

AEROPUERTOS

Los métodos de cálculo y caracterización de materiales de los pavimentos de Aeropuertos se sustentan en los mismos criterios generales que los utilizados en las rutas pero se diferencian en los siguientes aspectos

- Mayores Cargas un Boeing 747 tiene una masa de 353 toneladas
Airbus 380 590 toneladas
- Mayores presiones de inflado un Boeing 747 tiene 1,3 MPa (185 psi)
- Tienen importancia las capas más profundas, dado por las mayores cargas y la superposición de bulbos de tensiones.
- Menores número de reiteraciones
- Diferentes zonas, pistas, calles de rodaje, hombros y plataforma
- La operación crítica es el despegue baja velocidad (menor sustentación) y mayor peso (combustible)
- Los diferentes trenes de aterrizaje plantean diferentes puntos críticos (aeronave de diseño en lugar de eje de referencia, para la aplicación de leyes de daño)
- Los posibles derrames de combustible en cabecera y plataforma por los giros con ángulos reducidos plantean la preferencia de pavimentos de hormigón en esas zonas. Existen también asfaltos especiales.
- El impacto de los neumáticos en el aterrizaje crea la disminución de la adherencia neumático pista por contaminación con el caucho de los neumáticos.

DISEÑO DE AEROPUERTOS SEGÚN FAA 150/5320 6D

En la actualidad coexisten dos métodos recomendados por la FAA.

- CBR, clásico basado en la caracterización de los suelos mediante el CBR
- LEDFAA, mecanicista basado en análisis de capas elásticas
FEDFAA considera elementos finitos para Hormigón y LEDFAA para flexible

TRÁNSITO. Análisis de Aterrizajes y Despegues de Aeronaves

Los datos del tránsito aéreo para la aplicación de una metodología de diseño son esencialmente las características y número de operaciones de las principales aeronaves que utilizan el dado aeropuerto.

Si el diseño estructural se realiza en base a un análisis de capas elásticas como ser el realizado por el programa de computación LEDFAA (Layered Elastic. Design Federal Aviation) descrito en la circular 150/5320 6D (23 junio 2006) del U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, el dato de diseño puede consistir en los antecedentes de la totalidad de la flota.

Al suministrar los datos del conjunto de la flota, en el diseño se evaluarán los esfuerzos producidos por cada aeronave y se acumularán sus efectos destructivos en diferentes

puntos, para definir así la aptitud del diseño o la mejora.

Si en cambio el método de diseño consiste en la aplicación de las cartas de cada tipo de aeronave en función de la caracterización de la subrasante mediante el CBR California Bearing Ratio (valor soporte relativo), es necesaria la definición de una aeronave de diseño.

Por su parte la aeronave de diseño es aquella que resulta crítica, definiéndose por un prediseño considerando cada tipo de aeronave separadamente, en el que se definirá como aeronave de diseño a la que requiera el mayor espesor estructural.

Luego de la definición de la aeronave de diseño se requiere la conversión de los despegues de cada aeronave a despegues equivalentes de la aeronave de diseño.

En esta operatoria se tendrán en cuenta la diferente conformación de los trenes de aterrizaje como así también su número y peso por rueda.

Para Convertir de	A	Multiplique las despegues por
single wheel	dual wheel	0.8
single wheel	dual tandem	0.5
dual wheel	single wheel	1.3
dual wheel	dual tandem	0.6
dual tandem	single wheel	2.0
dual tandem	dual wheel	1.7
double dual tandem	dual tandem	1.0
double dual tandem	dual wheel	1.7

Tabla para consideración del tipo de tren de aterrizaje.

Para la consideración de la carga por rueda en la obtención de los despegues equivalentes anuales se utiliza la siguiente formula.

$$\text{Log } R1 = \text{Log } R2 \quad (W2/W1)^{0,5}$$

donde:

R1 = despegues equivalentes anuales en aeronave de diseño

R2 = despegues anuales, expresados en al tren de la aeronave de diseño

W1 = carga por rueda de la aeronave de diseño

W2 = carga por rueda de la aeronave en cuestión

Este análisis permite realizar la acumulación de los despegues de las distintas aeronaves y valorar el conjunto de despegues anuales por medio de su equivalencia con la aeronave diseño.

