

Aplicación de la Metodología Racional en el Cálculo de Espesores de Pavimentos Flexibles para Aeropuertos

Title: Application of the Rational Methodology of Thickness of Flexible Pavements for Airports

RESUMEN: El artículo expone los principios básicos considerados por la Metodología Racional y su aplicación en el diseño de estructuras de pavimento flexible para aeropuertos. Se presentan las principales expresiones utilizadas para determinar el valor de las deformaciones admisibles de la estructura de pavimento, entre estas; la deformación radial por tracción en la parte inferior de la capa de rodadura y la deformación por compresión en la capa de subrasante. De igual forma se plantea la utilización de instrumentos para el cálculo de los esfuerzos y deformaciones de servicio que actúan en la estructura, y se explica el procedimiento utilizado por la metodología racional mediante el desarrollo de un ejemplo de aplicación práctico en el cual se muestra la forma para realizar el chequeo de los valores de deformaciones admisibles comparándolos con los valores de servicio.

PALABRAS CLAVE: Chequeo de deformaciones admisibles, Diseño de Pavimento Flexible para Aeropuertos, Metodología Racional.

ABSTRACT: The article exposes the basic principles considered by the Rational Methodology and its application in the structures of flexible pavement for airports design. The main expressions used to determine the value of the acceptable deformations of the structure of pavement are presented, among these; the radial deformation for traction in the inferior part of the rolling layer and the deformation for compression in the subgrade layer. They also think about the use of instruments for the calculation of the stretch and deformations of service that act in the structure, and the procedure used by the rational methodology is explained by means of the development of a practical application example in which the form for carries out the checkup of the values of acceptable deformations comparing them with the values of service is shown.

KEY WORDS: Checkup of acceptable deformations, Flexible Pavement for Airports Design, Rational Methodology.

Logia Racional s de Aeropuertos gy in the Calculation orts

JULIÁN RODRIGO QUINTERO GONZÁLEZ

Ingeniero en Transporte y Vías, UPTC. Especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos, USTA. Magíster(c) en Ingeniería Ambiental, UPTC. Docente Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Investigador Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación y Operación del Transporte GIDPOT, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. e-mail: jrquintero.rog.itv@gmail.com, julian.quintero@uptc.edu.co

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, y en general en todos los proyectos de ingeniería se ha buscado adaptar el uso de mejores y más eficientes técnicas como un principio fundamental en el desarrollo de las etapas de planeación y diseño de acuerdo a la naturaleza de cada proyecto. En el área de Ingeniería de Pavimentos, y en particular cuando se trata de pavimentos especiales como los Pavimentos para Aeropuertos, la etapa de diseño se traduce en el uso de metodologías orientadas a la obtención de la mejor estructura para pistas y calles de rodaje en forma coherente con los recursos disponibles y desarrollada en el marco de un diseño eficiente y confiable. La metodología propuesta por la Administración Federal de Aviación FAA, la cual utiliza una serie de cartas de diseño para determinar los espesores de pavimentos es la técnica actualmente más utilizada a nivel mundial en el diseño de estructuras de pavimento flexible para aeropuertos, sin embargo, se debe considerar el hecho de que las características de los materiales contemplados por las técnicas hasta ahora desarrolladas son diferentes a los encontrados en la Geología Colombiana [1], razón por la cual se hace necesario realizar un análisis más detallado de las variables involucradas en el diseño de este tipo de estructuras mediante el empleo de técnicas fundamentadas en los principios básicos de la mecánica de pavimentos.

Considerando lo anteriormente expuesto, la Metodología Racional empleada en el diseño de pavimentos para aeropuertos se presenta como un método práctico y con buenas aplicaciones, el cual puede emplearse en forma simultánea y complementaria a las técnicas ya conocidas dando como resultado la obtención de mejores y más confiables diseños. El método se basa en la determinación del valor de los esfuerzos y deformaciones máximos admisibles que puede soportar una estructura de pavimento sin que su comportamiento funcional y estructural se vea afectado, estos valores se comparan con los de los esfuerzos y deformaciones de servicio que actúan en la estructura los cuales se determinan por métodos convencionales y/o programas de computador y considerando todas las propiedades y características de los materiales que conformarán las capas de la estructura diseñada.

