

Modificaciones of the
ACN-PCN Method for their
Implementation in Cuba

Modificaciones del Método ACN-PCN para su Implementación en Cuba



Autores

LETICIA GARCÍA PÉREZ

Ingeniera Civil, Profesora e Investigadora del Centro de Investigaciones de las Estructuras y los Materiales (CIDEM), de la Facultad de Construcciones de la Universidad Central de las Villas. Cuba

email: leticiagp@uclv.edu.cu

GILBERTO J. QUEVEDO SOTOLONGO

Director del Centro de Investigaciones de las Estructuras y los Materiales (CIDEM), de la Universidad Central de las Villas. Cuba

email: quevedo@uclv.edu

Fecha de aceptación 25/04/07

Fecha de recepción 14/05/07

Resumen

En el presente trabajo se exponen las características del método de evaluación de pistas de aeropuertos (ACN – PCN), establecido por la OACI y se hace un estudio del mismo, encaminado a plantear modificaciones necesarias para su implementación en Cuba. Las modificaciones planteadas están relacionadas con la necesidad de valorar cimentaciones no

homogéneas de pistas aéreas, presentes en aeropuertos en Cuba, y la valoración de la influencia del estado tensional en la determinación del espesor equivalente (e) y el CBR promedio de dicha cimentación. Muestra comparativamente las influencias de estas modificaciones para distintos casos reales a la hora de establecer el PCN de las pistas aéreas.

Palabras clave: Método ACN – PCN, OACI, CBR, pavimento, evaluación de pistas aéreas, pista aeroportuaria, número clasificación aeronave, número clasificación pavimento.

Abstract

This article presents the characteristics of the method of evaluation of airports runways (ACN - PCN method) settled down by the OACI and a study of the same one is made, guided to outline necessary modifications for its implementation in Cuba. The outlined modifications are related with the necessity of valuing non homogeneous foundations of air

hints, present in airports in Cuba, and the valuation of the influence of the state tensional in the determination of the equivalent thickness (e) and the CBR average of this foundation. It shows the influences of these modifications comparatively for different real cases when establishing the PCN of the air hints.

Key words: ACN-PCN Method, OACI, CBR, pavement, evaluation of runways, runway, airplane classification number, pavement classification number.

1 Método ACN-PCN

Como es conocido ACN-PCN es el método vigente establecido por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) para la evaluación de pistas en aeropuertos, después de aplicado el mismo sobre un pavimento, es muy fácil determinar la aeronave crítica que afecta el pavimento de la pista, el mismo constituye una herramienta indispensable para la adecuada administración de los bienes que ellos representan.

El **ACN**, Air Craft Clasification Number (Número de Clasificación de Aeronaves) es un número que expresa el efecto relativo de una aeronave de peso dado sobre un pavimento con una categoría del terreno de cimentación especificada.

El **PCN** Paviment Clasification Number (Número de Clasificación de Pavimentos) es el número que expresa la capacidad de carga de un pavimento para un número ilimitado de operaciones (varios PCN podrían obtenerse si la resistencia del pavimento depende de importantes variaciones estacionales).

El número de clasificación del pavimento (PCN) indica que una aeronave cuyo número de clasificación (ACN) es menor o igual a dicho PCN podrá utilizar el pavimento únicamente sujeto a restricciones relativas a la presión de neumáticos.

El ACN se podrá obtener mediante la fórmula siguiente:

$$ACN = \frac{2}{1000} \times (CRSE) \quad [1]$$

Con CRSE en (Kg)

Donde:

CRSE: carga por rueda simple equivalente del tren de aterrizaje principal de la aeronave en cuestión (depende de la distribución de las ruedas)

2/1000: Coeficiente que se seleccionó para que los ACN de la mayoría de las aeronaves queden entre 0 y 100

El PCN para pavimentos flexibles se podrá obtener mediante la fórmula:

$$PCN = \left(\frac{1}{500} \right) \frac{e^2}{\frac{1}{0.57 * CBR} - 0.025} \quad [2]$$