Para sistematizar este cálculo se puede definir el factor de equivalencia F a partir de la formula de la FAA presentada precedentemente, como se indica a continuación.

$$\text{Log } D_{AD} = \text{Log } (D_i \text{ FT}) \quad (W_i / W_{AD})^{0,5} = \text{Log } (D_i \text{ FT}) \quad F_{i_AD}$$

$$F_{i_AD} = (W_i / W_{AD})^{0,5}$$

donde:

D_{AD} = despegues equivalentes anuales de la aeronave i expresados en la aeronave de diseño AD

D_i = despegues anuales de la aeronave genérica i
 FT = factor por diferencia de trenes de aterrizaje entre aeronaves AD e i
 W_{AD} = carga por rueda de la aeronave de diseño AD
 W_i = carga por rueda de la aeronave en cuestión
 F_{i_AD} = coeficiente de equivalencia por carga de rueda

De aquí finalmente se despejan los despegues equivalentes como:

$$D_{AD} = 10^{[\text{Log}(D_i FT) F_{i_AD}]}$$

Si como ejemplo asumimos crítica la aeronave A320, la tabla siguiente indica los datos requeridos y los valores obtenidos del coeficiente de equivalencia por carga de rueda para diferentes aeronaves.

TIPO DE AERONAVE	Factor Tren FT	Numero de Ruedas	Peso [KN]	Factor a A320
A320	1	4	759	1,00
ATR43 y 42	1	4	182	0,49
B722	1	4	907	1,09
B752	1,7	8	1134	0,86
DC10	1,7	8	2595	1,31

Datos para el cálculo del factor de equivalencia a A320

Finalmente se obtienen las operaciones de totales acumulando las operaciones de las diferentes aeronaves, expresadas en sus operaciones equivalentes referidas a la aeronave de diseño.

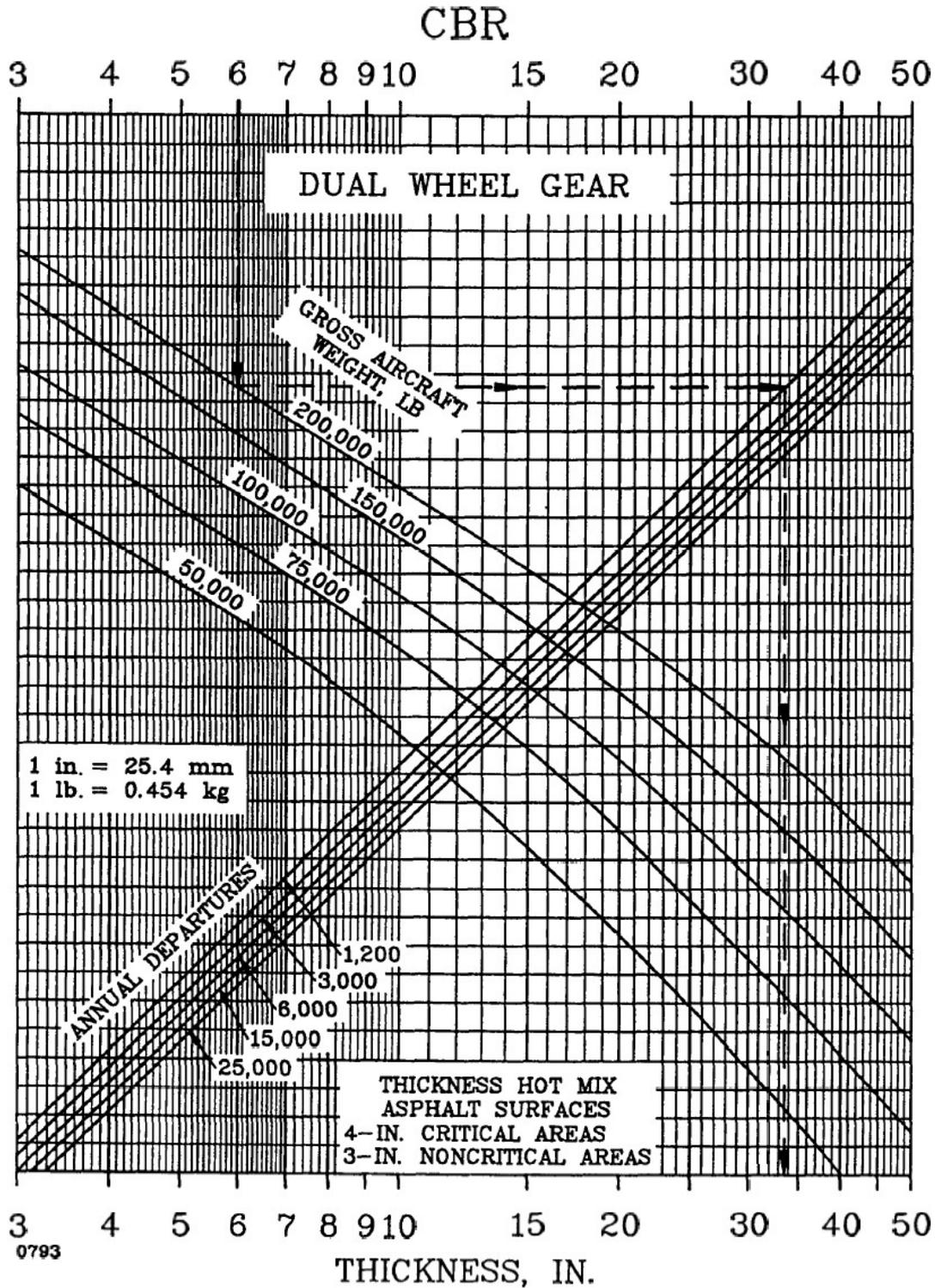
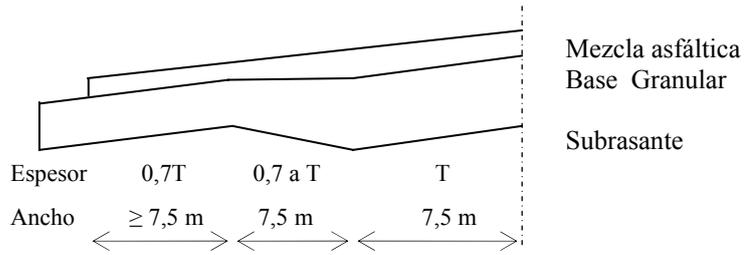
DISEÑO Y REFUERZO SEGÚN EL MÉTODO TRADICIONAL DE LA FAA

