

## CIRCULAR DE ASESORAMIENTO

CA : CA-UY-030  
FECHA : 04/01/18  
EDICIÓN : SEGUNDA  
EMITIDA POR : DNA -AGA

**ASUNTO: LAR 154 – OPERACIONES DE SOBRECARGA**

### **Sección A – Propósito**

La presente Circular de Asesoramiento (CA) proporciona guía y orientación para establecer el método a ser empleado en la notificación de la resistencia de los pavimentos de aeródromos destinados a las aeronaves de carga superior o igual a 5.700 kg.

Deberán fijarse los criterios para reglamentar la utilización de un pavimento por aeronaves de ACN superior al PCN notificado con respecto a dicho pavimento de conformidad con 153.545 Operaciones de sobrecarga.

### **Sección B – Alcance**

El alcance está orientado a los siguientes aspectos:

- a. Proporcionar una ayuda a los operadores de aeródromos para la correcta interpretación de los requisitos establecidos en el LAR 153 -, Capítulo E Servicios, equipos e Instalaciones 153.545 Operaciones de sobrecarga
- b. Proporcionar lineamientos de como cumplir de una manera aceptable con los requisitos antes listados.
- c. Un operador de aeródromo puede utilizar métodos alternos de cumplimiento, siempre que dichos métodos sean aceptables a la AAC.
- d. Los requisitos y procedimientos contenidos en la presente Circular de Asesoramiento, en el caso de ser utilizados por el operador de aeródromos, deberán considerarse en forma obligatoria y de implementación completa, no resultando aceptables las implementaciones parciales de los mismos.

### **Sección C – Métodos aceptables de cumplimiento y material explicativo e informativo**

#### **CA1. INTRODUCCIÓN**

- a. Los procedimientos son una parte importante e integral de un sistema SMGCS y se aplican en parte por el operador de aeródromo, en parte por la dependencia de control de tránsito aéreo y en parte por el piloto. En la presente Circular de Asesoramiento (CA), se proporciona orientación principalmente al operador de aeródromo.
- b. Como parte de sus responsabilidades, el servicio de tránsito aéreo, regula las actividades y el movimiento de aeronaves y vehículos en el área de maniobras, pero en el caso de la plataforma, esta función puede corresponder al Servicio de Dirección en la Plataforma, del cual trata la presente Circular de Asesoramiento.
- c. Se considera que los sistemas SMGCS resultan suficientes en la mayoría de los aeródromos de la Región. Sin embargo, para los casos en que las operaciones necesitaran apoyo adicional para mantener los niveles requeridos de capacidad y seguridad operacional, especialmente en condiciones de visibilidad reducida, el SMGCS existente puede ser mejorado a un Sistema Avanzado de Guía y Control del Movimiento en la Superficie (A-SMGCS). De igual manera, en un aeródromo que no cuente con SMGCS, las condiciones de visibilidad, la densidad de tránsito y la disposición general del aeródromo

pueden hacer necesaria la introducción de un A-SMGCS. El A-SMGCS se caracteriza por la automatización de los componentes para proporcionar un servicio individual completo a aeronaves y vehículos.

## **Sección D Resistencia de los Pavimentos. Número de Clasificación de Pavimento (ACN-PCN).**

### **CA1. El Método.**

- a) Este método hace posible expresar el efecto individual de una aeronave sobre diferentes pavimentos a través de un único número, que varía de acuerdo con el peso y la configuración de la aeronave (tipo de tren de aterrizaje, presión de neumático, entre otros), el tipo de pavimento y la resistencia de la Sub-base. Ese número es llamado Número de Clasificación de la Aeronave (ACN).
- b) Por otro lado, la capacidad de carga de un pavimento también puede ser expresado por un único número sin especificar una aeronave en particular o informaciones detalladas del pavimento. Este número es el Número de Clasificación de Pavimento (PCN).
- c) Por lo tanto, se define: ACN – Es el número que expresa el efecto relativo de una aeronave con una determinada carga sobre un pavimento, para una categoría patrón de Sub-base especificada.
- d) PCN – Es un número que expresa la capacidad de resistencia de un pavimento para operaciones sin restricción. El sistema ACN-PCN es estructurado de modo que un pavimento con un determinado valor de PCN sea capaz de soportar, sin restricciones, una aeronave que tenga un valor de ACN inferior o igual al valor del PCN del pavimento, obedecidas las limitaciones relativas a la presión de los neumáticos.
- e) Es decir posible pues los valores de ACN y de PCN son calculados usándose la misma base técnica.
- f) El método ACN-PCN se aplica solamente a los pavimentos destinados a las aeronaves de carga superior o igual a 5.700 kg. La resistencia de los pavimentos destinados a las aeronaves de carga inferior a 5.700 kg debe ser notificada a través de la carga máxima admisible de las aeronaves y de la presión máxima de neumáticos admitida por el pavimento.
- g) El único objetivo del método ACN-PCN es la difusión de datos sobre resistencia relativa de pavimentos de forma que la Administración Aeroportuaria Local pueda evaluar la posibilidad de utilización de un pavimento por un determinado tipo de aeronave. El método no puede ser utilizado como un procedimiento para proyecto o evaluación de pavimentos.

## **Sección E Determinación del ACN.**

### **CA1. ACN**

- a) Sabiendo que las aeronaves pueden ser operadas en varias combinaciones de peso y centro de gravedad, la OACI adoptó criterios para determinación de los valores de ACN, que consideran la combinación de peso y centro de gravedad que gestiona el mayor valor. El fabricante de la aeronave debe suministrar el valor oficial del ACN, de acuerdo con informaciones detalladas sobre las características operacionales de la aeronave. Cabe, sin embargo, al operador de la aeronave la responsabilidad de informar a la Administración del Explotador del Aeródromo el valor oficial del ACN, con base en los datos suministrados por el fabricante de la aeronave.

## Sección F Determinación del PCN.

### CA1. Determinación del Valor numérico del PCN.

- a) El valor numérico del PCN de un pavimento puede ser determinado a través de dos métodos, siendo uno basado en la experiencia con aeronaves que operan usualmente en el pavimento y otro que se basa en evaluación técnica.

### CA2. Método Experimental.

- a) El método experimental es un procedimiento simple donde los valores de ACN de todas las aeronaves usualmente autorizadas a utilizar el pavimento son determinados y el mayor de estos valores es notificado como el valor del PCN del pavimento. Este método es fácil de ser aplicado y no necesita de conocimiento detallado de la estructura del pavimento.

### CA3. Método de Evaluación Técnica.

- a) En el método de evaluación técnica, son usados los mismos principios usados para proyecto de pavimentos, siendo determinado el valor numérico del PCN a partir de la obtención de la carga bruta admisible que el pavimento soporta. Son considerados factores como frecuencia de operaciones y niveles de tensión admisibles, obteniéndose la carga bruta de la aeronave por el proceso inverso del dimensionamiento. En este método, es necesaria la evaluación del tráfico equivalente en el aeródromo, considerando el efecto del tráfico de todas las aeronaves. Una vez obtenida la carga admisible, la determinación del valor del PCN se hace un proceso simple de obtención del ACN de la aeronave que representa la carga admisible, tomándose este valor como el PCN del pavimento.

Método de evaluación	Clave
Evaluación técnica: consiste en un estudio específico de las características de los pavimentos y en la aplicación de tecnología del comportamiento de los pavimentos	Clave T
Aprovechamiento de la experiencia en la utilización de aeronaves: comprende el conocimiento del tipo y masa específicos de las aeronaves que los pavimentos resisten satisfactoriamente en condiciones normales de empleo	Clave U

### CA4. Procedimientos para Notificación del PCN.

- b) El PCN de un pavimento es notificado a través de un código que utiliza cinco elementos:
- (1) Valor numérico del PCN;
  - (2) Tipo de pavimento;
  - (3) Resistencia de la Sub-Base;
  - (4) Presión de neumáticos; y Método de evaluación.

### Sección G Tipo de Pavimento.

CA1. El método considera dos tipos de pavimentos: pavimentos flexibles y pavimentos rígidos.

Tipo de pavimento	Clave
Pavimento rígido	Clave R
Pavimento flexible	Clave F

- (1) Pavimento Flexible: Pavimento constituido por diversas capas responsables por distribuir gradualmente las cargas en el pavimento.
- (2) Pavimento Rígido: Pavimento constituido por una única capa estructural capaz de soportar las cargas en el pavimento.
- b) Diferentes combinaciones de tipos de pavimentos pueden resultar en un pavimento complejo que se clasifica entre un pavimento flexible y un pavimento rígido, siendo llamado de pavimento compuesto. Este tipo de pavimento también debe ser codificado como flexible y su notificación de PCN debe presentar una observación informando que se trata de construcción compuesta.

#### CA2. Resistencia de la Sub-Base

- c) El método adopta cuatro categorías de resistencia de la Sub-Base para cada tipo de pavimento siendo utilizado un valor normalizado para cada categoría,

#### CA3. Pavimentos rígidos y flexibles

Resistencia	Clave
<b>Alta:</b> i. Pavimentos rígidos, el valor tipo es $K = 150 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores de $K$ superiores a $120 \text{ MN/m}^3$ ii. Pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR} = 15$ y comprende todos los valores superiores a 13.	A
<b>Mediana:</b> i. Pavimentos rígidos, el valor tipo es $K = 80 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores $K$ entre 60 y $120 \text{ MN/m}^3$ ii. Pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR} = 10$ y comprende todos los valores $\text{CBR}$ entre 8 y 13.	B
<b>Baja:</b> i. Pavimentos rígidos, el valor tipo es $K = 40 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores $K$ entre 25 y $60 \text{ MN/m}^3$ ii. Pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR} = 6$ y comprende todos los valores $\text{CBR}$ entre 4 y 8.	C
<b>Ultra baja:</b> i. Pavimentos rígidos, el valor tipo es $K = 20 \text{ MN/m}^3$ y comprende todos los valores $K$ inferiores a $25 \text{ MN/m}^3$ ii. Pavimentos flexibles, el valor tipo es $\text{CBR} = 3$ y comprende todos los valores $\text{CBR}$ inferiores a 4.	D

#### CA4. Categoría de presión máxima permisible de los neumáticos

- a) El sistema PCN utiliza cuatro categorías para notificación de la presión admisible de neumáticos estando estas presentadas en la tabla 4. Sobre pavimentos con superficie de hormigón de cemento Portland, la presión de los neumáticos ha poco efecto. Los pavimentos rígidos son capaces de absorber altas presiones de neumáticos siendo clasificados normalmente con el código W. Sin embargo, en pavimentos con superficie de hormigón asfáltico, las presiones de neumáticos deben ser restringidas, dependiendo de la calidad de la mezcla asfáltica y de condiciones climáticas

Presión	Clave
Ilimitada - Sin límite de presión	W
Alta – Presión limitada a 1,75MPa	X
Mediana - Presión limitada a 1,25 MPa	Y
Baja - Presión limitada a 0,50 MPa	Z

### Sección H Métodos de Evaluación.

#### CA1. El sistema PCN reconoce dos métodos de evaluación de pavimento.

- a) Si la evaluación representa el resultado de un estudio técnico, el método de evaluación debe ser codificado con la letra T. Si la evaluación es basada en la experiencia con aeronaves que operan usualmente en el pavimento, el método de evaluación debe ser codificado con la letra U. La evaluación técnica implica que algún cálculo o estudio técnico fue aplicado en la determinación del PCN. La evaluación basada en la experiencia con aeronaves significa que el PCN fue determinado seleccionando el mayor valor de ACN de entre las aeronaves que usualmente utilizan el aeródromo sin damnificar el pavimento

### Sección I Operaciones de Sobrecarga

#### CA1. Método ACN-PCN para notificar la resistencia de los pavimentos

- a) La sobrecarga de los pavimentos puede ser provocada por cargas excesivas, por un ritmo de utilización considerablemente elevado, o por ambos factores a la vez. Las cargas superiores a las definidas (por cálculo o evaluación) acortan la vida útil del pavimento, mientras que las cargas menores la prolongan. Salvo que se trate de una sobrecarga masiva, los pavimentos no están supeditados, en su comportamiento estructural, a determinado límite de carga, por encima del cual podrían experimentar fallas repentinas o catastróficas. Dado su comportamiento, un pavimento puede soportar reiteradamente una carga definible durante un número previsto de veces en el transcurso de su vida útil. En consecuencia, una sobrecarga ocasional de poca importancia puede aceptarse, de ser necesario, ya que reducirá en poca medida la vida útil del pavimento y acelerará relativamente poco su deterioro. Para las operaciones en que la magnitud de la sobrecarga o la frecuencia de utilización del pavimento no justifiquen un análisis detallado, se sugieren los siguientes criterios:
- (1) en el caso de pavimentos flexibles, los movimientos ocasionales de aeronaves cuyo ACN no exceda del 10% del PCN notificado;
  - (2) en el caso de pavimentos rígidos o compuestos, en los cuales una capa de pavimento rígido constituye un elemento primordial de la estructura, los movimientos ocasionales de

aeronaves cuyo ACN no exceda en más de un 5% el PCN notificado, no serían perjudiciales para el pavimento;

- (3) si se desconoce la estructura del pavimento, debería aplicarse una limitación del 5%; y
- (4) el número anual de movimientos de sobrecarga no debería exceder de un 5%, aproximadamente, de los movimientos totales anuales de la aeronave.

- b) El operador será responsable de autorizar operaciones superiores a estos porcentajes y deberá comunicar a la AAC cuando así lo establezca.
- c) Normalmente, esos movimientos de sobrecarga no deberán permitirse sobre los pavimentos que presenten señales de peligro o falla. Además, debería evitarse la sobrecarga durante todo período de deshielo posterior a la penetración de las heladas, o cuando la resistencia del pavimento o de su terreno de fundación pueda estar debilitada por el agua. Cuando se efectúen operaciones de sobrecarga, la autoridad competente debería examinar periódicamente tanto las condiciones del pavimento como los criterios relativos a dichas operaciones, ya que la excesiva frecuencia de la sobrecarga puede disminuir en gran medida la vida útil del pavimento o exigir grandes obras de reparación.

## APENDICE 1. EJEMPLOS DE DETERMINACION DEL PCN

### CA1. UTILIZACION DEL METODO DE LA AERONAVE.

Este método para determinar el PCN se describe en los pasos siguientes. Este procedimiento puede utilizarse cuando hay un conocimiento limitado del tráfico existente y de las características de la pista. También es útil cuando un análisis de ingeniería no es posible o bien no se desea hacerlo. Las autoridades aeroportuarias deben ser más cuidadosas en el uso de un PCN de aeronave en que la clasificación no haya sido determinada rigurosamente.

Hay dos pasos a seguir para llegar a la utilización de un PCN de aeronave:

- Determinar la aeronave con el ACN más alto en la combinación de tráfico que utiliza la pista. Esta será la aeronave crítica.
- Asignar el ACN de la aeronave crítica como el valor PCN.