Donde:

e: Espesor equivalente en cm, a partir de convertir el pavimento en un material homogéneo equivalente de $E = 500$ MPa

CBR: CBR de la cimentación en %

1.1 Ejemplo 1. Cálculo de PCN. Método tradicional establecido por la OACI

Tomando para determinar el PCN según lo establecido por la OACI, 4 estructuras de pavimentos, Figura 1, seleccionadas de la pista de un aeropuerto sería de la siguiente forma:

Las características de los materiales que componen las capas de cada estructura de pavimento aparecen en la Tabla 1.

Utilizando la Fórmula 2 obtenemos los siguientes resultados (ver en la Tabla 2):

$$PCN = \left(\frac{1}{500} \right) \frac{e^2}{\frac{1}{0.57 * CBR} - 0.025} ; e = E_i / 500 * h_i$$

E_i : es el módulo de cada capa componente del pavimento

h_i : es el espesor de cada capa

Para el espesor equivalente se toman las capas de superficie, base y subbase.

El CBR se toma del suelo natural que sería la cimentación.

Se puede ver cómo en los casos en que aparecen dos suelos, en función de si tomamos el CBR de un suelo u otro cambia notablemente el valor del PCN, cabe la duda de cuál de los dos valores de CBR tomar para un resultado más real, o si ambos trabajan de forma conjunta en la cimentación.

FIGURA 1
Estructuras de pavimento
de una pista ejemplo

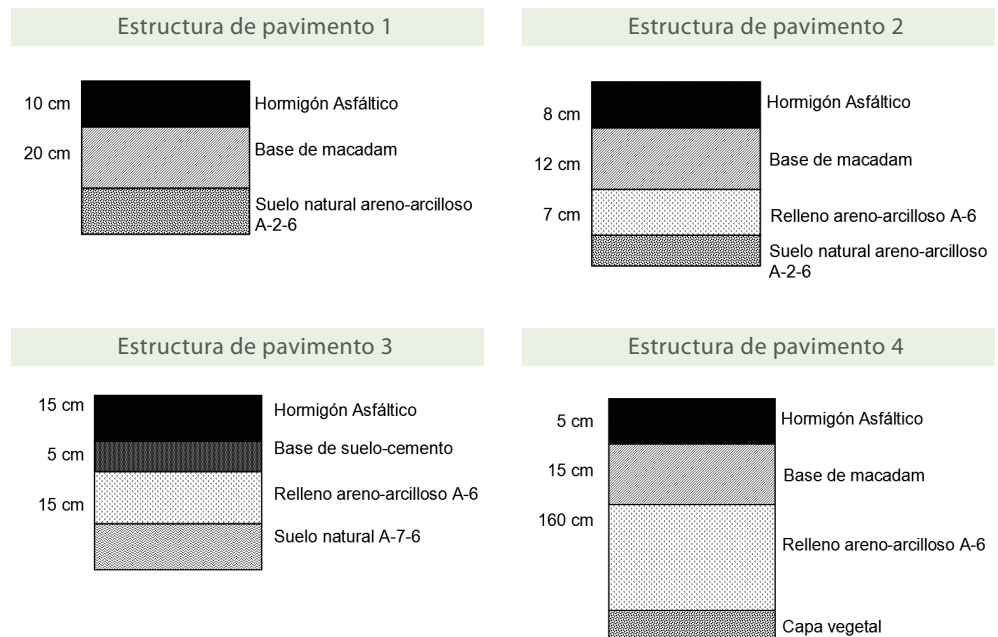


Tabla 1 Características de los materiales componentes de las diferentes estructuras de pavimento

