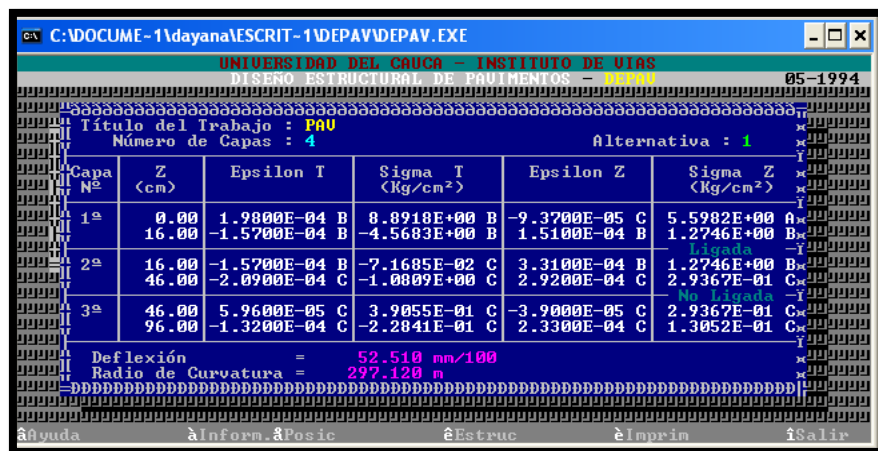


Ilustración 20: Resultados

C:\DOCUME-1\dayana\ESCRIT-1\DEPAV\DEPAV.EXE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA - INSTITUTO DE VIAS
 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS - 05-1994

Título del Trabajo : pav
 Número de Capas : 4 Alternativa : 1

Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
4ª	96.00	-3.3500E-20 C	1.3052E-01 C	-3.3500E-20 A	1.3052E-01 C
5ª					
6ª					

Deflexión = 52.510 mm/100
 Radio de Curvatura = 297.120 m

âAyuda àInform.âPosic êEstruc èImprim îSalir

Ilustración 21: Resultados

6.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS MÉTODO RACIONAL

Se comparan los resultados arrojados por el programa DEPAV con los esfuerzos admisibles calculados, los valores del ejecutable deben ser menores que los calculados.

C:\DOCUME-1\dayana\ESCRIT-1\DEPAV\DEPAV.EXE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA - INSTITUTO DE VIAS
 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS - 05-1994

Título del Trabajo : PAU
 Número de Capas : 4 Alternativa : 1

Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1ª	0.00	1.9800E-04 B	8.8918E+00 B	-9.3700E-05 C	5.5982E+00 A
	16.00	-1.5700E-04 B	-4.5683E+00 B	1.5100E-04 B	1.2746E+00 B
2ª	16.00	-1.5700E-04 B	-7.1685E-02 C	3.3100E-04 B	1.2746E+00 B
	46.00	-2.0900E-04 C	-1.0809E+00 C	2.9200E-04 C	2.9367E-01 C
3ª	46.00	5.9600E-05 C	3.9055E-01 C	-3.9000E-05 C	3.9260E-01 C
	96.00	-1.3200E-04 C	-2.2841E-01 C	2.3300E-04 C	1.3052E-01 C

Deflexión = 52.510 mm/100
 Radio de Curvatura = 297.120 m

âAyuda àInform.âPosic êEstruc èImprim îSalir

Ilustración 22: Comparación de resultados DEPAV con esfuerzos admisibles calculados