Estos dos pasos se explican en detalle:

1. Asignar el código de tipo de superficie del pavimento sea F o R.
2. De los registros disponibles determinar la resistencia promedio de la subrasante del pavimento. Si este dato no es conocido clasifique con buen criterio como Alta (*High*), Media (*Medium*), Baja (*Low*) o Ultra Baja (*Ultra Low*).
3. Determinar cuál aeronave posee el máximo ACN de las de aeronaves que utilizan la pista, basado en el código de superficie asignado en el paso 1 y el código de subrasante asignado en el paso 2. Los valores de ACN pueden obtenerse con la aplicación COMFAA o mediante los gráficos de ACN que se encuentran en los manuales ACAP publicados por los fabricantes. Utilice la misma clasificación de la subrasante para cada aeronave cuando determine el ACN máximo. Base los ACN en el máximo peso de operación de las aeronaves en el aeropuerto si dispone de la información; en su defecto utilice un estimado del peso bruto máximo permisible publicado de la aeronave en cuestión. La aeronave con el ACN más grande que utiliza el pavimento será la aeronave crítica.
4. El PCN será simplemente el ACN de la aeronave crítica con la presión de llantas apropiada y los restantes códigos de evaluación. El valor numérico del PCN puede ajustarse para arriba o para abajo a criterio de la autoridad aeroportuaria. Algunas razones para hacer este ajuste pueden ser restricciones operacionales o las condiciones del pavimento.
5. El código de presión de llantas (W, X, Y, o Z) debe ser representativo de la mayor presión de llanta de la flota de aeronaves que utilizan la pista. Para pavimentos flexibles debería utilizarse el código X si no existe un dato evidente a partir del tráfico existente. Se entiende comúnmente que el concreto hidráulico puede soportar altas presiones de inflado de llantas así que el pavimento rígido normalmente se codifica como W.
6. En la evaluación del PCN que utiliza el método de la aeronave se reporta como U.

## CA2. EJEMPLO DEL USO DEL METODO DE LA AERONAVE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.

El ejemplo siguiente ilustra el uso del método de la aeronave para obtener el PCN en pavimentos flexibles:

Un aeropuerto tiene una pista flexible (superficie de asfalto) con una resistencia de la subrasante de CBR 9 y un tráfico que tiene los pesos brutos que se muestran en la Tabla A2-1.

**Tabla A2-1. Utilizando aviones y el tráfico de un pavimento flexible**

Aeronave	Peso Operativo lb	presión de los Neumáticos(psi)	%De peso bruto en el Tren principal ACN	ACN F/B	Salidas Anuales
B727-200	185,000	148	96.00	48	400
B737-300	130,000	195	90.86	32	6,000
A319-100	145,000	196	92.60	34	1,200
B747-400	820,000	200	93.32	59	3,000
B767-300ER	370,000	190	92.40	50	2,000
DC8-63	330,000	194	96.12	53	800
A300-B4	370,000	205	94.00	57	1,500
B777-200	600,000	215	95.42	52	300

- Como es un pavimento flexible la codificación según la Tabla 4-1 es F.
- El CBR de la sub rasante bajo el pavimento es 9 o categoría Media por el que el código apropiado es B (Tabla 2-2)
- La presión de inflado de llantas más grande en el conjunto es de 215 psi por lo que el código de presión de llantas es X (Tabla 4-2).
- De la lista se obtiene que la aeronave crítica es el B747-400 porque tiene el ACN más grande del grupo a los pesos operacionales mostrados (59/F/B). Además hace un servicio regular comparado con el resto del tráfico que lo califica como una posible aeronave crítica.
- Debido a que no se ha hecho ningún análisis de ingeniería en este ejemplo y la clasificación se ha hecho con base en una revisión del tráfico de las aeronaves que utilizan la pista, el código de evaluación del párrafo 4.5 es U.
- Basado en los resultados de los pasos anteriores, el pavimento podría tentativamente clasificarse como PCN 59/F/B/X/U, asumiendo que el pavimento se desempeña satisfactoriamente con el tráfico actual.

Si el pavimento mostrara signos de deterioro, esta clasificación habría que ajustarla hacia abajo a criterio de la autoridad aeroportuaria. Si se baja la clasificación, una o más aeronaves tendrán un ACN que excede la clasificación asignada. Esto puede requerir que haya que restringir el peso bruto máximo de esas aeronaves o bien considerar un reforzamiento del pavimento. La clasificación PCN podría también ser ajustada hacia arriba dependiendo del desempeño del pavimento bajo el tráfico actual.

### CA3. EJEMPLO DEL USO DEL METODO DE LA AERONAVE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS

El siguiente ejemplo ilustra el uso del método de la aeronave para obtener el PCN para pavimentos rígidos:

Un aeropuerto posee un pista de pavimento rígido (superficie de concreto) con un módulo de resistencia de la subrasante  $k=200$  pci y un tráfico que posee los pesos brutos operativos u ACN's que se muestra en la tabla A2-2.

**Tabla A2-2. Utilizando aviones y el tráfico de un pavimento rígido**

Aeronave	Peso Operativo lbs	presión de los Neumáticos(psi)	%De peso bruto en el Tren principal de ACN	ACN R/C	Salidas anuales
B727-200	185,000	148	96.00	56	400
B737-300	130,000	195	90.86	38	6,000
A319-100	145,000	196	92.60	42	1,200
B747-400	820,000	200	93.32	68	3,000
B767-300ER	370,000	190	92.40	58	2,000
DC8-63	330,000	194	96.12	62	800
A300-B4	370,000	205	94.00	67	1,500
B777-200	600,000	215	95.42	77	300

- Como este es un pavimento rígido el código de tipo de pavimento es R (Tabla 4-1)
- La resistencia de la subrasante es  $k=200$  pci que es una categoría baja por lo que el código apropiado es C (Tabla 2-1).
- La presión máxima en el conjunto de tráfico es de 215 psi por lo que el código de presión de llantas es X como se ve en la Tabla 4-2. No obstante como el concreto normalmente soporta presiones más altas debería más bien asignarse el código W.
- De la lista de arriba la aeronave crítica es el B777-200 porque tiene el ACN más alto del grupo a los pesos operacionales mostrados (77/R/C). Sin embargo la aeronave crítica podría ser también el A300-B4 con ACN 67/R/C o el B747-400 con ACN 68/R/C ya que esas aeronaves poseen mayores frecuencias que el B777-200.

- Debido a que no se ha hecho ningún análisis de ingeniería en este ejemplo y la clasificación se ha hecho con base en una revisión del tráfico de las aeronaves que utilizan la pista, el código de evaluación del párrafo 4.5 es U.
- Con base en los pasos anteriores, tentativamente el pavimento puede ser clasificado como PCN 77/R/C/W/U con el fin de abarcar todo el tráfico actual

Si el pavimento mostrara signos de deterioro, esta clasificación habría que ajustarla hacia abajo a criterio de la autoridad aeroportuaria. Si se baja la clasificación, una o más aeronaves tendrán un ACN que excede la clasificación asignada. Esto puede requerir que haya que restringir el peso bruto máximo de esas aeronaves o bien considerar un reforzamiento del pavimento. La clasificación PCN podría también ser ajustada hacia arriba dependiendo del desempeño del pavimento bajo el tráfico actual.

#### **CA4. EL METODO DE EVALUACION TECNICA.**

Debería utilizarse este método para determinar el valor PCN cuando sea posible obtener información confiable del tráfico y características del pavimento. A pesar de que el método de evaluación técnica provee una buena representación de las condiciones existentes, la autoridad aeroportuaria debería ser un poco flexible en su aplicación debido a que hay muchas variables en la estructura del pavimento así como en el método de análisis por sí mismo. El objetivo del método técnico es determinar el peso bruto permisible de la aeronave crítica con el fin de evaluar el PCN.

#### **CA5. EVALUACION TECNICA PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.**

La lista siguiente resume el procedimiento del método técnico para pavimentos flexibles:

- Determinar el volumen de tráfico por tipo de aeronave y número de operaciones de cada uno que el pavimento soportará a lo largo de su vida útil.
- Convertir este tráfico al equivalente de aeronave crítica.
- Determinar las características del pavimento, incluyendo el CBR de la subrasante y espesor del mismo.
- Calcular el peso máximo permisible de la aeronave crítica que utilizará ese pavimento.
- Calcular el ACN de la aeronave crítica para su peso bruto máximo permisible.
- Asignar el PCN al ACN de la aeronave crítica.

Estos pasos se explicarán con mayor detalle y se ilustrará el procedimiento con varios ejemplos más adelante.

1. Determinar el volumen de tráfico en términos de ciclos de tráfico para cada aeronave que se ha utilizado o se tiene planeado utilizar durante la vida útil del pavimento. Registre todo el tráfico significativo incluyendo los vuelos fuera de itinerario, vuelos chárter y militares lo más exactamente posible. Debe incluirse

todo el tráfico desde la construcción inicial o el último recarpeteo así como el tráfico que ocurrirá antes de la próxima reconstrucción o recarpeteo. Si la vida útil del pavimento no se conoce o es indeterminada asuma un período de tiempo razonable. La vida útil normal de un pavimento es de 20 años sin embargo su expectativa de vida puede variar dependiendo de las condiciones actuales del mismo, las condiciones climáticas y las prácticas de mantenimiento.

La información necesaria para obtener el volumen de tráfico es:

- Ciclos de tráfico pasados, presentes y futuros de cada aeronave significativa
  - Pesos máximos de operación.
  - Distribución típica del peso en los trenes de nariz y principal. Si no se conoce se asume un 95% del peso sobre el tren principal.
  - Tipo de tren de aterrizaje (dual, tándem dual, etc)
  - Presión de llantas del tren principal.
  - La relación de pasadas con Interacciones (P/C) para cada aeronave que pueda ser considerada aeronave crítica.
  - Prácticas de carga de combustible en el aeropuerto.
  - Tipo de calles de rodaje – paralelas o centrales.
2. Determinar que aeronave en el conjunto de tráfico del paso 1 es crítica o más significativa. Esto se necesita ya que el procedimiento de ACN implementado en la aplicación COMFAA solo puede utilizar una aeronave a la vez. La aeronave crítica será la que requiera el mayor espesor de pavimento con base en su peso bruto máximo individual, volumen de tráfico, relación P/C y presión de llantas. No necesariamente será la que tenga el ACN más grande o el mayor peso bruto.
  3. La aplicación COMFAA calcula el espesor del pavimento con base en las Interacciones en vez de ciclos de tráfico o pasadas por tanto se requiere convertir estos tipos de frecuencias en Interacciones utilizando la relación pasadas con respecto a Interacciones. Las relaciones específicas P/C pueden calcularse con el COMFAA para pavimentos flexibles.
  4. Utilizando los factores de conversión de la tabla A1-5, convertimos el volumen de tráfico de cada aeronave en la mezcla en su equivalente de aeronave crítica según las distintas configuraciones de tren de aterrizaje. Por ejemplo si la aeronave crítica tiene un tren dual entonces otras aeronaves con trenes de rueda simple, en tándem doble o triple deben convertirse a tren dual equivalente.
  5. Determinar los ciclos de tráfico equivalente de la aeronave crítica con base en la magnitud de la carga en una rueda simple para cada aeronave en el conjunto del tráfico. Este cálculo se efectúa con la ecuación A1-3.
  6. Calcular la relación TC/C para la aeronave crítica con la Ecuación A1-1 según el tipo de configuración de calles de rodaje y condiciones de carga de combustible.
  7. Con información de campo o con los planos constructivos documentar el CBR promedio del suelo de la subrasante. Alternativamente hacer pruebas de laboratorio a la subrasante para obtener los valores de CBR. Es sumamente

importante la precisión en la obtención del CBR ya que variaciones muy pequeñas en este dato podrían resultar en variaciones desproporcionadas en el peso permisible de la aeronave crítica y su correspondiente PCN.

8. Determinar el espesor total del pavimento y las propiedades de la sección transversal. Para efectos de evaluación el espesor de la sección del pavimento en consideración debe referenciarse con una sección estándar de pavimento. La sección estándar será el espesor total requerido calculado con el COMFAA asumiendo que el asfalto tiene un espesor mínimo, que la base tiene también un espesor mínimo de material con un CBR 80 o mayor y una sub-base de espesor variable con un CBR 20 o más alto. Si el pavimento tiene exceso de material o materiales mejorados el espesor total puede aumentarse de acuerdo con la metodología descrita en el párrafo 321 de la AC 150/5320-6D. Se considera que un pavimento tiene exceso de asfalto que puede convertirse en un espesor adicional equivalente cuando el espesor del asfalto es mayor que el mínimo requerido para la aeronave crítica. El espesor mínimo de la superficie de asfalto será de 4 pulgadas para aeronaves jet de fuselaje estándar y 5 pulgadas para aeronaves de fuselaje ancho. Se puede considerar que la estructura de pavimento tiene un espesor excesivo de base cuando su sección transversal tiene un espesor de base mayor que el mínimo especificado en la Tabla 3-4 de la AC 150/5320-6D o cuando se utilicen gravas estabilizadas con cemento Portland o asfalto para la base. Asimismo espesores adicionales de sub-base o materiales mejorados en ella deben también ser convertidos a un espesor total adicional.
9. Calcule el peso máximo permisible de la aeronave crítica con la aplicación COMFAA en Modo de Diseño de Pavimento utilizando el tráfico equivalente y la relación TC/C de la aeronave crítica, el espesor equivalente de pavimento y el valor promedio del CBR de la subrasante.
10. Asigne la resistencia CBR de la subrasante obtenida en el paso 7 el código estándar apropiado ACN-PCN de la subrasante de acuerdo con la Tabla 2-2.
11. Ahora ya se puede determinar el ACN de la aeronave crítica utilizando la aplicación COMFAA en el Modo de ACN. Ingresar como dato el peso máximo permisible de la aeronave crítica y calcular el ACN con base en el código de subrasante del paso 10. Alternativamente el gráfico de ACN versus Peso Bruto publicado por el fabricante en el manual ACAP.
12. Asignar el código de presión de inflado de llantas con base en la presión máxima en la mezcla de tráfico según la Tabla 4-2. Cuando asigne el código, recuerde considerar la calidad de la superficie asfáltica como fue visto en la sección 2-1.
13. Como la evaluación es técnica asigne el código T como fue descrito en el párrafo 4-5e.
14. El valor numérico del PCN será el mismo valor de ACN obtenido para la aeronave crítica calculado en el paso 11.
15. Si el peso bruto permisible del paso 11 es igual o mayor que el peso bruto operacional de la aeronave crítica requerido para la vida útil del pavimento deseada,

entonces el pavimento es capaz de soportar el tráfico esperado durante el período de tiempo establecido en la planificación inicial. En consecuencia el valor PCN asignado en el paso 14 es suficiente. Si el peso bruto permisible del paso 11 es menor que el peso bruto requerido de la aeronave crítica para la vida útil del pavimento entonces el PCN puede asignarse como igual al ACN de la aeronave crítica pero con una expectativa de vida útil menor para el pavimento. Adicionalmente puede ser necesario desarrollar una relación entre el peso bruto permisible con base en el PCN asignado versus vida útil del pavimento. Cualquier sobrecarga debería ser tratada en términos de ACN y operaciones equivalentes de aeronave crítica por operación individual. La permisividad de las sobrecargas deberán negociarse con la autoridad del aeropuerto ya que no se puede asumir ninguna aprobación de previo. En el Apéndice 3 de este documento se encuentran procedimientos específicos relativos a la relación entre vida útil y peso bruto para pavimentos flexibles.

### CA6. EJEMPLOS DE EVALUACION TECNICA PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Los siguientes cuatro ejemplos ayudan a ilustrar el método de evaluación técnica para determinar el PCN en pavimentos flexibles. El primer ejemplo es para un pavimento con baja resistencia, con un volumen de tráfico que ha aumentado al punto en que su vida útil se ha reducido con respecto al diseño original. En el segundo el pavimento tiene una resistencia más que adecuada para soportar el tráfico pronosticado. El tercero es igual que el segundo excepto que la pista tiene una calle de rodaje central en ves de paralela. El cuarto discute el efecto en la vida útil del pavimento de un PCN más alto en vez de una reducción en el peso permisible.