II. FUNDAMENTO DE LA METODOLOGÍA RACIONAL

La Metodología Racional puede aplicarse en el cálculo de espesores de pavimento flexible para aeropuertos como parte de un diseño racional, para el cual se deben considerar algunas variables fundamentales como los esfuerzos y deformaciones admisibles para las diferentes capas del pavimento y

los esfuerzos y deformaciones presentes en la estructura por la aplicación de cargas producidas por el tránsito de aeronaves. Básicamente se debe cumplir el criterio en el que los esfuerzos y deformaciones presentes en la estructura por la acción del tránsito sean inferiores a los admisibles obtenidos en el diseño.

III. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES ADMISIBLES PARA CADA UNA DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO

Los esfuerzos y deformaciones máximos admisibles que actúan en las diferentes capas de una estructura de pavimento son aquellos que garanticen un alto grado de serviciabilidad y durabilidad del pavimento dentro del periodo de diseño antes de que la estructura entera o alguna de las capas falle. El valor de los esfuerzos y deformaciones es afectado por el comportamiento de una variedad de parámetros, los cuales se presentan a continuación:

- El tránsito acumulado respecto al período de diseño considerado.
- El riesgo de daño admitido para este período.
- Las características de resistencia a la fatiga de los materiales.
- Los efectos térmicos.
- La información del comportamiento observado en estructuras con características similares.

La metodología considera que la capa de subrasante es infinita en el sentido vertical y horizontal; para las demás capas se considera un espesor finito en dirección vertical. La superficie de contacto entre las capas presenta condiciones de completa continuidad o adherencia.

Las cargas que actúan sobre la superficie de un pavimento producen dos esfuerzos que son críticos para los propósitos del diseño racional; una deformación horizontal de tensión ϵ_t en la parte inferior de la capa bituminosa y el esfuerzo de compresión vertical σ_c actuando sobre la superficie de la capa de subrasante. Si el esfuerzo de tensión horizontal es excesivo, pueden aparecer grietas en la capa de rodadura. Si la fuerza vertical de compresión es excesiva, se generaran deformaciones permanentes en la estructura de pavimento debido a la sobrecarga en la capa de subrasante [2].

A. Deformación por tracción en la base inferior de la capa de rodadura

Para determinar el valor de la deformación producida por la tracción en la parte inferior de la capa de rodadura se debe conocer el número máximo de pasadas admisible o de diseño y el valor del módulo dinámico de la mezcla asfáltica considera en el diseño. Para tal fin se emplea la siguiente expresión:

$$\log_{10}(C) = 2.68 - 5 * \log_{10}(\epsilon_{AA}) - 2.665 * \log_{10}(E_A) \quad (1)$$

Donde: C = número de pasadas a la falla
 EA = módulo del concreto asfáltico en Lb/pulg²
 EAA = deformación horizontal por tracción en la base de la capa asfáltica (admisible)

B. Deformación por compresión en la capa de subrasante

Ésta se calcula a partir del número máximo de pasadas admisible o de diseño mediante el empleo de las expresiones 2 y 3, y teniendo en cuenta las consideraciones hechas en cada caso.

$$C = \left(\frac{0.004}{\epsilon_v} \right)^{8.1} \quad \text{Cuando } C \text{ es } \leq 12100 \quad (2)$$

$$C = \left(\frac{0.002428}{\epsilon_v} \right)^{14.21} \quad \text{Cuando } C \text{ es } > 12100 \quad (3)$$

Donde: C = número de pasadas a la falla
 Ev = deformación vertical por compresión en la parte superior de la subrasante admisible antes de la falla

