

## **CA/AGA-DVSO No. 28**

### **CIRCULAR DE ASESORAMIENTO PARA EL MÉTODO ESTANDARIZADO DE NOTIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA DE PAVIMENTOS AEROPORTUARIOS - PCR**

#### **Contenido**

<b>1. PROPÓSITO DE ESTA CIRCULAR DE ASESORAMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. QUE CANCELA ESTA CA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. A QUIEN AFECTA ESTA CA.....</b>	<b>3</b>
<b>4. ACRÓNIMOS.....</b>	<b>4</b>
<b>5. FECHA DE ENTRADA EN VIGOR .....</b>	<b>4</b>
<b>6. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>6.1. Alcance.....</b>	<b>5</b>
<b>6.2. Desarrollo de un método estandarizado.....</b>	<b>5</b>
<b>6.3. Aplicación .....</b>	<b>5</b>
<b>6.4. Limitaciones del Sistema ACR-PCR.....</b>	<b>5</b>
<b>7. DETERMINACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE .....</b>	<b>6</b>
<b>7.1. Determinación del ACR.....</b>	<b>6</b>
<b>7.2. Categoría de la subrasante.....</b>	<b>6</b>
<b>7.3. Frecuencia operativa .....</b>	<b>6</b>
<b>7.4. ACR rígido y flexible.....</b>	<b>6</b>
<b>7.5. Cálculo de ACR .....</b>	<b>7</b>
<b>7.6. Variables involucradas en la determinación de los valores de ACR.....</b>	<b>7</b>
<b>8. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ACR Y PCR .....</b>	<b>8</b>
<b>8.1. Modelos matemáticos.....</b>	<b>8</b>
<b>8.2. OACI-ACR 1.3 y FAARFIELD 2.0 .....</b>	<b>8</b>
<b>8.3. FAARFIELD 2.0 .....</b>	<b>8</b>
<b>8.4. Biblioteca externa de aeronaves.....</b>	<b>8</b>
<b>8.5. Cómo se determinan los ACR .....</b>	<b>9</b>
<b>9. DETERMINACIÓN DEL VALOR NUMÉRICO DE PCR .....</b>	<b>19</b>
<b>9.1. Concepto PCR.....</b>	<b>19</b>
<b>9.2. Determinación del valor numérico PCR.....</b>	<b>19</b>
<b>9.3. Uso del método de la aeronave para determinar el PCR.....</b>	<b>19</b>
<b>9.4. Método de evaluación técnica para determinar el PCR.....</b>	<b>20</b>
<b>9.5. Notificación del PCR.....</b>	<b>24</b>
<b>10. APÉNDICE 01. TRÁFICO EQUIVALENTE.....</b>	<b>27</b>
<b>10.1. Tráfico equivalente.....</b>	<b>27</b>

10.2.	Terminología de tráfico equivalente .....	27
11.	APÉNDICE 02. EJEMPLOS DE DETERMINACIÓN DEL PCR.....	31
11.1.	El método de la aeronave en uso.....	31
11.2.	Uso de ejemplos de aeronaves para pavimentos flexibles .....	32
11.3.	Ejemplo del método de la aeronave en uso para pavimentos rígidos.....	34
11.4.	El método de evaluación técnica .....	35
11.5.	Evaluación técnica para pavimentos flexibles.....	35
11.6.	Ejemplo de evaluación técnica para pavimentos flexibles .....	36
11.7.	Evaluación técnica para pavimentos rígidos .....	45
11.8.	Ejemplo de evaluación técnica para pavimentos rígidos .....	46
12.	APÉNDICE 03. EVALUACIÓN DE LA SOBRECARGA DEL PAVIMENTO POR EL SISTEMA ACR-PCR.....	54
12.1.	Guía de evaluación de la sobrecarga de pavimento de la OACI .....	54
12.2.	Guía para sobrecarga .....	54
13.	APÉNDICE 04. NOTIFICACIÓN DE CAMBIOS EN DETERMINADOS ELEMENTOS DE LOS DATOS DE LA PISTA .....	56
13.1.	Peso bruto permitido.....	56
13.2.	Clasificación de pavimentos (PCR).....	56
14.	APÉNDICE 05. MATERIAL DE LECTURA RELACIONADO .....	57
15.	AUTORIZADO .....	57

DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL

## **1. PROPÓSITO DE ESTA CIRCULAR DE ASESORAMIENTO**

- a) La presente circular tiene el propósito de brindar asesoramiento para la presentación de informes sobre la resistencia del pavimento de la pista, la calle de rodaje y la plataforma de acuerdo con los métodos estandarizados de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

## **2. QUE CANCELA ESTA CA**

- a) Por ser la primera versión de la metodología, esta circular no cancela ningún documento anterior.

## **3. A QUIEN AFECTA ESTA CA**

- a) Aeródromos internacionales certificados y en proceso de certificación.
- b) La aplicación de esta CA es voluntaria, y constituye por sí misma un material de guía para la aplicación del Método Estandarizado de Notificación de la Resistencia del Pavimento Aeroportuario -PCR-. Los estándares y procesos contenidos en esta CA son especificaciones que se consideran esenciales para el informe de la resistencia del pavimento.



#### 4. ACRÓNIMOS

<b>2D</b>	Tren de aterrizaje tándem dual	<b>FAARFIELD</b>	Software de Diseño de por Capa Elástica Iterativa Rígida y Flexible de la FAA
<b>2D/2D</b>	Tren de aterrizaje múltiple de doble tándem	<b>HMA</b>	Mezcla Asfáltica en Caliente (Hot Mix Asphalt)
<b>ACAP</b>	Manual de Características de Aeronave para la Planificación Aeroportuaria	<b>HWD</b>	Deflectómetro de peso pesado
<b>ACN</b>	Número de Clasificación de Aeronaves	<b>OACI</b>	Organización de la Aviación Civil Internacional
<b>ACR</b>	Índice de Clasificación de Aeronaves	<b>LEA</b>	Análisis elástico en capas
<b>ASTM</b>	Norma ASTM Internacional	<b>MAGW</b>	Peso Máximo Bruto Admisible
<b>CA</b>	Circular de Asesoramiento	<b>P/TC</b>	Relación de pasadas entre ciclos de tráfico
<b>CBR</b>	Relación de Capacidad de Carga de California	<b>PCC</b>	Concreto de Cemento Portland (también Concreto de Cemento Hidráulico)
<b>CDF</b>	Factor de daño acumulativo	<b>PCN</b>	Número de Clasificación de Pavimentos
<b>D</b>	Tren de aterrizaje de doble rueda	<b>PCR</b>	Índice de Clasificación de Pavimentos
<b>DSWL</b>	Carga Derivada de Rueda Única	<b>S</b>	Tren de aterrizaje de una sola rueda
<b>E</b>	Módulo elástico o Módulo de Elasticidad	<b>SCI</b>	Índice de condición estructural SCI
<b>FAA</b>	Administración Federal de Aviación de la Aviación de Estados Unidos		

#### 5. FECHA DE ENTRADA EN VIGOR

- a) DGAC recomienda las pautas y especificaciones en esta CA para informar la resistencia del pavimento del aeropuerto utilizando la clasificación estandarizada de aeronaves: Método de clasificación de pavimentos (ACR-PCR) para todas las pistas pavimentadas, calles de rodaje y plataformas en todos los aeropuertos.
- b) OACI y la RAC 14.111 requiere que a todas las pistas pavimentadas de uso público en los aeropuertos certificados se les asignen datos de peso bruto y PCR antes del 28 de noviembre de 2024.

## 6. INTRODUCCIÓN

### 6.1. Alcance

- a) La Enmienda 15 al Anexo 14 del Convenio de Aviación Civil Internacional, Aeródromos, exige a los Estados miembros que publiquen información sobre la resistencia de todos los pavimentos de aeropuertos de uso público en su propia publicación de información aeronáutica.

### 6.2. Desarrollo de un método estandarizado

- a) La OACI estableció un Grupo de Estudio para investigar la actualización del método internacional de notificación de las resistencias del pavimento. El grupo de estudio elaboró, y la OACI adoptó con la enmienda 15 del anexo 14, el método del Índice de Clasificación de Aeronaves-Índice de Clasificación de Pavimentos (ACR-PCR). Utilizando este método, es posible expresar el efecto de una aeronave individual en diferentes pavimentos con un número único, la Clasificación de Aeronaves (ACR). El ACR varía según el peso y la configuración de la aeronave (por ejemplo, la presión de los neumáticos, la geometría del tren de aterrizaje, etc.), el tipo de pavimento y la resistencia de la subrasante. Por el contrario, la capacidad de carga de un pavimento se puede expresar mediante un solo número único, el Índice de Clasificación de Pavimento (PCR), sin especificar una aeronave en particular o información detallada sobre la estructura del pavimento.
- b) Definición de ACR: Es un número que expresa el efecto relativo de una aeronave en una configuración dada sobre una estructura de pavimento para una resistencia de subrasante estándar especificada.
- c) Definición de PCR: Es un número que expresa la capacidad de carga de un pavimento para operaciones sin restricciones.
- d) Metodología del sistema: El sistema ACR-PCR está estructurado para que un pavimento con un valor PCR particular pueda soportar una aeronave que tenga un valor ACR igual o menor que el valor PCR del pavimento. Esto es posible porque los valores de ACR y PCR se calculan utilizando la misma base técnica.

### 6.3. Aplicación

- a) El uso del método estandarizado de informar la resistencia del pavimento se aplica solo a los pavimentos en aeropuertos de uso público con resistencias de rodamiento de 12,500 libras (5,700 kg) o más. El método para informar la resistencia del pavimento para pavimentos de menos de 12,500 libras (5,700 kg) es informar solo el peso bruto y la configuración del tren de aterrizaje de la aeronave que se puede acomodar.

### 6.4. Limitaciones del Sistema ACR-PCR

- a) El sistema ACR-PCR solo pretende ser un método que los operadores aeroportuarios pueden utilizar para evaluar las operaciones aceptables de las aeronaves. No pretende ser un procedimiento de diseño o evaluación de pavimentos, ni restringe la metodología utilizada para diseñar o valorar una estructura de pavimento.
- b) No existe una correlación matemática entre el anterior informe de resistencia del pavimento ACN-PCN de la OACI y el nuevo sistema ACR-PCR de la OACI.

## 7. DETERMINACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE

### 7.1. Determinación del ACR

- a) Los fabricantes de aeronaves proporcionan el cálculo oficial de un valor ACR. El cálculo del ACR requiere información detallada sobre las características operativas de la aeronave, como el centro de gravedad máximo, el peso máximo en la rampa, el ancho del tren de aterrizaje y la presión de los neumáticos.

### 7.2. Categoría de la subrasante

- a) El método ACR-PCR adopta cuatro niveles estándar de resistencia de la subrasante para pavimentos rígidos y flexibles. Estas categorías estándar se utilizan para representar una gama de condiciones como se muestra en la Tabla 7-1.

Categoría de resistencia de la de subrasante	Soporte de la subrasante E (módulo de elasticidad) psi (MPa)	Representatividad del E (módulo de elasticidad) psi (MPa)	Designación de código
Alto	29,008 (200)	$E \geq 21,756$ ( $\geq 150$ )	A
Medio	17,405 (120)	$E \geq 14,504 < 21,756$ ( $\geq 100 < 150$ )	B
Bajo	11,603 (80)	$E \geq 8,702 < 14,504$ ( $\geq 60 < 100$ )	C
Ultra bajo	7,252 (50)	$E < 8,702$ ( $< 60$ )	D

**Tabla 7-1. Condiciones estándar de Subrasante para el cálculo del ACR**

### 7.3. Frecuencia operativa

- a) La frecuencia operativa se define en términos de interacciones de carga que representan una aplicación de carga completa en un punto específico del pavimento. Las aeronaves rara vez viajan en un camino perfectamente recto o a lo largo de la misma ruta. Las interacciones están modeladas por una distribución normal estadística que tiene en cuenta el desplazamiento de los aviones. Puede tomar varios pases a lo largo del pavimento para que un punto específico en el pavimento reciba una aplicación de carga completa de la aeronave. Es fácil observar el número de pasadas que una aeronave puede hacer en un pavimento dado, pero el número de pasadas debe derivarse matemáticamente en función de una relación de paso-a-interacción establecida para cada aeronave.

### 7.4. ACR rígido y flexible

- a) Para pavimentos rígidos y flexibles, los requisitos de soporte del tren de aterrizaje de una aeronave están determinados por el "método de capa elástica" para cada categoría de soporte de la subrasante.



### 7.5. Cálculo de ACR

- a) Utilizando los parámetros definidos para cada tipo de sección de pavimento, se calcula matemáticamente una única carga de rueda derivada para definir la interacción tren de aterrizaje/pavimento. La carga rueda única derivada, implica esfuerzos iguales sobre la estructura del pavimento y elimina la necesidad de especificar el espesor del pavimento para fines comparativos. Esto se logra equiparando el espesor derivado para el tren de aterrizaje de una aeronave determinada con el espesor derivado para la carga de una sola rueda a una presión estándar de los neumáticos de 218 psi (1.50 MPa). El ACR se define como dos veces la carga derivada de una sola rueda (expresada en centenas de kilogramos).

### 7.6. Variables involucradas en la determinación de los valores de ACR

- a) Debido a que las aeronaves pueden ser operadas en varias combinaciones de peso y centro de gravedad, la OACI adoptó condiciones de operación estándar para determinar los valores de ACR. Los fabricantes de aeronaves publican información sobre el peso máximo y el centro de gravedad en el Manual de Características de los Aviones para la Planificación Aeroportuaria (ACAP). El ACR se determina en la combinación de peso y centro de gravedad que crea el valor máximo de ACR. Se supone que las presiones de los neumáticos son las recomendadas por el fabricante para las condiciones señaladas.
- b) Para estandarizar el cálculo de ACR para un pavimento flexible, la carga de una sola rueda derivada se calcula a una presión constante de 218 psi (1.50 Mpa) en relación con un espesor total  $t$  calculado para 36,500 pasadas de la aeronave.
- c) Para estandarizar los cálculos ACR para pavimentos rígidos, se estipula un esfuerzo estándar de  $\sigma = 399$  psi (2.75 Mpa). Hay que tomar en cuenta que el esfuerzo de trabajo utilizado para el diseño de pavimentos no tiene relación con el esfuerzo estándar utilizado para los informes de resistencia del pavimento.

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

## 8. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ACR Y PCR

### 8.1. Modelos matemáticos

- a) El modelo matemático utilizado en el método ACR-PCR es el Análisis de Capa Elástica (LEA). El modelo LEA asume que la estructura del pavimento, ya sea flexible o rígida, puede representarse mediante capas homogéneas, elásticas e isotrópicas dispuestas como una pila. Cada capa  $i$ , en el sistema se caracteriza por un módulo de elasticidad  $E_i$ , la relación de Poisson  $\nu_i$ , y el espesor uniforme de la capa  $t_i$ . Se supone que las capas tienen una extensión horizontal infinita, y se supone también que la capa inferior, o subrasante, se extiende verticalmente hasta el infinito (es decir, la subrasante se modela como un semiespacio elástico). Debido a la naturaleza elástica lineal del modelo, cargas de rueda individuales se pueden sumar para obtener las respuestas combinadas de esfuerzo-deformación ante la carga compleja de un tren de aterrizaje de múltiples ruedas. El uso del modelo LEA permite la correlación con los métodos de diseño de pavimentos en todo el mundo.

### 8.2. OACI-ACR 1.3 y FAARFIELD 2.0

- a) Para facilitar el uso del sistema ACR-PCR, la FAA desarrolló una aplicación de software, ICAO-ACR 1.3, que calcula los valores de ACR utilizando los procedimientos y condiciones especificados por la OACI y puede utilizarse para determinar los valores de PCR siguiendo los procedimientos de esta CA. La aplicación está incluida dentro de FAARFIELD 2.0 el programa de diseño de pavimentos de la FAA.
- b) Estos programas de dominio público ICAO-ACR y FAARFIELD están disponibles en: [https://www.faa.gov/airports/engineering/design\\_software/](https://www.faa.gov/airports/engineering/design_software/)

### 8.3. FAARFIELD 2.0

- a) FAARFIELD 2.0 contiene una biblioteca interna de aeronaves que cubre un conjunto de los grandes aviones comerciales y militares actualmente en operación. La biblioteca interna se basa en la información de la aeronave proporcionada directamente por los fabricantes u obtenida de los manuales ACAP. Las características predeterminadas de las aeronaves en la biblioteca interna representan las condiciones estándar de la OACI para el cálculo del ACR. Estas características incluyen el centro de gravedad en la posición máxima de popa para cada aeronave. Los cambios que se hagan en las características de las aeronaves de la biblioteca interna no son permanentes a menos que una aeronave de la biblioteca interna se agregue a una biblioteca externa.

### 8.4. Biblioteca externa de aeronaves

- a) FAARFIELD 2.0 permite crear una biblioteca de aeronaves externa donde se pueden cambiar las características de la aeronave y agregar aeronaves adicionales según se desee. Las funciones permiten a los usuarios modificar las características de una aeronave y guardar la aeronave modificada en la biblioteca externa. No hay salvaguardas en el programa FAARFIELD 2.0 para asegurar que los parámetros de aeronaves en la biblioteca externa sean factibles o apropiados. El usuario es responsable de asegurarse de que todos los datos sean correctos.
- b) Cuando se guarda una aeronave desde la biblioteca interna a la biblioteca externa, el programa FAARFIELD 2.0 calculará el área de contacto del neumático en función de la carga



bruta, el centro de gravedad máximo de popa y la presión de los neumáticos. Este valor se registra en la biblioteca externa y se utiliza para calcular la relación pasada-interacción de carga (P/C) en el modo de espesor del pavimento. Dado que el contacto con el neumático es constante, la relación P/C también es constante en el modo de espesor del pavimento. Esta relación P/C fija se utiliza para convertir pasadas en interacciones de carga para la determinación del espesor del pavimento y operaciones equivalentes de la aeronave.

### 8.5. Cómo se determinan los ACR

a) El Apéndice 2 del Manual de Diseño del Aeródromo de la OACI, Parte 3, Pavimentos, Tercera Edición, proporciona procedimientos para determinar la Clasificación de Aeronaves (ACR). La FAA desarrolló el software ICAO-ACR 1.3 para calcular los ACR de acuerdo con las normas de la OACI. ICAO-ACR 1.3 es utilizado internamente por FAARFIELD 2.0 para calcular los ACR.

b) Pavimentos rígidos ACR:

I. El procedimiento ACR de pavimento rígido relaciona la carga derivada en una sola rueda a una presión constante de los neumáticos de 218 psi (1.50 MPa) con un espesor de losa de hormigón de referencia  $t$ . Tiene en cuenta las categorías de la subrasante detalladas en el párrafo 2.2 y utiliza una resistencia del hormigón estándar de 399 psi (2.75 Mpa). Debemos tener en cuenta que, debido a que se utiliza una resistencia de concreto estándar, no se necesita información sobre la resistencia a la flexión del pavimento o el número de interacciones de carga para el cálculo de ACR en pavimento rígido.

II. Los siguientes pasos se utilizan para determinar el ACR rígido de una aeronave:

i. Estructura de pavimento de referencia:

1. Utilizando los datos de requisitos de pavimento publicados por el fabricante, se obtiene el espesor de referencia  $t$  para una masa de aeronave dada, el valor de  $E$  de la subrasante y la resistencia estándar de concreto para la notificación, es decir, 399 psi (2.75 Mpa). Se utiliza entonces la sección transversal que se muestra en la Tabla 7-1 para el modelo LEA para las cuatro categorías de subrasante.

Descripción de la capa	Designación	Espesor, en (mm)	E, psi (MPa)	v
Capa de Superficie (PCC)	Capa 1	variable	4,000,000 (27,579)	0.15
Capa de base (agregado triturado)	Capa 2	7.9 (200)	72,519 (500)	0.35
Subrasante	Capa 3	infinito	Párrafo <a href="#">6.2 Categoría de la subrasante</a> Tabla 7-1	0.40

**Tabla 8-1. Estructura de pavimento de referencia para ACR rígido**

2. El espesor mínimo permitido de la Capa 1 en el modelo LEA es de 2 pulgadas (50.8 mm). Los cálculos LEA asumen además que la interfaz horizontal entre la Capa 1 y la Capa 2 no produce unión entre ellas (deslizamiento completo), y que la interfaz horizontal entre la capa 2 y Capa 3 es de enlace completo, es decir, están unidas mecánicamente.
  3. Dentro del modelo LEA, el esfuerzo  $\sigma$  es el esfuerzo horizontal máximo calculado en la parte inferior de la Capa 1 (la capa de hormigón de cemento hidráulico).
- ii. Tren de aterrizaje de evaluación:
2. El valor ACR se calcula para una sola configuración del conjunto del tren de aterrizaje principal (es decir, para 2 ruedas en un conjunto dual o D, 4 ruedas en un conjunto dual-tándem, o conjunto 2D, etc.).
  3. Para tipos de tren de aterrizaje más complejos con más de 2 grupos de ruedas (es decir, que tienen una designación en la Orden 5300.7 de la FAA, Convención de nomenclatura estándar para configuraciones de tren de aterrizaje de aeronaves, que consta de más de dos caracteres, Ver Figura 8.1), el conjunto individual en el tren principal con el ACR rígido más grande determina el ACR rígido para esa aeronave. Todas las configuraciones se evalúan en la masa y centro de gravedad que produce la mayor carga total del tren de aterrizaje principal sobre el pavimento.