**a. Ejemplo #1 Pavimento Flexible.** Un aeropuerto tiene una pista de pavimento flexible (superficie de asfalto) con una sub rasante CBR 9 y un espesor total de 32 pulgadas, como se muestra en la figura A2-1 (un mínimo de 5 pulgadas de carpeta asfáltica, un mínimo de 8 pulgadas de base y un espesor variable de sub base). En general las aeronaves cargan combustible en el aeropuerto antes del despegue y la pista tiene calles de rodaje paralelas. El pavimento se diseñó para una vida útil de 20 años. Se asume para este ejemplo que el tráfico será constante durante la vida útil del pavimento. El tráfico se muestra en la Tabla A2-3, la cual es similar a la Tabla A2-1 con alguna información adicional.

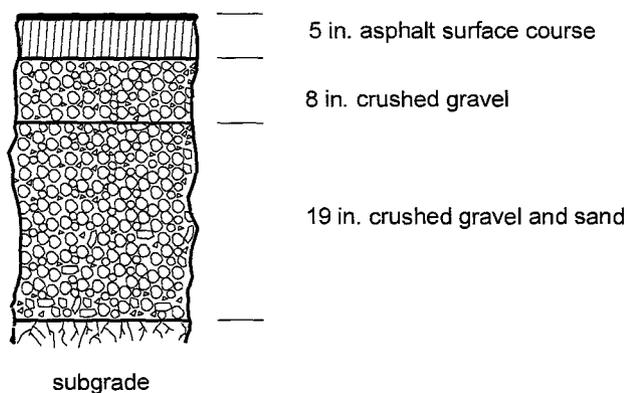


Figura A2-1. Ejemplo de Sección Transversal de Pavimento Flexible.

**Cuadro A2-3. Evaluación Técnica Determinación Avión Crítico**

Aeronave	Peso operativo (lbs)	presión de los Neumáticos (psi)	ACN F/B	salidas anuales	Flexible **P/C	Espesor requerido (in.)
B727-200	185,000	148	48	400	2.92	22.6
B737-300	130,000	195	35	6,000	3.79	22.7
A319-100	145,000	196	35	1,200	3.18	20.3
B747-400	820,000	200	59	3,000	1.73	30.9
B767-300ER	370,000	190	52	2,000	1.80	27.9
DC8-63	330,000	194	52	800	1.68	26.6
A300-B4	370,000	205	57	1,500	1.75	29.1
B777-200	600,000	215	51	300	1.42	28.0

\*\* P / C, determinada a 95 por ciento de la carga bruta en el engranaje principal

Los espesores resultantes del pavimento para cada tipo de aeronave se muestran en la Tabla A2-3. El B747-400 requiere el espesor mayor individual (30,9 pulgadas) para su tráfico total durante 20 años, por tanto es la aeronave crítica. Observe que los espesores individuales de cada aeronave son menores que el espesor existente de 32 pulgadas.

La Tabla A2-4 muestra la conversión de los despegues de las otras aeronaves al equivalente de la aeronave crítica (B747-400). Se utilizaron los factores de conversión de la Tabla A1-5 para convertir la configuración de los trenes de aterrizaje a su equivalente de tándem dual para las salidas. Las salidas anuales equivalentes al B747-400 fueron calculadas con la Ecuación A1-3. A pesar de que el B747-400 solo tuvo 3,000 salidas anuales el efecto del resto del tráfico aumentó su número a un equivalente de 7,424.

Observe que el total de las salidas anuales equivalentes del B767-300ER y el A300-B4 deberían también ser las mismas debido a que las cargas de ruedas asumidas son las mismas que las de la aeronave crítica. Sin embargo, esto no será cierto para el B777-200 debido a que tiene una configuración diferente de tren de aterrizaje. Nótese también el efecto de la carga en rueda en las salidas equivalentes anuales de la aeronave crítica. Cargas en rueda de aeronaves individuales que son mayores que la de la aeronave crítica aumentan a las salidas equivalentes de la aeronave crítica por un factor mayor que uno, mientras que cargas menores adicionan por un factor menor que uno. Esta interrelación muestra la necesidad de considerar cuidadosamente la carga de cada aeronave en el conjunto de tráfico cuando se determina el equivalente.

**En el cuadro A2-4. Equivalentes de salidas anuales del avión crítico**

Aeronave	salidas anuales	Tipo de tren	Factor del tipo de tren	(R <sub>2</sub> ) Equiv. (2D) Salidas	(W <sub>2</sub> ) Carga de Ruedas (lbs)	(W <sub>1</sub> ) B747-400 Carga de ruedas (lbs)	(R <sub>1</sub> ) B747-400 Equiv. Salidas Anual
B727-200	400	D	0.64	256	43,938	48,688	194
B737-300	6,000	D	0.64	3,840	30,875	48,688	716
A319-100	1,200	D	0.64	768	34,438	48,688	268
B747-400	3,000	2D/2D 2	1.00	3,000	48,688	48,688	3,000
B767-300ER	2,000	2D	1.00	2,000	43,938	48,688	1368
DC8-63	800	2D	1.00	800	39,188	48,688	403
A300-B4	1,500	2D	1.00	1,500	43,938	48,688	1,041
B777-200	300	3D	1.56	468	47,500	48,688	434
	15,200						7,424

Una vez conocido el tráfico equivalente total de la aeronave crítica, podemos calcular la relación de ciclos de tráfico según la configuración de calles de rodaje y condiciones de carga de combustible. Utilizando una relación P/C de aeronave crítica de 1.73 (Tabla A2-3) y una relación P/TC de 1 para calles paralelas (Tabla A1-2), el ciclo de tráfico a relación se puede calcular con la ecuación A1-1:

$$\frac{TC}{C} = 1.73 \div 1 = 1.73$$

Ahora ya es posible calcular el peso máximo permisible del B747-400 crítico para este pavimento. Los datos de entrada para la aplicación COMFAA son como sigue:

Aeronave Crítica	B747-400
Espesor de Pavimento	32 pulgadas
CBR de la Subrasante	9.0 (B)
Presión de llantas	200 psi (X)
Porcentaje de peso sobre el tren principal	95 %
Relación TC/C	1.73
Vida útil del Pavimento	20 años
Salidas equivalentes anuales	7,424
Interacciones totales (TC/1.73) * 20	85,827

Para estas condiciones, la aplicación COMFAA (sitio de Internet de la FAA en el sitio: <http://www.airporttech.tc.faa.gov/naptf/download/index1.asp>), calculó un peso

permisible para el B747-400 de 797,500 libras. Luego el programa determinó un ACN para el B747-400 con este peso el cual es 56.4/F/B, para una clasificación recomendada del pavimento de PCN 56/F/B/X/T.

Con referencia en la Tabla A2-3, puede observarse que el B747-400 y el A300-B4 deberían restringir sus operaciones en esta pista ya que sus ACN son 59/F/B y 57/F/B respectivamente y ambos son mayores que el PCN recomendado de 56/F/B. Aparentemente este pavimento no es adecuado para la operación del tráfico existente o bien los pesos tendrán que restringirse o en su defecto la vida útil del pavimento será menor a la esperada. En el Apéndice 3 se efectúan un análisis de esta situación y se dan los requerimientos necesarios para hacer ajustes.

**b. Ejemplo 2. Pavimento Flexible.** Este ejemplo tiene los mismos parámetros de entrada que el primero excepto que la sección transversal del pavimento se ha aumentado a 36 pulgadas.

Los datos de entrada para la aplicación COMFAA para este ejemplo son:

Aeronave Crítica	B747-400
Espesor de Pavimento	36 pulgadas
CBR de la Subrasante	9.0 (B)
Presión de llantas	200 psi (X)
Porcentaje de peso sobre el tren principal	95 %
Relación TC/C	1.73
Vida útil del Pavimento	20 años
Salidas equivalentes anuales	7,424
Interacciones totales (TC/1.73) * 2	85,827

Para estas condiciones el peso máximo permisible calculado para el 747-400 es de 923,000 libras. La aplicación COMFAA determinó un ACN para el B747-400 con este peso de 69.3/F/B para una clasificación recomendada de PCN 69/F/B/X/T.

Al revisar la Tabla A2-3 se observa que todo el tráfico tiene ACNs menores que el PCN recomendado por lo que se puede concluir que este pavimento será adecuado para soportar el tráfico durante su vida útil de diseño y que no será necesario hacer ningún ajuste a su sección transversal o vida útil. Nótese que un aumento de 4 pulgadas en el espesor de la estructura de pavimento produjo un aumento de 13 en el PCN.

**c. Ejemplo 3. Pavimento Flexible.** El único cambio que tiene este ejemplo con el segundo es que la configuración de la calle de rodaje es central en vez de paralela, como la que se muestra en la figura A1-1b. Utilizando los datos de la tabla A1-2, la relación P/TC cambia de 1 a 2. De la ecuación A1-1, la relación TC/C para la aeronave crítica el B747-400 viene a ser:

$$\frac{TC}{C} = 1.73 \div 2 = 0,865$$

Los parámetros de la entrada para el CONFAA son:

Aeronave Crítica	B747-400
Espesor de Pavimento	36 pulgadas
CBR de la Subrasante	9.0 (B)
Presión de llantas	200 psi (X)
Porcentaje de peso sobre el tren principal	95 %

Relación TC/C	0.86
Vida útil del Pavimento	20 años
Salidas equivalentes anuales	7,424
Interacciones totales (TC/1.73) * 20	85,827

En estas condiciones el peso máximo permisible calculado es para el 747-400 de 875,000 libras. El CONFAA determinó que para este paso el ACN para el 747-400 es 64.2/F/B para un PCN recomendado de la pista de PCN 64/F/B/X/T. El efecto neto en el cambio en la configuración de la calle de rodaje es una reducción en el PCN de 5.

**d. Ejemplo 4. Pavimento Flexible.** Una forma alternativa de ver el efecto de la calle central versus la calle de rodaje paralela sería considerar cuanto cambia la vida útil del pavimento en vez del PCN. Si el PCN del ejemplo 2 se mantuviera en 69/F/B/X/T, el cual es equivalente al peso máximo permisible del B747-400 de 923,000 libras, en este caso la vida útil del pavimento podría reducirse 20 a 10 años. Esto se debe al cambio en la relación TC/C de 1.73 a 0.86. Se obtendría un efecto similar si el combustible no se dispensara en el aeropuerto, (esto fue obtenido en el primer ejemplo de pavimento flexible).

#### CA7. EVALUACION TECNICA DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

La siguiente lista resume los pasos para utilizar el método de evaluación técnica para pavimentos rígidos:

- Determinar el volumen de tráfico en términos del tipo de aeronaves y número de operaciones de cada uno que operarán durante la vida útil del pavimento.
- Convertir el tráfico total en el equivalente a la aeronave crítica (de diseño).
- Determinar las características del pavimento incluyendo el módulo k del suelo de la subrasante, espesor de la losa de concreto y el módulo de elasticidad.
- Calcular el peso bruto máximo permisible de la aeronave crítica.
- Encontrar o determinar el ACN de la aeronave crítica con a su máximo peso bruto permisible de acuerdo con determinó en el paso anterior.
- Asignar el PCN como el ACN recién calculado.

A continuación se explican en detalle los pasos anteriores:

1. Determinar el volumen de tráfico de la misma forma que se indicó para pavimentos flexibles.
2. Determinar cuál aeronave en el conjunto del tráfico es el crítico o el más significativo. La aeronave crítica será la que requiera del mayor espesor de pavimento con base en su peso bruto máximo individual, volumen de tráfico, relación P/C y presión de llantas. No es necesariamente el que tenga el mayor ACN o el mayor peso.
3. El procedimiento de diseño para pavimento rígido implementado en la aplicación COMFAA calcula el espesor de pavimento con base en los esfuerzos de borde en el

- concreto el cual dependerá del número de repeticiones de carga que produzca la mezcla de tráfico. Por esto se requerirá convertir los ciclos de tráfico o pasadas a repeticiones de carga por medio de la utilización a través de la relación pasadas vs repeticiones de carga. En la aplicación COMFAA se calculan las relaciones P/C para cualquier aeronave sobre el pavimento.
4. Utilizando los factores de conversión de la Tabla A1-5, convertir el volumen de tráfico de cada aeronave en la mezcla al equivalente de aeronave crítica con base en las diferencias en la configuración de tren de aterrizaje.
  5. Determinar los ciclos de tráfico equivalentes a la aeronave crítica con base en la carga en rueda simple de cada aeronave en el tráfico por medio de la Ecuación A1-3.
  6. Calcular la relación TC/C de la aeronave crítica a partir de la Ecuación A1-1 para el tipo de calle de rodaje y sistema de carga de combustible
  7. Utilizando los ciclos de carga equivalente del paso 5 y la relación TC/C del paso 6, calcular las repeticiones de carga equivalente de la aeronave crítica con base en la expectativa de vida del pavimento.
  8. Obtener las características del pavimento incluyendo el espesor de la losa de concreto, el módulo de ruptura del concreto y el valor promedio k de la subrasante. En la aplicación COMFAA el módulo de elasticidad del concreto se establece en 4,000,000 psi y la relación de Poisson en 0,15. Es importante la precisión con que se obtiene el valor k de la subrasante sin embargo variaciones pequeñas en este módulo no afectará significativamente el valor PCN. Si el pavimento posee una buena sub-base y/o una sub-base estabilizada entonces podemos ajustar el valor k de la subrasante hacia arriba a un valor equivalente al diseñar de pavimento rígido, como resultado de la mejora en la capacidad de soporte. Los ajustes en el módulo de la subrasante se hacen con base en las Figuras 2-4 y 3-16 de la AC 150/5320-6D.
  9. Una vez conocidos el espesor de la losa de concreto, el módulo de la subrasante y los parámetros de la aeronave crítica podemos calcular al peso bruto máximo permisible utilizando la aplicación COMFAA en el modo de diseño de pavimento. Mediante el establecimiento de las Interacciones (*Coverages*) totales, se puede ajustar el peso bruto de la aeronave para que sea el adecuado para el espesor del pavimento.
  10. Asignar el módulo de la subrasante (valor k) al código estándar más cercano del ACN\_PCN. El valor de k reportado para efectos del PCN será el valor k mejorado que se encuentre en la parte superior de todas las capas mejoradas. Los rangos de valores k de la subrasante se encuentran en la Tabla 2-1.
  11. Ahora podemos determinar el ACN de la aeronave crítica con la aplicación COMFAA. Ingrese el peso bruto permisible de la aeronave crítica obtenido en el paso 9 y calcule el ACN para el código estándar de sub-base del paso 10. Para efectos comparativos consulte el gráfico "ACN versus Peso Bruto" en el manual ACAP del fabricante.
  12. Asignar el código de presión de inflado de llantas con base en la presión máxima de inflado obtenida en el conjunto del tráfico. Como se discutió anteriormente los

pavimentos rígidos usualmente tiene la capacidad de soportar altas presiones de inflado por lo que en general su clasificación será W.

13. Como el método de evaluación utilizado es técnico se asignará el código T.

- a. Se reconocen dos métodos de evaluación en el sistema PCN. Si su evaluación fue obtenida mediante un estudio técnico, el método de evaluación debería clasificarse como T. Por otro lado si la evaluación para obtener el PCN fue mediante el "Método de la Aeronave" debería clasificarse como U. Evaluación técnica implica que debe haberse utilizado algún estudio técnico y cálculos en la determinación del PCN. Si se utilizó el Método de la Aeronave significa que el PCN fue obtenido seleccionando el ACN máximo entre las aeronaves que operan en el aeródromo y que no causan daños en el pavimento. Los valores de PCN obtenidos por el método de "Evaluación Técnica" deberán reportarse a la AAC al Proceso de Certificación de Aeródromos..