C. Determinación del número de pasadas

En el estudio de pavimentos flexibles la “pasada” es una medida del número de aplicaciones de esfuerzo máximo que ocurre sobre la superficie de un pavimento debido a la acción del tránsito. Una pasada ocurre cuando todos los puntos sobre la superficie del pavimento dentro de la línea de tránsito o huella han sido sometidos a una aplicación de esfuerzo máximo asumiendo un esfuerzo igual bajo la totalidad de la huella [3]. Considerando que en las cartas de diseño elaboradas por la Administración Federal de Aviación para la implementación de su metodología el número de pasadas se encuentra en términos de operaciones anuales, es necesario aplicar un factor de conversión que permita transformar las operaciones anuales a pasadas equivalentes, estos factores se indican en la Tabla 1.

TABLA 1. Relación de conversión de operaciones a pasadas para pavimentos flexibles

Curva de diseño	Relación operaciones a pasadas
Rueda simple	5.18
Rueda doble	3.48
Boggie	1.84
A300 modelo B2	1.76
A300 modelo B4	1.73
B-747	1.85
B-757	1.94
B-767	1.95
C-130	2.07
DC-10-10	1.82
DC-10-30	1.69
L-101 1	1.81

Fuente: González Barahona, José Gustavo, Mojica Sierra, Johan Enrique. Implementación de herramientas informáticas para el diseño racional de pavimentos flexibles para aeropuertos [4].

Luego se determina el factor de daño acumulado CDF el cual se expresa como la relación entre el número de repeticiones de carga hasta el instante de la rehabilitación y el número de repeticiones de carga que soporta el pavimento hasta alcanzar la falla. Se emplean las expresiones 4 y 5.

$$CDF = \frac{\text{NUMERO DE REPETICIONES DE CARGA APLICADAS}}{\text{NUMERO DE REPETICIONES ADMISIBLES ANTES DE FALLAR}}$$

$$CDF = \frac{\text{SALIDAS ANUALES} * \text{PERIODO DE VIDA EN AÑOS}}{\left(\frac{\text{TRANSITO}}{\text{RELACION DE COBERTURA}} \right) * (\text{OPERACIONES HASTA LA FALLA})}$$

IV. CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES PRESENTES EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Para determinar el valor de los esfuerzos y deformaciones que actúan en la estructura de pavimento se pueden utilizar los procedimientos matemáticos convencionales o emplear hojas de cálculo o programas de computador.

V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

La información presentada corresponde a los trabajos desarrollados en los cursos de Diseño Avanzado de Pavimentos de la Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y en el marco de la Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos de la Unidad de Postgrados y Educación Continuada de la Universidad Santo Tomás de Aquino de la ciudad de Tunja (Boyacá), Colombia. Para este caso se requiere determinar el valor de los esfuerzos y deformaciones de la estructura de pavimento aplicando La Metodología Racional de diseño de espesores de pavimento para aeropuertos.

Datos de diseño: Valor del CBR de la Subrasante: 4%
 Tipo de suelos: arcilla de alta plasticidad - CH
 Valor del CBR del material de Subbase: 35%
 Período de diseño: 20 años
 Altura sobre el nivel del mar: 2350 msnm
 Temperatura media anual ponderada: 13°C

Datos de tránsito:

TABLA 2. Composición del tránsito ejemplo de aplicación

Tipo de Aeronave	Decolajes Anuales Esperados	Peso Bruto máximo para el decolaje, kg	Geometría del tren de aterrizaje
B - 747-100	1000	200000	Cabina ancha
B-737 - 200	1350	54000	Doble
B-707 - 320B	3100	130000	Tándem doble
B-727 - 200	2200	80000	Doble
B -727 - 100	2000	75000	Doble
DC-3	1000	20000	Simple
DC-6	2000	45000	Doble
DC-9 - 30	2000	55000	Doble
L1011 - 100	1520	150000	Cabina ancha

Fuente: Higuera Sandoval, Carlos Hernando. Diseño de Estructuras de Pavimentos Flexibles para Aeropuertos [5].

