

# Metodología de la Administración Federal de Aviación

## para el diseño de estructuras de pavimento flexible para aeropuertos

Por: **JULIÁN RODRIGO QUINTERO GONZÁLEZ**. Ingeniero en Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos, Universidad Santo Tomás de Aquino (Colombia). Docente de la Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. e-mail: jrquintero.itv@gmail.com

Imagía: <http://static.panoramio.com/photos/original/6231013.jpg>



**RESUMEN:** Se presentan los aspectos técnicos fundamentales y principales consideraciones de la metodología propuesta por la Administración Federal de Aviación FAA para el diseño de estructuras de pavimento para aeropuertos. Se exponen los aspectos generales sobre las variables consideradas en el diseño (estructurales, tránsito, factores ambientales y factores intrínsecos), se establecen las características de las variables consideradas por el método (subrasante y materiales para la estructura, geometría del tren de aterrizaje, número de decolajes equivalentes y peso bruto máximo para el decolaje) y se explica el procedimiento utilizado para el tratamiento de la información requerida en diseño estructural de pavimentos flexibles para aeropuertos.

**PALABRAS CLAVE:** Diseño de Pavimento Flexible para Aeropuertos, Metodología de la FAA, Variables y Parámetros de diseño, Descripción del procedimiento de diseño.

**ABSTRACT:** The fundamental technical aspects and main considerations of the methodology proposed by the Federal Aviation Administration FAA for the design of structures of pavement for airports are presented. The general aspects on the variables considered in the design (structural, traffic, environmental factors and intrinsic factors) are exposed, the characteristics of the variables considered by the method settle down (subgrade and materials for the structure, geometry of the landing train, number of equivalent departures and weight maximum brute for the departure) and the procedure is explained used for the treatment of the information required in the flexible pavements for airports structural design.

**KEY WORDS:** Flexible Pavement for Airports Design, The FAA Methodology, Variables and Parameters of design, Description of the design procedure.

## 1. Introducción

La planeación del transporte aéreo y la administración y mantenimiento de su infraestructura requieren que se lleve a cabo un apropiado tratamiento de todas aquellas variables que definen la evolución de las condiciones físicas de las estructuras de pavimento. Esta situación se presenta como el punto de partida para los profesionales de la ingeniería en el momento de formular soluciones convenientes para el diseño racional de pavimentos flexibles para aeropuertos, y pone en evidencia la necesidad de profundizar en el estudio de los métodos ya existentes así como del desarrollo de nuevos métodos que se ajusten a las condiciones particulares de Colombia. En la actualidad, la literatura relacionada con el diseño de pavimentos para aeropuertos es casi nula y la variedad de métodos de diseño de estructuras de pavimento es limitada, destacándose la metodología propuesta por la Administración Federal de Aviación FAA de los Estados Unidos, para la cual, a continuación se describen los conceptos fundamentales y las características de las variables consideradas por el método de diseño.

## 2. Variables consideradas por el método para el diseño

### 2.1 Estructurales

**2.1.1. Características del suelo de subrasante.** Entre estas; las propiedades físicas del suelo, la capacidad de soporte, porcentajes de expansión, porcentaje de humedad y estabilidad volumétrica.

**2.1.2. Propiedades de los agregados.** Referente a las características de los materiales que se pretenden utilizar en las capas de la estructura, entre estas; su granulometría, su capacidad de soporte y los módulos dinámicos de los agregados.

### 2.2. Tránsito

**2.2.1. Geometría del tren de aterrizaje.** Que de acuerdo con el método está definida por las características físicas y especificaciones técnicas y de diseño de cada aeronave.

**2.2.2. Magnitud de las cargas.** La cual depende de la capacidad de carga de la aeronave, su peso bruto máximo al despegar y de la geometría de su tren de aterrizaje.

**2.2.3. Número de operaciones anuales.** Valor que es diferente para cada aeronave de acuerdo al número de decolajes registrados alrededor de un año.