14. El valor del PCN será el valor numérico de ACN de la aeronave crítica que se acaba de calcular en el paso 11.

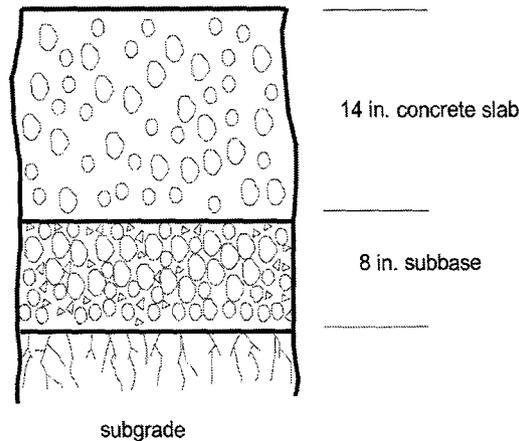
15. Si el peso bruto permisible del paso 11 es igual o mayor que el peso operacional de la aeronave crítica requerido para la vida útil del pavimento deseada entonces el pavimento es capaz de soportar el tráfico previsto en el período de diseño y consecuente el PCN que se determinó en el paso 12 es suficiente. Si el peso bruto permisible del paso 11 es menor que el peso operacional de la aeronave crítica requerido para la vida útil del pavimento deseada entonces podemos asignar un PCN igual al ACN de la aeronave a ese peso pero aceptando una vida útil menor del pavimento rígido. Además puede ser necesario desarrollar una relación entre el peso máximo permisible con base en el PCN asignado versus vida útil del pavimento. En el Apéndice 3 se proveen procedimientos sobre cómo relacionar la vida del pavimento y peso bruto para pavimentos rígidos en términos del PCN. Toda sobrecarga debería ser tratada en términos de ACN y operaciones críticas equivalentes por cada operación individual. Se debe negociar con la autoridad aeroportuaria cualquier autorización de sobrecarga ya que no se puede asumir ninguna aprobación de previo. El Apéndice 3 provee procedimientos específicos acerca de cómo relacionar vida útil con pesos brutos sobre pavimentos rígidos.

#### **CA8. EJEMPLOS DE EVALUACION TECNICA PARA PAVIMENTOS RIGIDOS.**

Los tres ejemplos siguientes ayudan a explicar mejor este método para establecer el PCN. El primer ejemplo es para un pavimento con de baja resistencia, con un volumen de tráfico que ha aumentado al punto en que su vida útil se ha reducido con respecto al diseño original. En el segundo tiene el pavimento una resistencia más que adecuada para soportar el tráfico pronosticado. El tercero es igual que el segundo excepto que las aeronaves generalmente no obtienen combustible en el aeropuerto.

**a. Ejemplo 1. Pavimento Rígido.** Un aeropuerto tiene una pista rígida (superficie de concreto) con un valor k efectivo de 200 pci y un espesor de losa de 14 pulgadas como se muestra en la figura A2-2. El concreto tiene un módulo de ruptura de 700 psi, un módulo de

elasticidad de 4,000,000 psi y una relación de Poisson de 0,15. La pista tiene una calle de rodaje paralela y generalmente las aeronaves reciben combustible adicional en el aeropuerto antes de su salida. La vida útil estimada del pavimento es de 20 años a partir de la construcción original. El tráfico que se muestra en la Tabla A2-5 básicamente es la misma que la tabla A2-1, pero se han agregado relaciones P/C y repeticiones de carga.



**Figura A2-2 Sección Transversal de Pavimento Rígido**

La aeronave crítica será la que requiera el mayor espesor para su magnitud de carga y frecuencia. El espesor que se requiera para cada aeronave podrá determinarse con la aplicación COMFAA (sitio de Internet de la FAA en el sitio: <http://www.airporttech.tc.faa.gov/naptf/download/index1.aspen>), el modo de diseño de pavimento. El número de repeticiones de carga debe calcularse primero para cada aeronave utilizando la Ecuación A1-1 y luego convertido a Interacciones (*coverages*) para ser usado por el COMFAA. Como se obtiene combustible adicional en el aeropuerto y la calle de rodaje es paralela entonces:

$$P/TC = 1$$

$$TC/C = P/C$$

$$\text{Interacciones (C)} = \text{salidas anuales} * 20 \text{ años} \div TC/C$$

Las Interacciones resultantes se muestran para cada aeronave en la Tabla 2-5. El espesor requerido de pavimento rígido para el peso operacional de cada aeronave y su frecuencia se muestra en la Tabla 2-6.

**Cuadro A2-5. Pavimento Rígido de tráfico de Evaluación Técnica**

Aeronave	Peso operativo, lbs	Presión del neumático (psi)	ACN (R/C)	** P/C	Salidas Anuales	Coberturas
B727-200	185,000	148	55	2.92	400	2,740
B737-300	130,000	195	38	3.79	6,000	31,662

A319-100	145,000	173	42	3.18	1,200	7,547
B747-400	820,000	200	68	3.46	3,000	17,341
B767-300ER	370,000	190	58	3.60	2,000	11,111
DC8-63	330,000	194	62	3.35	800	4,776
A300-B4	370,000	205	67	3.49	1,500	8,595
B777-200	600,000	215	77	4.25	300	1,412

\*\* PC rígido determinó a 95 por ciento de la carga bruta tren principal

La Tabla A2-6 muestra que el B747-400 es la aeronave crítica con base en el espesor requerido sin embargo, el A300-B4 podría también considerarse como crítico porque su espesor requerido está muy cerca del B747-400. En este ejemplo el B777-200 no es la aeronave crítica a pesar de su alto ACN por su número de Interacciones relativamente bajo.

### Cuadro A2-6. Evaluación Técnica Determinación Avión Crítico

Aeronave	Peso operativo lb	Espesor requerido (in.)
B727-200	185,000	13.0
B737-300	130,000	13.2
A319-100	145,000	11.1
B747-400	820,000	14.1
B767-300ER	370,000	12.8
DC8-63	330,000	12.5
A300-B4	370,000	13.6
B777-200	600,000	11.5

### Cuadro A2-7. Equivalentes de salidas anuales del avión crítico

Aeronave	Salidas Anuales	Tipo de tren	(R <sub>2</sub> ) Equiv. (2D) Salidas	(W <sub>2</sub> ) carga de la rueda	(W <sub>1</sub> ) B747-400 Wheel Load	(R <sub>1</sub> ) B747-400 Saldas Anules Equivalentes
B727-200	400	D	256	43,938	48,688	194
B737-300	6,000	D	3,840	30,875	48,688	716
A319-100	1,200	D	768	34,438	48,688	268
B747-400	3,000	2D/2D2	3,000	48,688	48,688	3,000
B767-200ER	2,000	2D	2,000	43,938	48,688	1,368
DC8-63	800	2D	800	39,188	48,688	403
A300-B4	1,500	2D	1,500	43,938	48,688	1,041
B777-200	300	3D	468	47,500	48,688	434
	15,200					7,424

Todas las salidas en el tráfico deben ser convertidas a las equivalentes del B747-400 como se muestra en la Tabla 2-7. Observe que este cuadro es idéntico al A2-4 para los ejemplos de pavimentos flexibles.

Antes de poder determinar el peso bruto máximo permisible de la aeronave crítica con la aplicación COMFAA el tráfico previsto reportado de salidas anuales deberá convertirse a Interacciones totales (Interacciones de por vida). Como se indicó anteriormente, como en general se obtiene combustible en el aeropuerto y hay calle de rodaje paralela deberían utilizarse las siguientes relaciones:

$$P/TC=1$$

$$P/C= 3,46$$

$$TC/C= 3,46$$

$$\text{Interacciones totales} = 7,424 * 20 \text{ años} \div 3,46 = 42,913$$

Los datos de entrada para la aplicación COMFAA (en modo de diseño de pavimento) son:

Aeronave Crítica	B747-400
Interacciones	42,913
Porcentaje de peso en tren principal	95.0 %
Presión de inflado de llantas	200 psi (código X) área de contacto de llantas 260.4 sq. in.
Espesor de la losa	14. pulgadas
Resistencia a la flexión de la losa	700 psi
Valor k efectivo de subrasante	200 pci(código C)

Para estas condiciones se puede utilizar el COMFAA para iterar una solución ajustando el peso bruto de la aeronave hasta que se obtenga el espesor conocido del pavimento. En este ejemplo el peso bruto permisible calculado del B747-400 es de 762,000 libras. Cambiando el COMFAA a modo de ACN e ingresando el peso permisible calculado obtenemos un ACN de 61.3/R/C para el B747-200. El PCN final recomendado será 61/R/C/W/T. Como se mencionó antes aunque ninguna aeronave del conjunto excede el código de inflado de llantas X, este código para pavimento rígido es generalmente W.

Basado en los ACN de la Tabla A2-5 se puede observar que el B747-400, el BC8-63, el A300-B4, y el B777-200 deberían restringirse en sus operaciones en esta pista debido a que todos sus ACN respectivos 68/R/C, 62/R/C, 67/R/C y 77/R/C son mayores que el PCN obtenido de 61/R/C/W/T. Aparentemente este pavimento no está preparado para recibir el tráfico existente así que deberán restringirse los pesos operacionales o bien aceptar que la vida útil del pavimento será menor que la de diseño. En el Apéndice 3 se hace un análisis de esta situación y de los requerimientos para hacer los ajustes necesarios.

**b. Ejemplo 2. Pavimento Rígido.** Este ejemplo tiene los mismos datos que el anterior excepto que el espesor de la losa se ha aumentado a 16 pulgadas. Los datos de entrada al COMFAA son los siguientes:

Aeronave Crítica	B747-400
Interacciones	42,913
Porcentaje de peso en tren principal	95.0 %
Presión de inflado de llantas	200 psi (código X) área de contacto de llantas 260.4 sq. in.
Espesor de la losa	16 pulgadas
Resistencia a la flexión de la losa	700 psi
Valor k efectivo de subrasante	200 pci(código C)

Para estas condiciones el peso bruto permisible calculado es de 890,000 libras. El ACN B747-400 es 76.2/R/C para un PCN recomendado de la pista de PCN 76/R/C/W/T.

Puede observarse en la Tabla A2-5 que todas las aeronaves del tráfico tienen ACNs menores que el PCN recomendado. Puede por lo tanto asumirse con seguridad que el pavimento de esta pista puede asumir el tráfico existente durante su vida útil de diseño y no se requiere ningún ajuste en la sección transversal del pavimento.

**c. Ejemplo 3. Pavimento Rígido.** El único cambio en este ejemplo con respecto al anterior es que las aeronaves no obtienen combustible en el aeropuerto. Utilizando la Tabla A1-3, la relación P/TC cambia de 1 a 2. Utilizando la Ecuación A1-2 la relación TC/C para el B747-400 será:

$$TC/C = 3.46 \div 2 = 1.73$$

Donde:

$$P/TC = 2$$

$$P/C = 3.46$$

Por tanto las Interacciones de por vida serán:  $7,424 * 20 \text{ años} \div 1.73 = 85,827$

Los parámetros de entrada para la aplicación COMFAA en el modo de espesor de pavimento serán:

Aeronave Crítica	B747-400
Interacciones	85,827
Porcentaje de peso en tren principal	95.0 %
Presión de inflado de llantas	200 psi (código X) área de contacto de llantas 260.4 sq. in.
Espesor de la losa	16 pulgadas
Resistencia a la flexión de la losa	700 psi
Valor k efectivo de subrasante	200 pci(código C)

Para estas condiciones el peso bruto permisible para el B747-400 es de 851,000 libras. El ACN del B747-400 es 71,6/R/C, para un PCN recomendado de PCN 72/R/C/W/T. Esta clasificación podría requerir que el B777 tenga pequeñas restricciones de peso. Sin embargo como no se

obtiene combustible adicional, su peso de aterrizaje probablemente ya sea menor que la posible restricción.

**Página Intencionalmente en Blanco**

## APENDICE 2 . EVALUACION DE SOBRECARGAS EN PAVIMENTOS MEDIANTE EL SISTEMA ACN-PCN

### CA1. GUIA PARA EVALUACION DE SOBRECARGA DE PAVIMENTOS.

Durante la vida útil de un pavimento existe la posibilidad de que en el tráfico actual o futuro se excedan las cargas más allá de la clasificación que le fue otorgada. La OACI tiene implementado un método simplificado para contabilizar sobrecargas menores en el cual estas pueden ajustarse mediante la aplicación de un porcentaje fijo al PCN existente.

El procedimiento de OACI para operaciones con sobrecarga se encuentra basado en tráficos menores o limitados que posean un ACN mayor al PCN reportado. Las cargas que sean mayores que el PCN definido acortarán la vida útil de diseño del pavimento mientras que cargas más pequeñas producirán deterioro en el pavimento a una tasa reducida. En su comportamiento estructural de los pavimentos no fallan catastróficamente, salvo que se produzca una sobrecarga masiva. Debido a esto son aceptables las sobrecargas pequeñas que puedan producir las aeronaves. Esto tendrá un impacto menor en la expectativa de vida del pavimento y una aceleración pequeña en su deterioro. Para este tipo de sobrecargas en las cuales la magnitud de la sobrecarga y/o frecuencias no ameriten un análisis técnico detallado se sugieren los siguientes criterios:

- No deberían verse afectados pavimentos flexibles con ciclos ocasionales de tráfico de aeronaves con un ACN que no exceda el 10% de PCN publicado,.
- No deberían verse afectados pavimentos rígidos o compuestos con ciclos ocasionales de tráfico de aeronaves con un ACN que no exceda el 5 % del PCN publicado.
- El número total de ciclos de tráfico con sobrecarga no debería exceder aproximadamente en un 5 % el número total anual de ciclos de tráfico.
- No deberían permitirse sobrecargas en pavimentos que muestren signos de deterioro, durante los períodos de deshielo luego de heladas o cuando la resistencia del pavimento o de la subrasante hayan sido debilitadas por el agua.
- Donde se manejan operaciones con sobrecargas, la autoridad aeroportuaria debería revisar las condiciones más importantes del pavimento regularmente y también revisar periódicamente los criterios para operaciones con sobrecargas debido a que una repetición excesiva de éstas puede causar un severo acortamiento en su vida útil o bien requerir de una rehabilitación mayor.

Ciertamente estos criterios dan poca orientación a la autoridad aeroportuaria en cuanto al impacto de estas operaciones con sobrecarga en el pavimento, en términos de reducción de la vida útil o el aumento de los requerimientos de mantenimiento. Este apéndice trata sobre los métodos para hacer concesiones de sobrecargas en pavimentos rígidos y flexibles que claramente indiquen estos efectos y permitan a la autoridad determinar el impacto económico y de vida útil de ellos.

**1.1 Guía de Sobrecarga.** La guía de evaluación de sobrecarga en este apéndice se aplica principalmente a los pavimentos flexibles que tienen valores de PCN que fueron establecidos mediante el método técnico. Los pavimentos que su clasificación se haya efectuado mediante el método de la aeronave podrán utilizar la guía para evaluación de la sobrecarga proveída por la OACI. Los procedimientos que se presentan aquí se basan en la aplicación COMFAA.

Los ajustes para sobrecargas en pavimentos inician con el supuesto de que algunas aeronaves en la mezcla de tráfico tienen ACN que exceden el PCN. Si se han seguido todos los pasos descritos en el Apéndice 2 para el método técnico, ya fueron obtenidos la mayoría de los datos necesarios para ejecutar un análisis de sobrecarga.