Este método se basa en brindar una tapada a la subrasante y subbase de acuerdo a su calidad dada por el valor de CBR. De las gráficas de diseño para ruedas simples, ruedas duales o personalizadas para diferentes aeronaves se obtiene el espesor total de la estructura "T" en áreas críticas (zona central de la pista y carreteros principales) y los espesores de mezcla asfáltica para cada zona.

En la carta se accede con el CBR de la Subrasante o subbase, el peso de la aeronave de diseño y el numero de despegues anuales equivalentes para 20 años de vida útil. Suele aplicarse un criterio conservador considerando un valor máximo de CBR para la subrasante de 20%.

Respecto a la Base debe cumplir con un CBR mínimo de 80% y su espesor se obtiene de sustraerle al espesor total requerido para proteger la subbase el de la capa asfáltica. Pero debe respetarse el mínimo que se indica en la tabla, del mismo método, en función de las características de la aeronave de diseño.

En las áreas no críticas es espesor de la carpeta esta dado en la gráficas de diseño y el de las capas de base y sub base puede reducirse a un 90%. En la zona de borde de la pista los espesores pueden reducirse a un 70%, con un mínimo de 50 mm para la mezcla asfáltica.



Carta de diseño para ruedas duales.

Aeronave de Diseño	Rango de la Carga de Diseño		Espesor mínimo de la capa de Base	
	[lbs.]	[Kg]	[in.]	[mm]
<i>Rueda Simple</i>	30 000 - 50 000	13 600 - 22 700	4	100
	50 000 - 75 000	22 700 - 34 000)	6	150
<i>Ruedas Duales</i>	50 000 - 100 000	22 700 - 45 000	6	150
	100 000 - 200 000	45 000 - 90 700	8	200
<i>Dual Tandem</i>	100 000 - 250 000	45 000 - 113 400	6	150
	250 000 - 400 000	113 400 - 181 000	8	200
<i>757 767</i>	200 000 - 400 000	90 700 - 181 000	6	150
<i>DC-10 L1011</i>	400 000 - 600 000	181 000 - 272 000	8	200
<i>B-747</i>	400 000 - 600 000	181 000 - 272 000	6	150
	600 000 - 850 000	272 000 - 385 700	8	200
<i>c-130</i>	75 000 - 125 000	34 000 - 56700	4	100
	125 000 - 175 000	56 700 - 79 400	6	150

Espesor mínimo de la base en función del tipo de aeronave y peso.

Para aeronaves de peso mayor o igual a 100000 en aeropuertos nuevos se requieren base y subbase estabilizada.

En el método se incluyen tablas con rangos recomendados de equivalencia de espesor, para orientación al efectuar cambios entre diferentes materiales.