**2.2.4. Volumen de tránsito o de diseño.** Deben tenerse pronósticos de salidas anuales para los diferentes tipos de aeronaves. En el análisis de los volúmenes de aeronaves también debe considerarse la geometría del tren de aterrizaje de cada aeronave y por supuesto la magnitud de sus

cargas. La proyección del volumen de aeronaves debe corresponder con el periodo de diseño o la vida útil proyectada para la estructura de pavimento que se pretende diseñar.

## 2.3 Factores ambientales

**2.3.1. Altura sobre el nivel del mar.** La cual determina la extensión de las pistas de aterrizaje debido al efecto de las condiciones atmosféricas en la operación normal de las aeronaves.

**2.3.2. Temperatura media anual ponderada.** La cual tiene un efecto directo en el módulo dinámico de la mezcla asfáltica y por consiguiente en su resistencia y comportamiento frente a los esfuerzos de tracción.

**2.3.3. Humedad.** Que afecta directamente a la estructura de pavimento y el suelo de subrasante.

## 2.4 Factores intrínsecos

[1] Aquellos que se derivan del comportamiento estructural y funcional del pavimento, entre estos; la resistencia estructural, la deformabilidad y la durabilidad.

## 3. Generalidades sobre el método de la Administración Federal de Aviación FAA

El método emplea una serie de cartas de diseño que se utilizan para determinar los espesores del pavimento, esto, a partir del conocimiento de variables como la capacidad de soporte del suelo de subrasante, la geometría del tren de aterrizaje de la flota de aeronaves que componen el tránsito, el número de decolajes anuales equivalentes para una aeronave de diseño y el peso bruto máximo para el decolaje PBMD.

### 3.1 Caracterización del suelo de subrasante y materiales para la estructura

En la actualidad se puede recurrir a diferentes pruebas y métodos de ensayo para determinar el valor de la resistencia de los suelos de la subrasante que han sido sometidos a cargas dinámicas de tránsito, entre estos, se tienen los siguientes [2]:

- Relación de valor de soporte de California (CBR, California Bearing Ratio): INV - E 101 - 07 e INV E - 148 - 07
- Valor de resistencia Hveem (Valor R)
- Penetración dinámica con cono (PDC): INV E - 172 - 07
- Módulo de resiliencia (Mr) para pavimentos flexibles: INV E - 156 - 07
- Módulo de reacción de la subrasante (K) para pavimentos rígidos

De igual forma, se cuenta con una amplia variedad de ensayos de laboratorio que permiten establecer las características físicas, mecánicas y de resistencia de los suelos de subrasante y de los materiales y agregados que se utilizan para las diferentes capas de una estructura de pavimento, entre estos [3]:

- Granulometría: INV - E 101 - 07 e INV E - 123 - 07
- Límites de Atterberg (líquido, plástico e índice plástico): INV - E 101 - 07, INV E - 125 - 07 e INV E - 126 - 07
- Valor soporte (CBR): INV - E 101 - 07 e INV E - 148 - 07
- Densidad (Proctor): INV - E 101 - 07 e INV E - 142 - 07
- Humedad: INV E - 122 - 07

A partir de los resultados obtenidos se pueden caracterizar y catalogar los suelos empleando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

### 3.2 Tren de aterrizaje

Las características geométricas del tren de aterrizaje determinan la forma en que se distribuyen las cargas producidas por cada aeronave en particular. De acuerdo con el método de la FAA, la configuración del tren de aterrizaje puede ser:

- Rueda Simple (por ejemplo el Dc3)



Figura 1. Aeronave con tren de aterrizaje de geometría simple  
Fuente: Tomado de Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeropuertos: guía práctica [4]. Disponible en <http://www.airliners.net>

- Rueda Doble (por ejemplo el DC4, DC6, DC9, B727 y B737)



Figura 2. Tren de aterrizaje con geometría doble  
Fuente: Tomado de Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeropuertos: guía práctica [5]. Disponible en <http://www.aerospace.org>

- Rueda Tándem doble (por ejemplo el DC8, B707, B720 y B767)



Figura 3. Tren de aterrizaje con geometría tándem doble  
Fuente: Tomado de Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeropuertos: guía práctica [6]. Disponible en <http://www.aerospace.org>

### 3.3 Número de decolajes anuales equivalentes para una aeronave de diseño

Este se determina a partir del número de decolajes anuales de los diferentes tipos de aviones que conforma la flota de aeronaves, y que efectúan sus operaciones en un aeropuerto y en una pista de aterrizaje determinados.