Para el primer ejemplo de pavimento flexible del apéndice 2 se encontró que el B747-400 y el A300-B4 tenían un ACN que excedía la clasificación recomendada de la pista. De igual forma para el primer ejemplo de pavimento rígido los ACN del B747-400, A300-B4, DC8-63 y B777-200 excedían la clasificación recomendada de la pista. Individualmente ninguna de las aeronaves en la mezcla de tráfico posee requerimientos mayores que los espesores de pavimento existentes, no obstante aún cuando todas las aeronaves de la mezcla de tráfico fueron consideradas para obtener el peso bruto máximo para la aeronave crítica, el PCN recomendado no es el adecuado para los aviones más grandes. Para resolver esta clase de problemas la autoridad aeroportuaria tiene tres opciones cuando hace la selección de la clasificación de resistencia de un pavimento:

1. Deja el PCN como se obtuvo a partir del método de evaluación técnica pero tiene el conocimiento de que hay algunas aeronaves que puede permitir su operación con un ACN mayor que el PCN publicado, o bien hacerlo con restricciones de peso para no sobrepasar el PCN.
2. Aumenta el PCN engrosando el pavimento o reconstruyéndolo para poder operar aeronaves con ACN más altos.
3. Ajusta su PCN al valor de la aeronave con el ACN más alto y reconoce que tendrá que efectuar un mantenimiento mayor que finalmente resultará en una reconstrucción o recarpeteo antes de lo planeado.

La primera opción requiere que la autoridad aeroportuaria esté constantemente al cuidado de la totalidad del tráfico en términos de pesos operacionales y frecuencia de las cargas. Si el conjunto de tráfico tiene cambios que afecten los factores que intervinieron en el método técnico de evaluación del PCN luego este tendrá que ajustarse de manera que se reflejen los cambios. También tendrá que hacer concesiones internas o bien evitar operaciones de aeronaves que excedan el PCN.

La segunda opción elimina los problemas que tratamos al discutir la primera opción pero requiere de gastos adicionales para llevar el pavimento a la resistencia requerida por todas las aeronaves en el tráfico. Sin embargo al aumentar la capacidad de carga del pavimento permitirá las operaciones a la resistencia requerida y por el período de diseño completo.

La tercera opción tiene el beneficio de permitir a todas las aeronaves en la combinación de tráfico operar a como sea necesario. No obstante al aumentar el PCN artificialmente, la vida útil del mismo se reducirá a menos que se aumente su espesor.

Cada una de estas opciones será tratada en las partes siguientes, primero para pavimentos flexibles y luego para los rígidos.

## **CA2. AJUSTES PARA SOBRECARGAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.**

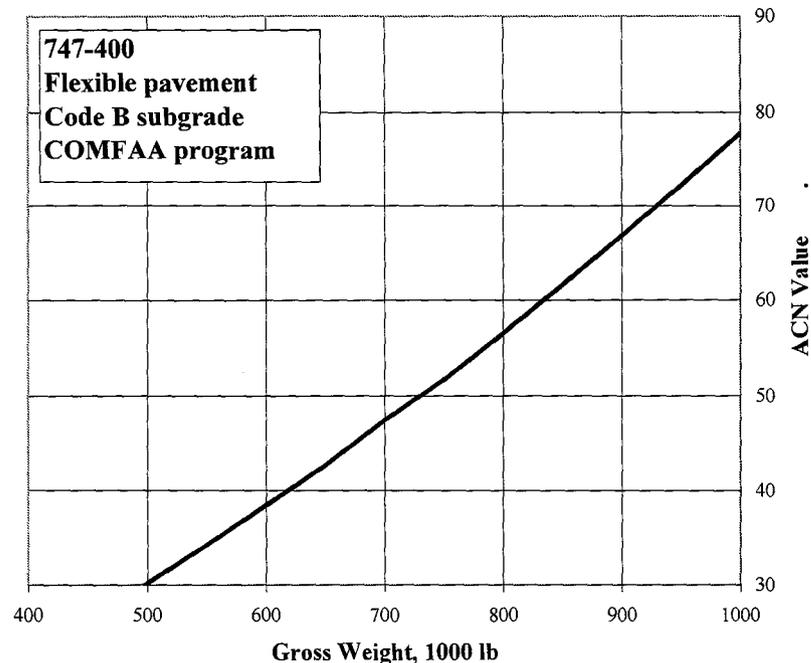
La manera más eficiente de describir los procedimientos para sobrecargas en pavimentos flexibles es hacer referencia al ejemplo 1 en el Apéndice 2 (Párrafo 2.2a). En este ejemplo

encontramos dos aeronaves que excedían la capacidad del pavimento. La clasificación que se derivó fue PCN 56/B/F/X/T con el tráfico operando en la pista de la Tabla A2-3.

**a. Caso 1. Sobrecarga en Pavimento Flexible.** La Tabla A2-3 indica que el B747-400 operó a un peso bruto de 820,000 libras con un ACN de 57/F/B. Una reducción de los pesos brutos al PCN nominal de 56/F/B/X/T daría lugar a peso bruto de 797,500 libras para el B747-400 y de 366,500 libras para el A300-B4. Aunque la restricción en los pesos operación resuelve el problema de la carga sobre el pavimento, tiene la desventaja de que restringe la operación de la aerolínea. Además tendrían que restringirse también nuevos tráficos de aeronaves con ACN mayores que el PCN.

**b. Caso 2. Sobrecarga en Pavimentos Flexibles.** En vez de restringir los pesos de operación de las aeronaves el aeropuerto podría reconstruir el pavimento agregando una capa adicional. Los pasos de cálculo para determinar la sobrecapa para un pavimento flexible son:

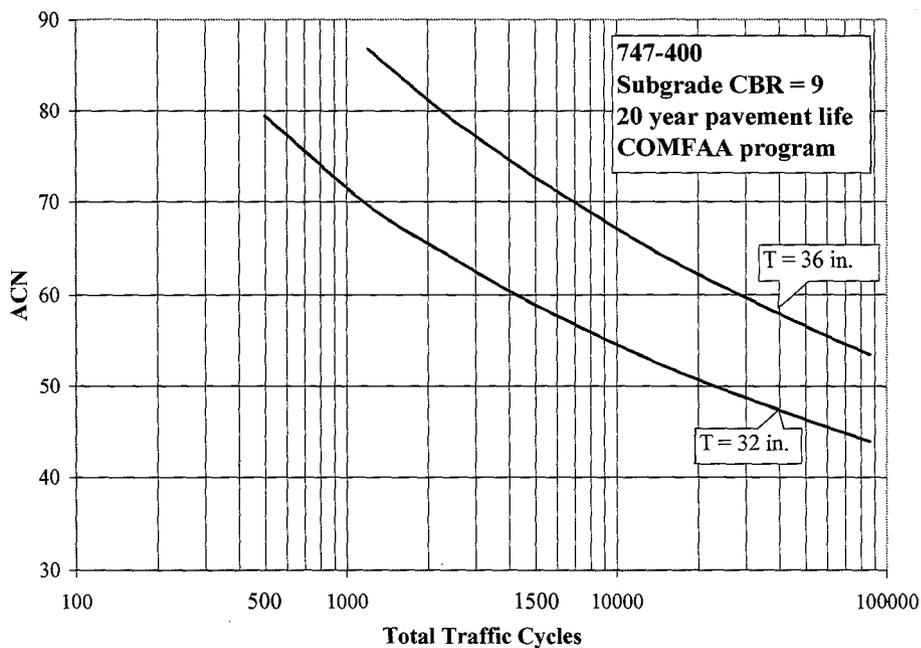
- Construir un gráfico ACN versus peso bruto como el que se muestra en la Figura A3-1, para la aeronave crítica (B747-400) con el mismo tipo de código de la subrasante que se determinó anteriormente. Los datos para hacer el gráfico se pueden obtener con la aplicación COMFAA calculando el ACN a diferentes pesos brutos. Observe en la figura que la relación entre el ACN y el peso bruto no es una línea recta sino más bien una curva suave debido a que se deriva de un cálculo repetitivo del ACN para distintos pesos brutos en vez de conectar simplemente los valores máximo y mínimo.



**Figura A3-1. ACN del B747-400 Versus Peso Bruto**

- Utilice la aplicación COMFAA para los datos de la vida útil del pavimento versus el ACN, como se muestra en la Figura A3-2. Este grafico es similar al que se encuentra en la Sección 7 del manual ACAP del fabricante excepto que el CBR y el espesor del pavimento no se muestran porque ya fueron fijados. Por ejemplo, tenemos cuatro parámetros básicos para el diseño de pavimentos:
  - CBR de la subrasante.
  - Espesor del pavimento
  - Peso bruto de la aeronave
  - Volumen de tráfico y vida útil

Para estos cuatro elementos las únicas variables son el peso bruto y la vida útil en términos de los ciclos de tráfico anual. Al relacionar el peso bruto con el ACN (como se hizo en la figura A3-1), el ACN puede ser sustituido en el eje de las abscisas de la Figura A3-2. Para cada vida útil de pavimento se puede encontrar un peso bruto que satisfaga el CBR de la subrasante y el espesor del pavimento, los cuales luego se convierten en un ACN. La Tabla A3-1 contiene parte de los datos que se utilizaron en la aplicación COMFAA para construir las curvas de las Figura A3-2 para el B747-400 con un CBR de 9 de la subrasante.



**Figura A3-2 Vida Útil de Pavimento Flexible Versus ACN**

**Cuadro A3-1. Los datos para la construcción de curvas de vida útil del pavimento flexible para B747-400**

B747-400 Salidas anuales	Las coberturas en (P/C = 1.73)	T=32	T=32	T=36	T=36
		Peso Bruto	ACN	Peso Bruto	ACN
500	5,780	1,014,000	79.4	--	--
1,200	13,873	926,000	69.6	1,075,000	86.8
2,400	27,746	875,000	64.2	1,013,000	79.3
3,000	34,682	858,000	62.5	994,500	77.2
5,000	57,803	822,500	58.9	953,400	72.6
7,424	85,827	797,500	56.4	923,000	69.3
20,000	231,214	738,500	50.7	855,000	62.2
50,000	578,035	690,400	46.3	800,000	56.6
86,500	1,000,000	664,000	43.9	768,000	53.5

Nota: Pass para el índice de cobertura determinado para configuración del avión, reportados por los fabricantes de aviones para calcular el valor de ACN (carga bruta, centro de gravedad, presión de los neumáticos).

Ahora podemos relacionar los efectos del peso bruto, ACN y vida útil del pavimento combinando los dos gráficos como se muestra en la Figura A3-3. El lado izquierdo de la figura es el gráfico de la Figura A3-1 mientras que el lado derecho es el gráfico de la Figura A3-2. Ahora puede observarse que cómo el peso bruto de la aeronave crítica de 797,500 libras (PCN 56/F/B/X/T) se iguala con los 7,424 ciclos de tráfico equivalente del B747-400 anuales por 20 años. Si aumentáramos el PCN a 69/F/B/X/T para alojar los pesos más altos el número de ciclos de tráfico para la aeronave crítica con 923,000 libras de peso bruto se reduciría a 1,254 anuales durante 20 años de vida útil. Esto efectivamente reduciría la vida útil del pavimentos de 20 a apenas 3 años ( $1,254 * 20 \div 7,424 = 3.38$ ).

Este ejemplo nos muestra que un pavimento de 32 pulgadas de espesor se encuentra por debajo del espesor de diseño para el tráfico esperado en los próximos 20 años. Por lo tanto es razonable esperar que será necesario un carpeteo adicional que complete un espesor efectivo de 36 pulgadas para que el pavimento dure 20 años con las 7,424 salidas anuales. Esto se puede ver gráficamente en la figura A3-3. También se puede ver en esta figura que para cualquier combinación de pesos brutos de aeronave crítica en términos de ACN podemos conocer la vida útil del pavimento. De esta forma la autoridad aeroportuaria puede determinar fácilmente con un gráfico de este tipo las concesiones que puede hacer para sobrecarga en el tráfico. Además ahora tiene la información necesaria para asignar un PCN. Si se aumenta el PCN a un nivel que permita todo el tráfico actual se puede determinar el espesor de la sobrecapa que será necesario colocar. Además se puede determinar el impacto de la aeronave con el ACN más grande en los requerimientos de espesor de la sobrecapa. Puede ser necesario repetir el proceso si se agregan más aeronaves a la combinación de tráfico debido a que su impacto no se ha contabilizado para este cálculo. De igual forma si hay cualquier cambio significativo en la combinación de tráfico la clasificación debería revisarse.

Este ejemplo solo intenta ilustrar el efecto del espesor del pavimento en la clasificación PCN. Los requerimientos de espesor de sobrecapa para efectos de diseño deberían determinarse utilizando la AC150/5320-6.

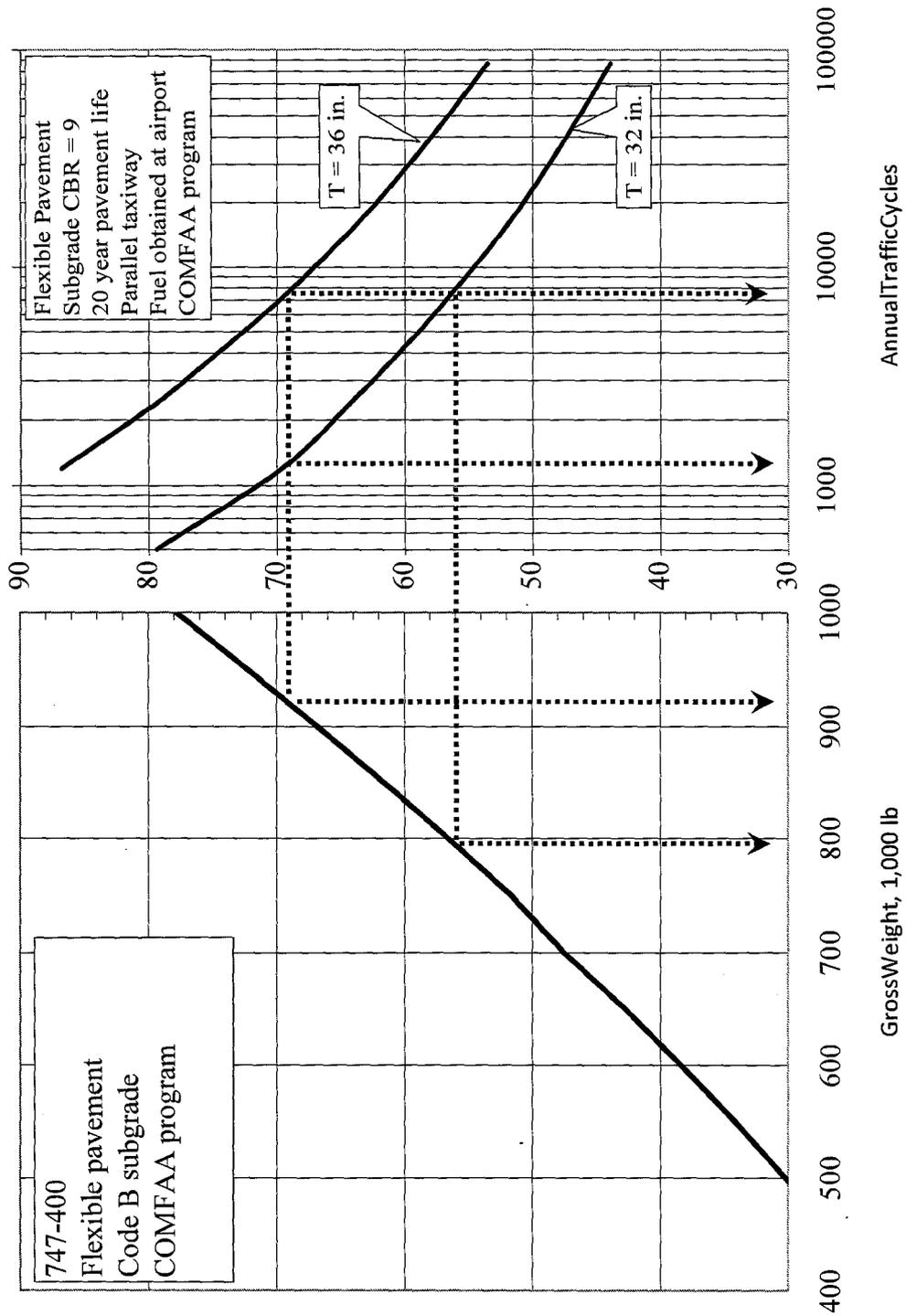


Figura A3-3 Vida Útil de Pavimento Flexible para B747-400

c. **Caso 3. Sobrecarga en Pavimento Flexible.** Este ejemplo ilustrará el efecto de la sobrecarga permisible de la OACI según la cual la sobrecarga no será mayor al 10% del PCN y el número de ciclos de tráfico no excede el 5% del total anual.