El diseño estructural del refuerzo de un pavimento asfáltico de un aeropuerto según el método CBR California Bearing Ratio (valor soporte relativo) contenido en la recomendaciones de la FAA AC 159_5320_6d consiste básicamente en partir de la realización del proyecto de un pavimento nuevo respetando las características de la subrasante y numero de despegues de la aeronave de diseño, para luego proceder a su comparación con la evaluación del estado del pavimento existente.

Se cuantifican así las falencias, que permiten el planteo de las mejoras a realizar de manera de adecuar la estructura existente a las características requeridas en el nuevo diseño. Es posible el planteo de equivalencias estructurales pero siempre respetando los espesores y calidades mínimas requeridas.

DISEÑO ESTRUCTURAL SEGÚN MÉTODOS RACIONALES

Si el diseño estructural se realiza en base a un análisis de capas elásticas como ser el realizado por el programa de computación LEDFAA (Layered Elastic. Design Federal Aviation) descrito en la circular 150/5320 6D del U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, el dato de diseño puede consistir en los antecedentes de la totalidad de la flota.

Al suministrar los datos del conjunto de la flota, en el diseño se evalúan los esfuerzos producidos por cada aeronave y se acumulan sus efectos destructivos en los diferentes materiales para definir así la aptitud de la mejora.

Una vez definidos los materiales pueden adoptarse los módulos que propone el programa LEDFAA por defecto al cargar la estructura indicando tipos de materiales y CBR de la subrasante o personalizar los materiales para permitir una adecuada consideración de los valores modulares, ajustados por las auscultaciones realizadas.

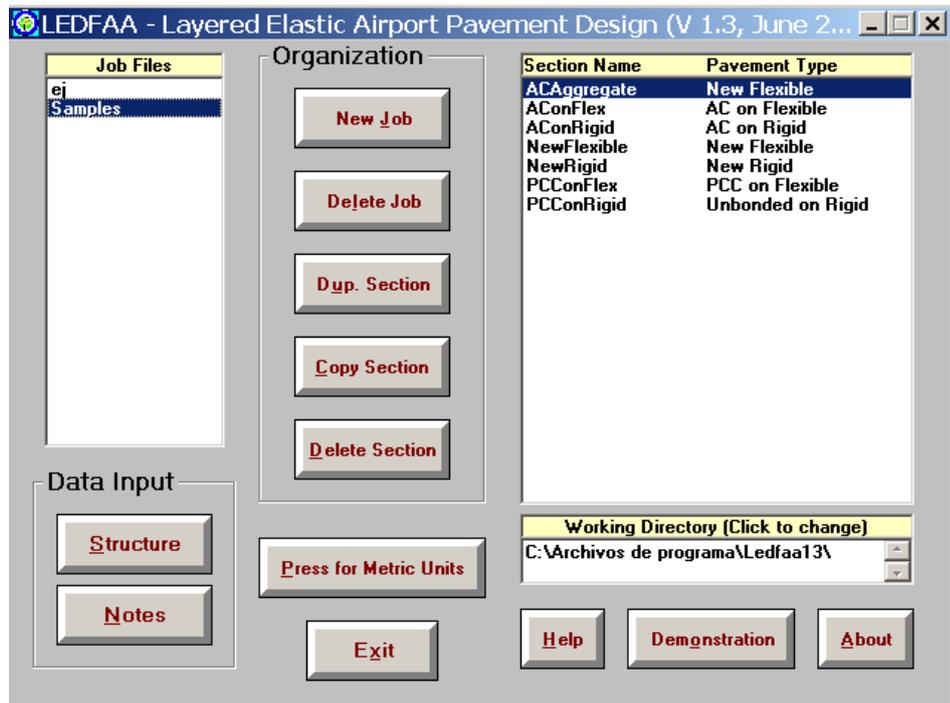
Respecto a la flota considerada es posible detallar en la pantalla correspondiente, para cada aeronave, la tasa de crecimiento anual y el número de despegues asociado al año de realización de las obras a proyectar.