Capa	c	ϕ	E (MPa)	γ (KN/m ³)	CBR	μ
A-2-6	20	37	37	17	20	0,30
A-6	20	32	25	17,5	15	0,32
A-7-6	47	18	18	16	6	0,37
Capa vegetal	8	5	4	14	3	0,40
Asfalto	-	-	1.000	23	-	0,40
Suelo cemento	-	-	1.000	20	-	0,25
Madacam	-	-	400	21	-	0,25

2 Modificaciones al método ACN-PCN. Aplicación

A partir de tener bien interpretado el procedimiento ACN-PCN, tratamos de realizarle algunos mejoramientos, como por ejemplo a la hora de determinar el espesor equivalente del pavimento, llevado a un material homogéneo de módulo 500 MPa, se realiza un promedio pesado en función de lo que aporta cada material del pavimento en el espesor y en su módulo, lo cual tiene lógica pero no es totalmente

correcto, pues no tiene en cuenta los estados tensionales que actúan en cada material, por el ejemplo el asfalto que está en la superficie tomará más esfuerzo que el material que está debajo de él. A partir de esto se propuso una forma de determinar dicho espesor equivalente (e), como un promedio pesado en función de los espesores, los módulos y las tensiones medias actuantes en cada material, lo que hace mejorar el comportamiento, pues los materiales de mayor módulo son los que están en la superficie y son los que más tensiones toman.

Tabla 2 Resultados del cálculo del PCN método tradicional

Estructura	CBR de la cimentación	PCN (tradicional)	Observaciones
1	20	41	Esta se adapta a las condiciones que debe tener un pavimento para aplicar el método de forma tradicional
Estructura 2 considerando A-6 como cimentación			
2	15	14	Del otro suelo, el A-2-6 se tiene en cuenta el CBR
Estructura 2 considerando A-2-6 como cimentación			
2	20	20	El A-6 se toma en el espesor equivalente
Estructura 3 considerando A-7-6 como cimentación			
3	6	10	Del otro suelo, el A-6 se tiene en cuenta el CBR
Estructura 3 considerando A-6 como cimentación			
3	15	34	El A-7-6 se toma en el espesor equivalente
Estructura 4 considerando la capa vegetal como cimentación			
4	3	1	Del otro suelo, el A-6 se tiene en cuenta el CBR
Estructura 4 considerando A-6 como cimentación			
4	15	10	La capa vegetal se toma en el espesor equivalente

$$e = \sum h_i \left(\frac{E_i}{500} * \frac{\sigma_{zp_i}}{\sigma_{zp_{promedio}}} \right) \quad [3]$$

Donde:

- h_i : Espesor de las diferentes capas
- E_i : Módulo del material de cada capa
- σ_{zp_i} : Tensión media en cada capa
- $\sigma_{zp_{promedio}}$: Promedio de las tensiones medias de cada capa

Para el caso en que debajo del pavimento aparezcan dos suelos diferentes o más, y que estén dentro de la potencia activa, también se pueden hacer modificaciones, determinando un CBR promedio, en función de los espesores de cada suelo, de los CBR de los mismos y de las tensiones medias actuantes en cada material, ya que el método tradicional considera un suelo homogéneo.

$$CBR_{prom} = \sum \left\{ \frac{h_i * \sigma_{zpi}}{\sum \frac{h_i * \sigma_{zpi}}{CBR_i}} \right\} \quad [4]$$

Donde:

- h_i : espesor de la capa de cada suelo
- σ_{zpi} : tensión media en cada suelo
- CBR_i : CBR de cada suelo

2.1 Ejemplo 2. Aplicación de las modificaciones al método

Cálculo de tensiones (debajo de un área circular cargada)

Para determinar los estados tensionales, se consideró un modelo de comportamiento lineal elástico para el asfalto caracterizado por su módulo de deformación y de poisson y un modelo elasto plástico para los suelos, caracterizado igualmente por sus módulos de deformación y de poisson y por sus características de resistencia a cortante como valores máximos de plastificación de los mismos. Para la obtención de estos estados tensionales se utilizó el programa SIGMA, realizando una modelación por elementos finitos con la valoración correspondiente de la influencia de la