### 3.4 Peso bruto máximo para el decolaje PBMD

Depende de las características físicas de cada aeronave, de las especificaciones técnicas y de diseño establecidas por los constructores, de su capacidad de carga y de las regulaciones vigentes para su operación.

## 4. Descripción del procedimiento de diseño para la Metodología de la Administración Federal de Aviación FAA

Para la determinación de los espesores de la estructura de pavimento se deben seguir los siguientes pasos:

### 4.1 Determinación de la aeronave de diseño

La aeronave de diseño seleccionada es aquella que entre todas las que componen la flota de aeronaves, requiera un mayor espesor de pavimento para su número individual de repeticiones (decolajes), determinado en el análisis de carga. En la mayoría de los casos la aeronave de diseño que registra el mayor número de repeticiones, es también la que presenta la mayor magnitud de carga.

### 4.2 Determinación del número de repeticiones anuales (decolajes) equivalentes de la aeronave de diseño

Una vez se haya establecido cual es la aeronave que

requiere el mayor espesor teórico de pavimento, se hace necesario convertir el número de repeticiones de los diversos tipos de aeronaves a un número equivalente de repeticiones de la aeronave de diseño considerada. Se determina la carga ejercida sobre cada una de las ruedas del tren de aterrizaje para cada aeronave empleando la siguiente expresión:

$$W1 \text{ o } W2 = \frac{\text{Peso bruto máximo para decolaje} * 0.95}{\text{Número de ruedas del tren principal}}$$

Donde:

W1 = Carga por rueda del tren principal del avión de diseño.

W2 = Carga por rueda del tren principal del avión al que corresponde R2 decolajes.

Luego se realiza la conversión a repeticiones anuales equivalentes de la aeronave de diseño, se emplea la siguiente expresión:

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 * (W_2/W_1)^{0.5} \quad (2)$$

Donde:

R1 = Número de decolajes del avión de diseño que equivalen a un número R2 de decolajes de otro tipo de avión

W1 = Carga por rueda del tren principal del avión de diseño.

W2 = Carga por rueda del tren principal del avión al que corresponde R2 decolajes.

#### 4.3 Determinación del espesor total del pavimento

Para elegir la carta de diseño adecuada, se debe tener en cuenta la aeronave de diseño seleccionada y la geometría de su tren de aterrizaje. Una vez se haya elegido la carta de diseño correcta, se entra a esta con el valor del CBR de la subrasante, se traza una línea que corte la curva que más se acerque al valor del peso bruto de la aeronave, se proyecta hasta la diagonal del número de decolajes equivalentes y luego se determina el espesor total del pavimento.

Cuando el valor del número de repeticiones anuales equivalentes para la aeronave de diseño es superior a 25.000, se hace necesario incrementar el espesor total del pavimento de acuerdo con un factor de ajuste expresado como un porcentaje del espesor necesario para 25.000 repeticiones.