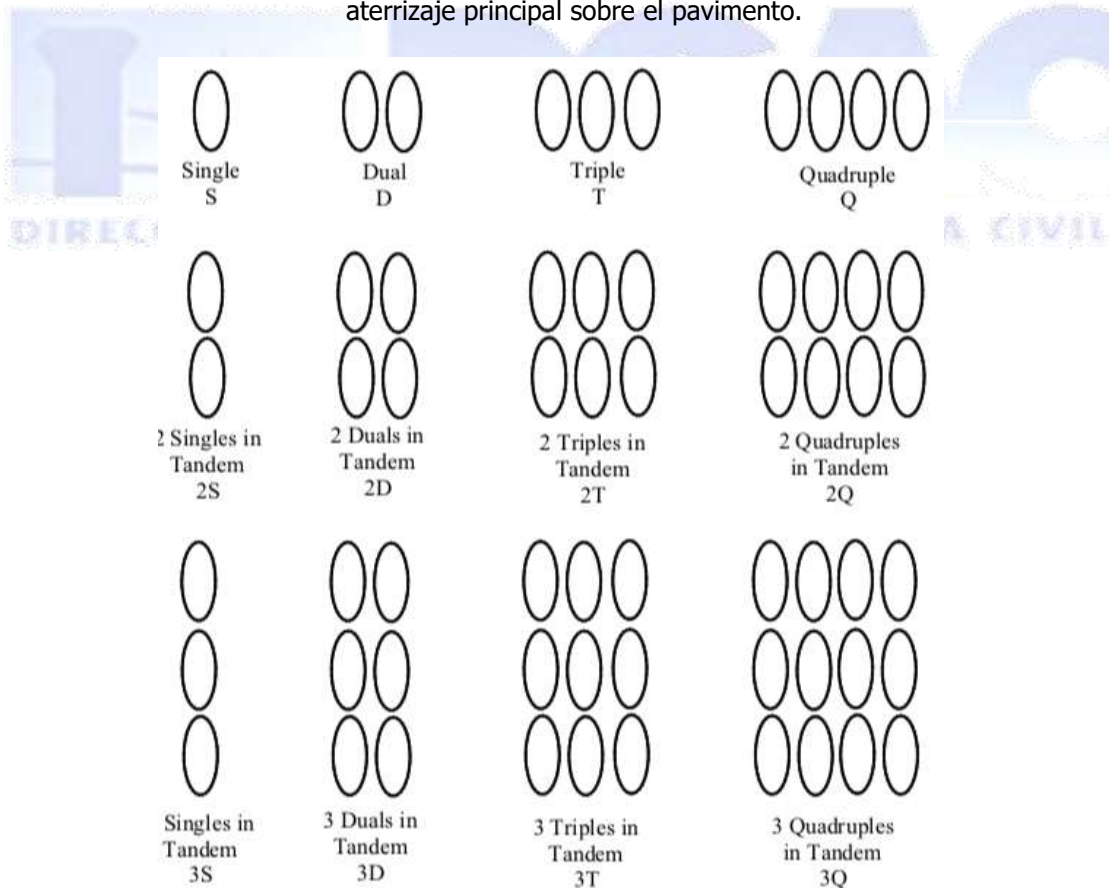


Figura 8.1. Configuraciones genéricas de trenes de aterrizaje

iii. Puntos de evaluación de esfuerzos:

1. El número de puntos de evaluación LEA es igual al número de ruedas del tren en evaluación. Los puntos de evaluación se encuentran en la parte inferior de la Capa 1, debajo del punto central de cada rueda. El espesor  $t$  de la capa 1 se ajusta iterativamente hasta que el esfuerzo máximo obtenido sobre todos los puntos de evaluación sea igual a 399 psi (2.75 MPa). La  $t$  resultante es el espesor de referencia para el ACR.

iv. Cálculo DSWL (Carga derivada en rueda única)

1. Utilizando el espesor de referencia anterior y el mismo modelo LEA que se muestra en la Tabla 8-1, calcula una carga derivada de rueda única (DSWL) para la subrasante seleccionada. Manteniendo una presión constante de los neumáticos de 218 psi (1.50 MPa), ajusta la magnitud de la carga de una sola rueda hasta que el esfuerzo horizontal máximo en la parte inferior de la Capa 1 sea igual a 399 psi (2.75 MPa). Para la evaluación de los esfuerzos bajo la carga de una sola rueda, usa un punto de evaluación ubicado en la parte inferior de la Capa 1, directamente debajo del centro de la rueda.

v. Cálculo DSWL modificado para aviones ligeros:

1. Para algunas aeronaves ligeras, el espesor de referencia requerido  $t$  es inferior al espesor mínimo permitido. Utilice los siguientes pasos modificados para calcular DSWL cuando el espesor teórico de la capa 1 que hace que la tensión máxima sea igual a 399 psi (2.75 MPa) sea inferior a 2 pulgadas (50.8 mm).
  - a. Determine el valor del esfuerzo (inferior a 399 psi (2.75 MPa)) correspondiente al espesor mínimo de hormigón permitido de 2 pulgadas (50.8 mm).
  - b. Calcule DSWL para la subrasante seleccionada utilizando el espesor mínimo de hormigón de 2 pulgadas (50.8 mm) de la estructura de referencia. Manteniendo una presión constante de los neumáticos de 218 psi (1.50 MPa), la magnitud de la carga de una sola rueda se ajusta hasta que la tensión horizontal máxima en la parte inferior de la Capa 1 sea igual al valor de tensión determinado utilizando el espesor mínimo.

vi. Cálculo del ACR:

1. El Índice de Clasificación de la Aeronave (ACR), para la masa y subrasante seleccionada, es dos veces la carga derivada de una sola rueda en 100 kg. El valor numérico de ACR puede redondearse al múltiplo más cercano de diez para la notificación.

c) Pavimentos flexibles:

- I. El procedimiento ACR para pavimento flexible relaciona la carga derivada de una sola rueda a una presión constante de los neumáticos de 218 psi (1.50 MPa) con un espesor total de referencia  $t$  calculado para 36,500 pasadas de la aeronave. Tiene en cuenta las cuatro categorías de subrasante descritas.

- i. Estructura de pavimento de referencia:
1. El sistema ACR-PCR debe cubrir una amplia gama de aeronaves que pesan desde unas pocas hasta varios cientos de toneladas. Se han elegido estructuras de referencia para producir espesores apropiados para las categorías de subrasante estándar y para el rango de pesos de aeronaves utilizados. La determinación de las estructuras de referencia para el cálculo en pavimento flexible del ACR consiste en definir los materiales y las propiedades constitutivas de las diversas capas. Todas las capas están definidas por: Módulo elástico  $E$ , relación de Poisson  $\nu$ , y (excepto para la capa de diseño) el espesor. Los cálculos LEA asumen que todas las interfaces horizontales entre capas están completamente unidas. En las tablas siguientes se definen las estructuras de referencia que se utilizarán para calcular el ACR en pavimento flexible.

Descripción de la capa	Espesor, Pulg. (mm)	$E$ , psi (MPa)	$\nu$
Capa de superficie (asfalto)	3 (76)	200,000 (1,379)	0.35
Capa de base (agregado triturado)	Variable	Párrafo <a href="#">iiMódulo de capa base:</a>	0.35
Subrasante	infinito	Párrafo <a href="#">6.2Categoría de la subrasante</a> Tabla 7-1	0.35

**Tabla 8-2a. Estructura de referencia para ACR flexible (aeronave equipada con 2 o menos ruedas en todas las patas del tren de aterrizaje principal)**

Descripción de la capa	Espesor, Pulg. (mm)	$E$ , psi (MPa)	$\nu$
Capa de superficie (asfalto)	5 (127)	200,000 (1,379)	0.35
Capa de base (agregado triturado)	Variable	Párrafo <a href="#">iiMódulo de capa base:</a>	0.35
Subrasante	infinito	Párrafo <a href="#">6.2Categoría de la subrasante</a> Tabla 7-1	0.35

**Tabla 8-2b. Estructura de referencia para ACR flexible (aeronave equipada con más de 2 ruedas en cualquier tramo del tren de aterrizaje principal)**

2. En el modelo LEA, el espesor mínimo permitido de la capa variable (capa de base) es de 1 pulgada (25.4 mm). Debido al número intencionalmente limitado de estructuras de referencia, los espesores de capa calculados pueden no ser realistas en los extremos del rango de pesos de la aeronave. Sin embargo, esto no invalida el concepto de ACR, en el que  $t$  es un indicador relativo en lugar de la base para un diseño práctico.

ii. Módulo de capa base:

1. Todas las estructuras de pavimento flexible de referencia incluyen una capa de espesor variable por encima de la subrasante, que representa una capa base de agregado triturado. El módulo de elasticidad  $E$  de la capa de espesor variable no se fija en el procedimiento ACR, sino que es una función del espesor y del módulo de elasticidad de la subrasante. Dentro del modelo LEA, la capa de base se subdivide en pequeñas subcapas y luego se asigna un valor de módulo a cada subcapa utilizando un procedimiento iterativo como se explica a continuación. Los valores de módulo se asignan a las subcapas siguiendo el procedimiento del programa informático FAARFIELD (versión 2.0) de la FAA, para el artículo P-209 (agregado triturado). Los pasos en el procedimiento son los siguientes:

- a. Paso 1: Determine el número de subcapas  $N$ . Si el espesor de la capa base  $t_B$  es inferior a 15 pulgadas (381 mm), entonces  $N = 1$  y no se requiere subcapa. Si  $t_B$  es mayor o igual a 15 pulgadas (381 mm), el número de subcapas será:

$$N = \text{int} \left( \frac{t_B}{254} + 0.5 \right)$$

donde  $t_B$  está en mm, y la función int. devuelve la parte entera del argumento (es decir, redondea hacia abajo al siguiente número entero).

- b. Paso 2: Determine el espesor de cada subcapa. Si  $N = 1$ , entonces el espesor de la subcapa es igual al espesor de la capa base  $t_B$ . Si  $N > 1$ , entonces el grosor de la subcapa inferior  $N - 1$  es de 10 pulgadas (254 mm), y el espesor de la subcapa superior es  $t_B - (N-1) \times 10$  pulgadas (254 mm). Tenga en cuenta que, en general, las subcapas  $N$  no tienen el mismo grosor. Por ejemplo, si el grosor de la capa base es de 26 pulgadas (660 mm), y luego a partir del paso 1, el número de subcapas es 3; las 2 subcapas inferiores serán cada una de 10 pulgadas (254 mm), mientras que la subcapa superior es de 6 pulgadas (152 mm) (26 pulgadas (660 mm) - 2 × 10 pulgadas (254 mm)).
- c. Paso 3: Asigne un valor de módulo  $E$  a cada subcapa. Los valores del módulo aumentan de abajo hacia arriba, lo que refleja el efecto del confinamiento creciente del material agregado. Los valores de módulo vienen dados por la siguiente ecuación:

$$E_n = E_{n-1} * \{1 + [\log_{10}(t_n) - \log_{10}(25.4)] * (c - d * [\log_{10}(E_{n-1}) + \log_{10}(145.037)])\}$$

Dónde:

$E_n$  = el módulo de la subcapa actual en psi (MPa);

$E_{n-1}$  = el módulo de la subcapa inmediatamente debajo de la subcapa actual; o el módulo de la subrasante cuando la subcapa actual es la subcapa



inferior;

$t_n$  = el espesor de la subcapa actual en pulgadas (mm);

$c = 10.52$  (constante);

$d = 2.0$  (constante).

La ecuación anterior se aplica recursivamente comenzando con la subcapa inferior.

- d. Paso 4: El procedimiento de asignación de módulos en el paso 3 debe modificarse para las dos subcapas superiores siempre que  $tB$  sea entre 5 pulgadas (127 mm) y 10 pulgadas (254 mm) mayor que un múltiplo entero de 10 pulgadas (254 mm). Esta modificación asegura que el módulo de todas las subcapas sea una función continua del espesor de la capa, sin discontinuidades. Si  $N > 1$  y  $tB$  excede un múltiplo entero de 10 pulgadas (254 mm) por más de 5 pulgadas (127 mm), pero menor de 10 pulgadas (254 mm), entonces:

i. La subcapa superior (subcapa N) tiene entre 5 pulgadas (127 mm) y 10 pulgadas (254 mm) de espesor, y todas las subcapas debajo de ella (subcapas 1 a N-1) tienen 10 pulgadas (254 mm) de espesor.

ii. Usando la ecuación en el Paso 3, calcule el módulo E que se obtendría para la subcapa N para un espesor de subcapa superior asumido  $t_n$  igual a 10 pulgadas (254 mm).

iii. Calcular el módulo de la subcapa N-1 (es decir, la subcapa inmediatamente debajo de la subcapa superior) utilizando la ecuación del Paso 3, pero sustituyendo  $t_n = 20$  pulgadas (508 mm) -  $tN$ , donde  $tN$  es el espesor real de la subcapa superior en mm.

Calcule el módulo de la subcapa N mediante interpolación lineal entre  $E_{N-1}$  (el módulo de la subcapa N-1) y  $E_{254}$ :

$$E_N = E_{N-1} + (2t_N - 254) * \frac{E_{254} - E_{N-1}}{254}$$

iii. Tren de aterrizaje de evaluación:

1. El valor ACR se calcula utilizando todas las ruedas del tren de aterrizaje principal (las ruedas del tren de aterrizaje de la nariz no están incluidas). Los trenes de aterrizaje principales se evalúan en la masa y centro de gravedad que produce la mayor carga total de tren de aterrizajes principales en el pavimento.

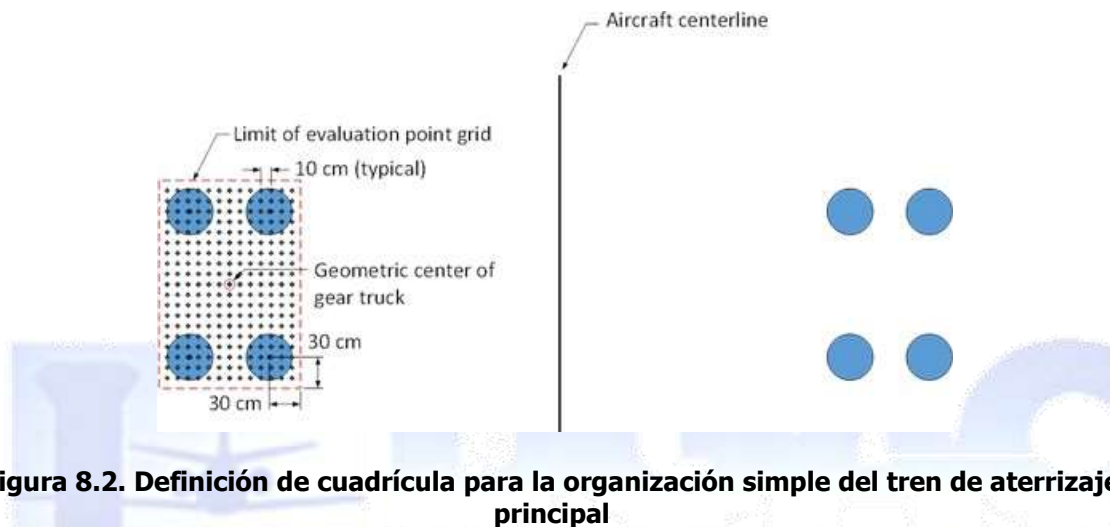
iv. Puntos de evaluación de deformación:

1. Dentro del modelo LEA, la  $\epsilon$  de deformación es la deformación vertical máxima calculada en la superficie superior de la subrasante (capa más baja). En el programa informático ICAO-ACR, las deformaciones se calculan en puntos de evaluación específicos en



función de la geometría del tren de aterrizaje en evaluación. Los puntos de evaluación se colocan directamente debajo del punto central de cada rueda, y en los puntos definidos por una cuadrícula rectangular regular, espaciada a intervalos de 10 cm, y orientada paralelamente a los ejes principales del tren.

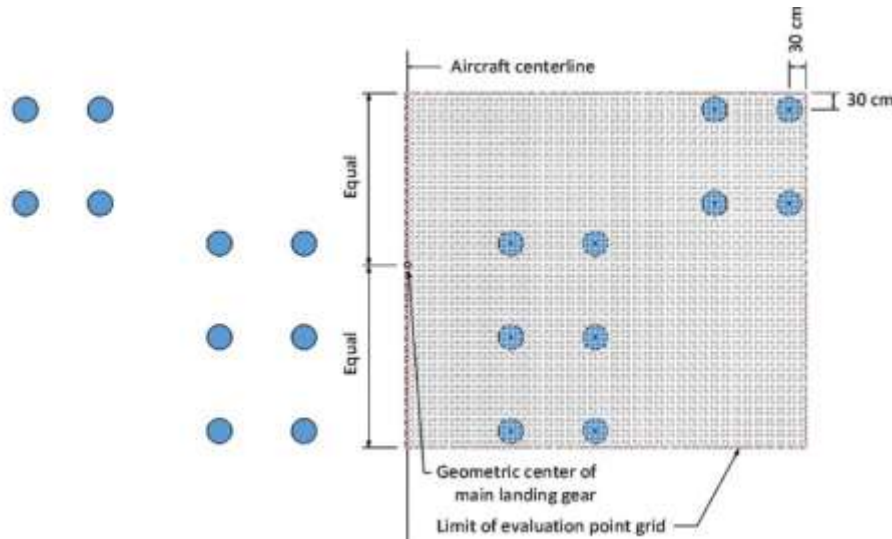
2. Para los trenes de aterrizaje principales simples que consisten en dos grupos (es decir, para 2 ruedas en un conjunto dual o D, 4 ruedas en un conjunto dual-tándem o 2D, etc.), el origen de la cuadrícula se establece en el centro geométrico de un grupo. Los límites de la cuadrícula se extienden 30 cm más allá de las coordenadas máximas de las ruedas en todos los lados del conjunto (Figura 8.2).



**Figura 8.2. Definición de cuadrícula para la organización simple del tren de aterrizaje principal**

3. Para tipos de trenes más complejos con más de dos tándems que comprenden el conjunto principal del tren de aterrizaje (es decir, todas las aeronaves cuya designación de tren consta de más de dos caracteres en la Orden 5300.7 de la FAA, Convención de nomenclatura estándar para configuraciones de tren de aterrizaje de aeronaves Ver Figura 8.1), el origen de la cuadrícula se encuentra en el centro geométrico de todo el conjunto del tren de aterrizaje. Los límites de la cuadrícula se extienden 11,8 pulgadas (30 cm) más allá de las coordenadas máximas de la rueda en todos los lados (Figura 8.3). A los efectos de calcular las coordenadas centrales geométricas, todas las ruedas incluidas deben cargarse por igual, independientemente de las diferentes cargas de las ruedas o presiones de los neumáticos.

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**



**Figura 8.3. Definición de cuadrícula para el tren de aterrizaje principal de aeronaves complejas**

4. La  $\epsilon$  de deformación es el máximo de las deformaciones calculadas para todos los puntos de evaluación.
5. ICAO-ACR detecta automáticamente simetrías dentro de la cuadrícula de puntos de evaluación para reducir el número de cálculos requeridos. En el caso de B787-9, solo se puede calcular la mitad de la cuadrícula de puntos de evaluación debido a la simetría transversal.

v. Modelo de daños:

1. El procedimiento de ACR en pavimento flexible se basa en el criterio de falla de la subrasante asociado con la ley de daños elementales:

$$D_e(\epsilon) = \frac{1}{C_{e(\epsilon)}}$$

2. Esta ley elemental de daños se basa en la noción de ciclo de carga (perfil de deformación de pico único con valor máximo  $\epsilon$ ), que no se puede aplicar a arreglos con ejes en tándem que producen perfiles de deformaciones complejas, posiblemente con múltiples picos de deformación y sin retorno al esfuerzo cero entre picos.
3. Por lo tanto, la ley de daños elementales se extiende a una forma integral continua:

$$D = \int_{x=-\infty}^{x=+\infty} \left\langle \frac{dD_e(x)}{dx} \right\rangle dx$$

4. Donde  $x$  se refiere a la posición longitudinal a lo largo del tren de aterrizaje y  $\langle y \rangle$  a la parte positiva de  $y$ .

vi. Cálculo DSWL (Carga derivada en rueda única):

1. Utilizando los datos de requisitos de pavimento publicados por el fabricante, calcule el espesor de referencia  $t$  para la masa de aeronave dada, el valor  $E$  de la subrasante y 36,500 pasadas de la

aeronave. Utilice la estructura de pavimento de referencia adecuada del Estructura de pavimento de referencia: con los puntos de evaluación descritos en Puntos de evaluación de deformación: El espesor de la capa variable (diseño) se ajusta hasta que el daño calculado a partir de Modelo de daños: es igual a 1.0. El espesor resultante  $t$  es el espesor de referencia para ACR.