Datos considerados para el diseño de la estructura de pavimento: Aeronave de diseño; B -707 - 320B. Peso Bruto Máximo de Decolaje PBMD= 130000 kg.

A. Esfuerzos y deformaciones admisibles para cada una de las capas del pavimento

1) Determinación del número de pasadas

Para ello se deben calcular los diferentes parámetros que garantizan el periodo de vida de la estructura. Para poder utilizar las expresiones para la determinación de deformaciones en la carpeta asfáltica y en la subrasante se hace necesario incorporar el término de pasadas al diseño. Para el cálculo de pasadas se deben tener en cuenta las operaciones anuales (número de decolajes anuales equivalentes), la aeronave de diseño y los factores de conversión contenidos en la Tabla I. Las pasadas se obtienen a partir de la ecuación 5, por ejemplo, para la aeronave B-737 - 200, el número de pasadas se determina de la siguiente forma

$$CDF = \frac{1350 * 20}{3.48} = 775862 \approx 7759 \text{ repeticiones} \quad (5)$$

De forma análoga se determina el número de pasadas para cada una de las aeronaves que interviene en el diseño. Los resultados se indican en la Tabla III.

TABLA 3. Determinación del número de pasadas para el método racional

Tipo de Aeronave	Decolajes Anuales Esperados	Geometría del tren de aterrizaje	Factor de relación operaciones a pasadas	Número de pasadas
B - 747-100	1000	Cabina ancha	1.85	10811
B-737 - 200	1350	Doble	3.48	7759
B-707 - 320B	3100	Tándem doble	1.84	33696
B-727 - 200	2200	Doble	3.48	12644
B -727 - 100	2000	Doble	3.48	11495
DC-3	1000	Simple	5.18	3862
DC-6	2000	Doble	3.48	11495
DC-9 - 30	2000	Doble	3.48	11495
L1011 - 100	1520	Cabina ancha	1.81	16796
			TOTAL	120053

Fuente: El autor

2) Deformación por tracción en la base inferior de la capa de rodadura

La deformación por tracción en la base de la capa de rodadura antes de la falla se calcula a partir del conocimiento de las pasadas admisibles o de diseño y del módulo dinámico de la mezcla asfáltica mediante el uso de la ecuación 1, para la cual:

C = número de pasadas a la falla = 120053 ≈ 120100
 EA = módulo del concreto asfáltico en Lb/pulg² = 500000
 EAA = deformación horizontal por tracción en la base de la capa asfáltica (admisibles)

$$\text{Log}_{10}(120100) = 2.68 - 5 * \text{Log}_{10}(\epsilon_{AA}) - 2.665 * \text{Log}_{10}(500000)$$

$$E_{AA \text{ adm}} = 3.038 * 10E - 4 \text{ Lb/pulg}^2$$

3) Deformación por compresión en la capa de subrasante

Teniendo en cuenta que el número de pasadas C (120100) es mayor a 12100, se emplea la ecuación 3, para la cual:

C = número de pasadas a la falla = 120100
 Ev = deformación vertical por compresión en la parte superior de la subrasante admisible antes de la falla

$$120100 = \left(\frac{0.002428}{\epsilon_v} \right)^{14.21} \quad \text{Cuando C es } > \text{ a } 12100$$

despejando Ev, se tiene que:

$$120100 = \left(\frac{0.002428}{\epsilon_v} \right)^{14.21}$$

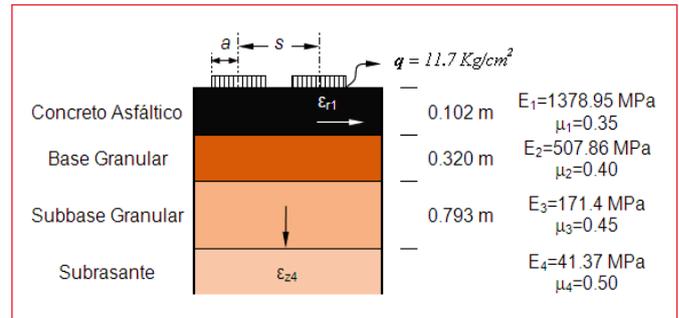
$$E_{AA} \text{ adm} = 1.066 * 10E - 3 \text{ Lb/pulg}^2$$