#### 4.4 Determinación del espesor de la subbase granular

Empleando nuevamente la carta correspondiente a la aero-

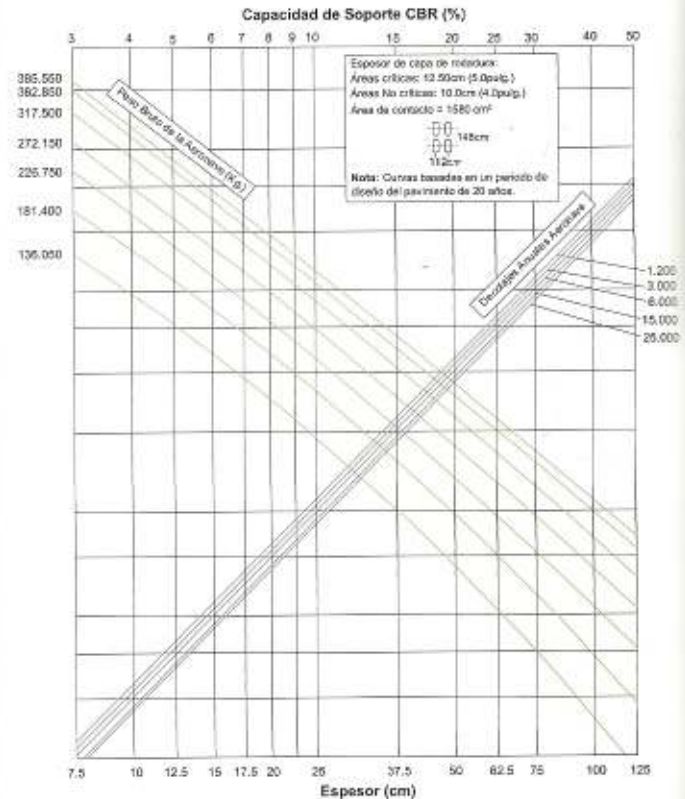


Figura 4. Carta de diseño de pavimentos flexibles para áreas críticas Boeing-747-100 Serie 200 B, C, F  
Fuente: El autor (Adaptado de: Advisory Circular AC 150/5320-6D. U.S. Department of Transportation. Chapter 3: Pavement design. [7] y Pavimentos. Capítulo 9: Diseño estructural de pavimentos flexibles para aeropuertos [8].

nave de diseño seleccionada, se determina el valor del espesor de la base granular más la capa de rodadura, el espesor de la subbase granular se obtiene de la diferencia entre el espesor total de la estructura y el espesor capa de rodadura más la base granular. Se debe verificar si el espesor de la base granular es mayor al mínimo requerido, de no ser así, se debe adoptar el espesor mínimo requerido y reducir el espesor de la capa de subbase granular el mismo número de centímetros que se aumenta el espesor de la capa de base, conservando constante el espesor total de la estructura de pavimento diseñada.

#### 4.5 Determinación del espesor de áreas no críticas

El espesor total de la estructura de pavimento para las zonas no críticas se obtiene multiplicando el valor de los espesores críticos de la subbase y base por un factor de 0.90, más el espesor requerido de la capa de rodadura que se indica en las cartas de diseño. Para áreas de borde se aplica un factor de 0.70 únicamente para la capa de base.

#### 5. Conclusiones

- La metodología expuesta se fundamenta en el análisis de

variables como el tránsito de diseño, el cual se da en función del número de decolajes o salidas anuales para una aeronave de diseño, las características de resistencia del suelo de subrasante y de las capas de base y subbase, el valor de las cargas impuestas por las aeronaves y que depende de sus características individuales, y las condiciones climáticas de la región.

- Una de las variables más importantes consideradas por la metodología de la FAA es el estudio detallado de las características mecánicas y físicas de los materiales y agregados que se utilizan en el diseño estructural de pavimentos flexibles para aeropuertos. Para esto, Colombia cuenta con Normas que pueden aplicarse a la realización de pruebas y ensayos de laboratorio que permitan establecer la bondad así como controlar la calidad de dichos materiales.

- La distribución de las cargas producidas por cada aeronave depende directamente de las características geométricas de su tren de aterrizaje, razón por la cual, se debe tener especial cuidado a la hora de utilizar los factores de equivalencia en el análisis del tránsito de diseño y la determinación del número de repeticiones (decolajes) anuales equivalentes de la aeronave de diseño.

- El método de diseño desarrollado por la Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos, emplea una serie de curvas de diseño que sirven para determinar los espesores de las estructuras de pavimento para las áreas críticas, las áreas no críticas y los bordes de las pistas de aterrizaje y calles de rodaje presentes en un aeropuerto.