La Tabla A2-3 se repite aquí como Tabla A3-2 pero con una nueva aeronave adicionada a la combinación de tráfico con un ACN 10% mayor que el PCN de 56/F/B/X/T. El número total de salidas anuales como se muestra en la Tabla A2-4 es de 15,200 en la cual 760 es el 5% del total. Este monto se muestra en la Tabla A3-3.

**Tabla A3-2. Avión flexible sobrecarga Pavimento Alta**

Aeronave	Peso operativo, (lbs)	Presión del neumático (psi)	ACN F/B	Salidas Anuales	Flexible **P/C	Requerido, (in.)
B727-200	185,000	148	48	400	2.92	22.6
B737-300	130,000	195	35	6,000	3.79	22.7
A319-100	145,000	196	35	1,200	3.18	20.3
B747-400	820,000	200	59	3,000	1.73	30.9
B767-300ER	370,000	190	52	2,000	1.80	27.9
DC8-63	330,000	194	52	800	1.68	26.6
A300-B4	370,000	205	57	1,500	1.75	29.3
B777-200	600,000	215	51	300	1.42	28.0
L1011-500	463,000	184	62	760	1.80	28.6

\*\* Flexible P / C, determinada a 95 por ciento de la carga bruta tren principal

Al calcular la aeronave crítica para una cantidad anual equivalente de despegues de 7,934 el peso bruto permisible se reduce de 979,500 a 793,500 libras para un ACN de 56.0/F/B. Además para el mismo peso bruto permisible de 797,500 libras t un ACN de 56.4/F/B el espesor del pavimento debería aumentarse a 32.13 pulgadas en vez de las 32 pulgadas actuales.

Este ejemplo muestra el impacto en el espesor del pavimento y en el PCN para una nueva aeronave que se encuentra dentro de los lineamientos de la OACI de no más del 10% de sobrecarga y no más de 5% en el aumento del tráfico. Sabiendo el impacto que puedan tener nuevas aeronaves en el espesor del pavimento, la autoridad aeroportuaria puede tomar decisiones sobre sus efectos relativos.

Aunque estos ejemplos fueron para las condiciones específicas que fueron descritas, esta metodología puede también ser aplicada a cualquier otra condición de sobrecarga en el tráfico.

Cuadro A3-3. Pavimento Flexible Nuevo Avión Tráfico Equivalente

Aeronave	Salidas Anuales	Tipo de tren	Equiv. (2D) Salidas	(R <sub>2</sub> ) Carga de Ruedas (lbs)	(W <sub>2</sub> ) Carga de Ruedas (lbs)	(W <sub>1</sub> ) B747-400	(R <sub>1</sub> ) B747-400 Equiv. Salidas Anuales
B727-200	400	D	256	43,938	48,688		194
B737-300	6,000	D	3,840	30,875	48,688		716
A319-100	1,200	D	768	34,438	48,688		268
B747-400	3,000	2D/2D2	3,000	48,688	48,688		3,000
B767-300ER	2,000	2D	2,000	43,938	48,688		1,368
DC8-63	800	2D	800	39,188	48,688		403
A300-B4	1,500	2D	1,500	43,938	48,688		1,041
B777-200	300	3D	468	47,500	48,688		434
L1011-500	760	2D	760	54,981	48,688		510
	15,960						7,934

### CA3. AJUSTES PARA SOBRECARGAS EN PAVIMENTOS RIGIDOS.

Como hicimos con los casos de sobrecarga en pavimentos flexibles, los procedimientos para sobrecarga en pavimentos rígidos pueden explicarse mejor continuando con el análisis de la evaluación técnica de pavimentos del primer ejemplo del Apéndice 2 (Párrafo 2.4a). En este ejemplo, donde se obtuvo un PCN de 61/R/C/W/T se encontró que el B747-400, el A300-B4, EL B777-200 Y EL DC863 excedían la capacidad del pavimento como se mostró en la Tabla A2-5. Esta situación requiere que se hagan ajustes para permitir que estas aeronaves operen a sus pesos brutos óptimos. Estos ajustes tendrán que ver con o reducir la vida útil del pavimento o bien engrosar el pavimento para aumentar su resistencia.

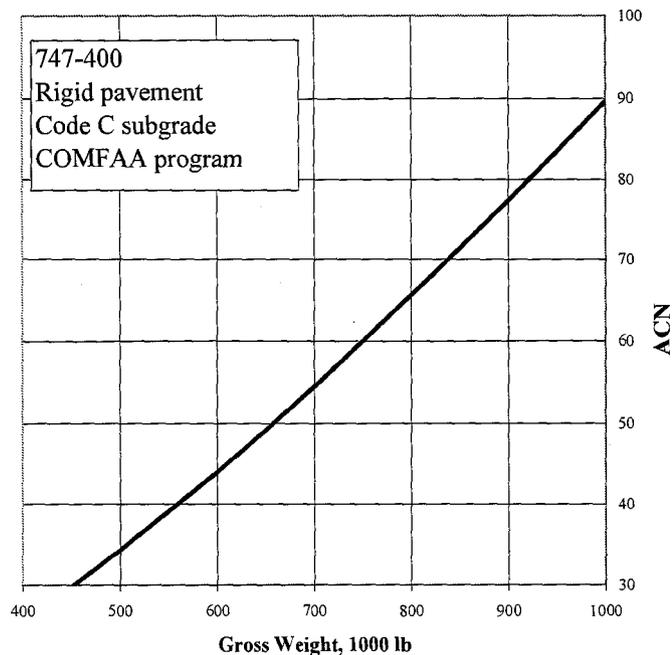
Un segundo caso de sobrecarga examina el efecto de un tráfico ocasional de aeronaves con un ACN mayor que el PCN.

a. **Caso 1. Sobrecarga en Pavimento Rígido.** La evaluación de la sobrecarga en pavimento rígido es similar que en pavimento flexible. Primero es necesario determinar las variables que influyen en la vida del pavimento y luego utilizar la aplicación COMFAA para examinar los resultados. Los pasos necesarios para determinar los efectos de la sobrecarga en pavimentos son:

1. Construya un gráfico de ACN versus peso bruto como se muestra en la Figura A3-4, para la aeronave crítica B747-400 para el tipo de subrasante que se determinó previamente. Observe que la forma de la línea es una

curva suave ya que para crearla se utilizaron varios puntos en vez de solo unir el valor máximo y el mínimo. El gráfico de la figura A3-4 puede generarse con la aplicación COMFAA calculando valores de ACN a distintos pesos brutos.

2. Construya un gráfico de ACN versus vida útil del pavimento como se muestra en la figura A3-5. Los datos para la Figura A3-5 pueden generarse con la aplicación COMFAA ingresando primero las repeticiones de carga (Interacciones) [Coverages] en modo de espesor de pavimento y luego ajustando el peso bruto hasta que se logre el espesor de pavimento deseado. Luego, pasando a modo de ACN e ingresando el peso bruto permisible obtenemos el valor ACN. Es posible generar un gráfico como el de la figura A3-5 porque ya conocemos los datos de la clasificación de la subrasante y el espesor del pavimento lo que permite reducir las variables a vida útil del pavimento y peso bruto. Al relacionar el ACN con el peso bruto, como en la figura A3-5, puede utilizarse el ACN en vez de el peso bruto en el eje de las ordenadas del gráfico de la Figura A3-5. Cada uno de estos pasos se ilustrarán utilizando los datos del primer ejemplo para pavimento rígido en el Apéndice 2.



**Figura A3-4. ACN de B747-400 en Pavimento Rígido Versus Peso Bruto**

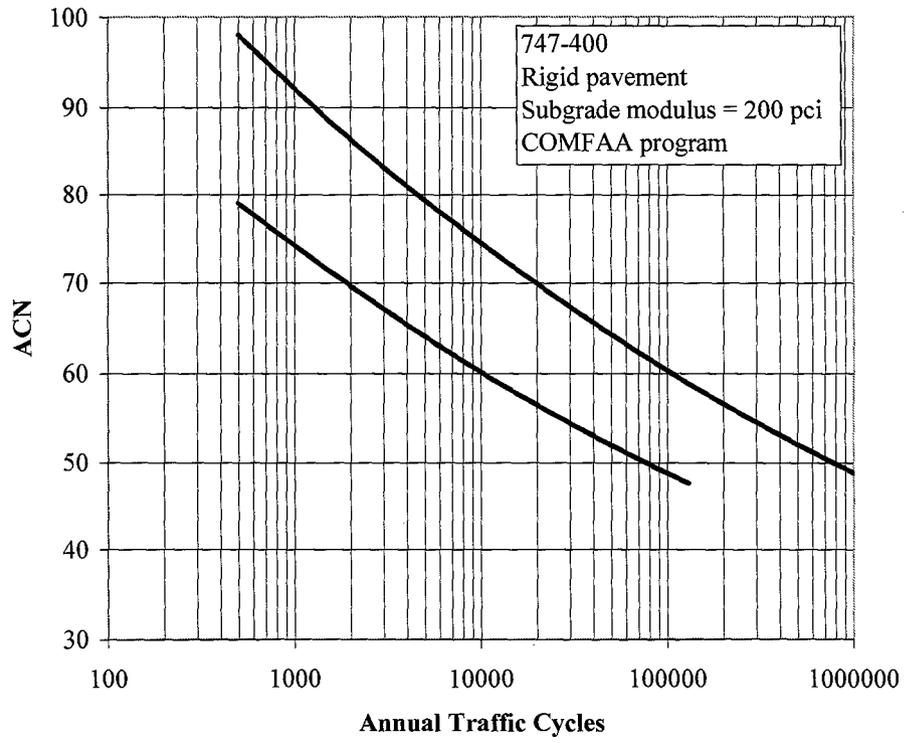


Figura A3-4. Vida Útil con B747-400 en Pavimento Rígido Versus ACN

**Cuadro A3-4. Los datos para la construcción de curvas de vida útil del pavimento rígido de B747-400**

Ciclos anuales de trafico	repeticiones de carga (coberturas) (P/C = 3.46)	T=14 peso		T-16	
		bruto ht (lbs)	T=14 ACN	peso bruto ht (lbs)	T=16 ACN
500	2,890	910,000	78.6	1,063,000	97.7
1,200	6,936	871,000	73.9	1,015,000	91.6
2,400	13,873	827,100	68.8	962,000	85.0
3,000	17,341	813,500	67.2	947,000	83.1
5,000	28,902	783,900	63.8	913,500	79.0
7,424	42,913	762,000	61.3	890,000	76.2
20,000	115,607	714,500	56.1	835,000	69.7
50,000	289,017	675,000	51.8	786,250	64.1
86,500	500,000	654,000	49.6	760,000	61.1
129,750	750,000	638,500	48.0	742,000	59.1

3. Ahora es posible relacionar los efectos del peso bruto, ACN y vida útil del pavimento combinando estos dos gráficos como se muestra en la Figura A2-6. El lado derecho de la figura es el gráfico de la Figura A3-4, mientras que el gráfico de la derecha es el de la Figura A3-5. Podemos observar que la clasificación PCN 61/R/B/W/T para un pavimento de 14 pulgadas se iguala con los 7,424 ciclos por año del B747-400 con un peso de 762,000 libras.
4. La línea para un espesor de 16 pulgadas en las Figuras A3-5 y A3-6 muestran como la vida útil del pavimento aumentó con la adición de dos pulgadas de concreto. Esta línea se ha incluido no para hacer ver que una capa adicional de dos pulgadas es recomendable sin más bien para mostrar el efecto que produce el aumento en el espesor. Como puede verse un pavimento de 16 pulgadas puede soportar el B747-400 con 890,000 libras de peso. Alternativamente con un peso bruto de 762,000 libras el B747-400 puede operarse en un pavimento más delgado por alrededor de 85,000 ciclos anuales. Lo que no se muestra directamente en la Figura A3-6 es que un pavimento de 15 pulgadas (una pulgada adicional) puede permitir la operación de 25,000 ciclos de tráfico anuales del B747-400 con 762,000 libras de peso.

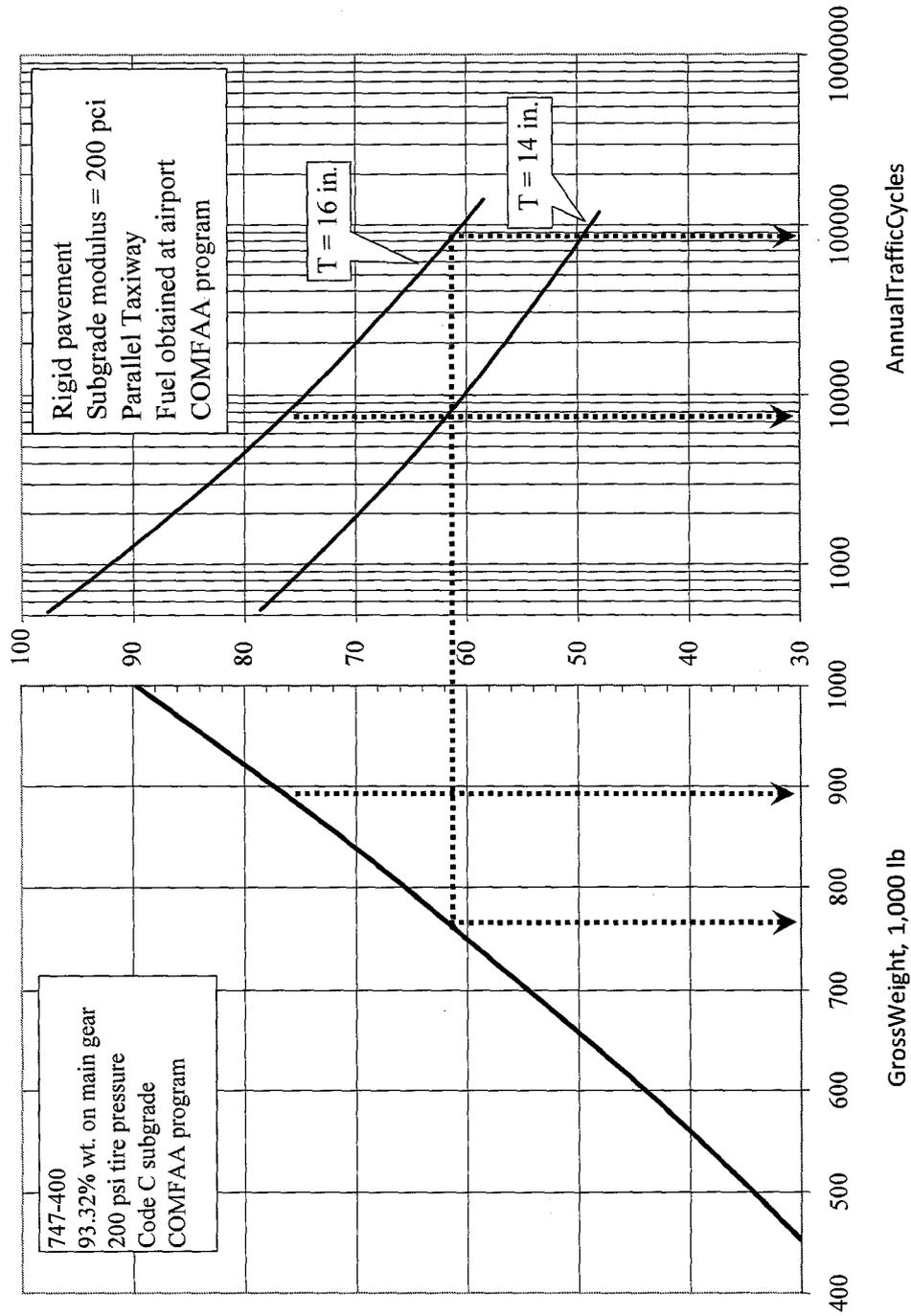


Figura A3-6. Vida Útil de Pavimento para B747-400

b. **Caso 2. Sobrecarga en Pavimento Rígido.** Este ejemplo ilustra el efecto de la sobrecarga permisible de la OACI en la que el ACN no puede ser mayor al 5% del valor PCN y el número de ciclos de tráfico no exceda en más de un 5% del tráfico anual total.