Tabla 3 Resultados del tensiones de la modelación y métodos de cálculo

Z (m)	σ_{zp} (KPa) lineal-elástico	σ_{zp} (KPa) elasto-elástico	σ_{zp} (KPa) teórico	σ_{zp} (KPa) aproximado
0,08	708,50	915,00	744,30	770,77
0,20	553,50	358,50	591,47	385,07
0,58	162,90	170,00	173,98	125,03
0,97	68,90	70,50	71,90	34,70
1,81	19,50	22,50	21,86	27,25
2,65	10,00	19,50	10,30	15,21

densidad de la malla etc. Se muestran los resultados de uno de los ejemplos realizados donde se incluye una valoración de los cambios que ocurren en los estados tensionales cuando se consideran modelos elasto plásticos de comportamiento de los suelos con respecto a modelos simplificados donde se consideran todos los materiales elasto plásticos.

Podemos ver cómo con el modelo lineal, los valores de tensiones son semejantes a los del método teórico lo cual es algo lógico ya que en dicho método no se tienen en cuenta los valores de c y ϕ .

En la curva que representa el modelo elasto plástico, se ve donde empieza la plastificación (cuando comienzan los suelos), esto ocurre porque estos puntos fallan y redistribuyen los valores de tensiones para las capas superiores e inferiores.

a) Mejoramiento en función de las tensiones

Para la estructura de pavimento 1

Para este caso tomamos una aeronave cuyo valor del ACN correspondiera con el PCN que resultó del ejemplo anterior, PCN = 41. Este es el caso de un A300B2 (ACN = 40), esta aeronave tiene 4 neumáticos en las patas principales y la carga que baja por cada pata es 667,40 kN. Luego, como trabajamos solo con lo que toman dos neumáticos, la carga sería 333,7 kN. Se consideró un área circular equivalente que fuera igual al área de los dos neumáticos juntos. Como resultado dio una presión de 1.757,68 kPa y un diámetro equivalente = 50 cm.

Con estas tensiones se puede calcular un nuevo espesor equivalente, utilizando la fórmula [3] resultó: $e = 37$ cm. PCN = 43.

- Como se pudo demostrar el espesor equivalente da mayor por este método modificado y por tanto mayor es el PCN.

b) Mejoramiento en función del CBR

Cálculo del CBR promedio para la estructura de pavimento 4

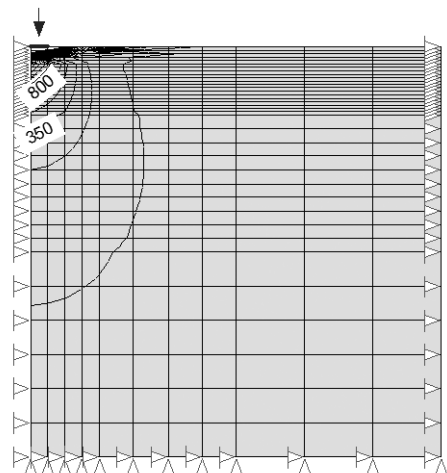
Utilizando la fórmula [4].

Suelo 1 CBR = 15 (A-6). $\sigma_{zp} = 431,2$ kPa. $h = 1,6$ cm.

Suelo 2 CBR = 3 (capa vegetal).
 $\sigma_{zp} = 16,1$ kPa. $h = 0,6$ m.

CBR promedio = 12,9.
PCN = 8,72

FIGURA 2 Resultado de la modelación en el SIGMA por incremento de las tensiones por carga impuesta



Si comparamos este valor de PCN, con el que resultó del cálculo por el método tradicional (ejemplo 1), podemos ver que es menor. Esto indica que el suelo 2 (capa vegetal), tiene influencia también en el cálculo del CBR, y al no considerarlo esto puede falsear los resultados, por lo que podemos decir de

forma general que este cambio mejora el valor del CBR de la cimentación.