- El método desarrollado por la FAA se presenta como una herramienta práctica y de gran utilidad para el diseño de estructuras de pavimento para aeropuertos; además, debe considerarse que este método se encuentra bien fundamentado y actualmente es el más utilizado en las entidades oficiales en Colombia y otros países.

- A excepción de algunos documentos de origen extranjero y muy pocos a nivel nacional, el diseño de estructuras de pavimento para aeropuertos está reversado a entidades oficiales que desarrollan actividades en el campo de la infraestructura aeroportuaria y a empresas privadas que ejecutan trabajos en dicha área. Esta situación ha generado algunas discrepancias en cuanto a los procedimientos empleados para la evaluación de las variables derivadas del estudio de los métodos de diseño disponibles actualmente.

## 6. Recomendaciones

- Es imprescindible tener en cuenta que las características de los materiales contemplados por los métodos hasta ahora desarrollados a nivel mundial, son diferentes a las

de los materiales encontrados en la Geología Colombiana, por lo cual se recomienda tener un especial cuidado en la realización de pruebas y ensayos para la caracterización de los materiales en cada proyecto.

- De forma similar, las variables relacionadas con el tránsito, las características de las aeronaves y las condiciones climáticas deben ser estudiadas en detalle a la hora de formular cualquier tipo de alternativa para una estructura de pavimento en cualquier región del territorio nacional. Estas deben ajustarse a las características del proyecto y a las necesidades de la región.

- Es de gran importancia impulsar los proyectos de investigación, los cuales deben orientarse a la elaboración de normas nacionales para estandarizar los procedimientos de ensayo para materiales utilizados en estructuras de pavimento para aeropuertos, la búsqueda de nuevos materiales y el desarrollo nuevas metodologías que se ajusten a las condiciones de la infraestructura Colombiana.

## REFERENCIAS

- [1] HOYOS G. Diego Eduardo. Diseño estructural de pavimentos para aeropuertos. Artículo para Revista de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada p 21.
- [2], [3] REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (2007). Normas de ensayo de materiales para carreteras. Bogotá.
- [4], [5], [6] 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, Santiago de Turja. p 38.
- [7] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (1995). Advisory Circular AC 150/5320-6D. U.S. Department of Transportation. Chapter 3. Pavement design. Washington. p 40.
- [8] SÁNCHEZ SABOGAL, Fernando (1983). Pavimentos. Capítulo 9: diseño estructural de pavimentos flexibles para aeropuertos. Bogotá.

## BIBLIOGRAFÍA

- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (1995). Advisory Circular AC 150/5320-6D: airport pavement design and evaluation. U.S. Department of Transportation. Washington.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (1995). Ladría User's Manual. U.S. Department of Transportation. Washington.
- GARCÍA HERNÁNDEZ, M<sup>a</sup> Inmaculada. Nuevos materiales y métodos de diseño por teoría elástica de capas en pavimentación de aeropuertos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid.
- 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 - Grinivial. Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 147 p.
- HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando (2008). Diseño de Estructuras de Pavimentos Flexibles para Aeropuertos. Método de la FAA. Guía 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. 26 p.
- \_\_\_\_\_. Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás de Aquino. Tunja. 33 p.
- HOYOS G. Diego Eduardo. Diseño estructural de pavimentos para aeropuertos. Artículo para Revista de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada.
- 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, Santiago de Turja. 154 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (1995). Normas de ensayo de materiales para carreteras. Bogotá.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (2007). Normas de ensayo de materiales para carreteras. Bogotá.
- SÁNCHEZ SABOGAL, Fernando (1984). Pavimentos. Tomo 1. Fundamentos teóricos, guías de diseño. Universidad La Gran Colombia. Primera Edición. Bogotá.
- \_\_\_\_\_. (1983). Pavimentos. Capítulo 9: Diseño estructural de pavimentos flexibles para aeropuertos. Bogotá.