La Tabla A2-5 se repite aquí como Tabla A3-5, pero con una nueva aeronave agregada a la combinación de tráfico. El ACN de la nueva aeronave es un 5% mayor que el PCN de 61/R/C/W/T. Las 760 salidas anuales representan el 5% de las 15,200 salidas anuales como se muestra en la Tabla A2-4.

**Cuadro A3-5. Pavimento Rígido Ejemplo sobrecarga con nuevo avión**

Aeronave	Peso operativo, lbs	Presión del neumático (psi)	ACN (R/C)	** P/C	Salidas Anuales	repeticiones de carga
B727-200	185,000	148	55	2.92	400	2,740
B737-300	130,000	195	38	3.79	6,000	31,662
A319-100	145,000	173	42	3.18	1,200	7,547
B747-400	820,000	200	68	3.46	3,000	17,341
B767-300ER	370,000	190	58	3.60	2,000	11,111
DC8-63	330,000	194	62	3.35	800	4,776
A300-B4	370,000	205	67	3.49	1,500	8,596
B777-200	600,000	215	77	4.25	300	1,412
A300-600R	362,250	231	64	3.39	760	4,484

\*\* PC rígido determinado a 95 por ciento de la carga bruta tren principal y en las características de operación recomendadas fabricante para el cálculo de ACN

Seguidamente es necesario determinar el nuevo número total de salidas de la aeronave crítica B747-400. Para hacer esto la Tabla A2-7 se muestra aquí como la Tabla A3-6 con el nuevo A300-600R incluido. Como se puede ver en esta tabla, el número de salidas equivalentes del B747-400 ha aumentado de 7,424 a 7,934. Las nuevas salidas equivalentes de 7,934 se convierten en 45,861 repeticiones de carga en su vida útil ( $7,934 * 20 \div 3,46 = 45,861$ ). A partir de la aplicación COMFAA se calcula que el nuevo peso bruto permisible para el B747-400 es de 758,000 libras y su ACN para este peso es de 60.9/R/C.

Cuadro A3-6 salidas equivalentes anuales del avión crítico

Aeronave	Salidas Anuales	Tren principal	(R <sub>2</sub> ) carga de la rueda	(W <sub>2</sub> ) carga de la rueda	(W <sub>1</sub> ) B747-400 carga de la rueda	(R <sub>1</sub> ) B747-400. Salidas Anuales Equival.
727-200	400	D	256	43,938	48,688	194
737-300	6,000	D	3,840	30,875	48,688	716
A319-100	1,200	D	768	34,438	48,688	268
B747-400	3,000	2D/2D2	3,000	48,688	48,688	3,000
B767-200ER	2,000	2D	2,000	43,938	48,688	1,368
DC8-63	800	2D	800	39,188	48,688	403
A300-B4	1,500	2D	1,500	43,938	48,688	1,041
B777-200	300	3D	468	47,500	48,688	434
A300-600R	760	2D	760	42,988	48,688	510
	15,960					7,934

El nuevo PCN recomendado debería ser PCN 61/R/C/W/T. Note que este nuevo PCN es el mismo que el existente debido al redondeo. Alternativamente el efecto en el espesor del pavimento puede verse manteniendo el peso bruto de la aeronave crítica a las mismas 762,000 libras. El espesor resultante de la losa de concreto es de 10.04 pulgadas. El aumento de 0.04 pulgadas no es práctico ni para medirlo ni para efectos constructivos.

## APENDICE 3. TRAFICO EQUIVALENTE

### CA1. TRAFICO EQUIVALENTE.

Aquí se presenta un método detallado para permitir el cálculo del efecto combinado de múltiples aeronaves en la combinación de tráfico de un aeropuerto, Este tráfico combinado se conjuntará en el tráfico equivalente de la aeronave crítica. Esto es necesario debido a que la metodología que se utiliza para el cálculo del ACN permite solamente una aeronave a la vez. Al combinar todo el tráfico del aeródromo y representarlo como el equivalente de la aeronave crítica, se torna posible el cálculo de un PCN que incluya el efecto de todo el tráfico del aeródromo. Se sabe que existen otros métodos para determinar el tráfico equivalente, no obstante, esta metodología es recomendada.

La evaluación del tráfico equivalente que se describe en esta sección se necesita solo para determinar el PCN usando el Método Técnico y puede descartarse si se utiliza el Método de la Aeronave para ese fin.

Para poder llegar a obtener un PCN por el Método Técnico se requiere determinar el máximo peso bruto permisible o más común de la aeronave crítica. (Por ejemplo el peso permisible en una configuración de tren de aterrizaje dada). Esto a su vez requiere que el diseño del pavimento y las características de carga del avión sean examinados en detalle. Consecuentemente la información que se presenta en este apéndice parece de primera mano aplicable al diseño de pavimentos en vez de para obtener el valor PCN, sin embargo con este conocimiento un ingeniero podrá llegar a obtener el PCN con una base técnica sólida.

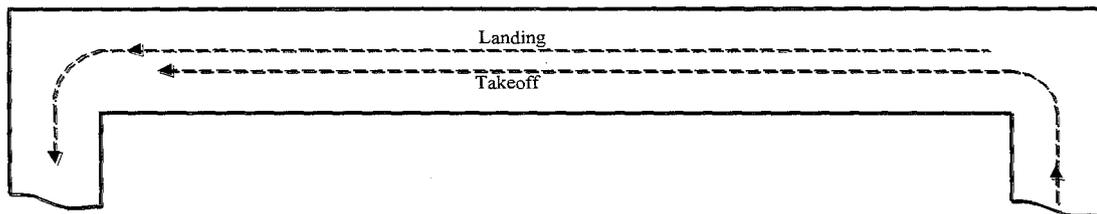
### CA2. TERMINOLOGIA DE TRÁFICO EQUIVALENTE.

Para determinar el PCN, con base en el método de evaluación técnica, es necesario definir un conjunto de términos comunes utilizados en el tráfico de aeronaves y las cargas sobre el pavimento. Los términos llegados, salidos, pasados, interacción, repeticiones de carga y ciclo de tráfico son utilizados frecuentemente por diferentes organizaciones cuando se determina el efecto del tráfico de aeronaves que operan en una pista. No solo es importante determinar cuáles de los movimientos de las aeronaves es necesario contabilizar cuando se consideran los esfuerzos en el pavimento, sino también, cómo estos movimientos intervienen en el proceso de diseño y evaluación del pavimento. En términos generales y para los fines de este documento, vamos a diferenciarlos de la manera siguiente:

**a. Llegada (Aterrizaje) y Salida (Despegue).** Normalmente los aeroplanos llegan a un aeropuerto con menor cantidad de combustible que con la que salen. Consecuentemente el esfuerzo que recibe el pavimento en el aterrizaje es menor que en el despegue debido a la diferencia de peso. Esto es cierto aunque la aeronave al aterrizar carga la zona de toma de contacto debido a la sustentación que le dan las alas, las que atenúan el impacto de la carga vertical dinámica. Es por esta razón que procedimiento de diseño de pavimento de la DGAC solamente considera el conteo de los despegues e ignora los aterrizajes. No obstante si las aeronaves no cargan combustible adicional en el aeropuerto entonces el peso en la llegada será el mismo que el peso de salida (descontando los cambios de pasajeros u la carga) y la operación de aterrizaje debería contabilizarse como un despegue para efectos de los ciclos de carga. En este último escenario tenemos para efectos de contabilización, dos esfuerzos iguales sobre el pavimento para cada conteo de tráfico (despegue) en vez de uno.

Independientemente del método de conteo de esfuerzos de carga que se utilice, un ciclo de tráfico se define como un despegue y un aterrizaje de una aeronave determinada, sujeto a un mayor refinamiento de la definición en el texto siguiente.

**b. Pasada.** Una pasada es un recorrido de una sola vez de una aeronave sobre una pista. Esta podría ser una llegada, una salida, un recorrido por calles de rodaje ("taxeo") o las tres cosas dependiendo de la magnitud de la carga y la ubicación de las calles. La Figura A1-1 muestra patrones de tráfico típicos para pistas que tengan calles de rodaje paralelas o centrales. Con calles de rodaje paralelas una pequeña parte de la pista o bien ninguna parte es utilizada para el "taxeo". Una calle de rodaje central produce que una parte de la pista se utilice para taxeo.



Figure

A1-1a. Pista con Calles de Rodaje Paralelas

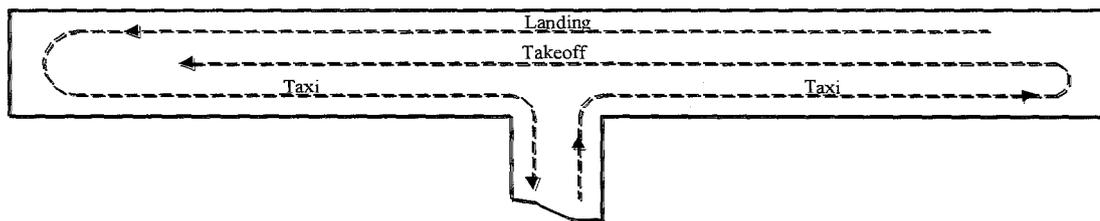


Figure A1-1b. Pista con Calle de Rodaje Central

Figure A1-1. Patrones de Distribución de Carga de Tráfico

**i) Escenario de Calle de Rodaje Paralela.** En el caso de calles paralelas como se muestra en la figura A-1 pueden ocurrir dos posibilidades de carga. Ambas asumen que el conteo de pasajeros y la carga útil son aproximadamente las mismas para el ciclo completo de despegue y aterrizaje:

1) Si la aeronave carga combustible en el aeropuerto, entonces el ciclo de tráfico consiste en solo una pasada ya que los esfuerzos por la carga en el aterrizaje se consideran a un nivel reducido como una equivalencia fraccional. Para esta condición solo se contabilizará el ciclo de despegue y la relación de pasadas con los ciclos de tráfico (P/TC) será 1.

2) Si la aeronave no carga combustible en el aeropuerto entonces deberían contabilizarse las dos pasadas: aterrizaje y despegue. En este caso el ciclo de carga serán dos pasadas con iguales esfuerzos por la carga y la relación P/TC será 2.

**ii) Escenario de Calle de Rodaje Central.** En una configuración con calle de rodaje central, como se muestra en el la Figura A1-1b, también pueden ocurrir dos situaciones de carga. Como se hizo en la configuración de calles paralelas ambas situaciones asumen que la carga útil es aproximadamente la misma para el ciclo completo de aterrizaje y despegue:

1) Si la aeronave carga combustible en el aeropuerto, entonces deberían contabilizarse el despegue y el taxeo para el despegue lo que resultará en un ciclo de tráfico consistente en dos pasadas con el máximo esfuerzo. En este caso puede ignorarse el pase del aterrizaje. Se entiende que solo una parte de la pista se utiliza durante algunas de estas operaciones, sin embargo conservadoramente se asumirá que toda la pista será cubierta cada vez. Para esta situación la relación P/TC será 2.

2) Si la aeronave no carga combustible en el aeropuerto entonces deberían considerarse ambos movimientos: aterrizaje y despegue junto con el taxeo. El ciclo de tráfico consistirá en 3 pasadas con cargas de igual magnitud. En este caso P/TC será 3.

**iii)** Un enfoque simplificado pero menos conservador sería considerar la relación  $P/TC=1$  para todas las situaciones. Ya que un aterrizaje y despegue solo aplica la carga máxima a quizás en un tercio de la pista (extremos opuestos sin cambios en la dirección del viento) este enfoque menos conservador podría ser utilizado para contabilizar un pase para ambos aterrizaje y despegue. Sin embargo la DGAC recomienda conducir las evaluaciones de aeropuertos de manera conservadora es decir asumir que cualquiera de las pasadas cubren la totalidad de la pista.

**c. Interacción (I) (Coverage).** Cuando una aeronave se mueve por una pista a menudo viaja en línea recta o sobre la misma ruta de rodaje anterior. Este "carreteo" puede modelarse como una distribución normal estadística. Una Interacción ocurre cuando un área unitaria del

pavimento ha sido atravesada por una rueda del tren de aterrizaje principal. Por aleatoriedad esta área unitaria puede no ser atravesada por la rueda todas las veces que la aeronave se encuentra en la pista. El número de pasadas que se requiere para atravesar estadísticamente un área específica una vez sobre el pavimento se expresa mediante el índice pasadas contra Interacciones (P/C).

Aunque los términos Interacción y P/C por lo general han sido aplicados a los pavimentos rígidos y flexibles, la relación P/C tiene un significado diferente cuando se aplica a pavimentos flexibles. Esto es debido a la forma en que se considera que reaccionan los pavimentos rígidos y flexibles a los distintos tipos de configuraciones de tren de aterrizaje. Para configuraciones de ruedas en tandem como el tandem dual (2D) y tandem triple dual (3D), las relaciones son diferentes para pavimentos flexibles y rígidos. La utilización del mismo término para ambos tipos de pavimentos puede ser confusa. Le corresponde al analista seleccionar el valor apropiado.

Las pasadas de aeronaves se pueden determinar (contar) por observación pero la Interacción es una variable que utiliza la aplicación COMFAA. La relación P/C es necesaria para convertir pasadas a Interacciones para ser utilizadas en la aplicación COMFAA y la relación P/C se puede determinar con el programa COMFAA. Esta relación es diferente para cada aeronave por las diferencias en el número de ruedas, configuración del tren de aterrizaje, área de contacto de las llantas y las cargas en el tren de aterrizaje. Aunque la relación cambia ligeramente para cada aeronave cuando el área de contacto de la llanta varía debido a las diferentes cargas aplicadas, para el propósito de este documento la relación P/C se reportará como la relación obtenida con la aplicación COMFAA en el modo de espesor de pavimento. En este modo la relación P/C se basa en la deflexión de las llantas recomendada por el fabricante a un 95% de la carga bruta en el tren de aterrizaje principal.