Design Aircraft (6)	Gross Taxi Weight (tns)	Annual Departures	% Annual Growth	Total Departures
A320	77,000	10.478	3,00	192.533
B-737-200	58,332	2.120	3,00	38.955
B-737-300	63,503	454	3,00	8.342
B-737-800	78,471	1.968	3,00	36.162
B-757	113,398	848	3,00	15.582
DC-8	162,386	424	3,00	7.791

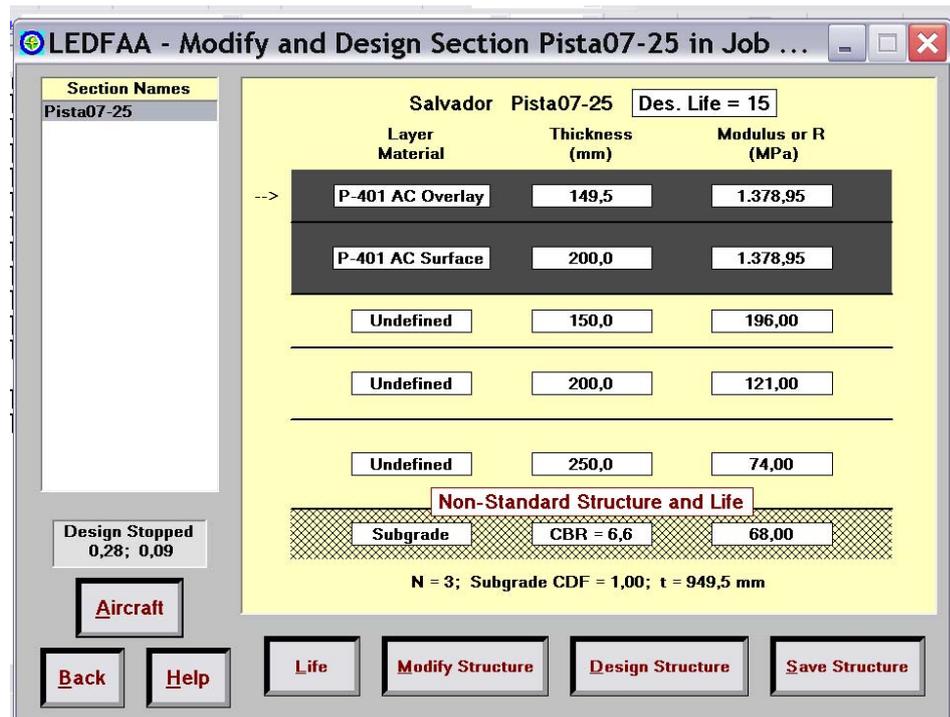
Pantalla para carga de datos de la flota en LETFAA

Dado que el programa presenta ejemplos de las diferentes opciones de análisis puede ser útil copiar el ejemplo que se ajuste al caso a analizar y sobre esa base modificar los datos a los del caso correspondiente.

Finalmente al indicar Diseñar Estructura con el botón específico el programa sugerirá la posible solución.



Pantalla con ejemplos de tipos de análisis



Pantalla de diseño del refuerzo según LEDFAA

PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA OPERATORIA ACN – PCN

El ACN, Número de Clasificación de la Aeronave, es una cifra que indica el efecto relativo de una aeronave sobre cada tipo de pavimento, para cada resistencia normalizada del terreno de fundación

El PCN, Número de Clasificación del Pavimento, es una cifra que indica la resistencia de un pavimento, para utilizarlo sin restricciones (asumido como 10000 coberturas). Numéricamente consiste en el doble de la máxima masa aplicada mediante una rueda simple con presión de contacto de 1,25 MPa expresada en miles de kilogramos.

Según el Manual de Proyecto de Aeródromos de la OACI es válido utilizar cualquier método que se desee para determinar la carga de los pavimentos. El PCN notificado indica que una aeronave de ACN igual o inferior a esa cifra puede operar sobre el pavimento sin limitaciones. Se aclara especialmente que su finalidad no es el cálculo estructural del pavimento ni la evaluación de estado de los mismos.

Se remarca que se expresa 10000 “coberturas”, correspondiendo una cobertura en general a entre 3 y 4 operaciones, en cada cobertura se considera que el esfuerzo máximo se repite en le mismo punto a diferencia de la realidad de cada operación donde existe una distribución lateral de las cargas.

Luego puede entenderse este número, 10000 “coberturas”, como 36500 operaciones (despegues) equivalente a 5 operaciones diarias durante 20 años (o 10 operaciones diarias durante 10 años).