2. Utilizando el espesor de referencia anterior y el mismo modelo LEA que en Estructura de pavimento de referencia:, obtenga una carga de rueda única derivada para la subrasante seleccionada. Manteniendo la presión constante de los neumáticos de 218 psi (1.50 MPa), la magnitud de la carga de una sola rueda se ajusta hasta que el daño sea igual a 1.0 para 36,500 pasadas. Para la evaluación de los esfuerzos bajo la carga de una sola rueda, use un punto de evaluación ubicado en la parte superior de la subrasante, directamente debajo del centro de la rueda.

vii. Cálculo DSWL modificado para aviones ligeros:

1. Para algunas aeronaves ligeras, el espesor de referencia requerido  $t$  es inferior al espesor mínimo permitido. Utilice los siguientes pasos modificados para calcular DSWL cuando el grosor teórico de la capa de diseño variable que hace que el daño sea igual a 1.0 para 36,500 pasadas de aeronave, es inferior a 1 pulgada (25.4 mm):
  - a. Determine el valor de la deformación vertical máxima en la parte superior de la subrasante correspondiente al espesor mínimo permitido de la capa de diseño variable de 1 pulgada (25.4 mm).
  - b. Calcule DSWL para la subrasante seleccionada utilizando el espesor mínimo de la estructura de referencia. Manteniendo la presión constante de los neumáticos de 218 psi (1.50 MPa), la magnitud de la carga de una sola rueda se ajusta hasta que el esfuerzo vertical máximo en la parte superior de la subrasante sea igual al valor determinado en [Pavimentos flexibles](#):

d) Cálculo de ACR:

- I. Índice de Clasificación de la Aeronave (ACR), en la categoría de masa y subrasante seleccionada, es dos veces mayor que la DSWL en 100 kg. El valor numérico de ACR puede redondearse al múltiplo más cercano de diez para la notificación.
- II. Las aeronaves normalmente tienen sus neumáticos inflados a la presión correspondiente a la masa bruta máxima sin empuje del motor, y mantienen esta presión independientemente de la variación en las masas de despegue. Sin embargo, hay ocasiones en que las operaciones a masas reducidas, centro de gravedad modificado y/o presión reducida de los neumáticos son productivas y es necesario calcular los ACR reducidos. Para calcular el ACR para estas condiciones, la presión de inflado ajustada de los neumáticos debe introducirse en el campo de entrada dedicado a la OACI-ACR.

e) Utilizando el Programa OACI-ACR para calcular el ACR:

- I. El uso del programa ICAO-ACR para calcular los valores de ACR es visualmente interactivo e intuitivo, véase la Figura 8.4.
  - i. El usuario selecciona:
    1. Tipo de pavimento, flexible o rígido.
    2. Grupo de aviones y Avión (ajustando el peso y el porcentaje de GW si es necesario).
  - ii. Calcular ACR.
    1. Luego, el programa calcula los valores de ACR para las 4 categorías de subrasante.

The screenshot shows the ICAO-ACR software interface. The title bar indicates 'ICAO-ACR Version 1.3 Date March 16, 2020'. The interface is divided into several sections:

- Input Data:**
  - Pavement Type:  Flexible,  Rigid
  - Gross Weight (lbs): 355,747
  - Percent GW: 0.940
  - Number of Wheels: 8
  - Tire Pressure (psi): 216.11
  - Wheel Coordinates (in): A table with 5 rows and 3 columns (No, X, Y):
 

No	X	Y
1	-197.23	0.00
2	-160.73	0.00
3	-197.23	55.00
4	-160.73	55.00
5	197.23	0.00
- Select Airplane Group:** Airbus
- Select Airplane:** A300-B4 std
- Calculate ACR \*** button
- Display Select Wheels (SW)
- Metric
- Results Table:**

Subgrade Category	Subgrade Modulus (psi)	Flexible ACR Number	ACR Thickness t (in)
D	7,251.89	737.81	35.71
C	11,603.02	545.79	27.21
B	17,404.53	456.58	22.04
A	29,007.55	413.29	16.82
- Input Data - Gear 2:**
  - Percent GW 2: [empty]
  - Number of Wheels 2: [empty]
  - Tire Pressure 2 (psi): [empty]
  - Wheel Coordinates (in): A table with 3 columns (No, X, Y):
 

No	X	Y
- Calculation time:** 2.42 sec.

**Figura 8.4. Captura de pantalla ICAO-ACR**

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

## 9. DETERMINACIÓN DEL VALOR NUMÉRICO DE PCR

### 9.1. Concepto PCR

- a) La resistencia de un pavimento se informa en términos de la clasificación de carga de la aeronave que el pavimento puede aceptar sin restricciones. El término operaciones sin restricciones en la definición de PCR no significa operaciones ilimitadas. Sin restricciones se refiere a la relación del PCR del pavimento con el ACR de la aeronave, y que es permissible que una aeronave opere sin restricción de peso cuando el PCR es mayor o igual que el ACR. El término operaciones ilimitadas no tiene en cuenta la vida útil. El PCR a reportar es tal que la resistencia del pavimento es suficiente para el tráfico actual y futuro analizado, y debe ser reevaluada si el tráfico cambia significativamente. Un cambio significativo en el tráfico se indicaría mediante la introducción de un nuevo tipo de aeronave o un aumento en los niveles actuales de tráfico de aeronaves no contabilizados en el análisis PCR original.

### 9.2. Determinación del valor numérico PCR

- a) La determinación del valor numérico de PCR para un pavimento en particular puede basarse en uno de dos procedimientos: el "Uso del método de la aeronave" o el "Método de evaluación técnica". Los procedimientos de la OACI permiten a los Estados miembros decidir cómo se determinarán los valores de PCR. Cualquiera de los procedimientos puede utilizarse para determinar un PCR, pero la metodología utilizada debe informarse como parte de la calificación publicada.

### 9.3. Uso del método de la aeronave para determinar el PCR

- a) El método de utilización de aeronaves es un procedimiento en el que se determinan los valores de ACR para todas las aeronaves que actualmente utilizan la instalación de pavimento y el mayor valor de ACR se informa como PCR. Este método es fácil de aplicar y no requiere un conocimiento detallado de la estructura del pavimento. La categoría de soporte de subrasante no es una entrada crítica cuando se realiza un PCR basado en el método Aeronaves en Uso. La categoría de soporte de subrasante recomendada cuando no se dispone de información debe ser la categoría B.

#### I. Supuestos del método de uso de aeronaves:

- i. Una suposición subyacente con el Método de Uso de Aeronaves es que la estructura del pavimento tiene la capacidad estructural para acomodar todas las aeronaves en la mezcla de tráfico, y que cada aeronave es capaz de operar en la estructura del pavimento sin restricción de peso. La metodología utilizada para determinar ACR/PCR no considera la aeronave de diseño crítico utilizada para determinar los requisitos dimensionales del aeropuerto.

#### II. Inexactitudes del método Aeronaves en Uso:

- i. La precisión de este método depende de tener registros del tráfico de aeronaves anteriores. Una sobreestimación significativa de la capacidad del pavimento puede resultar para determinar el PCR si se escoge una aeronave excesivamente dañina, que utiliza el pavimento con muy poca frecuencia. Del mismo modo, una subestimación significativa de la capacidad de pavimentación puede conducir a un uso antieconómico del pavimento al impedir que cierto tráfico que podría ser aceptable opere en el aeródromo.



- ii. Aunque no existen límites mínimos en la frecuencia de operación antes de que una aeronave se considere parte del tráfico normal, se debe utilizar un enfoque racional para evitar exagerar o subestimar la capacidad del pavimento. Es buena idea un método consistente basado en una frecuencia mínima del período de diseño de 250 salidas anuales. No es aconsejable el uso del método de la aeronave a largo plazo debido a las preocupaciones enumeradas anteriormente.

#### 9.4. Método de evaluación técnica para determinar el PCR

- a) La resistencia de una sección de pavimento variará dependiendo de la composición del tráfico de la aeronave y el número de operaciones combinadas con el tipo de estructura del pavimento y las condiciones de soporte de subrasante. El método de evaluación técnica intenta abordar estas y otras variables específicas para determinar la resistencia razonable del pavimento. En términos generales, para una estructura de pavimento dada y una aeronave determinada, el número permitido de operaciones (tráfico) disminuirá a medida que aumente la intensidad de la carga del pavimento (aumento del peso de la aeronave). Es muy posible que dos estructuras de pavimento con diferentes secciones transversales informen una resistencia similar. Sin embargo, las operaciones de aeronaves permitidas serán considerablemente diferentes. Esta discrepancia debe ser reconocida por el operador de aeródromo y puede requerir limitaciones operativas administradas fuera del sistema ACR-PCR. Todos los factores involucrados en la determinación de una clasificación de pavimento son importantes, y es por esta razón que las clasificaciones de pavimento no deben verse en términos absolutos, sino más bien como estimaciones de un valor representativo. Una evaluación exitosa del pavimento es aquella que asigna una calificación de resistencia del pavimento que considera los efectos de todas las variables en el pavimento.
- b) La precisión de una evaluación técnica es mejor que la producida con el procedimiento de la aeronave, pero requiere información adicional. La evaluación del pavimento puede requerir una combinación de inspecciones in situ, pruebas de soporte de carga y juicio de ingeniería. Es común pensar en la calificación de resistencia del pavimento en términos de resistencia final o criterios de falla inmediata. Sin embargo, los pavimentos rara vez se retiran del servicio debido a una falla estructural instantánea. Una disminución en la capacidad de servicio de un pavimento se atribuye comúnmente a aumentos en la rugosidad de la superficie o daños localizados, como ahuellamientos o grietas. La determinación de la adecuación de una estructura de pavimento no solo debe considerar la magnitud de las cargas de pavimento, sino también el impacto del efecto acumulado del tráfico durante la vida útil prevista del pavimento. Para determinar un PCR por el método técnico se requiere información sobre:
  - I. La composición y frecuencia del tráfico de aeronaves;
  - II. Espesor, tipo de material y resistencia de cada capa de estructura de pavimento; y
  - III. Módulo elástico de subrasante.
- c) Procedimiento recomendado para la evaluación técnica (T) del PCR:
  - I. El siguiente procedimiento para obtener el PCR consiste en el cálculo de un ACR de aeronave. Este párrafo explica los pasos para convertir la combinación de uso del tráfico de aeronaves en una aeronave crítica equivalente o de referencia al peso bruto máximo permitido, que luego producirá un CDF (Factor de daño acumulativo) de 1.0 en el pavimento evaluado. El cálculo del ACR sigue el procedimiento del ACR descrito en [8.5Cómo se determinan los ACR](#).
  - II. El procedimiento de PCR considera las características de la estructura del pavimento



y el pronóstico de tráfico de aeronaves durante el período de vida seleccionado. El período de vida útil debe reflejar el diseño de los pavimentos nuevos y la vida útil restante de los pavimentos en servicio. El PCR debe ser válida solo para este período de uso. Se requiere una nueva evaluación después de la rehabilitación del pavimento o cuando el tráfico cambia en comparación con el tráfico inicial. Se supone que en general un PCR se calculará junto con un proyecto de construcción o como parte de un programa de gestión de pavimentos. El procedimiento de PCR implica los siguientes pasos:

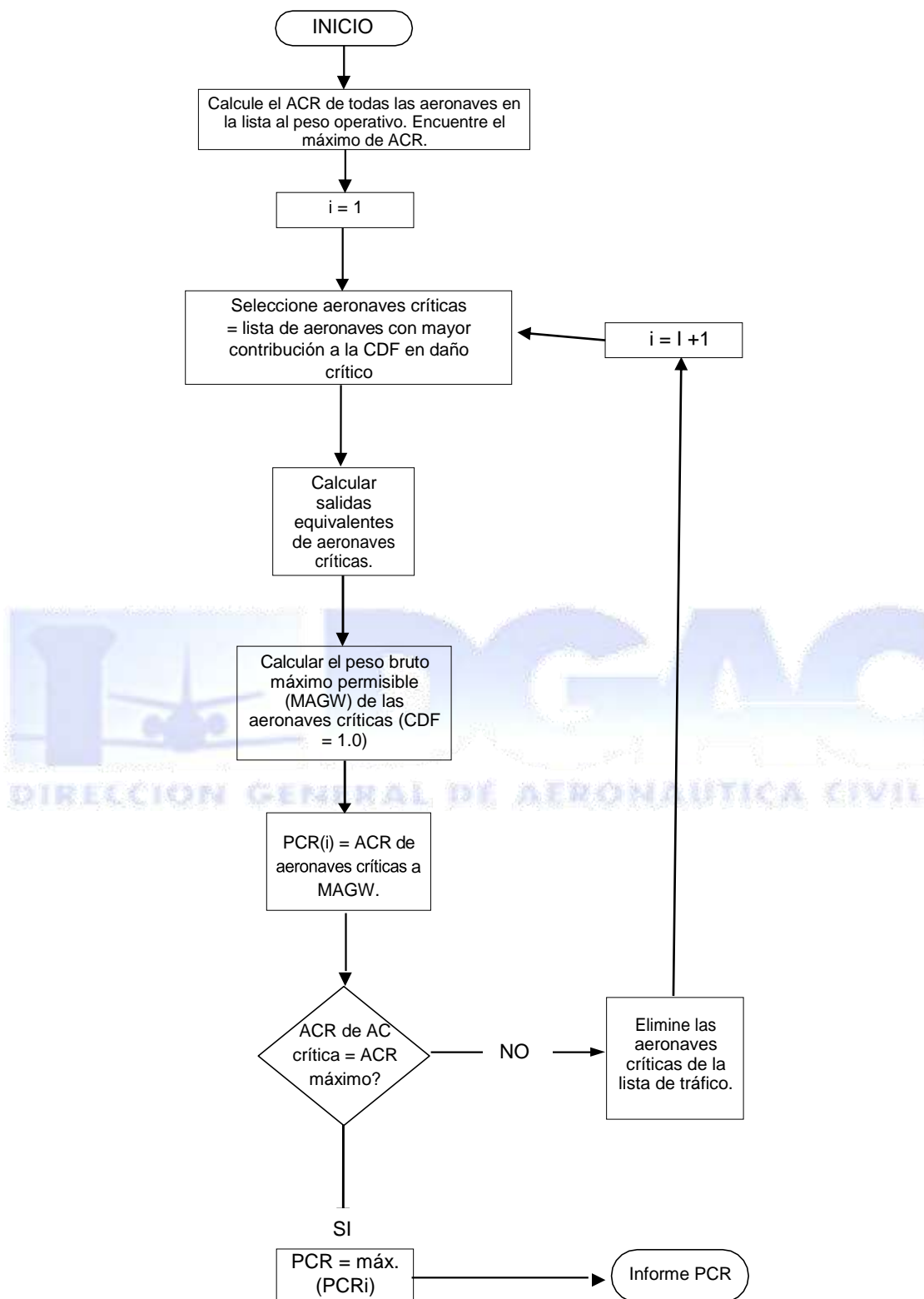
- i. Paso 1: Recopilar todos los datos relevantes del pavimento (espesores de capa, módulos elásticos y relación de Poisson entre todas las capas, tráfico de aeronaves utilizado o proyectado) utilizando las mejores fuentes de datos disponibles.
- ii. Paso 2: Definir la combinación de aeronaves por tipo de aeronave, número de salidas (u operaciones consistentes con las prácticas de diseño del pavimento) y peso de la aeronave que se espera que experimente el pavimento evaluado a lo largo de su diseño o vida estructural restante estimada. *Nota: El procedimiento de la FAA asume que las pasadas se distribuyen por una función de distribución gaussiana (o normal), con una desviación estándar  $s = 30.54$  pulgadas (776 mm) independientemente del tipo de aeronave.*
- iii. Paso 3: Calcule los ACR para cada aeronave en la mezcla de aeronaves a su peso operativo y registre el máximo ACR obtenido. *Nota: Los cálculos ACR deben seguir el procedimiento del párrafo 8.5Cómo se determinan los ACR.*
- iv. Paso 4: Calcular el CDF (factor de daño acumulativo) máximo de la mezcla de aeronaves y registrar el valor. *Nota: El CDF se calcula con cualquier modelo de daño / falla consistente con el procedimiento utilizado para el diseño del pavimento.*
- v. Paso 5: Seleccione la aeronave con la mayor contribución a la CDF máxima como la aeronave crítica. Esta aeronave se designa AC(i), donde i es un valor índice con un valor inicial 1. Elimine todas las aeronaves que no sean la aeronave crítica actual AC(i) de la lista de tráfico.
- vi. Paso 6: Ajustar las salidas anuales de la aeronave crítica hasta que el CDF máximo de la aeronave sea igual al valor registrado en (4). Registrar las salidas anuales equivalentes de la aeronave crítica.
- vii. Paso 7: Ajustar el peso crítico de la aeronave para obtener un CDF máximo de 1.0 para el número de salidas anuales obtenidas en el paso (6). Este es el peso bruto máximo permisible (MAGW) para la aeronave crítica.
- viii. Paso 8: Calcular el ACR de la aeronave crítica en su MAGW. El valor obtenido se designa como PCR(i). *Nota: Los cálculos ACR deben seguir el procedimiento del párrafo 8.5Cómo se determinan los ACR.*

- ix. Paso 9: Si AC(i) es el máximo ACR de aeronave del paso 3, salta al paso 13. De lo contrario, continúe con el paso 10.
- x. Paso 10: Eliminar la aeronave crítica actual AC(i) de la lista de tráfico y volver a introducir la otra aeronave que antes no se consideraba como aeronave crítica. La nueva lista de aeronaves, que no contiene ninguna de las aeronaves críticas anteriores, se conoce como la lista reducida de aeronaves. Incremente el valor del índice ( $i = i+1$ ).
- xi. Paso 11: Calcular el CDF máximo de la lista de aeronaves reducidas y seleccionar la nueva aeronave crítica AC(i).
- xii. Paso 12: Repita los pasos 5-9 para AC(i). En el paso 6, utilice el mismo CDF máximo calculado para la combinación inicial de aeronaves para calcular las salidas anuales equivalentes para la lista reducida.
- xiii. Paso 13: El PCR a notificar es el valor máximo de todas las PCR(i) calculadas. La aeronave crítica es la aeronave asociada a este valor máximo de PCR(i).

III. Un diagrama de flujo del procedimiento anterior se muestra en la Figura 9.1. El propósito de los pasos 10-12 es considerar ciertos casos con un gran número de salidas anuales de una aeronave de corto / mediano alcance (como el B737 o el A320) y un número relativamente pequeño de salidas de una aeronave de largo alcance (por ejemplo, el B777). Sin este paso, las aeronaves más pequeñas se identificarían genéricamente como las críticas, con el resultado de que el PCR requeriría restricciones irrazonables de peso operativo en aeronaves más grandes (irrazonables porque el tráfico de diseño ya incluía las aeronaves grandes). Tenga en cuenta que, si la aeronave crítica inicial también es la aeronave en la lista con el ACR máximo en su peso operativo, entonces el procedimiento se completa en una sola iteración, sin reducción posterior a la lista de tráfico.

IV. El procedimiento anterior devuelve un valor numérico de PCR determinado de forma única en función de la aeronave crítica identificada.

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**



**Figura 9.1. Diagrama de flujo del procedimiento de cálculo de PCR recomendado**

- d) Ejemplos de cálculo del PCR:
- I. Véase el Apéndice 02 para ver ejemplos de cálculo y evaluación de qué PCR informar.
- e) Limitaciones del PCR:
- I. El valor del PCR no debe utilizarse para el diseño del pavimento ni como sustituto de la evaluación. El diseño y la evaluación de pavimentos son problemas de ingeniería comunes que requieren análisis detallados. No se pueden reducir a un simple número. El sistema de clasificación PCR utiliza una escala continua para comparar la capacidad del pavimento donde los valores más altos representan pavimentos con mayor capacidad de carga.

### 9.5. Notificación del PCR

- a) El sistema de PCR utiliza un formato codificado para maximizar la cantidad de información contenida en un número mínimo de caracteres y facilitar la informatización. El PCR se informa como un código de cinco caracteres donde los siguientes que están ordenados y separados por barras diagonales: Valor numérico de PCR / Tipo de pavimento / Categoría de subrasante / Presión permitida de los neumáticos / Método utilizado para determinar el PCR.
- b) Valor numérico de PCR:
- I. El valor numérico de PCR indica la capacidad de carga de un pavimento en términos de una carga estándar de rueda única a una presión de neumáticos de 218 psi (1.50 MPa). El valor del PCR debe informarse en números enteros, redondeando cualquier parte fraccionaria al número entero más cercano. Para pavimentos de diversas resistencias, normalmente debe informarse como la resistencia del pavimento el valor numérico de PCR para el segmento más débil del pavimento. Se puede requerir un juicio de ingeniería si el segmento más débil no está en la parte más utilizada de la pista, en estos casos otro segmento representativo puede ser más apropiado para determinar el PCR.
- c) Tipo de pavimento:
- I. A los efectos de informar los valores de PCR, se considera que los tipos de pavimento funcionan como estructuras flexibles o rígidas. En la Tabla 9-1 se enumeran los códigos de pavimento a los efectos de la notificación del PCR.