Si le hacemos este mismo procedimiento a las estructuras 2 y 3 que tienen dos suelos en la cimentación resultaría la tabla siguiente:

Tabla 4 Mejoramiento del PCN en función de la no homogeneidad del suelo

Estructura	CBR suelo 1	CBR suelo 2	CBR promedio	PCN modificado
2	15	20	15,80	11,29
3	15	6	7,14	14,51
4	15	3	12,90	8,72

3 Influencia de las variables que intervienen en el método ACN-PCN

Si el valor del PCN de una pista no cumple con la condición $ACN \leq PCN$, para las aeronaves más frecuentes que se deben tirar en dicha pista, claro está, en dependencia también del régimen de explotación de la pista, comienzan a aparecer deterioros, que pueden ocasionar la falla. Por lo que habría que hacer un análisis de todas las variables que intervienen en la fórmula de PCN, para ver cuál es la que aumenta su valor.

3.1 Aumento del espesor de la capa de asfalto, y del CBR de la cimentación

Haciendo un análisis teórico de la influencia de las variables que intervienen en la fórmula de PCN, lo cual en la práctica debe estar compuesto por una valoración técnica económica de la factibilidad de la implementación de dichas variaciones, las soluciones posibles para aumentar el valor del PCN de la pista pueden ser:

1. Aumentar la capa de asfalto.
2. Aumentar el CBR de la cimentación
3. Aumentando los módulos de las capas o de alguna de las capas.
4. Aumento de los espesores de las capas de base y/o subbase.

De estas, las dos primeras son las que más influyen sobre el valor del PCN, la tercera no tiene mucha influencia y sin embargo aumentar su valor puede

incrementar el costo de un proyecto, para una pista ya construida. La cuarta tampoco tiene mucha influencia ya que generalmente los módulos de estas capas son más bajos que en la capa de superficie.

Para una pista ya en explotación también aumentar el CBR de la cimentación puede resultar poco económico. Habría que analizar bien en función de lo presupuesto, cuál variante elegir.

3.2 Ejemplo: aumento del espesor de la capa de hormigón asfáltico y del CBR, para una estructura de pavimento como la 1 (Manteniendo las demás características constantes)

Utilizando las fórmulas [1], [3] y [4].

Tabla 5 PCN para un aumento de CBR y aumento de la capa de asfalto de 4 cm

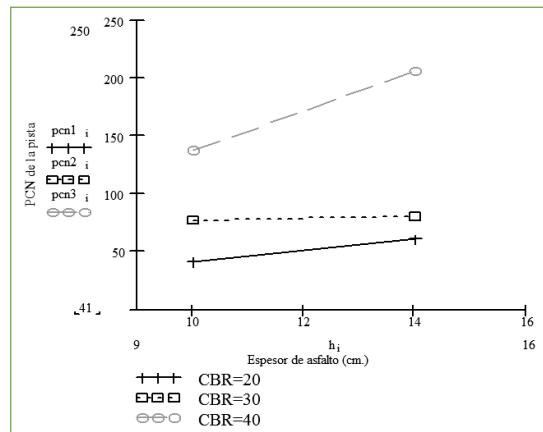
H de asfalto cm	CBR de la cimentación	PCN
10	20	41
14		61
10	30	77
14		80

Tabla 6 ACN de algunas aeronaves

Porte	Aeronave	ACN
Bajo	DC-3	8
	DC-4	10
	Fokker 50	11
Mediano	B-720	29
	B-737	22
	DC-9	26
Gran porte	DC-10	59
	IL-62	47
	IL-86	34
	B-747	57
	B-757	51

Podemos ver cómo aumenta el PCN para una variación de la capa de asfalto de 4 cm más. En este mismo ejemplo se puede ver cómo también en el desarrollo del PCN influye en gran medida el aumento del CBR de la cimentación. Para un valor de CBR de 20%, se pueden tirar aeronaves de mediano porte siempre que elevemos el espesor de la capa de asfal-

FIGURA 3 PCN para diferentes espesores de la capa de asfalto y para diferentes valores de CBR de la cimentación



to. Para los demás valores de CBR de la cimentación, se pueden tirar aeronaves de gran porte.