3) Cálculo de esfuerzos y deformaciones presentes en la estructura del pavimento

A partir de los módulos y espesores determinados por el programa LEDFAA V1.3, elaborado por la Administración Federal de Aviación FAA, y tomado como referencia el modelo de estructural mostrado en la Figura 1, se procede a modelar la estructura empleando el programa

BISAR 3.0 de la Shell para el cálculo de Esfuerzos y Deformaciones en Estructuras de Pavimento

FIGURA 1.- Estructura a modelar mediante el Programa Bisar 3.0



Fuente: El autor

Datos para la modelación:

- Carga por rueda = 15438 kg ≈ 151.45 KN
- Separación entre ruedas = 876.3 mm (tomado de programa Ledfaa v1.3) típica para aeronave Boeing 707
- Presión de contacto = 1.241 KPa (tomado de programa Ledfaa v1.3 para Boeing 707)
- Radio de Carga = 0.312 m (tomado de programa Ledfaa v1.3 para Boeing 707)

Después de haber modelado la estructura en el programa Bisar 3.0 se obtiene el reporte de salida mostrado en la Figura 2 en el cual se pueden observar los esfuerzos, deformaciones y deflexiones de servicio que va a tener el pavimento para aeropuerto diseñado.

FIGURA 2- Reporte del programa Bisar 3.0 para la estructura modelada

BISAR 3.0 - Block Report												
EJEMPLO 1 JULIÁN R. QUINTERO												
System 1: EJEMPLO 1 METODOLOGÍA RACIONAL												
Structure				Loads								
Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	0.102	1.380E+03	0.35	-	1.515E+02	4.952E-01	0.000E+00	0.000E+00	2.120E-01	0.000E+00	-4.380E-01	0.000E+00
2	0.320	5.070E+02	0.40	2	1.511E+02	4.952E-01	0.000E+00	0.000E+00	2.120E-01	0.000E+00	4.380E-01	0.000E+00
3	0.793	1.710E+02	0.45									
4	4.100E+01		0.50									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses (MPa)			Strains (µstrain)			Displacements (µm)		
					XX	YY	ZZ	XX	YY	ZZ	UX	UY	UZ
1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-5.644E-01	-7.103E-02	0.000E+00	-3.910E+02	5.167E+01	1.612E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.136E+03
2	1	0.000E+00	0.000E+00	1.020E-01	-2.121E-01	-5.222E-02	-6.481E-02	-4.785E+00	-3.982E+02	1.393E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.122E+03
3	2	0.000E+00	0.300E+00	1.020E-01	-1.205E-01	-2.303E-01	-6.482E-02	-4.778E+00	-3.981E+02	1.489E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.122E+03
4	1	0.000E+00	4.380E-01	1.020E-01	-1.786E-01	-1.642E-01	-4.597E-01	2.078E+01	4.290E+01	-2.451E+02	0.000E+00	-3.004E-01	2.204E-03
5	2	0.000E+00	4.380E-01	1.020E-01	-2.787E-01	-2.736E-01	-4.597E-01	2.880E+01	4.289E+01	-4.709E+02	0.000E+00	-3.004E-01	2.205E-03
6	2	0.000E+00	0.000E+00	4.220E-01	1.875E-01	3.517E-02	-1.214E-01	4.355E+02	2.314E+01	-4.175E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.068E-03
7	2	0.000E+00	0.000E+00	4.220E-01	-3.729E-03	-5.236E-02	-1.214E-01	4.355E+02	2.314E+01	-5.625E+02	0.000E+00	0.000E+00	2.068E-03
8	2	0.000E+00	4.380E-01	4.220E-01	2.299E-01	1.744E-01	-1.593E-01	4.413E+02	2.983E+02	-8.332E+02	0.000E+00	6.877E-01	2.028E-03
9	3	0.000E+00	4.380E-01	4.220E-01	-7.664E-03	-2.593E-02	-1.593E-01	4.413E+02	2.983E+02	-8.427E+02	0.000E+00	6.877E-01	2.028E-03
10	3	0.000E+00	0.000E+00	1.215E-00	8.009E-02	7.078E-02	-3.194E-02	3.661E+02	2.872E+02	-8.833E+02	0.000E+00	0.000E+00	-1.634E-03
11	4	0.000E+00	0.000E+00	1.215E-00	-4.071E-03	-6.227E-03	-3.194E-02	3.661E+02	2.872E+02	-6.533E+02	0.000E+00	0.000E+00	-1.634E-03
12	3	0.000E+00	4.380E-01	1.215E-00	7.357E-02	6.274E-02	-2.954E-02	3.429E+02	2.310E+02	-5.314E+02	0.000E+00	1.238E+02	1.536E-03
13	4	0.000E+00	4.380E-01	1.215E-00	-3.933E-03	-6.443E-03	-2.954E-02	3.429E+02	2.310E+02	-5.314E+02	0.000E+00	1.238E+02	1.536E-03