El método prevé indicar cinco variables para la clasificación del pavimento:

El método prevé indicar:

- Tipo de pavimento
 - Rígido R
 - Flexible F

- Categoría del terreno de fundación
 - Resistencia alta A $K > 120 \text{ MN/m}^3$ (150) CBR > 13 % (15)
 - Resistencia mediana B 120 a 60 MN/m^3 (80) 13 a 8 % (10)
 - Resistencia baja C 60 a 25 MN/m^3 (40) 8 a 4 % (6)
 - Resistencia ultra baja D < 25 MN/m^3 (20) < 4 % (3)

- Presión máxima permitida de los neumáticos
 - Alta W sin límite de presión
 - Mediana X limitada a 1,50 MPa
 - Baja Y limitada a 1,00 MPa
 - Muy Baja Z limitada a 0,50 MPa

- Método utilizado para la evaluación del pavimento
 - Evaluación técnica T
 - Aeronaves usuarias U

La **Carga de rueda simple** es la carga aplicada por una rueda simple con presión normalizada de 1,25 MPa equivalente para un espesor de pavimento, al tren de aterrizaje analizado para el espesor de pavimento (sin especificar el espesor como parámetro).

Se expresa un ACN para cada aeronave y condición del terreno de fundación, valorado como el doble de la carga de rueda simple expresada en miles de kilogramos. Se considera:

- La distribución de carga que proporciona el mayor peso en el tren de aterrizaje
- La presión de los neumáticos según la recomendación del fabricante

En la bibliografía se brinda la tabla de ACNs y otras características de aeronaves de la Technical Evaluation Engineering (AARME) Aerodrome Safety Branco, Transport Canada

A modo de ejemplo citaremos:

Si una empresa con B717 solicita permiso para operar en una pista con **PCN 39 / F / C / X / T**
Usted autorizaría o requiere alguna consulta ¿?

En la tabla de ACN para B717-100, 200, 300 encontré

		<i>AIRCRAFT CLASSIFICATION NUMBERS (ACN's)</i>							
		<i>Flexible Pavement Subgrades</i>				<i>Rigid Pavement Subgrades</i>			
		<i>CBR</i>				<i>k (MPa/m)</i>			
		<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>Vr Low</i>	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>Ult Low</i>
<i>Weight</i>	<i>Tire Pressure</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>Max/Min (kN)</i>	<i>(MPa)</i>	15	10	6	3	150	80	20	40
543	1.10	32	34	38	40	36	38	40	41
310		16	17	19	22	18	20	21	21

La presión de inflado es de 1.10 MPa y la pista es X limitada a 1,50 MPa (SEGÚN ESTE ASPECTO LA PISTA ES ADECUADA)

El avión es a lo sumo ACN 38 para pavimento flexible F y subrasante C siendo la pista 39 por lo tanto PUEDE OPERAR SIN LIMITACIONES.
(recordar 10000 coberturas).

Ejemplo Académico de Diseño de Aeropuertos método CBR

Se desea proyectar un pavimento con mezcla asfáltica como superficie de rodamiento en una zona de subrasante CBR 5%.

Las operaciones previstas son:

3000 operaciones del A320
1200 operaciones del B752

Características:

	Nº Bogies	Tipo Rueda	NºRuedas	Peso (KN)	(libras)
A320	2	Dual	4	759	170000
B752	2	Dual Tandem	8	1134	255000

Determinación de la Aeronave de diseño

Se proyecta el espesor para cada Aeronave actuando sola

A320 de la figura 3.3	37"	Crítica (mayor espesor total)
B752 de la figura 3.4	36"	

Calculo de Operaciones Equivalentes para toda la flota en Aeronaves A320

	Fact Bogy	Factor Carga		Operaciones
A320	1	1	3000	3000
B752	1.7	0.864	1200	723
Total de operaciones en A320				3723

En la carta de diseño (fig. 3.3 rueda Dual) Resulta para 4000 operaciones de A320 las siguientes tapadas y espesores

MATERIAL	TAPADA	ESPESOR
TOTAL sobre CBR 5	37"	92 cm
Sobre Sub Base CBR 15		48 cm
Sobre Sub Base CBR 30		28 cm
CA espesor 4"		10 cm
Base CBR > 80		18 cm (28 - 10)

Pero:

el espesor mínimo de la Base por tipo de aeronave es 8" 20 cm requieren base y subbase estabilizada, por aeronaves de peso mayor a 100000 libras.

Equivalencia

Base Granular P209 CBR \geq 80	a Base Tratada con Cemento	1,4
Sub Base CBR 20	a Suelo Cemento	1,2

Resulta

20 cm Mezcla asfáltica	
14 cm Base Granular tratada con Cemento	(20 / 1,4)
16 cm Sub Base Suelo Cemento	(20 / 1,2)
44 cm Sub Base Suelo Seleccionado CBR 15	