Tipo de pavimento	Código de pavimento
Flexible	F
Rígido	R

**Tabla 9-1. Códigos de pavimento para la notificación de PCR**

- i. Pavimento flexible: Los pavimentos flexibles soportan cargas a través de la acción de rodamiento en lugar de la acción de flexión. Comprenden varias capas de materiales seleccionados diseñados para distribuir gradualmente las cargas desde la superficie hasta las capas inferiores. El diseño garantiza que la carga transmitida a cada capa sucesiva hacia abajo no exceda la capacidad de carga de la capa.
- ii. Pavimento rígido: Los pavimentos rígidos emplean una sola capa estructural,

que es muy rígida por naturaleza, para soportar las cargas sobre el pavimento. La resistencia de la capa estructural y el modelo resultante como de viga permiten que el pavimento rígido distribuya las cargas en una gran área de la subrasante. La capacidad de carga de una estructura rígida de pavimento depende en gran medida de la resistencia de la capa estructural, basado en una distribución de carga uniforme en las capas inferiores.

- iii. Pavimento compuesto: Distintas combinaciones de tipos de pavimento y capas estabilizadas con cemento pueden dar como resultado pavimentos complejos que podrían clasificarse como entre rígidos o flexibles. Una sección de pavimento puede comprender múltiples elementos estructurales representativos de pavimentos rígidos y flexibles. Los pavimentos compuestos son a menudo el resultado de sobre capas superpuestas aplicadas en varias etapas de la vida útil de la estructura del pavimento. Si un pavimento es de construcción compuesta, el tipo de pavimento debe ser reportado como el tipo que refleja con mayor precisión el comportamiento estructural del mismo. El FAARFIELD considerará que un pavimento rígido recubierto de pavimento flexible es un pavimento rígido hasta que el espesor de la superposición coincida con la rigidez de la capa. Es una buena práctica incluir una nota que indique que el pavimento es de construcción compuesta, y anotar cuál es la superficie en la capa superior.

d) Categoría de resistencia de subrasante:

- I. Como se indica en el párrafo [7.2Categoría de la subrasante](#), se han identificado cuatro capacidades de carga subyacentes para calcular y notificar los valores de ACR o PCR. La Tabla 7-1 enumera los valores para pavimentos rígidos y flexibles.

e) Presión permitida de los neumáticos:

- I. La Tabla 9-2 enumera las categorías de presión identificadas de neumáticos permitidas por el sistema ACR-PCR. Los códigos de presión de los neumáticos se aplican igualmente a las secciones de pavimento rígidas o flexibles; sin embargo, la aplicación de los diferenciales de presión de neumáticos permitidos difiere sustancialmente para pavimentos rígidos y flexibles.

<b>Categoría</b>	<b>Código</b>	<b>Rango de presión de los neumáticos</b>
Ilimitado	W	Sin límite de presión
Alto	X	Presión limitada a 254 psi (1.75 MPa)
Medio	Y	Presión limitada a 181 psi (1.25 MPa)
Bajo	Z	Presión limitada a 73 psi (0.50 MPa)

**Tabla 9-2. Códigos de presión de neumáticos para informes de PCR**

i. Presiones de neumáticos en pavimentos rígidos:

1. La presión de los neumáticos de los aviones tendrá poco efecto en los pavimentos con superficies de concreto de cemento hidráulico. Los pavimentos rígidos son intrínsecamente lo suficientemente fuertes como para resistir presiones de neumáticos más altas que las utilizadas actualmente por los aviones comerciales y generalmente se pueden clasificar como código W.



ii. Presiones de neumáticos en pavimentos flexibles:

1. Las presiones de los neumáticos pueden restringirse en el concreto asfáltico (asfalto), dependiendo de la calidad de la mezcla asfáltica y las condiciones climáticas. Los efectos de la presión de los neumáticos en una capa de asfalto se relacionan con la estabilidad de la mezcla para resistir el cizallamiento (esfuerzo cortante) o la densificación. Un pavimento asfáltico mal construido puede estar sujeto a ahuellamientos debido a su consolidación bajo carga. La principal preocupación en la resistencia a los efectos de la presión de los neumáticos, es la estabilidad o resistencia al cizallamiento de mezclas de menor calidad. Una mezcla debidamente preparada y colocada que cumpla con la especificación de la FAA P-401 puede soportar una presión sustancial de los neumáticos superior a 218 psi (1.50 Mpa). El tipo P-401, Pavimento de mezcla asfáltica, figura en la versión actual de AC 150/5370-10, Normas para especificar la construcción de aeropuertos. Las mezclas que utilizan materiales de menor calidad y/o bajos estándares de construcción pueden mostrar fallas bajo presiones de neumáticos de 100 psi (0.70 MPa) o menos. Aunque estos efectos son independientes del espesor de la capa de asfalto, los pavimentos con asfalto bien colocado de 4 a 5 pulgadas (10.20 a 12.70 cm) generalmente se pueden clasificar con el código X o W, mientras que pavimentos de asfalto más delgados y de menor calidad no deben clasificarse por encima del código Y.

f) Método utilizado para determinar el PCR:

- I. El sistema de PCR reconoce dos métodos de evaluación del pavimento. Si la evaluación representa los resultados de un estudio técnico, el método de evaluación debe ser incluido en el reporte. Si la evaluación se basa en la experiencia de "Uso de aeronaves", el método de evaluación debe codificarse U. La evaluación técnica implica que alguna forma de estudio técnico y cálculo estuvo involucrado en la determinación del PCR. El uso de la evaluación por el método de la aeronave en uso significa que el PCR se determinó seleccionando el ACR más alto entre las aeronaves que actualmente utilizan la instalación sin causar daños en el pavimento.

g) Ejemplo de informe de PCR:

- I. Un ejemplo de un código PCR es 800/R/B/W/T, con:
  - i. 800 expresando el valor numérico del PCR;
  - ii. R para pavimento rígido;
  - iii. B para subrasante de capacidad de carga media;
  - iv. W para una alta presión permitida de los neumáticos; y
  - v. T para un valor de PCR obtenido mediante una evaluación técnica.

h) Reporte de los valores de PCR:

- I. Una vez que se determina un valor del PCR se debe registrar y reportar el código. Los datos de PCR serán difundidos por el Equipo de Datos Aeronáuticos a través de publicaciones aeronáuticas como los Suplementos de Cartas y la Publicación de Información Aeronáutica (AIP). El ACR de una aeronave se puede luego comparar con las PCR publicadas para determinar si la resistencia del pavimento impone restricciones de peso o presión de neumáticos a la aeronave en estudio.



## 10. APÉNDICE 01. TRÁFICO EQUIVALENTE

### 10.1. Tráfico equivalente

- a) Un método detallado basado en el procedimiento del factor de daño acumulativo (CDF) permite el cálculo del efecto combinado de múltiples aeronaves en la mezcla de tráfico de un aeropuerto. Este tráfico combinado se une en el tráfico equivalente de una aeronave crítica. Esto es necesario ya que el procedimiento utilizado para calcular el ACR solo permite una aeronave a la vez. Al combinar todas las aeronaves de la mezcla de tráfico en una aeronave crítica equivalente, es posible la obtención de un solo PCR que incluya los efectos de todo el tráfico. La metodología utilizada para determinar ACR-PCR no considera la aeronave de diseño crítico utilizada para determinar los requisitos dimensionales del aeropuerto.
- b) La evaluación del tráfico equivalente, descrita en esta sección, sólo es necesaria en el proceso de determinación del PCR utilizando el método técnico y puede no tenerse en cuenta cuando se emplea el método de aeronaves en uso.
- c) Para llegar a un PCR técnicamente derivada, es necesario determinar el peso máximo bruto de cada aeronave en la mezcla de tráfico. Esto, requiere a su vez, que la sección transversal del pavimento y las características de carga de la aeronave se examinen en detalle. En consecuencia, la formación presentada en este apéndice parece aplicarse al principio al diseño del pavimento en lugar de una determinación de PCR. Sin embargo, con este conocimiento en la mano, un ingeniero podrá llegar a un PCR que tendrá una base técnica sólida.

### 10.2. Terminología de tráfico equivalente

- a) Para determinar un PCR, basado en el método de evaluación técnica, es necesario definir términos comunes utilizados en el tráfico de aeronaves y en la carga de los pavimentos. Los términos llegada, salida, pase, interacción de carga (cobertura), repetición de carga, operación y ciclo tráfico a menudo son utilizados indistintamente por diferentes organizaciones al determinar el efecto del tráfico de aeronaves que opera en un pavimento. Es importante determinar cuáles movimientos de aeronaves deben contarse al considerar el esfuerzo en el pavimento y cómo se aplican los diversos términos de movimiento en relación con el proceso de diseño y evaluación del pavimento. A los efectos del presente documento, se diferencian de la siguiente manera:

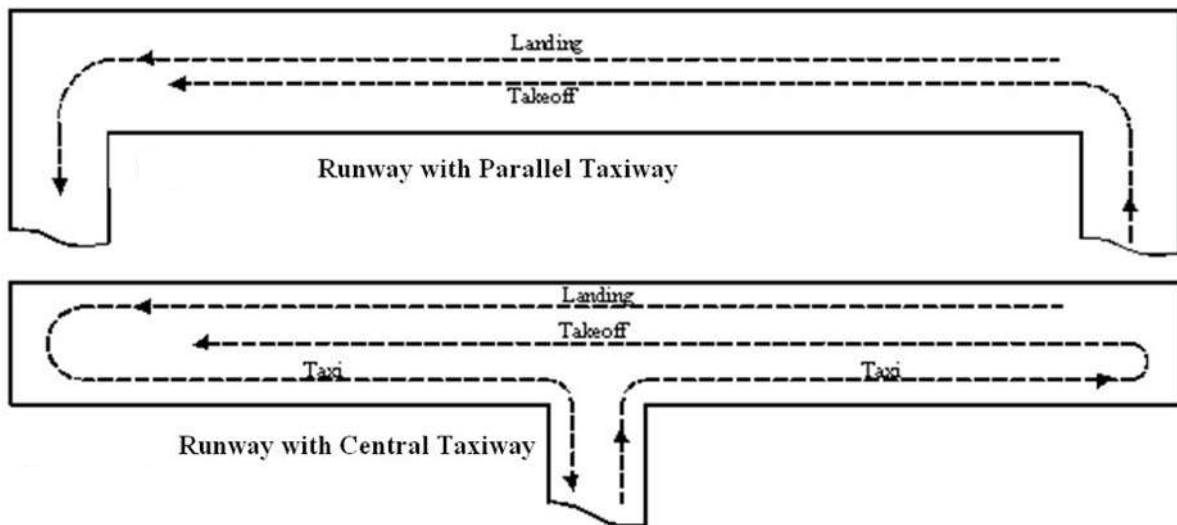
- I. Llegada (aterrizaje) y salida (despegue):

- i. Las aeronaves llegan a un aeropuerto con una cantidad menor de combustible que la que se utilizó durante el despegue. Como consecuencia, la carga de las ruedas en el pavimento de la pista es menor al aterrizar que al despegar debido al menor peso de la aeronave como resultado del combustible consumido durante el vuelo y la sustentación en las alas. Esto es cierto incluso en el impacto de aterrizaje, ya que todavía hay sustentación en las alas, lo que alivia la fuerza vertical dinámica. Debido a esto, el procedimiento de diseño del pavimento de la FAA solo considera las salidas e ignora el recuento del tráfico de llegada. Ahora bien, si la aeronave no recibe combustible adicional en el aeropuerto, entonces el peso de aterrizaje será sustancialmente el mismo que el peso de despegue (descontando los

cambios en el número de pasajeros y la carga), y entonces la operación de aterrizaje debe contarse como un despegue para los ciclos de carga del pavimento. En este último escenario, hay dos esfuerzos de carga iguales en el pavimento para cada recuento de tráfico (salida), en lugar de solo una. Independientemente del método de conteo de ciclos de carga, un ciclo de tráfico se define como un despegue y un aterrizaje de la misma aeronave, sujeto a un refinamiento adicional de la definición en el siguiente texto.

II. Pasada:

- i. Una pasada es un movimiento único de la aeronave sobre el pavimento de la pista. Podría ser una llegada, una salida, una operación de taxeo o las tres, dependiendo de la magnitud de la carga y la ubicación de las calles de rodaje. La Figura 10.1 muestra los patrones de tráfico típicos para las pistas que tienen calles de rodaje paralelas o calles de rodaje centrales. Una calle de rodaje paralela requiere que no se utilice nada o muy poco de la pista como parte del movimiento de taxeo. Una calle de rodaje central requiere que una gran parte de la pista se utilice durante el movimiento del taxeo.



**Figura 10.1. Patrones de distribución de carga de tráfico**

1. Escenario de calle de rodaje paralela: En el caso de la calle de rodaje paralela, que se muestra en la Figura 10.1, pueden ocurrir dos posibles situaciones de carga. Ambas situaciones asumen que el recuento de pasajeros y la carga útil de carga son aproximadamente los mismos para todo el ciclo de aterrizaje y despegue:
  - a. Si la aeronave obtiene combustible en el aeropuerto, entonces un ciclo de tráfico implica una sola pasada, ya que la carga de aterrizaje se considera a un nivel reducido, que es una equivalencia fraccionaria. Para esta condición solo se cuenta la pasada de despegue, y la relación entre pasadas y ciclos de tráfico (P/TC) es 1.
  - b. Si la aeronave no obtiene combustible en el aeropuerto, se deben contar las pasadas de aterrizaje y despegue, y un

ciclo de tráfico consiste en dos pasadas de igual tensión de carga. En este caso, la relación P/TC es 2.

2. Escenario de la calle de rodaje central: Para una configuración de calle de rodaje central, que se muestra en la Figura 10.1, también hay dos posibles situaciones de carga que pueden ocurrir. Como se hizo para la condición de calle de rodaje paralela, ambas situaciones asumen que la carga útil es aproximadamente la misma para todo el ciclo de aterrizaje y despegue:
  - a. Si la aeronave obtiene combustible en el aeropuerto, entonces se deben contar tanto los pases de despegue como los de taxeo a despegue, ya que dan como resultado un ciclo de tráfico que consiste en dos pasadas de carga máxima. El pase de aterrizaje puede ser ignorado en este caso. Se reconoce que solo se utiliza una parte de la pista durante algunas de estas operaciones, pero es conservador suponer que toda la pista está cubierta cada vez que se produce un pase. Para esta situación, la relación P/TC es 2.
  - b. Si la aeronave no obtiene combustible en el aeropuerto, entonces se deben contar tanto los pases de aterrizaje como los de despegue, junto con el pase de taxi, y un ciclo de tráfico consta de tres pasadas a cargas de igual magnitud. En este caso, la relación P/TC es 3.
3. Un enfoque simplificado, pero menos conservador, sería utilizar una relación P/TC de 1 para todas las situaciones. Dado que un aterrizaje y un despegue solo aplican carga completa a tal vez el tercio final de la pista (extremos opuestos para que no haya cambio en la dirección del viento), este enfoque menos conservador podría usarse para contar una pasada tanto para el aterrizaje como para el despegue. Sin embargo, la FAA recomienda realizar evaluaciones aeroportuarias en el lado conservador, que es asumir que cualquiera de los pases cubre toda la pista.
4. En la Tabla 10-1 se resume el análisis de la relación P/CT estándar.

Calle de rodaje que sirve a la pista	P/TC Combustible obtenido en el aeropuerto (es decir, el peso bruto de salida es mayor que el peso bruto de llegada).	P/TC No se obtiene combustible en el aeropuerto (es decir, el peso bruto de salida es el mismo que el peso bruto de llegada).
Paralelo	1	2
Central	2	3

**Nota:** Las relaciones P/TC estándar son los números enteros 1, 2 y 3. El rango de valores que se pueden ingresar en el software es de 0.001 a 10.0. Esta característica permite flexibilidad en aquellos casos en que una fracción del tráfico total puede utilizar diferentes pistas. Por ejemplo, una relación P/TC de 0.5 multiplica las coberturas de cada aeronave por 0.5, lo que aumentará el PCR del pavimento.

**Tabla 10-1. Resumen de la relación P/CT estándar**

### III. Interacción de carga (cobertura):

- i. Cuando un avión se mueve a lo largo de una pista, rara vez viaja en una línea perfectamente recta o por exactamente la misma trayectoria que antes. Pasará por una zona unitaria específica de la pista con cierta frecuencia mediante una distribución normal estadística. Una interacción (cobertura) ocurre cuando un área unitaria de la pista ha sido atravesada por una rueda del tren principal de la aeronave. Debido al recorrido, es posible que esta área no esté cubierta por la rueda cada vez que la aeronave esté en la pista. El número de pasadas requeridas para cubrir estadísticamente el área de la unidad una vez, en el pavimento se expresa mediante la relación pasada a cobertura (P/C).
- ii. Aunque los términos cobertura y relación P/C se han aplicado comúnmente tanto a pavimentos flexibles como rígidos, la relación P/C tiene un significado ligeramente diferente cuando se aplica a pavimentos flexibles en lugar de pavimentos rígidos. Esto se debe a la forma en que se considera que los pavimentos flexibles y rígidos se adaptan a varios tipos de configuraciones de trenes de aterrizaje. Para configuraciones de tren de aterrizajes con ruedas en tándem, como doble tándem (2D) y triple tándem dual (3D), las relaciones son diferentes para pavimentos flexibles y rígidos, y usar el mismo término para ambos tipos de pavimento puede ser confuso.
- iii. Las pasadas de aeronaves se pueden determinar (contar) mediante observación, pero las coberturas son el parámetro utilizado por el programa FAARFIELD. La relación P/C es necesaria para convertir pasadas en coberturas para su uso en el programa. Esta relación es diferente para cada aeronave debido al diferente número de ruedas, configuraciones de trenes principales, áreas de contacto de neumáticos y carga en el tren. Afortunadamente, la relación P/C para cualquier aeronave es determinada automáticamente por el programa FAARFIELD y el usuario solo necesita preocuparse por las pasadas.

### IV. Operación:

- i. El significado de este término no está claro cuando se usa en el diseño o evaluación de pavimentos. Podría significar una salida a plena carga o un aterrizaje a carga mínima. Es preferible utilizar los términos más precisos de salida o aterrizaje.

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

## 11. APÉNDICE 02. EJEMPLOS DE DETERMINACIÓN DEL PCR

### 11.1. El método de la aeronave en uso

- a) El método la aeronave para determinar el PCR se presenta en los siguientes pasos. Este procedimiento se puede utilizar cuando hay un conocimiento limitado del tráfico existente y las características de la pista. También es útil cuando el análisis de ingeniería no es posible. Debido a que el índice no se ha determinado rigurosamente, se debe tener más cuidado al aplicar un PCR con el método de la aeronave que con un PCR técnico.
- b) El procedimiento básico para llegar a un PCR por el método de la aeronave es:
- I. Determinar el ACR para cada aeronave en la mezcla de tráfico que actualmente utiliza el pavimento.
  - II. Asigne el valor de ACR más alto como PCR.
- c) Los ejemplos de los párrafos [11.2Uso de ejemplos de aeronaves para pavimentos flexibles](#) y [11.3Ejemplo del método de la aeronave en uso para pavimentos rígidos](#) muestran los pasos necesarios para realizar los cálculos de ACR utilizando ICAO-ACR, y los resultados. Tanto para superficies de pavimento flexibles como rígidas, los pasos detallados son los siguientes:
- I. Asigne el tipo de superficie del pavimento como código F o R.
  - II. A partir de los registros disponibles, determine la resistencia de la subrasante. Si no se conoce la resistencia de la subrasante, use Medio.
  - III. Determine qué aeronave tiene el ACR más alto de la lista de aeronaves que usan regularmente el pavimento, según el tipo de código de superficie asignado en el Paso 1 y el código de subrasante en el Paso 2. Los valores de ACR pueden determinarse a partir del programa ICAO-ACR, o a partir de gráficos ACR que se encuentran en los manuales ACAP publicados por el fabricante. Utilice el mismo código de subrasante para cada una de las aeronaves al determinar el ACR máximo. Basar los ACR en el peso operativo más alto de la aeronave en el aeropuerto si se dispone de datos; de lo contrario, utilice una estimación o el peso bruto máximo permitido publicado de la aeronave en cuestión. Reporte el ACR de la aeronave con el ACR más alto que utiliza regularmente el pavimento como PCR para el pavimento.
  - IV. **Nota:** La FAA recomienda que se considere que una aeronave "usa regularmente" un aeropuerto si tiene 250 salidas anuales. Utilice el juicio de ingeniería para aeronaves de uso estacional u ocasional.
  - V. El PCR es el ACR más alto de todas las aeronaves usuarias, con la presión de los neumáticos adecuada y los códigos de evaluación agregados. El valor numérico del PCR podrá ajustarse al alza o a la baja a preferencia de la autoridad aeroportuaria. Los ajustes no se consideran una práctica estricta, pero las razones para el ajuste pueden incluir restricciones locales, permisos para ciertas aeronaves o las condiciones del pavimento.
  - VI. El código de presión de los neumáticos (W, X, Y o Z) debe representar la presión más alta de los neumáticos de la flota de aeronaves que actualmente utiliza el pavimento. Para pavimentos flexibles, se debe usar el código X si no se evidencia una presión más alta de los neumáticos entre el tráfico existente. Comúnmente se entiende que el concreto puede tolerar presiones de neumáticos sustancialmente más altas, por lo que la clasificación del pavimento rígido normalmente debe darse como W.
  - VII. El método de evaluación para el método de uso de aeronaves se informa como U.