Las relaciones P/C para trenes con ruedas en tandem son diferentes para pavimentos rígidos y flexibles. Esto se da por la diferencia en que cada tipo de pavimento maneja los esfuerzos. Se asume que el patron de carga en pavimento flexible tiene una serie de esfuerzos máximos dependiendo del número de ruedas en el tandem, mientras que el pavimento rígido actúa como una losa simple deflectable con un único esfuerzo máximo por grupo de ruedas. En general un tren en arreglo simple o dual proveerá un solo esfuerzo por carga en cada pasada sin importar el tipo de pavimento ya que solo hay un juego de ruedas atravesando un punto dado del pavimento. Sin embargo un tren de doble tandem esfuerza doblemente un pavimento flexible ya que hay dos repeticiones de la carga pero esfuerza un pavimento rígido solo una vez debido al efecto de una sola carga de esfuerzo por grupo de llantas. De la misma forma un tren de tandem triple dual esfuerza el pavimento flexible tres veces pero solo una al pavimento rígido. Trenes de aterrizaje con una distancia entre tandems mayores a 72 pulgadas (182 cm) son tratados como picos individuales de carga para pavimentos rígidos o flexibles en la aplicación COMFAA.

**d. Operación.** El significado de este término no está muy claro cuando se utiliza en diseño o evaluación de pavimentos. Puede significar un despegue a máxima carga o bien aterrizaje a mínima carga. A menudo se utiliza indistintamente para pasada o ciclo de tráfico. Cuando se utiliza esta descripción para la actividad de una aeronave se debe dar información adicional. En general es preferible utilizar términos más precisos como los descritos en esta sección.

**e. Ciclo de Tráfico y Relación de Ciclo de Tráfico.** Como hemos visto un ciclo de tráfico puede incluir una pasada de aterrizaje, una pasada de despegue, una pasada de taxeo o a las tres. Para diseño o evaluación de pavimentos se requiere la relación de los ciclos de

tráfico contra las Interacciones (TC/C) en pavimento flexible, en vez de pasadas contra Interacciones (P/C) ya que podría haber una o más pasadas por ciclo de tráfico. Cuando se asume para conteo una sola pasada por la superficie de operación por ciclo de tráfico, entonces la relación P/C será suficiente. Sin embargo cuando nos encontramos en situaciones donde más de una pasada se considera que ocurra durante el ciclo de aterrizaje o despegue entonces se hace necesaria la relación TC/C con el fin de contabilizar apropiadamente todo el tráfico. Estas situaciones ocurren más a menudo cuando tenemos calles de rodaje centrales o cuando el combustible no se dispensa en el aeropuerto.

La ecuación A1-1 transforma la relación P/C en La relación TC/C para pavimentos rígidos o flexibles incluyendo las relaciones de pasadas con los ciclos de tráfico (P/TC) descritas:

$$\frac{TC}{C} = \frac{\frac{P}{C}}{\frac{P}{TC}} \quad (\text{Ecuación A1-1})$$

Donde:

TC= Ciclos de Tráfico

C= Interacciones

P= Pasadas

La relación TC/C se puede ilustrar mejor con ejemplos. La Tabla A1-1 muestra las relaciones típicas para pistas de pavimento flexible en las cuales el combustible no se dispensa en el aeropuerto. También se muestran valores típicos de P/C, pero relaciones diferentes pueden ser sustituidas para otras aeronaves. Refiérase a la figura A1-1 como guía para determinar el número de pasadas utilizadas para cada conteo de tráfico. Observe que que el número de ciclos de tráfico para completar una Interacción se reduce considerablemente para una pista con calle de rodaje central. Ocurre al revés con una pista con calle de rodaje paralela. El efecto de esto es que una pista con calle de rodaje central experimentará más esfuerzos por carga para cada conteo de tráfico que una pista con calle de rodaje paralela.

**Tabla A1-1. TC /C Ratio de Pavimentos Flexibles- No combustible adicional obtenido**

Tipo de calle de rodaje	Tren Dual Típico (D)	Tren Dual Típico (2D)	Tren Triple Dual Típico Tandem (3D)
P/C	3.6	1.8	1.4
P/TC - Paralelo	2	2	2
P/TC - Central	3	3	3
TC/C - Paralelo	1.8	0.9	0.7
TC/C - Central	1.2	0.6	0.5

La Tabla A1-2 muestra la misma información anterior considerando que el combustible se dispensa en el aeropuerto. Comparando estas dos tablas se puede ver que para una pista que tiene una calle de rodaje central donde el combustible no se obtiene en el aeropuerto, hay más ciclos de tráfico que en una pista con calles paralelas y el combustible si se dispensa en el aeropuerto. Por ejemplo, el valor típico para un tren dual típico con calle de rodaje central indicado en la Tabla A1-1 es de 1.2 comparado con el valor de 3.6 cuando hay calles paralelas

indicado en la Tabla A1-2 dando como resultado un número de pasadas tres veces mayor para cada conteo de tráfico. Además, conforme aumenta el número de ruedas, la relación TC/C disminuye sin importar la configuración de las calles de rodaje. En consecuencia habrá más ciclos de carga en términos de Interacciones por conteo de tráfico en un pavimento flexible con el aumento del número de ruedas

**TablaA1-2. TC /C Ratio de Pavimentos Flexibles-Combustible adicional obtenido**

Tipo de calle de rodaje	Tren Dual Típico (D)	Tren Dual Típico (2D)	Tren Triple Dual Típico Tandem (3D)
P/C	3.6	1.8	1.4
P/TC - Paralelo	1	1	1
P/TC - Central	2	2	2
TC/C - Paralelo	3.6	1.8	1.4
TC/C - Central	1.8	0.9	0.7

La Tabla A1-3 muestra las relaciones típicas para pavimentos rígidos cuando el combustible no se obtiene en el aeropuerto, mientras que la Tabla A1-4 muestra la misma información para el caso en que el combustible se dispensa en el aeropuerto. Se puede ver la misma comparación anterior en la cual se observa que existen diferentes números de ciclos de tráfico dependiendo de la configuración geométrica de las calles de rodaje, sin embargo a diferencia del ejemplo con pavimento flexible la relación de ciclos de tráfico con respecto a los esfuerzos por la carga no es muy sensible a la configuración del tren de aterrizaje. Por ejemplo en las Tablas A1-3 y A1-4 se observa que los trenes de aterrizaje dual y tandem dual tienen la misma relación TC/C, mientras que el tren tipo tandem triple dual es apenas un poco diferente. El efecto de esto es que para la misma configuración de calles de rodaje y situación de carga de combustible, el nivel de repeticiones de carga por ciclo de tráfico en un pavimento rígido es virtualmente el mismo independientemente de la configuración del tren de aterrizaje.

**TablaA1-3. TC /C Ratio de pavimentos rígidos-No combustible adicional obtenido**

Tipo de calle de rodaje	Tren Dual Típico (D)	Tren Dual Típico (2D)	Tren Triple Dual Típico Tandem (3D)
P/C	3.6	3.6	4.2
P/TC - Paralelo	2	2	2
P/TC - Central	3	3	3
TC/C - Paralelo	1.8	1.8	2.1
TC/C - Central	1.2	1.2	1.4

**Cuadro A1-4. TC /C Ratio de pavimentos rígidos-de combustible adicional obtenido**

Tipo de calle de rodaje	Tren Dual Típico (D)	Tren Dual Típico (2D)	Tren Triple Dual Típico Tandem (3D)
P/C	3.6	3.6	4.2
P/TC - Paralelo	1	1	1
P/TC - Central	2	2	2
TC/C - Paralelo	3.6	3.6	4.2

TC/C - Central

1.8

1.8

2.1

### CA3. TRAFICO EQUIVALENTE BASADO EN EL TIPO DE TREN DE ATERRIZAJE.

Para completar el cálculo del tráfico equivalente primero deben convertirse a aeronave críticas el resto de las aeronaves significativas en la composición del tráfico del aeropuerto, en términos de tipo de tren de aterrizaje y ciclos de tráfico, ya que estas deben contabilizarse para el diseño general de la vida útil del pavimento. Luego, los tipos de tren deben su vez convertirse en su equivalente a la aeronave crítica en términos de magnitud de carga. La aeronave crítica es la que regularmente utiliza el pavimento y que posee el mayor requerimiento de espesor, basado en sus características operacionales individuales.

#### Cuadro A1-5. Factores de conversión para convertir de un tipo a otro tren de aterrizaje

Para Convertir desde un tren Típico (N)	Para tren Típico (M)	Múltiple ciclos de Trafico
S	D	0.80
S	2D	0.51
S	3D	0.33
D	S	1.25
D	2D	0.64
D	3D	0.41
2D	S	1.95
2D	D	1.56
2D	3D	0.64
3D	S	3.05
3D	D	2.44
3D	2D	1.56
2D/2D2	D	1.56
2D/2D2	2D	1.00

La ecuación general para esta conversión es:

$$0.8^{M-N} \quad \text{(Ecuación A1-2)}$$

#### Dónde:

M= Número de ruedas del tren de aterrizaje principal de la aeronave crítica

N= Número de ruedas del tren de aterrizaje de la aeronave convertida.

Las Tablas A1-6 y A1-7 muestran ejemplos del uso de los factores de conversión de tren de aterrizaje. La Tabla A1-6 muestra las equivalencias de tren para el tipo doble tándem (2D) en una composición de tráfico dada, mientras que la A1-7 muestra lo mismo para el tren tipo dual (D). Los totales de ciclos de tráfico se muestran para efectos comparativos únicamente y no son necesariamente para el cálculo de la aeronave crítica. Como puede verse de la comparación de estos totales, la selección de la aeronave crítica es muy importante para el proceso general de evaluación en el que una escogencia incorrecta nos llevaría a un número equivocado de ciclos de tráfico equivalente. Esto es evidente en la Tabla A1-6 donde el total

general de ciclos de tráfico es de 15,200, comparado con el total equivalente para los ciclos de tráfico de tándem dual de 12,632, mientras que el total equivalente de ciclos de tráfico dual es de 19,970.

**Cuadro A1-6. Equivalencia de conversión a un tipo de engranajes de doble tándem (2D)**

Aeronave	Tren Típico	Ciclo de tráfico anual (TC)	Factor de Conversión	Total Equivalente (2D) TC
727-200	D	400	0.64	256
737-300	D	6,000	0.64	3840
A319-100	D	1,200	0.64	768
B747-400	2D/2D2	3,000	1.0	3,000
B767-200ER	2D	2,000	1.0	2,000
DC8-63	2D	800	1.0	800
A300-B4	2D	1,500	1.0	1,500
B777-200	3D	300	1.56	468
		15,200		12,632

**Cuadro A1-7. Equivalencia de conversión a una velocidad doble (D) Tipo**

Aeronave	Tren Típico	Ciclo de tráfico anual (TC)	Factor de Conversión	Total Equivalent e (2D) TC
727-200	D	400	1.0	400
737-300	D	6,000	1.0	6,000
A319-100	D	1,200	1.0	1,200
B747-400	2D/2D2	3,000	1.56	4,680
B767- 200ER	2D	2,000	1.56	3,120
DC8-63	2D	800	1.56	1,248
A300-B4	2D	1,500	1.56	2,340
B777-200	3D	300	2.44	732
		15,200		19,720

#### **CA4. TRAFICO EQUIVALENTE BASADO EN LA MAGNITUD DE LA CARGA.**

Después de que hemos agrupado las aeronaves en la misma configuración de tren de aterrizaje, es necesario determinar el total de ciclos de tráfico equivalentes en cada aeronave en términos de la aeronave crítica basado en la magnitud de la carga relativa. De la misma forma que en el procedimiento de conversión del tipo de tren (párrafo 1.2) este paso requiere seleccionar primero la aeronave crítica.

Cuando calculamos el tráfico equivalente de la aeronave crítica basados en la magnitud de la carga se requiere considerar ciertas reglas de simplificación:

- Para el cálculo de los ciclos de tráfico equivalentes generalmente es suficiente utilizar cargas de rueda única con el 95% del peso bruto de la aeronave sobre el tren de aterrizaje principal.
- Como es difícil determinar los pesos operacionales actuales o proyectados, la DGAC recomienda utilizar para el cálculo los máximos pesos de taxeo para cada aeronave.

Después de que los tipos de tren de aterrizaje de la mezcla de tráfico son convertidos al de la aeronave crítica (Párrafo 1.2), los ciclos de tráfico de cada aeronave deben ser convertidos al tráfico equivalente de la aeronave crítica. Esta conversión aborda el efecto de la magnitud de la carga de las ruedas y puede ser calculada aplicando la ecuación A1-3:

$$\text{Log}R_1 = \text{Log}R_2 + \frac{\sqrt{W_1}}{\sqrt{W_2}} \quad \text{ó} \quad R_1 = (R_2) \sqrt{\frac{W_2}{W_1}} \quad (\text{Ecuación A1-3})$$

Donde:

- $R_1$  = Tráfico equivalente de la aeronave crítica
- $R_2$  = Ciclos de tráfico de una aeronave dada expresado en términos del tren de aterrizaje de la aeronave crítica.
- $W_1$  = Carga de rueda de la aeronave crítica.
- $W_2$  = Carga de rueda de la aeronave en cuestión.

La Tabla A1-8 muestra la manera en que los cálculos de arriba se combinan para determinar los ciclos de tráfico equivalente de la aeronave crítica. Para este ejemplo asuma que el B747-400 es la aeronave crítica. Como puede observarse los 3,000 ciclos anuales del B747-400 han aumentado a un equivalente de 7,692 debido a efecto combinado del tráfico de las otras aeronaves. La columna  $R_2$  proviene de la Tabla A1-6.

**Cuadro A1-8. Ciclos equivalente tráfico en función de magnitud de la carga**

Aeronave	Peso Operativo lb	( $W_2$ ) Carga en una sola rueda lb	( $R_2$ ) (2D) TC	( $W_2/W_1$ ) <sup>1/2</sup> Relación de la rueda de carga	( $R_1$ ) Equivalente B747-400 TC
727-200	185,000	43,938	256	0.95	194
737-300	130,000	30,875	3,840	0.796	716
A319-100	145,000	34,438	768	0.841	268
B747-400	820,000	48,688 ( $W_1$ )	3,000	1.000	3,000 (Aeronave Critica)
B767-200ER	370,000	43,938	2,000	0.950	1,368
DC8-63	330,000	39,188	800	0.897	403
A300-B4	370,000	43,938	1,500	0.950	1,041
B777-200	600,000	47,500	468	0.988	434
			12,632		7,424

Observe que un factor sensible en esta tabla es la carga de una sola rueda y su relación con la carga de una sola rueda de la aeronave crítica. Cualquier cambio en la magnitud de la carga de una sola rueda se refleja en la relación de carga de rueda que se utiliza como exponente en el cálculo de los ciclos de tráfico equivalente. Por ejemplo el tráfico equivalente del 727-200, se observa que disminuye de 256 a 194. Por otro lado el tráfico equivalente del 777-200 disminuye de 468 a 434 debido a la magnitud relativa de las cargas de una sola rueda

Firmas de Autorización **Inspector Seguridad Operación**

Elaborado por:

**CARLOS CARDELLA PEPE**

**Adm VC 2**

**Magdalena Pérez**  
Secretaría Navegación Aérea



Revisado por:

Aprobado por:

Firma y Fecha de Aprobación:

**DIRECTOR DE NAVEGACION AEREA**

**TTE. CNEL. (Av.)**

**PEDRO CARDELLA**

**08 ENE. 2018**

Fecha de entrada en vigencia:

X Desde fecha de aprobación

A partir de

**08 ENE. 2018**



Como obtener esta publicación:

En el Departamento de Servicios Aeroportuarios e Infraestructura Aeronáutica  
A través de la página Web de DINACIA