No obstante si fuéramos a determinar el PCN de la pista debíamos tener en cuenta las cuatro estructuras de pavimento en estudio y tomar el valor más bajo de PCN.

4 Procedimiento de evaluación de pistas de aeropuertos. Método ACN-PCN

1. Datos necesarios de la pista del aeropuerto:

- Caracterización de los materiales de la pista. De donde se pueda extraer:
 - Módulos (E) de los suelos que sustentan el pavimento de la pista.
 - Pesos específicos de cada uno de ellos.
 - CBR.
- Resistencia a cortante de los suelos (c y ϕ).
- Perfil longitudinal de la pista. Capas (descripción de las capas) y geometría.
- Plano de planta de la pista.

- En caso de existir deterioros (dar identificación de zonas dañadas).

2. Cálculo del ACN:

- Conocer el régimen de explotación de la pista, para determinar cuál sería la aeronave de diseño o de cálculo y establecer una equivalencia de las demás con esta.
- Determinar el ACN en caso de que no aparezca tabulado.

3. Cálculo del PCN de la pista:

- Calcular el PCN de la pista. Introducir modificaciones.

4. Análisis de resultados.

- Comparar el valor de ACN con el PCN, verificando que se cumpla que $ACN \leq PCN$, según lo estable-

cido por la OACI

- Si no cumple la condición, analizar las posibles

variantes a realizar para aumentar el valor del PCN de la pista.

Conclusiones

- Se logró formular el método ACN-PCN, para tomar en cuenta las tensiones debido a la carga impuesta, realizando aplicaciones, comprobándose que esto trae consigo aumentos del espesor equivalente (e) y variaciones en la determinación del CBR lo cual puede falsear los valores reales de PCN.
- Se logró formular el método ACN-PCN, tomando también en cuenta la posibilidad de que exista no homogeneidad en los suelos de la cimentación.
- Se realizó un análisis de todas las variables que intervienen en el método ACN-PCN (en el cálculo del PCN), y se puede concluir que las de mayor peso a la hora de aumentar el PCN son: el CBR de

los suelos de cimentación y espesor de la capa de asfalto, siendo esta última la más posible aplicar en la práctica.

- Se logró conformar una metodología de evaluación de pistas aéreas a partir del método ACN-PCN, que incluye las modificaciones en función de las tensiones debido a la carga impuesta y a la no homogeneidad de los suelos de cimentación y las variantes a realizar para aumentar el valor del PCN en una pista.
- Con la aplicación de esta metodología de evaluación de las pistas aéreas, se podrá obtener tabulados todos los pavimentos de nuestro país, en términos de PCN, con el objetivo de determinar la aeronave crítica para determinada pista, según sea el tipo de pavimento existente en la misma.

Bibliografía

1. (1977). Manual de Proyectos Aeródromos/ Doc 9157 – AN / 901, Primera Edición, Parte 3 Pavimentos.
2. (1983). Manual de Diseño de Aeródromos/ Doc 9157 – AN / 901, Segunda Edición, Parte 3 Pavimentos.
3. (1977). Manual de servicios de aeropuertos / Parte 2: Estado de la superficie de los pavimentos, (OACI).
4. (2004). Normas y Métodos Recomendados Internacionales al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Volumen I, Diseño y Operaciones de Aeródromos. Anexo 14 (OACI)
5. Ramírez Rodríguez, E. Estudios Especiales de Pavimentos para fines de Evaluación y Publicación / E. Ramírez Rodríguez.
6. A guide to airfield pavement design and evaluation. Department of the environment, U.K. (1989).
7. Quevedo S. Gilberto. (1994). Diseño de Cimentaciones Superficiales. Manual del Projectista.