## 11.2. Uso de ejemplos de aeronaves para pavimentos flexibles

- a) El siguiente ejemplo ilustra el proceso de PCR de aeronaves para pavimentos flexibles:
- b) Un aeropuerto tiene una pista con la mezcla de tráfico conocida que se muestra en la Tabla 10-1. La pista tiene un pavimento flexible (con superficie asfáltica) con una resistencia subrasante estimada de CBR 9. Aplicando la conversión  $E = 1,500 \times \text{CBR}$  da estimación  $E = 13,500$  psi, lo que lo coloca en la categoría de subcategoría C.

No.	Nombre de la aeronave	Peso bruto, lb.	Salidas anuales	Presión de los neumáticos, psi
1	A300-B4 Std	365,747	1,500	216.1
2	A319-100 Std	141,978	1,200	172.6
4	B737-300	140,000	6,000	201.0
5	B747-400	877,000	1,000	200.0
6	B767-200 ER	396,000	2,000	190.0
7	B777-200 ER	657,000	1,000	205.0
8	DC8-63	330,000	3,000	194.0

**Tabla 11-1. Uso del tráfico de aeronaves para un pavimento flexible**

- c) Determine los valores de ACR flexible para cada avión indicado en la Tabla 11-1 utilizando ICAO-ACR. La Figura 11.1 muestra un cálculo de muestra de la OACI-ACR para el A300-B4, el primer avión de la lista. Para la categoría de subrasante C, el número ACR flexible es 545.79. La Tabla 11-2 enumera los valores de ACR calculados para todas las aeronaves en operación. Tenga en cuenta que el número de salidas anuales no es necesario para determinar el ACR; sin embargo, verifique que el número de operaciones anuales califique a la aeronave como de "uso regular".

No.	Nombre de la aeronave	ACR/F/C
1	A300-B4 Std	545.79
2	A319-100 Std	326.02
3	B737-300	345.93
4	B747-400	606.91
5	B767-200 ER	507.86
6	B777-200 ER	585.58
7	DC8-63	523.07

**Tabla 11-2. Valores ACR flexibles para el uso de aeronaves en la Tabla 11-1**

ICAO-ACR Version 1.3 Date March 16, 2020

Input Data

Pavement Type:  Flexible  Rigid

Gross Weight (lbs): 365,747

Percent GW: 0.940

Number of Wheels: 8

Tire Pressure (psi): 216.11

Wheel Coordinates (in)

No	X	Y
1	-197.23	0.00
2	-160.73	0.00
3	-197.23	55.00
4	-160.73	55.00
5	197.23	0.00

Select Airplane Group: Airbus

Select Airplane: A300-B4 std

**Calculate ACR \***

Display Select Wheels (SW)  Metric

Subgrade Category	Subgrade Modulus [psi]	Flexible ACR Number	ACR Thickness [in]
D	7,251.89	737.81	35.71
C	11,603.02	549.79	27.21
B	17,404.53	456.68	22.04
A	29,007.55	413.29	16.82

Calculation time: 2.42 sec.

Input Data - Gear 2

Percent GW 2: [ ]

Number of Wheels 2: [ ]

Tire Pressure 2 (psi): [ ]

Wheel Coordinates (in)

No	X	Y

**Figura 11.1. Ejemplo de cálculo ICAO-ACR para A300-B4 Std (Flexible)**

- I. Dado que se trata de un pavimento flexible, el código de tipo de pavimento es F.
  - II. La categoría de capacidad de carga de subrasante es Baja, por lo que el código apropiado es C.
  - III. La presión más alta de los neumáticos de cualquier avión en la mezcla de tráfico es de 216.1 psi, por lo que el código de presión de los neumáticos es X.
  - IV. De la Tabla 11-2, el avión crítico es el B747-400, porque tiene el ACR más alto del grupo en los pesos operativos mostrados (607 / F / B). Además, tiene servicio regular.
  - V. Dado que se realizó un análisis de ingeniería mínimo en este ejemplo, y la calificación se determinó simplemente mediante el examen de la aeronave actual que utiliza la pista, el código de evaluación es U.
  - VI. Sobre la base de los resultados de los pasos anteriores, el pavimento de la pista debe clasificarse tentativamente como PCR 610 / F / C / X / U, suponiendo que el pavimento esté funcionando satisfactoriamente bajo el tráfico actual.
  - VII. Si este pavimento fuera una calle de rodaje, el aeropuerto podría calificar esta calle de rodaje con el mismo PCR.
- d) Si el pavimento muestra signos evidentes de afectación, esta calificación debe ser ajustada a la baja por la autoridad aeroportuaria. Si la calificación se reduce, entonces una o más de las aeronaves tendrán ACR que excedan la calificación asignada. Esto puede requerir que el aeropuerto restrinja el peso bruto permitido para esas aeronaves o considere el mejoramiento del pavimento.

### 11.3. Ejemplo del método de la aeronave en uso para pavimentos rígidos

- a) Un aeropuerto tiene una pista con la mezcla de tráfico conocida que se muestra en la Tabla 11-1. La pista tiene un pavimento rígido (con superficie de hormigón). El suelo subrasante tiene un módulo E estimado = 15,000 psi, lo cual lo coloca en la categoría de subrasante B.
- b) Determinar los valores rígidos de ACR para cada avión listados en la Tabla 11-1 utilizando ICAO-ACR. La Figura 11.2 muestra un cálculo de muestra de la OACI-ACR para el A300-B4, el primer avión de la lista. Para la categoría de subrasante B, el número ACR rígido es 600.2. La Tabla 11-3 enumera los valores calculados de ACR para todas las aeronaves operativas. Tenga en cuenta que el número de salidas anuales no es necesario para determinar el ACR; sin embargo, verifique que el número de operaciones anuales califique a la aeronave como de "uso regular". También tenga en cuenta que no se necesita información sobre la resistencia o el espesor del concreto in situ para realizar los cálculos de ACR.

No.	Nombre de la aeronave	ACR/R/B
1	A300-B4 Std	600.02
2	A319-100 Std	380.09
4	B737-300	403.48
5	B747-400	685.56
6	B767-200 ER	563.26
7	B777-200 ER	739.73
8	DC8-63	552.47

**Tabla 11-3. Valores rígidos de ACR para el uso de aeronaves en la Tabla 11-1**

- I. Dado que se trata de un pavimento rígido, el código de tipo de pavimento es R.
  - II. La categoría de capacidad de carga de subrasante es Media, por lo que el código apropiado es B.
  - III. Las superficies de concreto pueden tolerar altas presiones de los neumáticos, así que use el código de presión de los neumáticos W para el pavimento rígido.
  - IV. El B777-200 tiene el ACR más alto del grupo en los pesos operativos mostrados (740/R/B).
  - V. Dado que no se realizó ningún análisis de ingeniería en este ejemplo, y la calificación se determinó simplemente mediante el examen de la aeronave actual que utiliza la pista, el código de evaluación es U.
  - VI. Sobre la base de estos pasos, el pavimento debe clasificarse tentativamente como PCR 740 / R / B / W / U para acomodar todo el tráfico actual.
- c) Si el pavimento muestra signos evidentes de afectación, esta calificación debe ser ajustada a la baja por la autoridad aeroportuaria. Si la calificación se reduce, entonces una o más de las aeronaves tendrán ACR que excedan la calificación asignada. Esto puede requerir que el aeropuerto restrinja el peso bruto permitido para esas aeronaves o que considere el mejoramiento del pavimento. La calificación también podría ajustarse al alza, dependiendo del rendimiento del pavimento bajo el tráfico actual.

ICAO-ACR Version 1.3 Date March 16, 2020

Input Data

Pavement Type:  Flexible  Rigid

Gross Weight (lbs): 365,747  
Percent GW: 0.470  
Number of Wheels: 4  
Tire Pressure (psi): 216.11

Wheel Coordinates (in)

No	X	Y
1	-18.25	0.00
2	18.25	0.00
3	-18.25	55.00
4	18.25	55.00

Select Airplane Group: Airbus  
Select Airplane: A300-B4 std

**Calculate ACR \***

Display Selected Wheels (SW)  Metric

Subgrade Category	Subgrade Modulus [psi]	Rigid ACR Number	ACR Thickness t [in]
D	7,251.89	738.49	16.83
C	11,603.02	666.66	15.36
B	17,404.53	600.02	14.02
A	29,007.55	514.92	12.30

Calculation time: 1.47 sec.

Input Data - Gear 2

Percent GW 2:   
Number of Wheels 2:   
Tire Pressure 2 (psi):   
Wheel Coordinates (in)

No	X	Y

**Figura 11.2. Ejemplo de cálculo ICAO-ACR para A300-B4 Std (Rígido)**

#### 11.4. El método de evaluación técnica

- a) Utilizamos el método de evaluación técnica para determinar el PCR cuando existe un conocimiento fiable de las características existentes del tráfico y del pavimento. El grosor de la capa y los datos de sección transversal, y los recuentos de tráfico precisos, son necesarios para realizar esta evaluación. Los ejemplos ilustran el uso del programa informático FAARFIELD 2.0 para determinar el PCR por el método técnico para pavimentos flexibles y rígidos.

#### 11.5. Evaluación técnica para pavimentos flexibles

- a) La siguiente lista resume los pasos para utilizar el método de evaluación técnica para pavimentos flexibles:
- I. Determine los tipos de aeronaves y el número de salidas anuales de cada tipo de aeronave que experimentará el pavimento a lo largo de su vida útil.
  - II. Determine el módulo elástico subrasante. El módulo puede determinarse a partir de datos test o convertirse a partir del valor CBR utilizando  $E = 1,500 \times \text{CBR}$  (para E en psi).
  - III. Determine las características de la capa de pavimento. En FAARFIELD, cada capa por encima de la subrasante se caracteriza por su grosor y módulo elástico E. Para los materiales que cumplen con la especificación de la FAA, FAARFIELD asignará el valor E automáticamente o permitirá al usuario seleccionarlo de un rango permitido.
  - IV. Determinar la relación P/TC para el pavimento utilizando los criterios del Apéndice 01.
  - V. Ingrese toda la información en FAARFIELD y ejecute la evaluación DE PCR.



### 11.6. Ejemplo de evaluación técnica para pavimentos flexibles

- a) El siguiente ejemplo demuestra el método de evaluación técnica para determinar el PCR para pavimentos flexibles:
- I. El ejemplo tiene un espesor aproximadamente igual al requisito estructural para el tráfico de 20 años (CDF total  $\approx 1$ ).
    - i. Un aeropuerto tiene un pavimento flexible (con superficie de asfalto) con un CBR subrasante de 8, pero con una sección transversal reducida que da como resultado un CDF total aproximadamente igual a 1. La estructura es la que se muestra en la Figura 11.3, y los demás datos de entrada son los que se muestran en la Figura 11.4. La combinación de tráfico es la misma que en el ejemplo Uso de aeronaves (Tabla 11-1). Se supone a los efectos de este ejemplo que el nivel de tráfico es constante durante el período de tiempo de 20 años. el aeropuerto tiene una configuración de calle de rodaje paralela (Figura 10.1) tal que la relación  $P/TC = 1$ . Después de ejecutar el programa en modo PCR, el Gráfico de PCR y el Informe de PCR se muestran en las Figuras 11.8, 11.9a. y 11.9b, respectivamente. Para este ejemplo, el PCR calculada es  $617/F/C/X/T$  y el CDF total = 0.990. La Figura 11.8 muestra que todas las aeronaves operativas tienen  $ACR < PCR$ . Por lo tanto, no se requieren restricciones de peso en la flota operativa, lo que es consistente con  $CDF < 1.0$ . En general,  $CDF > 1.0$  indica que al menos una aeronave de la flota tendrá  $ACR > PCR$ .

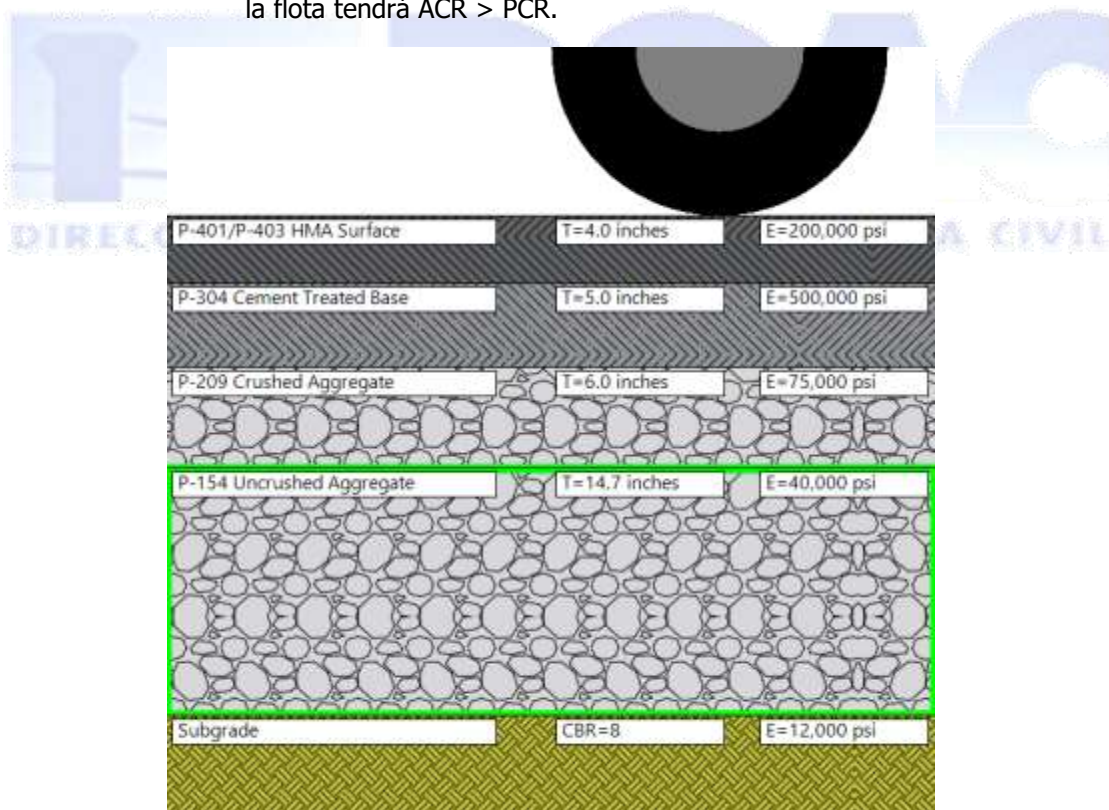
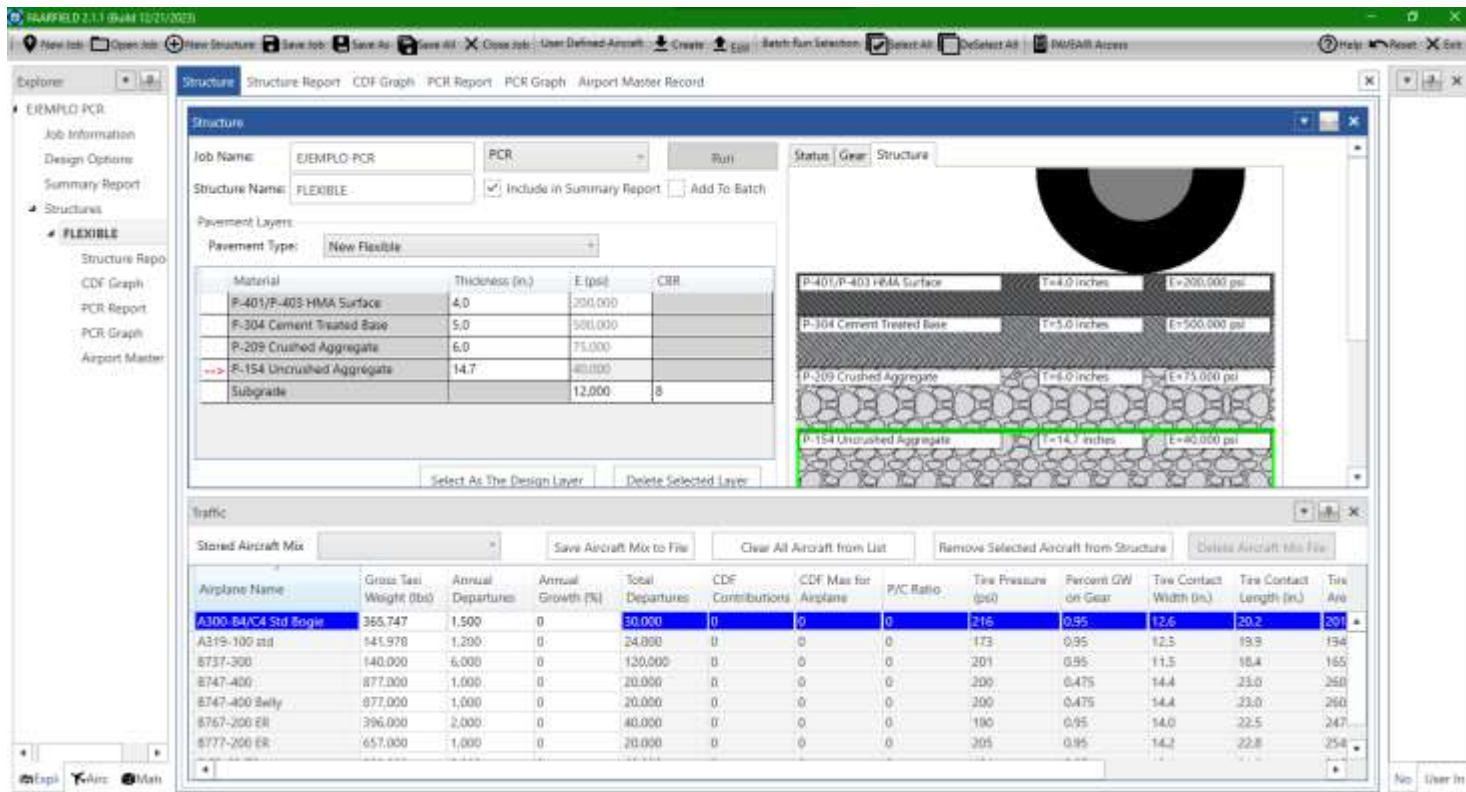


Figura 11.3. Estructura de pavimento flexible para el ejemplo

- ii. Introduzca los datos en FAARFIELD. Después de abrir FAARFIELD, seleccione "PCR" en la lista desplegable de funciones en la parte superior de

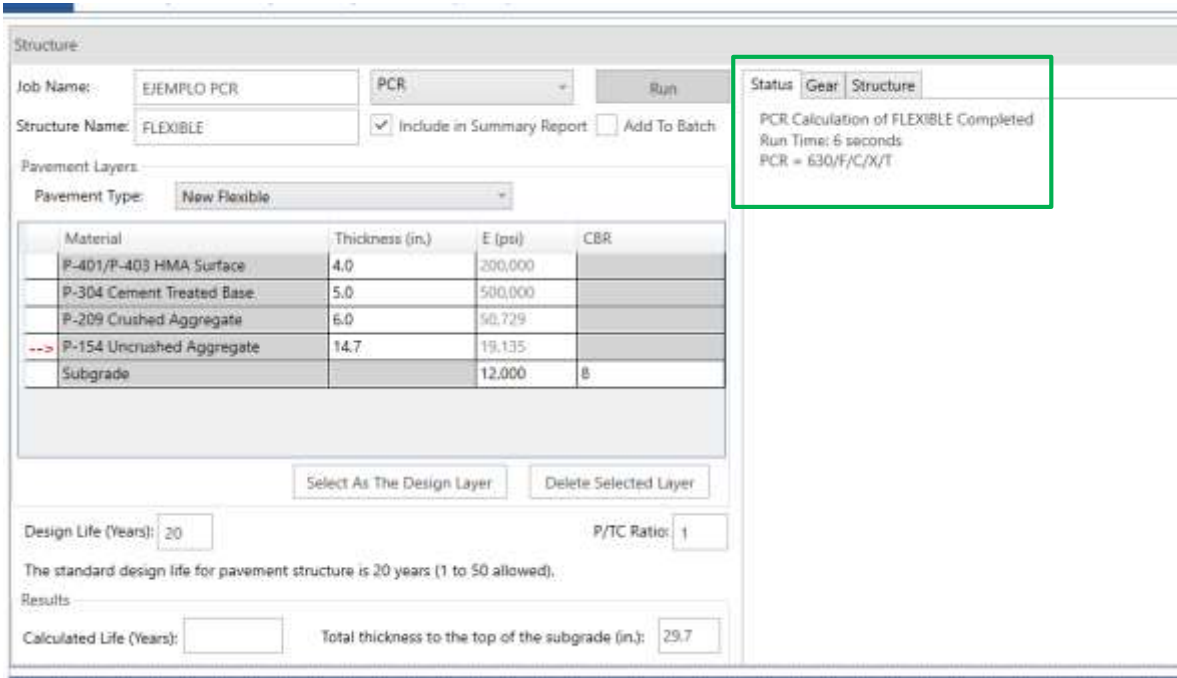


la pantalla. Seleccione el nuevo tipo de pavimento flexible en la lista desplegable Tipo de pavimento. Introduzca o modifique las capas de la estructura directamente en la tabla "Capas de pavimento", o haciendo clic en la imagen de la sección transversal del pavimento. Usando la biblioteca de aeronaves, ingrese a la lista de aeronaves de la Tabla 11-3 y modifique los pesos brutos y las salidas anuales según sea necesario. El valor predeterminado de P/TC es 1 y no es necesario cambiarlo. La Figura 11.4 muestra la pantalla de usuario de FAARFIELD con todos los datos introducidos para este ejemplo.