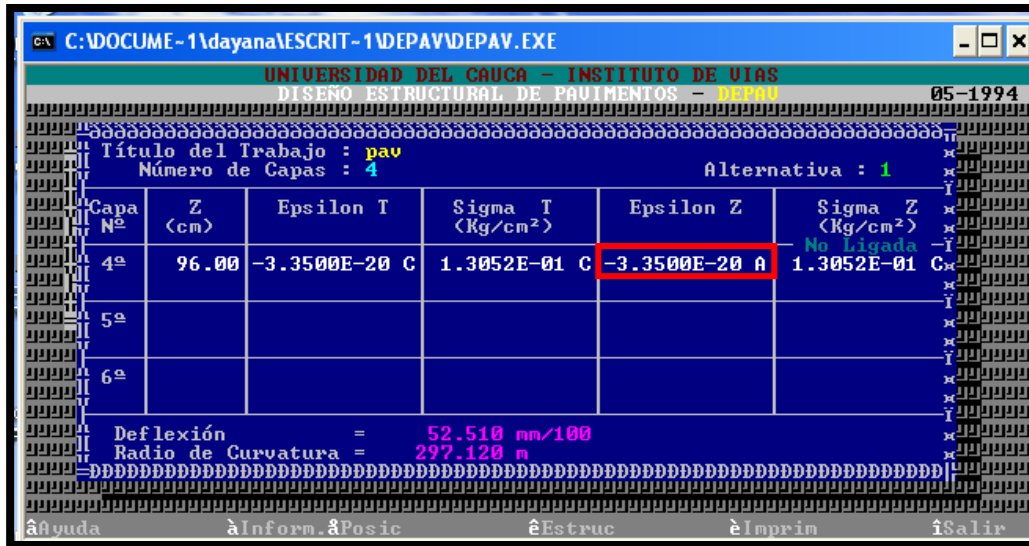


Ilustración 23: Comparación de resultados DEPAV con esfuerzos admisibles calculados

Tabla 17: Resultado de esfuerzos admisibles calculados (Fuente: Propia)

Esfuerzo Admisibles	
Et Adm	2,13E-04
Tz Adm	4,60E+00
Ez Adm	3,21E-04

- El ET ADMISIBLE es mayor al ÉPSILON T mostrando una resistencia por deformación específica a tracción mayor por el método racional comparándolo con el programa de diseño DEPAV, cumpliendo con las especificaciones de diseño requeridas por las normas vigentes del país.
- σ_Z ADMISIBLE es mayor que el SIGMA Z mostrando un esfuerzo por compresión mayor por el método racional comparándolo con el programa de diseño de pavimentos DEPAV, cumpliendo con las especificaciones de diseño requeridas por las normas vigentes de diseño de vías del país.
- El EZ (DEFORMACION ESPECÍFICA) es mayor al EPSILON Z mostrando una mejor capacidad de resistencia de deformación por el método racional comparándolo con el programa de diseño de vías DEPAV, cumpliendo con las normas vigentes de diseño de vías del país.

7 COMPARACIÓN

Después de hacer los cálculos con los métodos de diseño de pavimentos AASTHO y Racional, se hace una comparación de resultados con respecto a los espesores de capa, en pulgadas y en centímetros relacionados en la siguiente tabla:

Tabla 18: Resultados de espesores con el diseño de ambos métodos (Fuente: Propia)

CAPA	AASTHO				RACIONAL	
	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2			
	H (pul)	H (cm)	H (pul)	H (cm)	H (pul)	H (cm)
Carpeta asfáltica	4	10,16	4	10,16	6,30	16
Base	20	50,8	15	38,1	11,81	30
Sub-base	12,5	31,75	22	55,88	19,69	50
TOTAL	36,5	92,71	41	104,14	37,80	96

En cuanto a espesores se refiere, se obtiene una variación en el diseño con los métodos usados, dado que el método racional trabaja con esfuerzos admisibles en cada capa, los cuales dependen del número de ejes equivalentes y de la elasticidad de la sub-rasante, mientras que el método de la AASTHO asume que la estructura soporta niveles significativos de tránsito y estos resultados dependen primordialmente de varios datos variables como son: confiabilidad, factor de distribución del carril, y del drenaje que estos pueden tener.