Fuente: Shell International Petroleum Company Limited. Bisar 3.0 [programa computador] Londres.

Calculated 17-Sep-2009 18:58:02

Print Date: 17-Sep-2009

Page: 1

5) Comparación de las deformaciones presentes en la estructura con las admisibles

En la Tabla IV. se muestra la comparación de los parámetros de diseño calculados con los valores admisibles

TABLA 4.- Comparación de valores de deformaciones con parámetros admisibles

Parámetro de Revisión	Valor Calculado (Vc)	Valor Admisible (Va)	Relación Porcentual (%) (Vc/Va)*100	Cumple Parámetro
Deformación por tracción en la parte inferior de la capa de rodadura	$2.878 \cdot 10^5$	$3.038 \cdot 10^4$	9.47	SI
Deformación por compresión en la parte superior de la capa de subrasante	$6.533 \cdot 10^4$	$1.066 \cdot 10^3$	61.29	SI
Empleando una Relación de Poisson constante = 0.35				
Deformación por tracción en la parte inferior de la capa de rodadura	$8.028 \cdot 10^6$	$3.038 \cdot 10^4$	2.64	SI
Deformación por compresión en la parte superior de la capa de subrasante	$7.971 \cdot 10^4$	$1.066 \cdot 10^3$	74.77	SI

Fuente: El autor

Con base en los resultados mostrados en la Tabla IV. se puede afirmar que la estructura cumple con los parámetros de deformación por compresión en la parte superior de la capa de subrasante Σ_c y de deformación por tracción en la parte inferior de la carpeta asfáltica Σ_t , es decir; cumple con los criterios de control de fatiga y ahuellamiento.

6) Análisis de resultados

Con base en la modelación y comparando los resultados obtenidos para los parámetros calculados y los valores admisibles se puede establecer que:

- El consumo por efecto del daño de las aeronaves considerando los valores admisibles obtenidos alcanza un valor máximo del 62% y podría alcanzar hasta el 65%, valores que son aceptables y relativamente bajos.
- Empleando una relación de Poisson constante igual a la que emplea el programa de cálculo Ledfaa v1.3 se puede aumentar significativamente la reserva de consumo para la deformación por tracción en la parte inferior capa de rodadura, sin embargo, esta situación genera en forma simultánea una disminución importante en la reserva de consumo para la deformación por compresión en la parte superior de capa de subrasante.
- Si se redujeran los espesores que se obtuvieron por medio del programa Ledfaa elaborado por la Administración Federal de Aviación FAA se puede cumplir con

los parámetros de deformación admisibles pero en consecuencia podría no cumplirse con el parámetro de factor de daño acumulado.