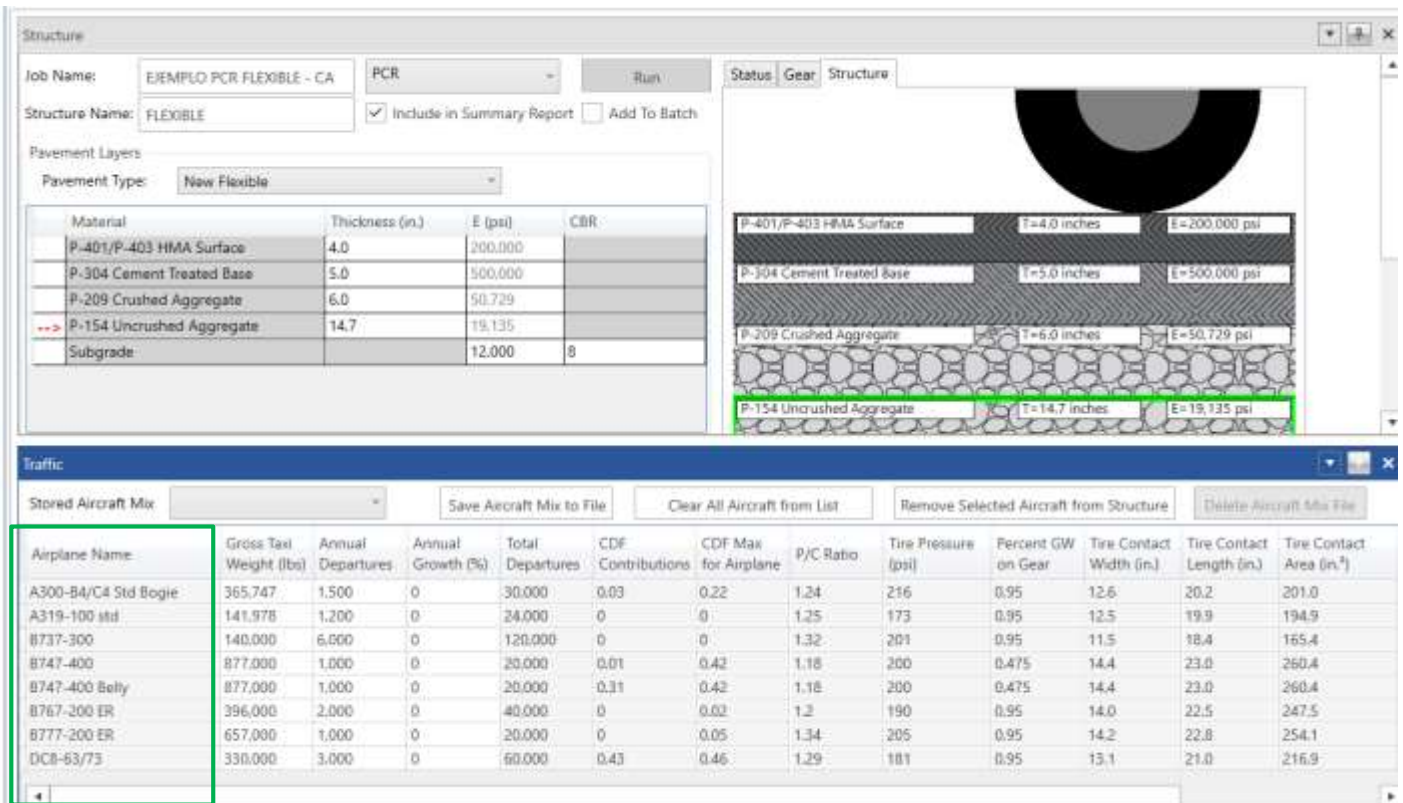


**Figura 11.4. Captura de pantalla de FAARFIELD en modo PCR con datos para ejemplo flexible**

- iii. Haga clic en "Run". FAARFIELD realizará el cómputo del PCR de forma automática. Cuando se complete el cálculo, el valor calculado del PCR aparecerá en la pantalla "Status" en la parte superior derecha (Figura 11.5). Para este ejemplo, el PCR calculado es 630/F/C/X/T. Tenga en cuenta que FAARFIELD identifica automáticamente la categoría de subrasante correcta en función de las propiedades introducidas. FAARFIELD selecciona X como la categoría de presión de neumáticos predeterminada, pero el usuario puede optar por indicar una categoría diferente en función de la información que tenga sobre la mezcla de la carpeta asfáltica.



**Figura 11.5. Salida FAARFIELD PCR ejemplo flexible**



**Figura 11.6. Tabla de tráfico FAARFIELD ejemplo flexible**

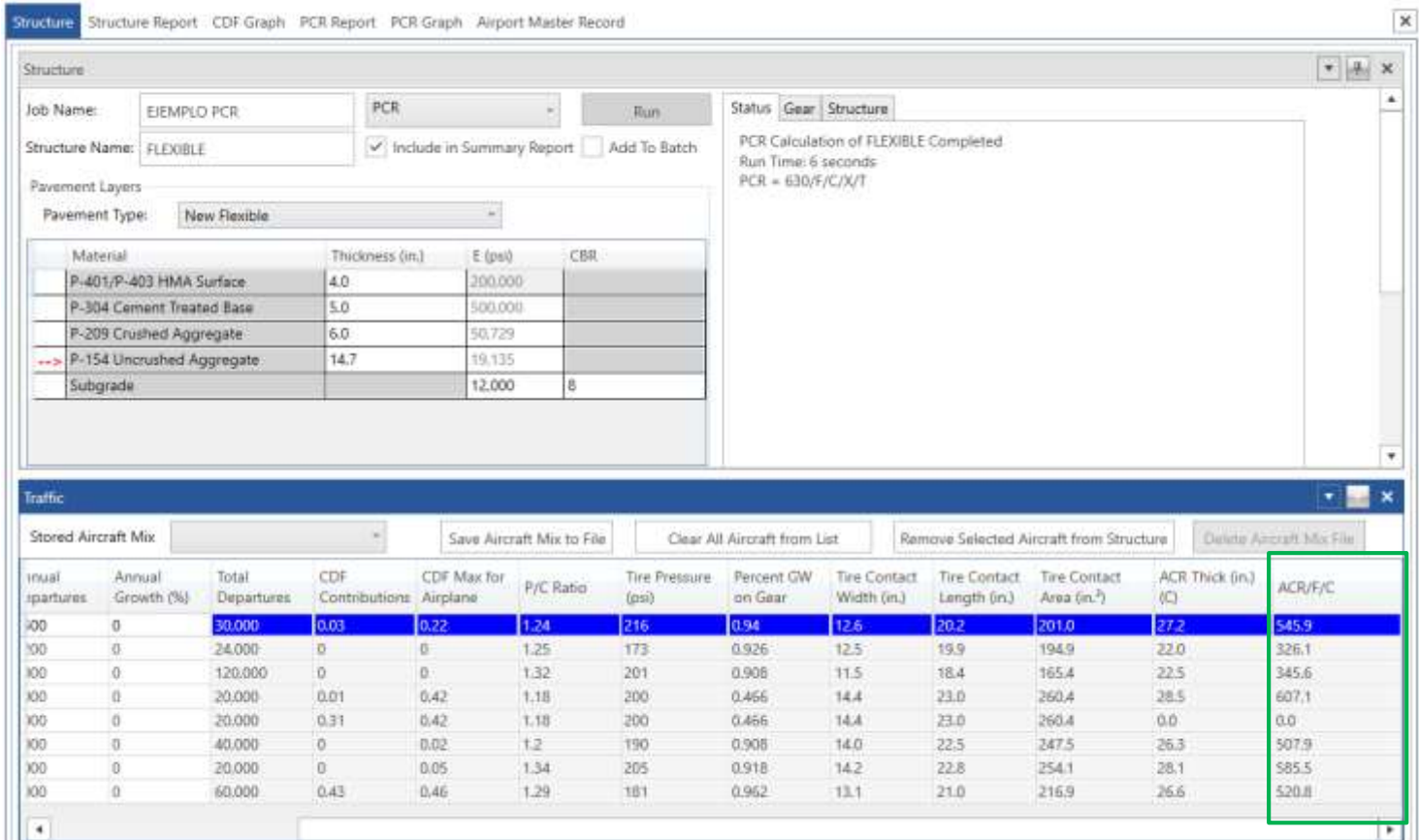


Figura 11.7. Tabla de tráfico FAARFIELD ejemplo flexible (valores ACR)

- iv. La tabla Tráfico proporciona información adicional sobre el cálculo del PCR (Figura 11.6). Las columnas "CDF Contributions" y "CDF Max for Airplane" muestran la contribución de CDF de cada aeronave en la mezcla en el desplazamiento crítico para la mezcla de tráfico y para la aeronave individual, respectivamente. El CDF total para este ejemplo es 0.780 y es inferior a 1.0, lo que indica que el pavimento flexible tiene capacidad estructural para el tráfico de uso. Tenga en cuenta que los valores de CDF pueden diferir de los valores calculados para la misma combinación de tráfico en el modo Diseño. Esto se debe a las diferentes características del tren de aterrizaje (porcentaje del peso bruto en el tren principal y presión de los neumáticos) utilizadas para los cálculos de PCR y los cálculos para diseño.
- v. Al desplazarse hacia la derecha de la tabla de tráfico FAARFIELD se muestran los valores ACR calculados de la aeronave usuaria en sus pesos operativos (Figura 11.7). Los espesores de ACR para pavimento flexible se muestran para cada aeronave de acuerdo con la categoría de subrasante del pavimento que se está evaluando. En este ejemplo, todos los ACR son menores que el PCR calculada, por lo tanto, todas las aeronaves pueden operar en el pavimento sin restricciones.
- vi. Desde la barra del explorador, seleccione "Gráfico PCR". FAARFIELD muestra un gráfico de barras que muestra visualmente los valores de ACR de los siete aviones más exigentes de la lista. La barra negra horizontal representa el

valor calculado de PCR. Este gráfico muestra que todos los valores de ACR son menores que el PCR, por lo tanto, todas las aeronaves pueden operar sin restricciones. El valor de PCR aparece en la tabla de la columna asociada a la aeronave crítica. En este ejemplo, la aeronave crítica para los cálculos de PCR es la B747-400, que también es la aeronave con el ACR más alto en peso operativo.

- vii. En la barra del explorador, seleccione "Informe PCR". FAARFIELD muestra los detalles del cálculo del PCR, en forma de tres tablas:
  1. La Tabla de Resultados 1 informa los datos de tráfico de entrada para todas las aeronaves en la lista. El porcentaje bruto que tenemos en el tren principal y los valores de presión de los neumáticos son los aplicables a los cálculos de ACR, y pueden diferir de los valores utilizados para el diseño.
  2. En el cuadro de resultados 2 se proporciona información sobre las aeronaves críticas: las salidas anuales equivalentes de aeronaves críticas (que serán iguales o superiores a las salidas anuales reales de esa aeronave en el cuadro de resultados 1); el MAGW calculado de la aeronave crítica (que será mayor que el peso bruto operativo si el  $ACR < PCR$ ); el espesor del ACR para la aeronave crítica al MAGW, y el PCR, que se define como el ACR de la aeronave crítica en el MAGW.
  3. La Tabla de Resultados 3 enumera la información ACR calculada para la aeronave usuaria.
- viii. Al hacer clic en "Guardar como PDF" en la parte superior de la pantalla, se obtiene una copia del informe generado (Figuras 11.9a. y 11.9b.).

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**



## Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.1 PCR Graph

FAARFIELD 2.1.1 (Build 12/21/2023)

Job Name: EJEMPLO PCR

Structure: FLEXIBLE

Analysis Type: New Flexible

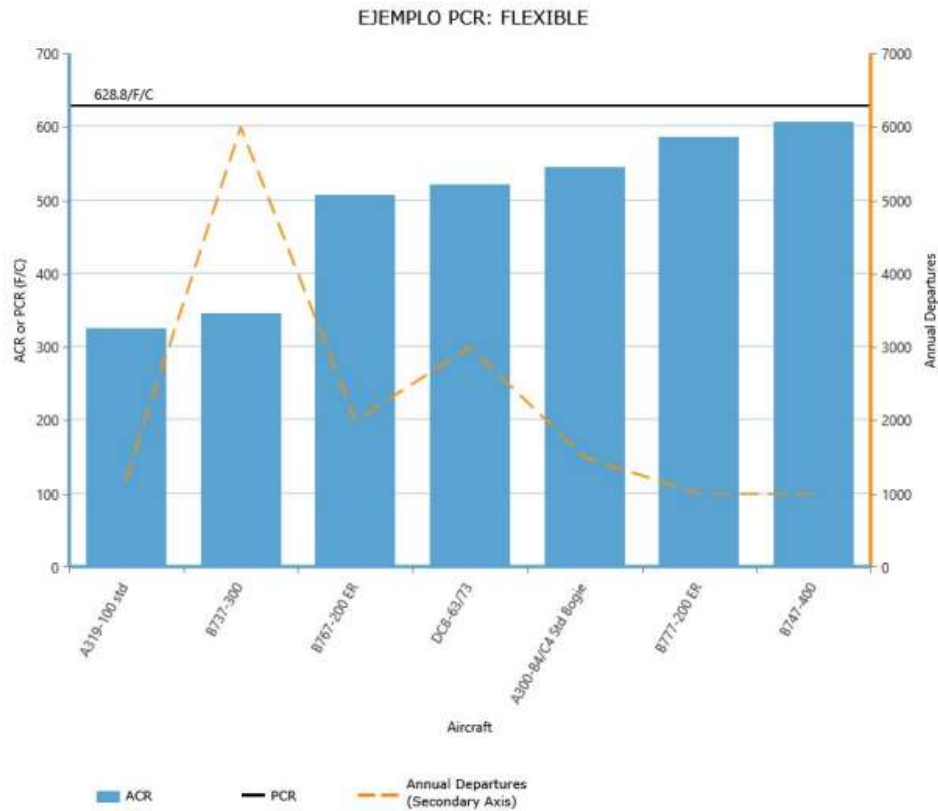


Figura 11.8. Gráfico de PCR para el ejemplo flexible

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**



## Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.1 PCR Report

FAARFIELD 2.1.1 (Build 12/21/2023)

**Job Name:** EJEMPLO PCR

**Structure:** FLEXIBLE

This file name = PCR Results for New Flexible 2024-07-10 11:58:21

Evaluation pavement type is flexible and design program is FAARFIELD.

Structure name: FLEXIBLE in job file: EJEMPLO PCR.JOB.xml

Units = US Customary

Analysis Type: New Flexible

Subgrade Modulus =12,000psi (Subgrade Category is C)

Evaluation Pavement Thickness = 29.7 in.

Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1.00

Maximum number of wheels per gear = 6

CDF = 0.780

At least one aircraft has 4 or more wheels per gear.

**Results Table 1. Input Traffic Data**

No.	Aircraft Name	Gross Weight (lbs)	Percent Gross Weight	Tire Pressure (psi)	Annual Departure	20 Years Coverage
1	A300-B4/C4 Std Bogie	365,747	94.00	216	1,500	24,126
2	A319-100 std	141,978	92.60	173	1,200	19,266
3	B737-300	140,000	90.80	201	6,000	90,850
4	B747-400	877,000	46.60	200	1,000	16,970
5	B747-400 Belly	877,000	46.60	200	1,000	16,936
6	B767-200 ER	396,000	90.80	190	2,000	33,248
7	B777-200 ER	657,000	91.80	205	1,000	14,915
8	DC8-63/73	330,000	96.20	181	3,000	46,525

**Results Table 2. PCR Value**

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft (lbs)	ACR Thick at max. MGW (in.)	PCR/F/C
1	B747-400	1,842	887,682	29.0	628.8

**Figura 11.9a. Informe de PCR de FAARFIELD ejemplo flexible**

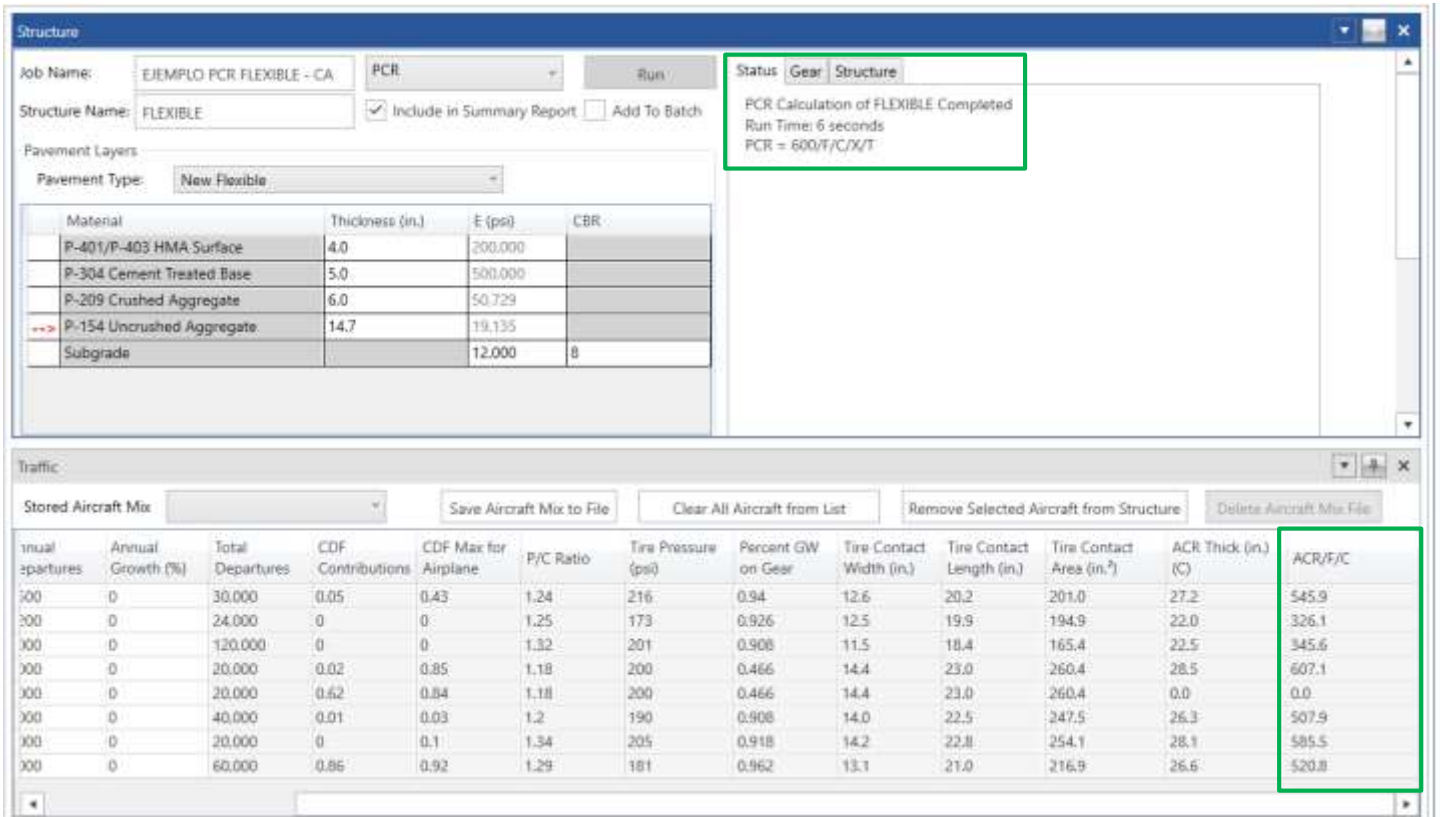
**Results Table 3. New Flexible ACR at Indicated Gross Weight and Strength**

No.	Aircraft Name	Gross Weight (lbs)	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure (psi)	ACR Thick (in.) (C)	ACR/F/C
1	A300-B4/C4 Std Bogie	365,747	94	216	27.2	545.9
2	A319-100 std	141,978	92.6	173	22.0	326.1
3	B737-300	140,000	90.8	201	22.5	345.6
4	B747-400	877,000	93.2	200	28.5	607.1
5	B767-200 ER	396,000	90.8	190	26.3	507.9
6	B777-200 ER	657,000	91.8	205	28.1	585.5
7	DC8-63/73	330,000	96.2	181	26.6	520.8

**Figura 11.9b. Informe de PCR de FAARFIELD ejemplo flexible**

- ix. Asumiendo de que el aeropuerto tenga una configuración de calle de rodaje central en lugar de paralela duplica efectivamente el número de coberturas en la pista y reduce el PCR. En la Figura 11.10, el único cambio es que la relación P/TC se ha incrementado de 1 a 2, lo que refleja la configuración de la calle de rodaje central en la Figura 10.1. Con este cambio, el PCR calculada es ahora de 600/F/C/X/T, y la CDF total es de 1.56. Debido a que el CDF total > 1.0, esperamos que al menos uno de los aviones enumerados tenga ACR > PCR. La Figura 11.11 muestra que este es de hecho el caso, que el ACR del B747-400 supera el PCR en aproximadamente un 1%. Siguiendo la guía de la OACI que permite operaciones de sobrecarga ocasionales por parte de aeronaves con ACR hasta un 10% por encima del PCR reportada, las operaciones del B747-400 aún se permitirían en este pavimento, pero el número de tales operaciones a peso completo se limitaría al 5% de las operaciones totales en la calle de rodaje. Además, el pavimento de la calle de rodaje debería ser monitoreado para detectar daños y después de cada operación con sobrecarga.