8 CONCLUSIONES

- Para ambos diseños se requiere ejecutar estudios de suelos y de tránsito, antes de iniciar el diseño.
- Mientras que el método de AASTHO relaciona confiabilidad, desviación estándar, factor de distribución del carril, drenaje, ejes equivalente, nivel de servicio, el método racional solo hace un cálculo con esfuerzos admisibles, ejes equivalente y elasticidad
- Con el diseño del pavimento, se puede evidenciar que con ambos métodos dan espesores de capas similares
- Con el método AASTHO, se puede variar el espesor de capa después de tener todos los cálculos de los números estructurales, mientras que por el método racional, si se desea cambiar el espesor de la capa, se debe hacer todo el diseño nuevamente.
- El método racional no tiene en cuenta los aspectos climáticos
- En el método racional, se suponen los espesores de capa y los resultados que salen del programa son esfuerzos y deformaciones, mientras que en el método AASTHO el programa da los resultados del número estructural de donde se parte para calcular los espesores de capa.
- Las deformaciones calculadas en el método racional, deben ser mayores a las deformaciones obtenidas del software DEPAV, puesto que se debe garantizar que la subrasante presente la menor deformación posible y los esfuerzos se deben disipar en las capas anteriores.

GLOSARIO

- AASHTO: Acrónimo de American Association of State Highways and Transit Officials Asociación de Empleados Estatales de Tránsito y Carreteras.
- APIQUES: excavación utilizada para examinar detalladamente el subsuelo y obtener muestras inalteradas y cuyas dimensiones en planta son aproximadamente iguales entre sí y menores que su profundidad.
- ASTM: Acrónimo de American Society for Testing and Materials. Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales.
- ENSAYO DE CBR: California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos.
- IN SITU: Expresión proveniente del vocablo latín la cual significa “en el Sitio” “en el lugar” o simplemente “aquí mismo“, In situ se refiere a una connotación que se refiere a la aplicación de una acción en un sitio determinado y señalado.
- NORMAS NTC: Norma técnica colombiana

9 REFERENCIAS

BOWEN, Gary. "Método racional para la evaluación de subrasante de pavimento flexibles". Ecuador, 2011,108. Trabajo de grado de (magister en construcción de obras viales). Universidad técnica de Manabí. Ingeniería.

CORREDOR, Gustavo. "Experimento vial de la AASTHO y guías de diseño AASTHO" {En línea}. {10 agosto de 2014} disponible en (sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/aashto-931.pdf)

GUTIERREZ, Julián. Método racional. 2014.

HOYOS, Fabian. "Diccionario básico de geotecnia". 2001 {En línea}. {10 agosto de 2014} disponible en (www.academia.edu/1329261/GEOTECNIA_DICCIONARIO_BASICO)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio, tesis y otros trabajos de grado. Quinta Actualización. Bogotá. ICONTEC, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Artículo 300 - 07: disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas. INVIAS.

MEJIA, Miguel. Curso diseño de pavimentos flexibles. Mexico.2014

MONSALVE, LINA. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RIGIDO. Armenia, 2012, 145. Trabajo de grado de (Ingeniero civil). Universidad del Quindío. Ingeniería. Quindío

NORMA COLOMBIANA DE SISMO RESISTENCIA 2010. Capítulo H-2. NSR-10

PIEDRAHITA, Juan. "estudio geotécnico para el diseño de cimentaciones plan de vivienda sector la flora municipio de santa rosa de cabal—departamento de risaralda". {En línea}. {10 agosto de 2014} disponible en (repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/.../36334C287_anexo.pdf)

PROYECTOS Y APUNTES TEORICO PRACTICOS DE LA INGENIERIA. 2011.(<http://www.ingenierocivilinfo.com/>)

RONDON, Hugo Alexander. "Metodologías de diseño de pavimento flexible: tendencias, alcances y limitaciones". {En línea}. {10 agosto de 2014} disponible en (www.umng.edu.co/documents/63968/74787/17n2art3.pdf)

THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Guide for desing of pavement structures. 1993. AASTHO, 2001.