- La deflexión producida por la aeronave de diseño es demasiado alta comparada con las deflexiones producidas sobre una carretera la cual no es tenida en cuenta como parámetro de verificación, por lo cual, si se llegaran a disminuir los espesores de pavimento esta aumentaría de manera significativa.

Los espesores definitivos de la estructura del pavimento se muestran en el siguiente cuadro:

TABLA 5.- Resumen de espesores de estructura de pavimento diseñada por la metodología racional

Capa	Espesor Requerido cm		
	Zona Crítica	Zona No Crítica	Bordes
Capa de Rodadura	10cm	7.5cm	5cm
Base Granular	32cm	29cm	24cm
Subbase Granular	83cm	75cm	58cm
Drenaje Transversal		13.5cm	38cm
TOTAL	125cm	125cm	125cm

Fuente: El autor

VI. CONCLUSIONES

El método expuesto se fundamenta en la determinación del valor de los esfuerzos y deformaciones máximos admisibles que puede soportar una estructura de pavimento para luego ser comparados con el valor de los esfuerzos y deformaciones de servicio que actúan en la estructura. Para aplicar esta técnica en el cálculo de pavimentos flexibles para aeropuertos se hace indispensable el conocimiento de parámetros como los Esfuerzos y Deformaciones Admisibles para las diferentes Capas de la Estructura de Pavimento, y los Esfuerzos y Deformaciones presentes en la estructura por la Aplicación de Cargas de Tránsito. Debe cumplirse que los esfuerzos y deformaciones presentes en la estructura por la acción del tránsito sean inferiores a los máximos admisibles de diseño.

La Metodología Racional empleada en el diseño de pavimentos para aeropuertos representa un método práctico y con buenas aplicaciones que facilita el estudio de los esfuerzos y deformaciones que pueden presentarse en las estructuras de pavimento, mejorando los procedimientos de cálculo y análisis. Esta metodología puede implementarse en forma simultánea a las técnicas que emplean cartas de diseño como es el caso de la metodología propuesta por la Federal Aviation Administration FAA, con lo cual se optimiza el procedimiento de diseño estructural y se obtienen mejores resultados soportados por un método confiable.

Las técnicas y métodos desarrollados para el diseño de estructuras de pavimento flexible se fundamentan

principalmente en el estudio de parámetros tales como la composición del tránsito de la flota de aeronaves, la geometría del tren de aterrizaje de cada aeronave, el número de decolajes equivalentes de la aeronave de diseño, las características de resistencia de los materiales, las condiciones climáticas y el periodo de diseño de la estructura de pavimento, sin embargo, es necesario considerar otros factores como los esfuerzos y deformaciones que puede resistir la estructura sin comprometer su capacidad estructural y su funcionalidad y los valores reales correspondientes a los esfuerzos y deformaciones actuantes o de servicio presentes en la estructura.

VII. RECOMENDACIONES

Siempre que se emplee cualquier metodología para el diseño de estructuras de pavimento ya sea para carreteras o estructuras especiales como lo son las pistas de aterrizaje y calles de rodaje en un aeropuerto se debe realizar un estudio detallado de las características mecánicas de los materiales conforme con los principios fundamentales de la Mecánica de Pavimentos. Esto mediante la realización de pruebas y ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales, la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas y el análisis de su comportamiento como primer paso para la obtención de un diseño exitoso.