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**



**Figura 11.10. Salida FAARFIELD PCR ejemplo flexible (con P/TC = 2)**



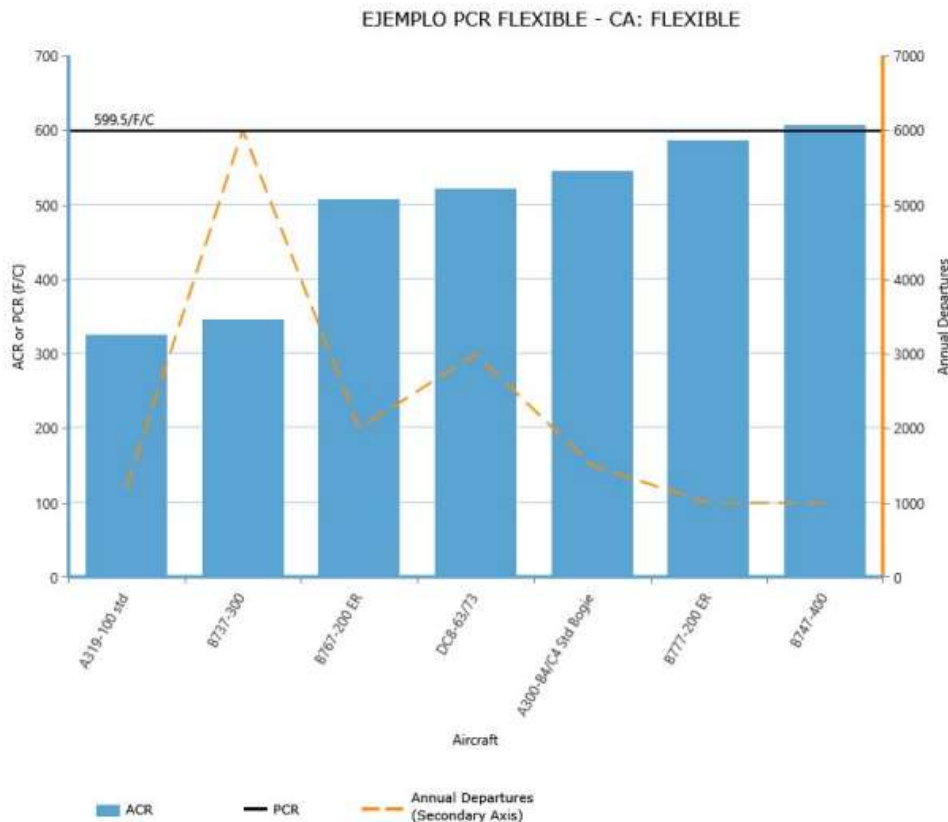
**Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.1 PCR Graph**

FAARFIELD 2.1.1 (Build 12/21/2023)

**Job Name: EJEMPLO PCR FLEXIBLE - CA**

**Structure: FLEXIBLE**

**Analysis Type: New Flexible**



**Figura 11.11. FAARFIELD Gráfico PCR ejemplo flexible (con P/TC = 2)**

### 11.7. Evaluación técnica para pavimentos rígidos

- a) La siguiente lista resume los pasos para utilizar el método de evaluación técnica para pavimentos rígidos:
- I. Determine el tipo de aeronaves y el número de salidas anuales de cada tipo de aeronave que experimentará el pavimento a lo largo de su vida útil.
  - II. Determine el módulo elástico subrasante. El módulo puede determinarse a partir de los datos de prueba o convertirse a partir del valor CBR utilizando  $E = 1,500 \times \text{CBR}$  (para E en psi).
  - III. Determine el espesor del hormigón y la resistencia a la flexión. La resistencia a la flexión es una estimación de la resistencia del hormigón que se obtendría de una prueba de rotura de viga de cuatro puntos siguiendo la norma ASTM C 78. Si no se dispone de datos de prueba, el ingeniero debe estimar la resistencia a la flexión in

- situ a partir de los registros de diseño, las correlaciones de la resistencia a la flexión con la resistencia a la tracción de un cilindro, o las correlaciones de la resistencia a la flexión con el módulo E del hormigón in situ (por ejemplo, a partir de pruebas HWD).
- IV. Determinar las otras características del pavimento. En FAARFIELD, cada capa por encima de la subrasante y por debajo del hormigón se caracteriza por su espesor y módulo elástico E. Para los materiales que cumplan con una especificación de la FAA, FAARFIELD asignará el valor E automáticamente, o también permite al usuario seleccionarlo en un rango de valores permitido.
- V. Determinar la relación P/TC para el pavimento utilizando los criterios del Apéndice 01.
- VI. Ingrese toda la información en FAARFIELD y ejecute la evaluación de PCR.

### 11.8. Ejemplo de evaluación técnica para pavimentos rígidos

- a) El siguiente ejemplo demuestra el método de evaluación técnica para determinar un PCR para pavimentos flexibles.
- I. El ejemplo está subdiseñado en relación con el volumen de tráfico de uso (CDF total > 1). El PCR calculado requerirá restricciones de peso operativo en el tráfico de uso.
- i. Un aeropuerto tiene un pavimento de pista rígido (con superficie de concreto). La resistencia a la flexión in situ es de 650 psi. La estructura es: capa superficial de concreto de 16 pulgadas (tipo P-501), base estabilizada de asfalto de 8 pulgadas (tipo P-403) y capa base estándar de 6 pulgadas (tipo P-209) colocada directamente sobre una subrasante preparada. A partir de las pruebas de HWD en la pista, el módulo subrasante se estima en  $E = 7,800$  psi. La combinación de tráfico es la misma que en la Tabla 11-1. Se supone a los efectos de este ejemplo que el nivel de tráfico es constante durante el período de tiempo de 20 años. Por lo general, se obtiene combustible adicional en el aeropuerto antes de la salida, y la pista tiene una calle de rodaje paralela (relación P/TC = 1). El pavimento está diseñado para una vida útil de 20 años.
- ii. Introduzca los datos en FAARFIELD. Después de abrir FAARFIELD, seleccione "PCR" en la lista desplegable de funciones en la parte superior de la pantalla. Seleccione el nuevo tipo de pavimento rígido en la lista desplegable Tipo de pavimento. Introduzca o modifique las capas de la estructura directamente en la tabla Capas de pavimento, o haciendo clic en la imagen de la sección transversal del pavimento. Utilizando la biblioteca de aeronaves, ingrese la lista de aeronaves de la Tabla 11-1 y modifique los pesos brutos y las salidas anuales según sea necesario. El valor predeterminado de P/TC es 1 y no es necesario cambiarlo. La Figura 11.13 muestra la pantalla de usuario de FAARFIELD con todos los datos introducidos para este ejemplo.
- iii. Haga clic en "Run". FAARFIELD realizará los cálculos de PCR automáticamente. Cuando se complete el cálculo, el valor calculado del PCR aparecerá en la pantalla "Status" en la parte superior derecha (Figura 11.14). Para este ejemplo, el PCR calculada es 920/R/D/W/T. Tenga en cuenta que FAARFIELD identifica automáticamente la categoría subrasante correcta en



función de las propiedades de subrasante introducidas. FAARFIELD selecciona 'W' como la categoría de presión de neumáticos predeterminada para pavimentos rígidos, porque se supone que las superficies de concreto tolerarán altas presiones de neumáticos.

- iv. La tabla Tráfico proporciona información adicional sobre el cálculo del PCR (Figura 11.15). Las columnas "CDF Contributions" y "CDF Max for Airplane" muestran la contribución de CDF de cada aeronave en la mezcla con la desviación crítica para la mezcla de tráfico, y para las aeronaves individualmente, respectivamente. El CDF total para este ejemplo es de 4.83. El CDF total para este ejemplo es mayor que 1.0, lo que indica que el pavimento rígido tiene una capacidad estructural insuficiente para el tráfico en uso. Tenga en cuenta que los valores de CDF pueden diferir de los valores compuestos para la misma mezcla de tráfico en el modo Diseño. Esto se debe a las diferentes características del tren de aterrizaje (porcentaje del peso bruto en el tren principal y presión de los neumáticos) utilizados para los cálculos de PCR y los cálculos de diseño.
- v. Moviéndose a la derecha de la tabla de tráfico FAARFIELD muestra los valores ACR calculados de la aeronave usuaria en sus pesos operativos (Figura 11.16). Los espesores de ACR rígido se muestran para cada aeronave para la categoría de subrasante del pavimento que se está evaluando. En este ejemplo, el ACR calculado para el ER B777-200 (ACR 1040/R/D) supera el PCR calculado. Si el aeropuerto publica el PCR calculado, entonces serán necesarias restricciones de peso operativo en el ER B777-200. Las posibles alternativas a la restricción del peso operativo son (a) proporcionar una sobre capa para aumentar la capacidad estructural de la pista; o (b) permitir operaciones de sobrecarga ocasional del ER B777-200 en la pista, sujeto a la limitación de que el número de tales operaciones de sobrecarga no exceda el 5% de las operaciones totales. Aunque esta última opción no es posible porque el ACR del B777-200ER en su peso operativo máximo excede el PCR en más del 10%.
- vi. En la barra Explorer, seleccione "Gráfico PCR". FAARFIELD muestra un gráfico de barras que muestra visualmente los valores de ACR de los siete aviones más exigentes de la lista (Figura 11.17). La barra negra horizontal representa el valor calculado de PCR. Este gráfico muestra que los valores de ACR son menores que los del PCR, a excepción del mencionado B777-200 ER. El valor de PCR aparece en la tabla de la columna asociada a la aeronave crítica. En este ejemplo, la aeronave crítica para los cálculos de PCR es también el B747-400.
- vii. En la barra del explorador, seleccione "PCR Report". FAARFIELD muestra los detalles del cálculo del PCR, en forma de tres tablas:
  1. La Tabla de Resultados 1 informa los datos de tráfico de entrada para todas las aeronaves que utilizan. El porcentaje de peso bruto en el tren de aterrizaje principal y los valores de presión de los neumáticos son los aplicables a los cálculos de ACR, y pueden diferir de los valores utilizados para el diseño.

2. En el cuadro de resultados 2 se proporciona información sobre la aeronave crítica: las salidas anuales equivalentes de aeronaves críticas (que deben ser iguales o superiores a las salidas anuales reales de esa aeronave en el cuadro de resultados 1); el MAGW calculado de la aeronave crítica (que será mayor que el peso bruto operativo si el  $ACR < PCR$ ); el grosor del ACR para la aeronave crítica en el MAGW, y el PCR, que se define como el ACR de la aeronave crítica en el MAGW.
  3. La Tabla de Resultados 3 enumera la información ACR calculada para la aeronave usuaria. Si el CDF es mayor que 1.0, al menos una de las aeronaves enumeradas tendrá  $ACR > PCR$ .
- viii. Al hacer clic en "Guardar como PDF" en la parte superior de la pantalla, se obtiene una copia del informe generado (Figuras 11.18a. y 11.18b.).

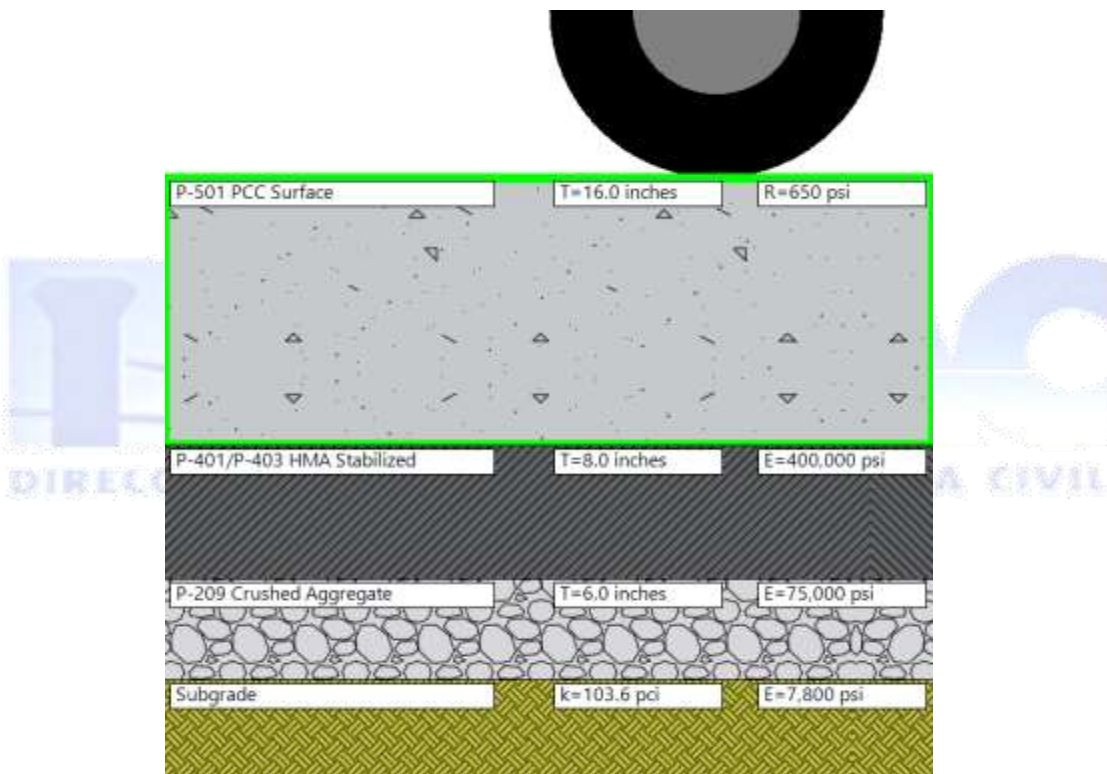
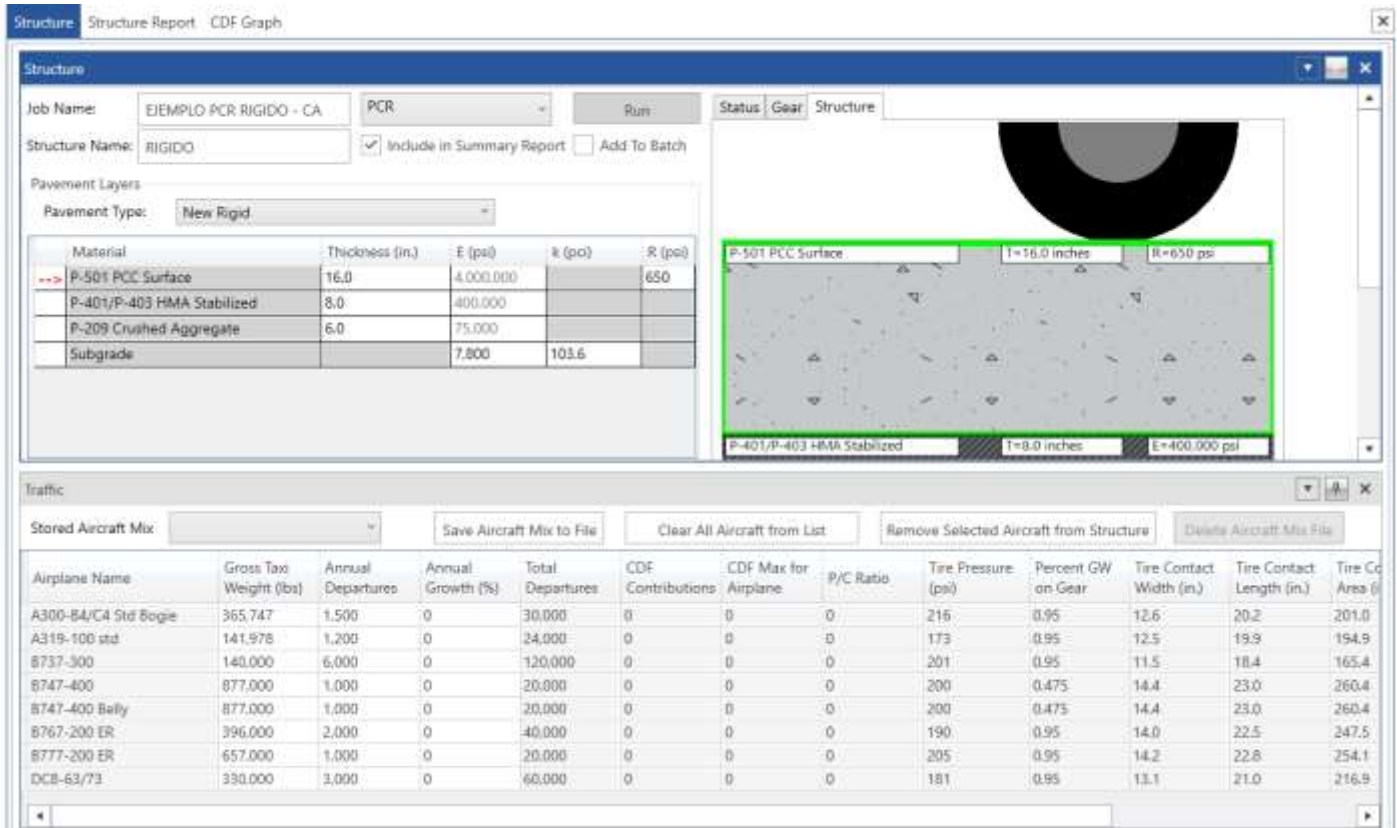
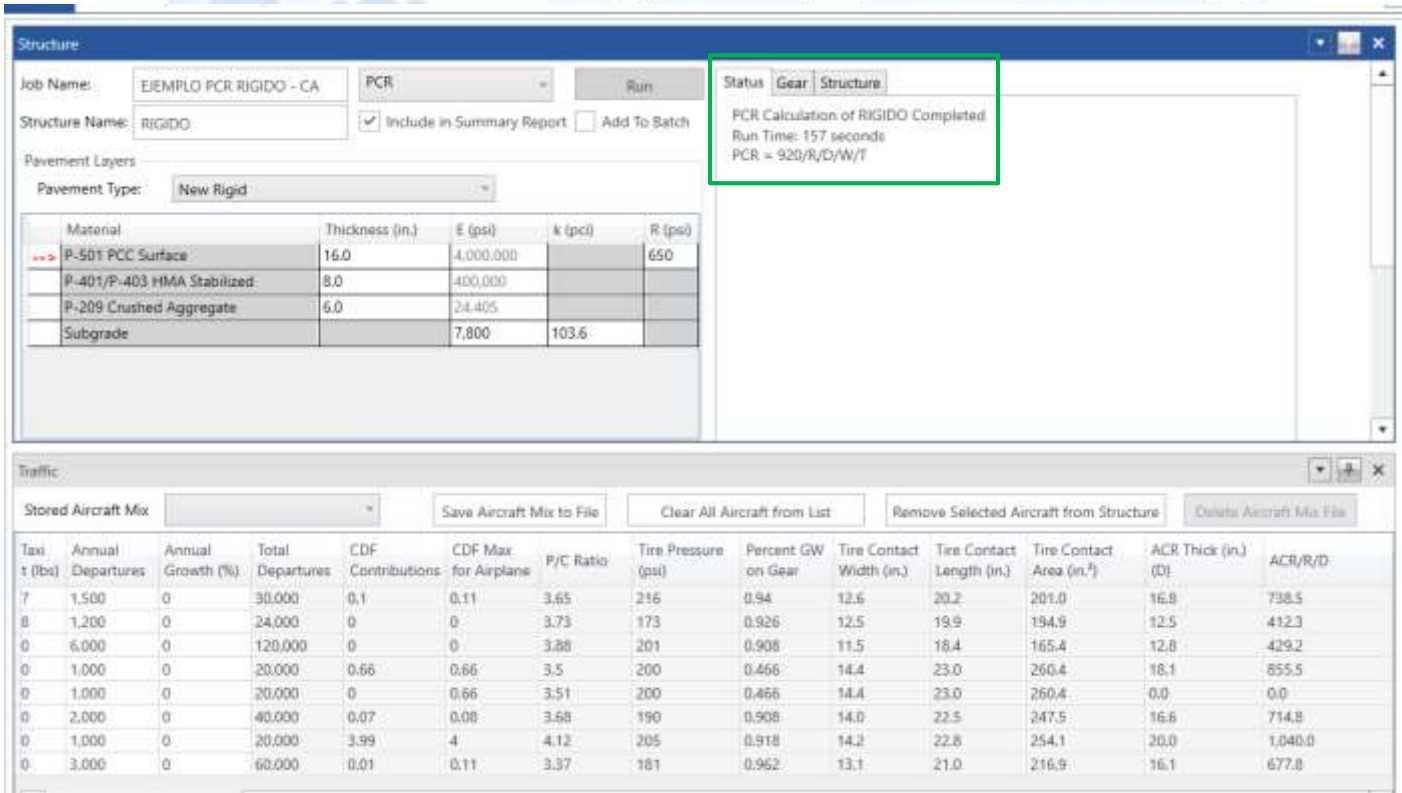


Figura 11.12. Estructura de pavimento rígido para el ejemplo

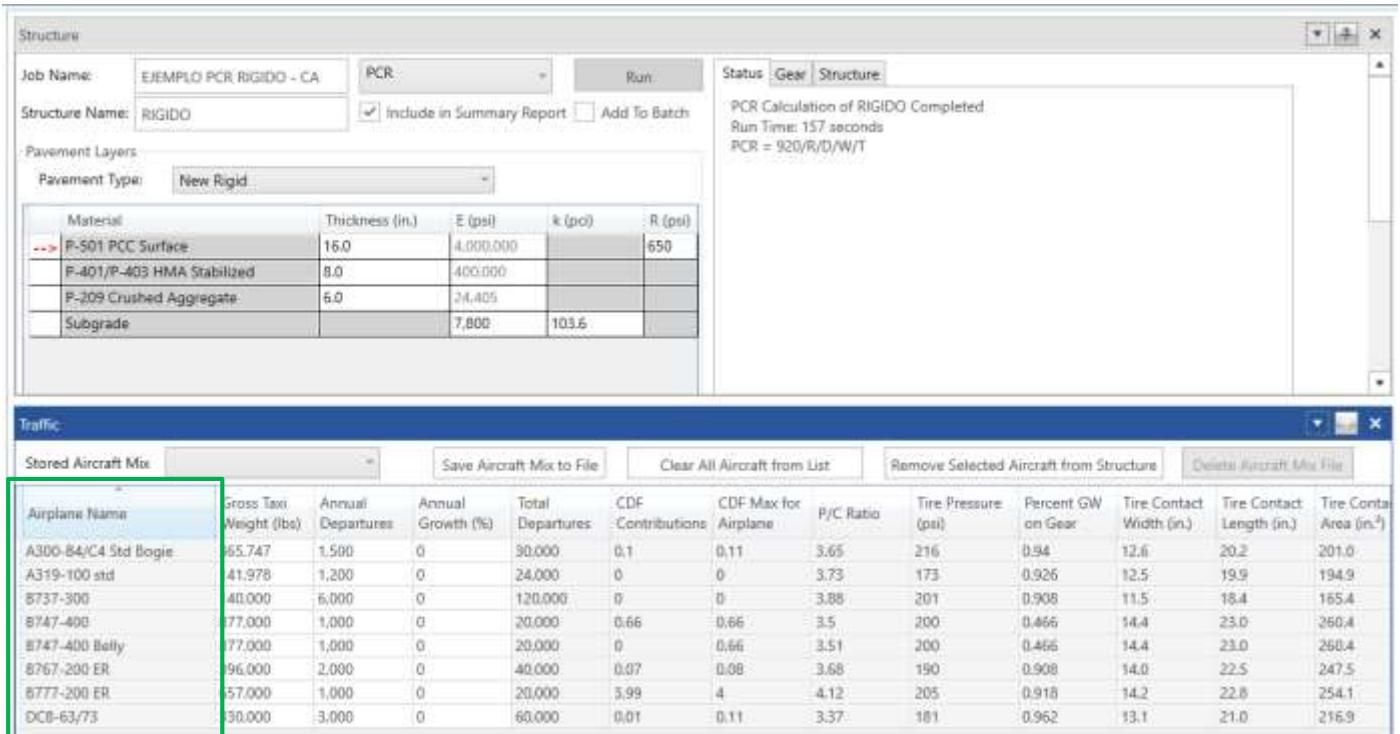
INTENCIONALMENTE EN BLANCO



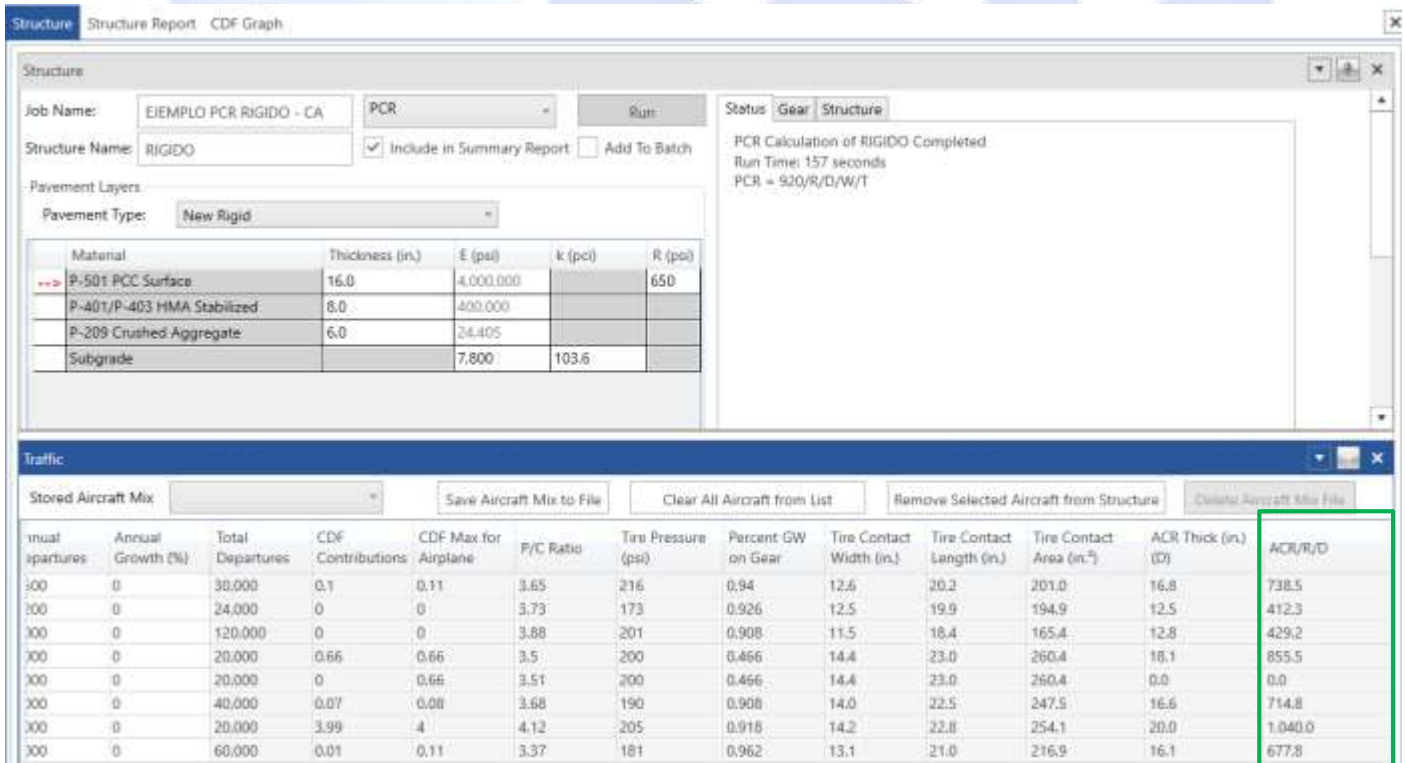
**Figura 11.13. Captura de pantalla de FAARFIELD en modo PCR con datos para el ejemplo rígido**



**Figura 11.14. Salida FAARFIELD PCR ejemplo rígido**



**Figura 11.15. Tabla de tráfico FAARFIELD ejemplo rígido**



**Figura 11.16. Tabla de tráfico FAARFIELD ejemplo rígido (Valores de ACR)**



### Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.1 PCR Graph

FAARFIELD 2.1.1 (Build 12/21/2023)

Job Name: EJEMPLO PCR RIGIDO - CA

Structure: RIGIDO

Analysis Type: New Rigid

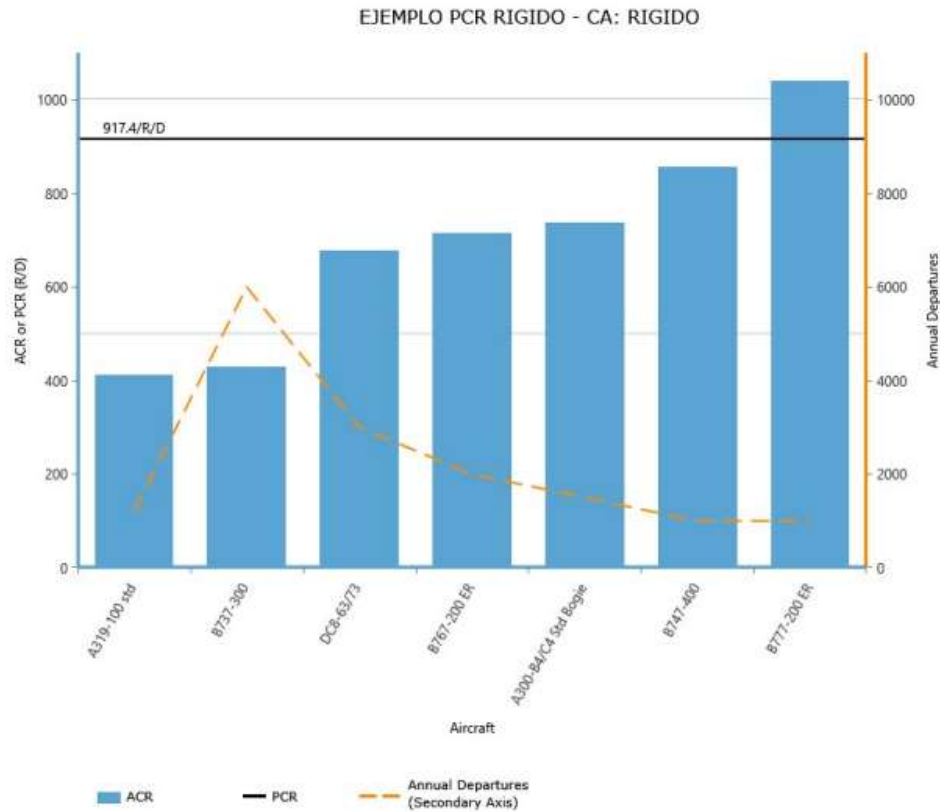


Figura 11.17. FAARFIELD Gráfico PCR ejemplo rígido

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**



## Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.1 PCR Report

FAARFIELD 2.1.1 (Build 12/21/2023)

**Job Name:** EJEMPLO PCR RIGIDO - CA

**Structure:** RIGIDO

This file name = PCR Results for New Rigid 2024-07-12 10:21:24

Evaluation pavement type is rigid and design program is FAARFIELD.

Structure name: RIGIDO in job file: EJEMPLO PCR RIGIDO - CA.JOB.xml

Units = US Customary

Analysis Type: New Rigid

Subgrade Modulus =7,800psi (Subgrade Category is D)

Evaluation Pavement Thickness = 30.0 in.

Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1.00

Maximum number of wheels per gear = 6

CDF = 4.830

**Results Table 1. Input Traffic Data**

No.	Aircraft Name	Gross Weight (lbs)	Percent Gross Weight	Tire Pressure (psi)	Annual Departure	20 Years Coverage
1	A300-B4/C4 Std Bogie	365,747	94.00	216	1,500	8,225
2	A319-100 std	141,978	92.60	173	1,200	6,435
3	B737-300	140,000	90.80	201	6,000	30,892
4	B747-400	877,000	46.60	200	1,000	5,717
5	B747-400 Belly	877,000	46.60	200	1,000	5,705
6	B767-200 ER	396,000	90.80	190	2,000	10,883
7	B777-200 ER	657,000	91.80	205	1,000	4,857
8	DC8-63/73	330,000	96.20	181	3,000	17,828

**Results Table 2. PCR Value**

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft (lbs)	ACR Thick at max. MGW (in.)	PCR/R/D
1	B777-200 ER	1,205	606,263	18.8	917.4

**Figura 11.18a. Informe de PCR de FAARFIELD ejemplo rígido**

**Results Table 3. New Rigid ACR at Indicated Gross Weight and Strength**

No.	Aircraft Name	Gross Weight (lbs)	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure (psi)	ACR Thick (in.) (D)	ACR/R/D
1	A300-B4/C4 Std Bogie	365,747	94	216	16.8	738.5
2	A319-100 std	141,978	92.6	173	12.5	412.3
3	B737-300	140,000	90.8	201	12.8	429.2
4	B747-400	877,000	93.2	200	18.1	855.5
5	B767-200 ER	396,000	90.8	190	16.6	714.8
6	B777-200 ER	657,000	91.8	205	20.0	1040
7	DC8-63/73	330,000	96.2	181	16.1	677.8

**Figura 11.18b. Informe de PCR de FAARFIELD ejemplo rígido**

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**



## 12. APÉNDICE 03. EVALUACIÓN DE LA SOBRECARGA DEL PAVIMENTO POR EL SISTEMA ACR-PCR

### 12.1. Guía de evaluación de la sobrecarga de pavimento de la OACI

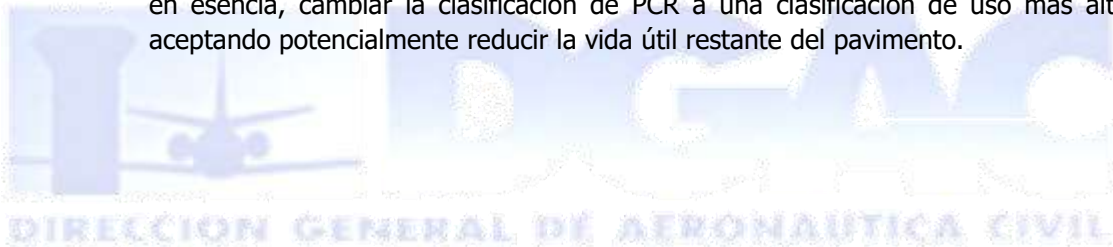
- a) En la vida de un pavimento, es posible que el tráfico actual o el futuro carguen el pavimento de tal manera que se supere la calificación de pavimento asignada. La OACI proporciona un método simplificado para tener en cuenta la sobrecarga menor del pavimento en el que la sobrecarga puede ajustarse aplicando un porcentaje fijo al PCR existente.
- b) El procedimiento de la OACI para las operaciones de sobrecarga se basa en el tráfico menor o limitado que tiene ACR que exceden el PCR notificada. Las cargas que son más grandes que el PCR definida acortarán la vida útil del diseño del pavimento, mientras que las cargas más pequeñas consumirán la vida útil a un ritmo reducido. Con la excepción de la sobrecarga masiva, los pavimentos no fallan repentina o catastróficamente. Como resultado, la sobrecarga menor ocasional es aceptable con solo una pérdida limitada de la esperanza de vida del pavimento y una aceleración relativamente pequeña del deterioro del pavimento.
- c) Se recomiendan las siguientes pautas al evaluar sobrecargas:
  - I. Para pavimentos flexibles o rígidos, el tráfico ocasional de aeronaves con un ACR que no exceda el 10% por encima del PCR informado no debe afectar negativamente al pavimento. Por ejemplo, un pavimento con PCR= 600 puede soportar un tráfico limitado de aeronaves con ACR=660.
  - II. La cantidad anual de tráfico de sobrecarga no debe exceder aproximadamente del 5% del tráfico total anual de aeronaves. No hay una guía exacta para elegir un número de operaciones que represente el 5%.
  - III. Normalmente no se deben permitir sobrecargas en pavimentos que ya presenten signos de problemas estructurales, o cuando la resistencia del pavimento o su subrasante pueda debilitarse por el agua.
  - IV. Cuando se realizan operaciones con sobrecarga, el explotador del aeropuerto debe inspeccionar regularmente el estado del pavimento. Periódicamente, el explotador del aeropuerto debe revisar los criterios que utiliza para las operaciones con sobrecarga. La repetición excesiva de sobrecargas puede causar una reducción significativa en la vida útil del pavimento o acelerar el momento en que el pavimento requerirá una rehabilitación importante.
- d) Estos criterios proporcionan un proceso coherente y repetible que el explotador del aeropuerto puede utilizar para controlar el impacto las operaciones con sobrecarga en el pavimento en términos de reducción de la vida útil o aumento de las necesidades de mantenimiento. En este apartado se analizan los métodos para hacer concesiones para sobrecarga en pavimentos flexibles y rígidos que indicarán claramente estos efectos y darán al gestor la capacidad de reducir el impacto tanto en el aspecto económico como en términos de la vida útil del pavimento.

### 12.2. Guía para sobrecarga

- a) La guía de evaluación de sobrecarga en este apéndice se aplica principalmente a pavimentos flexibles y rígidos que tienen valores de PCR que fueron establecidos por el método técnico. Los pavimentos que tienen clasificaciones determinadas por el Método la Aeronave en Uso

pueden utilizar esta guía de sobrecarga siempre que se sigan procedimientos de inspección de pavimentos muy frecuentes.

- b) Los ajustes para sobrecargas de pavimento comienzan con la suposición de que algunas de las aeronaves en la mezcla de tráfico tienen ACR que exceden el PCR. Si se realizó un análisis técnico, entonces la mayoría de los datos necesarios ya existen para realizar un análisis de sobrecarga.
- c) El PCR recomendado no es adecuado para la mezcla de tráfico cuando el CDF total  $> 1$ . Los aeropuertos tienen tres opciones al evaluar qué calificación de resistencia del pavimento publicar:
  - I. Que el PCR se mantenga como derivada del método de evaluación técnica, pero conserve el conocimiento local de que hay algunas aeronaves en la mezcla de tráfico a las que se les puede permitir operar con ACR que exceden el PCR publicada o a un peso reducido para no exceder el PCR.
  - II. Proporcionar un aumento del PCR mediante la adición de una sobre capa o mediante la reconstrucción del pavimento para acomodar aeronaves con ACR más altos.
  - III. Ajustar el PCR hacia arriba a la de la aeronave con el ACR más alto, pero reconociendo la necesidad de esperar un posible mantenimiento severo. Esto resultará en un aumento de costos tempranos de mantenimiento y también aumentará los costos de los proyectos de reconstrucción o de sobre capas. Esto es, en esencia, cambiar la clasificación de PCR a una clasificación de uso más alta, aceptando potencialmente reducir la vida útil restante del pavimento.



**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

### **13. APÉNDICE 04. NOTIFICACIÓN DE CAMBIOS EN DETERMINADOS ELEMENTOS DE LOS DATOS DE LA PISTA**

- a) Esta Circular de Asesoramiento afecta a los siguientes datos de la pista del aeropuerto.

#### **13.1. Peso bruto permitido**

- a) Los datos de peso de las aeronaves se informan utilizando esta CA basado en el PCR calculado para el pavimento que fue evaluado.
- b) Fuentes de datos:
- I. El explotador del aeropuerto o la Autoridad de Aviación Civil pueden publicar los datos de la capacidad de soporte del pavimento. La información se enviará de acuerdo con los procedimientos propios de cada Estado para su publicación en el AIP y debe contener los cinco elementos del código, por ejemplo, 587/F/C/W/T.
- c) Reporte del peso bruto permisible:
- I. El peso bruto permitido de la aeronave para cada configuración de tren de aterrizaje que puede utilizar la pista en cuestión se deberá incluir en el Manual de Aeródromo del aeropuerto.

#### **13.2. Clasificación de pavimentos (PCR)**

- a) Fuente de datos:
- I. La fuente de datos de clasificación de pavimentos (PCR) es el operador del aeropuerto. Los inspectores de seguridad operacional de la Dirección General de Aeronáutica Civil deberán solicitar al operador del aeropuerto que tenga reportado el PCR de las pistas, calles de rodaje y plataformas antes de la certificación del aeródromo y lo mantenga actualizado de acuerdo con las condiciones de tráfico.
- b) Notificación de PCR:
- I. El PCR es un número que expresa la capacidad de carga de un pavimento basado en todo el tráfico de aeronaves que opera regularmente en los pavimentos y debe estar apropiadamente publicado en el AD-2 del AIP de todo aeródromo que opere vuelos internacionales.

**INTENCIONALMENTE EN BLANCO**






#### 14. APÉNDICE 05. MATERIAL DE LECTURA RELACIONADO


a) Durante el desarrollo de esta CA se utilizaron las siguientes publicaciones:

- I. AC No: 150/5335-5D Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCR.
- II. AC 150/5320-6, Diseño y evaluación de pavimentos de aeropuertos. La FAA hace que esta publicación esté disponible de forma gratuita en el sitio web de la FAA en <https://www.faa.gov>.
- III. Boletín de la OACI, Revista Oficial de Aviación Civil Internacional, Airport Technology, Volumen 35, No. 1, Montreal, Quebec, Canadá H3A 2R2, enero de 1980.

#### 15. AUTORIZADO



Licda. Ingrid Azucena Zelaya Florian  
Directora General Interina



DIRECCION GENERAL DE AERONAUTICA CIVIL