REFERENCIAS

[1] Quintero González, Julián Rodrigo (2010). Metodología de la Administración Federal de Aviación para el Diseño de Estructuras de Pavimento Flexible para Aeropuertos. Artículo de revista. Ingenio Magno: Revista Facultades de Ingenierías. Universidad Santo Tomás de Aquino. Tunja, Colombia. Volumen 1 No. 1, p 18-21, 76 p.

[2] González Barahona, José Gustavo, Mojica Sierra, Johan Enrique (2006). Implementación de herramientas informáticas para el diseño racional de pavimentos flexibles para aeropuertos. Trabajo de Grado. Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial – Grinfravial. Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, p 88.

[3] _____, _____. Tunja, p 78.

[4] _____, _____. Tunja, p 79.

[5] Higuera Sandoval, Carlos Hernando (2009). Diseño de Estructuras de Pavimentos Flexibles para Aeropuertos: Método de la FAA. Guías de clase curso de diseño avanzado de pavimentos. Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos, Facultad de Ingeniería Civil, Unidad de Postgrados y Educación Continuada, Universidad Santo Tomás de Aquino. Tunja, Colombia.

BIBLIOGRAFIA

Federal Aviation Administration (1995). Advisory Circular AC 150/5320-6D: Airport pavement design and evaluation. U.S. Department of Transportation. Washington, United States.

_____ (2004). Ledfaa User's Manual. U.S. Department of Transportation. Washington, United States.

_____ (2004). Operational Life of Airports Pavements. U.S. Department of Transportation. Washington, United States.

García Hernández, M^a Inmaculada. Nuevos materiales y métodos de diseño por teoría elástica de capas en pavimentación de aeropuertos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, España.

González Barahona, José Gustavo, Mojica Sierra, Johan Enrique (2006). Implementación de herramientas informáticas para el diseño racional de pavimentos flexibles para aeropuertos. Trabajo de Grado. Grupo de Investigación y Desarrollo en Infraestructura Vial – Grinfravial. Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, 147 p.

Higuera Sandoval, Carlos Hernando (2006). Diseño de Estructuras de Pavimentos Flexibles para Aeropuertos. Método de la FAA. Guías de clase curso de diseño avanzado de pavimentos. Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, 25 p.

_____ (2009). Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos, Facultad de Ingeniería Civil, Unidad de Postgrados y Educación Continuada, Universidad Santo Tomás de Aquino. Tunja, Colombia, 33 p.

_____ (2007). Mecánica de pavimentos: principios básicos. Dirección de Investigaciones, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, 295 p.

Hoyos G. Diego Eduardo. Diseño Estructural de Pavimentos para Aeropuertos. Artículo para Revista de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

Huang, Yang H. (1993). Pavement analysis and design. United State of America: Prentice-Hall.

Organización de la Aviación Civil Internacional OACI (1983). Manual de proyectos de aeródromos. Tomo III: Pavimentos. Segunda edición.

Quintero González, Julián Rodrigo (2009). Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeropuertos: guía práctica. Trabajo de Grado. Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos, Facultad de Ingeniería Civil, Unidad de Postgrados y Educación Continuada, Universidad Santo Tomás de Aquino. Tunja, Colombia, 154 p.

_____ (2010). Metodología de la Administración Federal de Aviación para el Diseño de Estructuras de Pavimento Flexible para Aeropuertos. Artículo de revista. Ingenio Magno: Revista Facultades de Ingenierías. Universidad Santo Tomás de Aquino. Tunja, Colombia. Volumen 1 No. 1, 76 p.

Reyes Liscano, Fredy Alberto (2003). Diseño Racional de Pavimentos. Escuela Colombiana de Ingeniería. Segunda Edición. Bogotá, Colombia, 2003.

Sánchez Sabogal, Fernando (1983). Pavimentos. Capítulo 1. Diseño estructural de pavimentos flexibles para aeropuertos. Bogotá, Colombia.

_____ (1984). Pavimentos. Tomo 1. Fundamentos teóricos: guías de diseño. Universidad La Gran Colombia. Primera Edición. Bogotá, Colombia.